



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA  
CIUDAD DE MÉXICO**

**COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**PROGRAMA DE ENERGÍA**

**ESTUDIO ENERGÉTICO EN EL SISTEMA  
TÉRMICO DEL CLUB DEPORTIVO “JUNIOR  
CLUB”**

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA ENERGÉTICA**

P R E S E N T A :

**JUAN CARLOS RAMÍREZ LUJANO**

DIRECTOR DE TESIS

**Dr. CARLOS CHÁVEZ BAEZA**



Ciudad de México, Septiembre, 2018

## SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



## UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

### RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

### DERECHOS RESERVADOS ©

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Fernando Gabriel Arroyo Cabañas  
Secretario: Dr. Carlos Chávez Baeza  
Vocal: Dra. Manuela Azucena Escobedo Izquierdo  
1<sup>er</sup>. Suplente: Dr. Álvaro Eduardo Lentz Herrera

Lugar donde se realizó la tesis:

PLANTEL DEL VALLE, UACM.

**DIRECTOR DE TESIS:**

Dr. Carlos Chávez Baeza  
Programa de Energía - UACM

## **Agradecimientos**

Agradezco a toda mi familia particularmente a mi esposa María Elena por su apoyo y frases de aliento.

A mi madre que es ejemplo de fuerza, entereza y cristianismo.

A mis hijos Amarilis, Brenda, Juan Carlos y Enrique.

A mis hermanos por su apoyo.

A mis nietos que alegran mis días de invierno.

Me guastaría expresar a través de estas líneas mi gratitud a todas las personas que contribuyeron para la realización del presente trabajo. Especial reconocimiento merece el Dr. Carlos Chávez Baeza por su orientación, supervisión y consejos que constantemente me prodigaba.

Hago extensiva mi gratitud a la Universidad Autónoma de la Ciudad de México por otorgarme la beca institucional de maestría que fue de gran aliciente para la terminación de mis estudios.

Y también agradecer a todos los profesores con los que tuve la oportunidad de trabajar.

## Índice

<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 1. Marco contextual.....</b>	<b>6</b>
1.1. Importancia de la eficiencia energética.....	6
1.2. El sector: instalaciones deportivas.....	10
1.3. Consumos específicos de instalaciones deportivas.....	11
1.4. Las instalaciones de clubes deportivos en México.....	13
1.5. Situación actual de la instalación.....	16
1.5.1. <i>Datos generales</i> .....	16
1.5.2. <i>Datos de facturación energética</i> .....	22
1.5.3. <i>Descripción de las principales áreas de consumo energético</i> .....	25
1.5.4. <i>Descripción del sistema térmico: cargas principales</i> .....	25
1.6. Planteamiento del problema.....	28
<b>Capítulo 2. Desarrollo metodológico.....</b>	<b>29</b>
2.1. Consumo de energía térmica en la alberca.....	30
2.1.1. <i>Pérdidas de calor por convección en la alberca</i> .....	31
2.1.2. <i>Pérdidas de calor por evaporación en alberca</i> .....	36
2.1.3. <i>Pérdidas de calor por radiación en alberca</i> .....	42
2.1.4. <i>Pérdidas de calor por renovación en alberca</i> .....	43
2.1.5. <i>Pérdidas de calor por conducción en alberca</i> .....	44
2.2. Pérdidas de calor en la tina de hidromasaje.....	45
2.2.1. <i>Pérdidas por convección</i> .....	45
2.2.2. <i>Pérdidas de calor por evaporación en tina de hidromasaje</i> .....	47
2.2.3. <i>Pérdidas de calor por radiación en tina de hidromasaje</i> .....	51
2.2.4. <i>Pérdidas de calor por renovación de agua en tina de hidromasaje</i> .....	51
2.2.5. <i>Pérdidas de calor por conducción en tina de hidromasaje</i> .....	52
2.3. Pérdidas de calor por agua caliente para duchas.....	53
<b>Capítulo 3. Análisis de resultados.....</b>	<b>55</b>
3.1. Matriz energética del sistema térmico.....	55
3.2. Indicadores de intensidad energética.....	58
<b>Capítulo 4. Evaluación de alternativas de ahorro.....</b>	<b>60</b>
4.1. Propuesta de uso de cubierta térmica en la alberca.....	60

4.2. Propuesta de utilización de paneles solares térmicos.....	63
4.2.1. <i>Alternativa para desplazar 10%del consumo de energía total (térmica)</i> .....	63
4.2.2. <i>Alternativa para desplazar 20%del consumo de energía total (térmica)</i> .....	69
<b>Conclusiones</b> .....	<b>74</b>
<b>Referencias Bibliografías</b> .....	<b>78</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>81</b>

## Introducción

México ocupa el segundo lugar en América Latina en cuanto a importancia para la industria de los Fitness solo precedido por Brasil; el cuarto en el mundo con más club deportivas solo detrás de EU, Brasil y Alemania, así como el cuarto en el número de afiliados a gimnasios o instituciones deportivas (Ramírez, 2014).

Además, en el país se observa un crecimiento acelerado de la industria, que va del orden de 25 a 30 por ciento tan solo en el último año. El último censo del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) reportó un crecimiento geográfico en unidades de casi 8 mil gimnasios que consumen agua caliente sanitaria (Ramírez, 2014).

En este sentido, tanto en México como en el mundo se han registrado un aumento de instalaciones deportivas, que debido a sus características de operación (casi 24 horas al día, los 365 días del año), representan instalaciones con potenciales de mejorar la eficiencia energética; así como la posibilidad de integrar tecnologías con fuentes de energía renovables.

En las empresas de servicios, como son los clubes deportivos, el gasto por energía por lo general suelen representar un alto porcentaje de la contabilidad de la empresa, en donde los recursos siempre son limitados, por lo que se hace indispensable su uso racional.

Desafortunadamente, en México no existe información, o al menos disponible, del tamaño de las instalaciones ni cantidad de energía que se utiliza en este sector, cuanta se emplea como energía térmica y energía eléctrica y, lo más importante cuán eficiente es cada uno de los sistemas consumidores de energía.

Un dato importante, del que también se carece, es el de los índices energéticos de consumo, estos proveen un criterio comparativo de gasto energético para poder contrastar el desempeño energético de una entidad a otra.

Todos estos elementos se obtienen como resultado de un estudio energético, que es una herramienta base para elaborar planes de mejora, toma de decisiones y disminución de los costos de operación.

La eficiencia energética debería ser una prioridad para cualquier empresa que desee competir en un mercado que cada día exige mejores servicios sin aumentar los costos y sin afectar la calidad de sus servicios.

Actualmente una empresa que utiliza menos energía para conseguir u obtener lo mismo resultados o mejores de un bien o servicio, reduce los costos, además de abatir la contaminación y tener una economía más fuerte y competitiva.

En este sentido, el presente estudio pretende, mediante la aplicación de un diagnóstico energético en el sistema térmico, determinar el nivel de eficiencia y elaborar propuestas de mejora de la gestión energética de una instalación deportiva, incluyendo la factibilidad técnica-económica del uso de fuentes renovables de energía.

Para ello, en el presente estudio se busca:

- Cuantificar y evaluar el comportamiento del consumo de energía térmica en las diferentes áreas con las que cuenta una instalación deportiva.
- Caracterizar el tipo de instalación deportiva en estudio y determinar sus principales indicadores energéticos.
- Proponer medidas de ahorro y uso eficiente de la energía.
- Valorar y dimensionar el potencial del uso de fuentes renovables de energía en instalaciones deportivas.

- Reflexionar sobre la realidad actual de la eficiencia energética en instalaciones deportivas.

A fin de determinar cada uno de los fines propuestos, el presente trabajo se divide en cuatro capítulos: marco contextual, desarrollo metodológico, análisis de resultados y evaluación de alternativas de ahorro.

En el marco contextual, se pone en relieve los seis rubros mínimos para lograr una mejora energética, como son: reducción en la demanda, diversidad energética, energías renovables, innovación, autoconsumo y cambios de hábito. Cada uno de ellos es tratado brevemente enfatizando su importancia en la toma de decisiones para desarrollar un esquema de eficiencia energética.

Otra parte a destacar, es que en años recientes los clubes deportivos se han convertido en entidades de alto consumo energético que además de demandar grandes volúmenes de energía, el número de ellos se ha incrementado considerablemente.

Un elemento fundamental para cualquier estudio de eficiencia energética es la identificación de las principales áreas o servicios en donde existe una demanda de energía. En clubes deportivos, a pesar de su gran variedad de servicios que prestan, por lo general el consumo energético se presenta en los sistemas de: iluminación, agua caliente, motores y aire acondicionado, albercas, destacando un alto consumo en esta última.

Por lo anterior se ofrece un panorama general del número de los clubes deportivos por delegación; la situación energética que presenta el deportivo “Junior Club” (nuestro sistema a investigar) tanto de los principales sistemas consumidores de energía, como las fuentes de energía utilizadas (electricidad y gas LP) y la facturación que se paga por cada una de ellas.

En el capítulo de Desarrollo metodológico se realiza un balance energético en las tres principales áreas consumidoras de energía térmica: alberca, regaderas y tina de hidromasaje.

En el caso de la alberca, se calculan las pérdidas de calor por convección, conducción, evaporación y radiación. Con respecto al proceso de convección, se realiza el cálculo del consumo energético en condiciones de frontera utilizando la ley de enfriamiento de Newton y de los números adimensionales como el de Nussel, Pradtl y Grashof.

En el cálculo de las pérdidas por evaporación (desprendimiento de moléculas de un seno de un fluido), se utilizaron condiciones tanto de superficie de la alberca como en el infinito en la Ciudad de México. Debe puntualizarse que en este proceso se pierde tanto energía como materia; por ello, es forzoso cuantificar la cantidad de materia desprendida con el número de Schmidt y Sherwood (Holman, 1999).

En las pérdidas por conducción se consideró un desprendimiento por las cuatro paredes que circundan la alberca y por el piso de la misma. Por último y hablando de las pérdidas de calor por radiación, que por las noches aumenta significativamente, se modela con la constante de Stefan-Boltzmann (Cengel, 2010).

En todos los casos en el que se calcularon las pérdidas de calor se realizó en condiciones de la temperatura media de la Ciudad de México, pero también a la temperatura media e irradiación solar de cada mes. Así mismo, los cálculos realizados para determinar las pérdidas de calor en la alberca se aplicaron de la misma forma para la tina de hidromasaje.

En el proceso de cálculo requerido para agua caliente utilizada en las regaderas se empleó la capacidad calorífica del agua, la diferencia de temperaturas entre la red

de suministro y la del termo tanque suministrador, así como el número de duchas por mes.

En los análisis de resultados se examinan los valores obtenidos en el punto anterior a la luz de una matriz energética y se comparan los valores de intensidad energética.

Por último en el capítulo de Evaluación de alternativas de ahorro, se elabora un análisis económico de dos mejoras energéticas: la utilización de una cubierta térmica para la alberca y el empleo de paneles termo-solares. Aquí se concretan todos los cálculos y consideraciones realizados en las secciones anteriores.

# Capítulo 1. Marco contextual

## 1.1. Importancia de la eficiencia energética

La energía es la base para generar servicios y bienes de consumo que la sociedad demanda. El agotamiento del petróleo y la crisis del siglo del petróleo colocó en el pensamiento de la sociedad la finitud de los combustibles de origen fósil (ACEE, 2012).

Del mismo modo y como resultado de la actividad humana, en especial la quema de combustible, ha generado el llamado fenómeno de cambio climático que produce cambios dramáticos en el clima mundial, lo que podría acarrear consecuencias irreversibles que comprometen la vida del ser humano y de las especies del mundo (ACEE, 2012).

La quema de combustible hidrocarbonado produce, por reacción química de combustión, anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ), gas que es expelido al medio ambiente produciendo procesos como lluvia ácida, efecto invernadero, acidificación de los océanos, entre otras (ACEE, 2012).

Una de las medidas para tratar de mitigar tales efectos negativos al medio ambiente y la crisis energética es la llamada eficiencia energética (SE, 2009).

La eficiencia energética la podemos definir como el uso racional de la energía, sin disminuir o perder la calidad de un producto o servicio. Para ello, en la instalación se deben incorporar tecnologías eficientes, hacer un uso optimizado de las instalaciones y equipos, así como un programa de mejora y supervisión permanente (SE, 2009) (ACEE, 2012).

Según el Programa de Cooperación Territorial del Espacio Sudoeste Europeo (SUDOE), para lograr la eficiencia energética cada entidad productiva, se debe transitar hacia estrategias de mejora en al menos 6 rubros (Figura 1.1.).

Figura 1.1. Factores tenidos en cuenta para una eficiencia energética



Fuente: SUDOE, 2009

- Reducción de la demanda energética

En la actualidad, con los altos consumos energéticos, el deterioro ambiental y el elevado costo de la energía, es de suma importancia analizar, diseñar y reconfigurar algunas de las actividades que necesiten para su funcionamiento elevados consumos de energía (SE, 2009) (ACEE, 2012).

Reducir la demanda energética permitirá reducir el costo que causa su aprovisionamiento y con ello su facturación. Para asegurar una reducción en los gastos energéticos, la empresa debe comprometerse a emprender programas de mejora energética (Cárcel, 2014).

- Diversidad energética

Existen en general dos formas de clasificar a las fuentes primarias de energía, una de ellas son las fuentes de energía no renovables que por su cantidad finita tarde o temprano se agotaran; la otra son las fuentes de energía renovable, que se podrían definir como infinitas en el lapso de tiempo de una vida humana (SUDOE, 2009).

Debido al avance tecnológico, hoy en día es posible contar con dispositivos eficaces para el uso de energías renovables y con ello tener opciones más variadas de satisfacer la demanda energética (SUDOE, 2009).

Es determinante para una empresa contar con una diversidad de fuentes de energía y así poder tener un abanico de opciones para el suministro energético (SUDOE, 2009).

- Máximo aprovechamiento del uso de energías renovables

Existe a nivel internacional y nacional una reiterada promoción del uso de energías renovables, porque muestran diferentes ventajas como: son un recurso inagotable, ayudan a disminuir los costos de la facturación energética, promueven la independencia de suministros externos. Por ello, se desea que cada entidad consumidora de energía promueva su uso (SUDOE, 2009).

- Innovación tecnológica

La innovación tecnológica está íntimamente relacionada con la eficiencia energética y la búsqueda de mejoras en los procesos industriales, para consumir menos y generar más bienes y servicios de la misma calidad o servicio (SUDOE, 2009).

- Autoconsumo

Cuando se habla de autoconsumo de energía, se considerará el autoconsumo total (la energía producida se consume íntegramente en la red interior a la que se conecta la instalación) y el autoconsumo parcial (parte de la energía generada no se consume en la red interior y se vuelca a la red de distribución). Las micro-redes ofrecen inteligencia y la oportunidad de gestionar y distribuir la energía, mejorando la escalabilidad de la demanda, la confiabilidad de la red, las nuevas aplicaciones y la capacidad para que el consumidor pueda gestionar mejor los costos, al tiempo que le permite operar en un mercado energético en tiempo real (SUDOE, 2009).

- Modificación de los hábitos de consumo

El comportamiento energético es consecuencia de la adquisición de un equipo, pero también se refiere a un hábito de conducta. El primer caso generalmente implica la adquisición de nueva tecnología, tal vez la compra de un nuevo electrodoméstico, mientras que los hábitos son consecuencia de una conducta rutinaria; por ejemplo, apagar siempre las luces al salir de una habitación. Una de las claves de la eficiencia energética es administrar los recursos energéticos de un modo hábil y eficaz, que incluya cambios de comportamiento en el uso de la energía (SUDOE, 2009).

## 1.2. El sector: instalaciones deportivas

La amplia oferta de los actuales recintos deportivos y su creciente número de usuarios están demandando grandes volúmenes de energéticos para prestar sus servicios y niveles de confort. Para ello cuentan con una variedad de instalaciones demandantes de energía, que por otra parte, presentan grandes posibilidades de mejora (Gas Natural Fenosa, 2017).

Llevar a cabo una adecuada administración del uso de la energía en un recinto deportivo, tanto por sus usuarios como por los gestores y responsables del mantenimiento de sus instalaciones, se puede traducir en considerables niveles de ahorro energético (Gas Natural Fenosa, 2017).

En principio, se diferenciarán las instalaciones deportivas en aquellas que disponen de piscina climatizada y las que no dispongan de ella. El calentamiento del agua de la piscina y la climatización del recinto en el que se encuentra, suponen un gasto energético importante y de gran peso en el balance global. Las instalaciones deportivas se engloban dentro del llamado sector terciario (Gas Natural Fenosa, 2017).

Hoy en día las instalaciones deportivas sean públicas o privadas son espacios bien estructurados donde además de ofrecer un lugar para acondicionamiento físico se brindan servicios adicionales de confort como cafeterías, sauna, bar, hidromasaje, y más (Figura 1.2.). Esta tendencia ha hecho crecer el número de usuarios (INDESCAT; 2012).

Figura 1.2. Servicios en instalaciones deportivas



Fuente: INDESCA, 2012

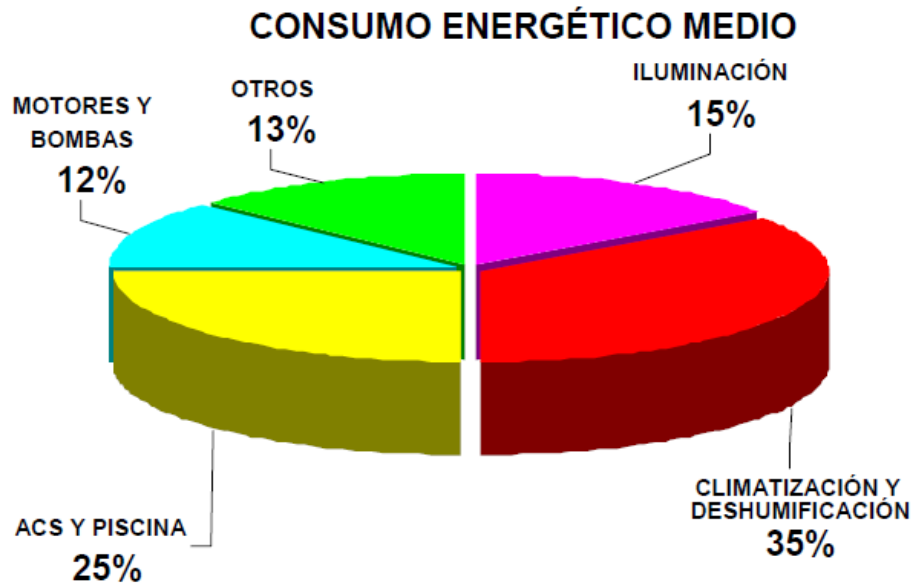
### 1.3. Consumos específicos de instalaciones deportivas

Una instalación deportiva utiliza energía en distintas formas y cantidades, pero no siempre un mayor consumo energético significa un mayor confort o un mejor servicio. Se puede obtener un mayor grado de eficiencia cuando el consumo y el confort óptimo estén en proporción adecuada. El grado de eficiencia se puede conocer estableciendo una pequeña contabilidad de los consumos energéticos utilizados anualmente (electricidad, combustibles y agua) en relación con el tamaño de la instalación deportiva (FENERCOM, 2008).

Aunado al tamaño de la instalación, el consumo energético dependerá también de los servicios y sistemas que disponga. Por lo general, en una instalación deportiva se tiene los siguientes servicios térmicos: agua caliente sanitaria (ACS), climatización de la alberca y sauna. Aunque existen otras áreas consumidoras que

pueden representar gastos importantes, es necesario conocer la cantidad de energía que consume cada sistema o servicio (FENERCOM, 2008).

Figura 1.3. Distribución de gasto energético en instalaciones deportivas



Fuente: FENERCOM, 2008

Observemos algunos datos: en España, uno de los mayores gastos energéticos en los centros deportivos es la climatización y deshumificación de las albercas cubiertas (Figura 1.3.), seguido de la energía calorífica proveniente de la combustión de hidrocarburos, mostrando un 25% del consumo total, que sirve para proveer agua caliente sanitaria y mantener el agua de la alberca a temperatura agradable (FENERCOM, 2008).

El registro del consumo energético es un buen indicador para tener una idea aproximada del tamaño de una instalación. No obstante, para comparar unas instalaciones con otras, en términos de si son más energéticamente eficientes o no,

se debe disponer de los denominados consumos específicos. Esto es, el gasto energético original sea térmico o eléctrico dividido entre algún factor común a todo este tipo de instalaciones y que permita discriminarlos independientemente de su tamaño (Gas Natural Fenosa, 2017).

En estudios realizados en instalaciones deportivas se consideran relevantes los consumos específicos por metro cuadrado de instalación o por número de usuarios. Así, se puede obtener una idea de la eficiencia de la instalación independientemente del tamaño que se tenga, pudiéndola comparar con otras del mismo tipo (Gas Natural Fenosa, s.f.).

Tabla 1.1. Consumos específicos en instalaciones deportivas

<b>Consumos específicos</b>	<b>Media piscina Cubierta</b>	<b>Media sin piscina Cubierta</b>
<b>kWh/usuario</b>	2.76	1.84
<b>kWh/m<sup>2</sup></b>	303	30.6

Fuente: Gas Natural Fenosa, s.f.

Como se puede apreciar en la Tabla 1.1., en España el consumo que origina una piscina cubierta destaca dentro del conjunto global, supone que las instalaciones consumirán casi el doble de energía por usuario y hasta 10 veces más energía por metro cuadrado (Gas Natural Fenosa, s.f.).

#### **1.4. Las instalaciones de clubes deportivos en México**

En México no se encontraron datos confiables que indiquen el tamaño de las instalaciones deportivas, sus consumos energéticos ni sus consumos específicos. La información disponible sobre el número de instalaciones la ofrece el Registro Nacional de Infraestructura Deportiva (CONADE, 2015).

Del Registro Nacional de Infraestructura Deportiva se encontró que el número total de instalaciones deportivas en la Ciudad de México que cuentan con alberca recreativa es de 149 (CONADE, 2015) entre espacios públicos y privados. La distribución por delegaciones de la Ciudad de México se muestra en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Número de instalaciones deportivas con alberca por delegación

<b>Delegación</b>	<b>Instalaciones deportivas</b>
Álvaro Obregón	18
Azcapotzalco	3
Benito Juárez	19
Coyoacán	13
Cuajimalpa de Morelos	5
Cuauhtémoc	10
Gustavo A. Madero	8
Iztapalapa	11
Iztacalco	10
Magdalena Contreras	4
Miguel Hidalgo	17
Tlalpan	15
Tláhuac	2
Venustiano Carranza	8
Xochimilco	6
<b>Total</b>	<b>149</b>

Fuente: CONADE, 2015

Sin embargo, existen instalaciones deportivas que no solo pueden clasificarse como instalaciones que cuentan con alberca recreativa, sino también pueden categorizarse como instalaciones que cuentan con alberca de competencia. Esto es, siendo una instalación con alberca recreativa pueden clasificarse como instalaciones que ofrecen por ejemplo alberca de competencia, lo que genera una confusión adicional.

Por otra parte, se sabe que México ocupa el segundo lugar en América Latina en cuanto a importancia para la industria de los Fitness, solo precedido por Brasil; y el cuarto en el mundo con más clubes deportivos, solo detrás de EU, Brasil y Alemania, así como el cuarto en el número de afiliados a gimnasios o instituciones deportivas (Ramírez, 2014).

En México existen 7,826 gimnasios donde se ejercitan 2 millones 740 personas por lo que el crecimiento que se espera en los próximos años es prometedor. Además, en el país se observa un crecimiento acelerado de la industria, que va del orden de 25 a 30 por ciento tan solo en el último año (Ramírez, 2014).

Con 7 mil 912 gimnasios y 26 clubes deportivos, firmas como Sport City (filial de Grupo Mart Sports World y Sport Fitness, entre otras), se posicionan y proliferan en el mercado mexicano. Sport World, dueña de clubes deportivos familiares, hace una década contaba con seis, pero el año 2017 impulsa un plan de expansión para cerrar con 47 (Ramírez, 2014).

Dentro de los clubes deportivos destaca la cadena Sport World, por ser la más grande en clubes deportivos con 47 instalaciones, de los cuales 26 se encuentran ubicados en la Ciudad de México y en el área conurbada, y los restantes en el interior de la república mexicana (SportWorld, 2017).

## 1.5. Situación actual de la instalación

El deportivo “Junior Club” fue fundada el 15 de julio de 1906 por iniciativa del Padre Camilo Crivelli y un grupo de empresarios, quienes establecieron las bases para crear la Asociación con el nombre de "Junior Club"(Junior-Club, 2014).

### 1.5.1. Datos generales

El deportivo “Junior Club” se encuentra ubicado en la colonia Hipódromo Condesa de la Ciudad de México sobre una superficie de más de 2,000 m<sup>2</sup>. En la Figura 1.4. Se presenta una fotografía SIG (sistema de información geográfica) de la ubicación del deportivo.

Figura 1.4. Ubicación del deportivo Junior Club



Fuente: Fotografía SIG (sistema de información geográfica), Google maps.

En la Tabla 1.3. Se muestran algunos datos generales en la instalación.

Tabla 1.3. Datos básicos de la instalación

Inmueble: Junior Club	
Dirección: Sindicalismo #3 Hipódromo. Cuauhtémoc. 08170, Ciudad de México.	
Giro: Club Deportivo	Año de fundación: 1906
Área construida: 1,325.4 m <sup>2</sup>	Superficie (terreno): 2,155 m <sup>2</sup>
Tipo de edificio: Horizontal	No de niveles: 2
Aire acondicionado: No	Ton. de refrigeración: No
Contacto: Jefe de Mantenimiento	

Fuente: propia

En la Tabla 1.4. se muestran los horarios de servicio que ofrece el club deportivo “Junior Club”, los cuales se ofrecen durante los 365 días al año (Junior-Club, 2014).

Tabla 1.4. Horarios de servicio del club deportivo Junior Club

Días	Horario
Lunes-Viernes	5:30-23:00 h
Sábado	6:00-21:00 h
Domingo	7:00-18:00 h

Dentro de sus instalaciones cuenta con (Junior-Club, 2014):

- 14 canchas de tenis de arcilla (Figura 1.5.)
- 1 cancha de squash
- 1 cancha de futbol
- 1 alberca semi-olímpica 25 m al aire libre (Figura 1.6.)
- 1 chapoteadero (Figura 1.6.) y jacuzzi
- 2 áreas de asoleaderos
- 1 gimnasio aeróbico con caminadoras, escaladoras, elípticas, bicicletas de spinning, etc. (Figura 1.7.)
- 1 gimnasio pesas (Figura 1.7.)
- 1 salón de fiestas (Figura 1.8)

- 1 salón de damas (Figura 1.9)
- 1 ludoteca para niños(Figura 1.10)
- Sección de casilleros para damas y caballeros, con regaderas, vapor y sauna
- 2 cafeterías (Figura 1.11)
- 1 comedor (Figura 1.11)

Figura 1.5. Canchas de tenis



Fuente: Junior-Club, 2014

Figura 1.6. Alberca semi-olimpica y chapoteadero



Fuente: Junior-Club, 2014

Figura 1.7. Zona de gimnasio



Fuente: Junior-Club, 2014

Figura 1.8. Salón de fiestas (y clases)



Fuente: Junior-Club, 2014

Figura 1.9. Salón de damas (juegos de canasta)



Fuente: Junior-Club, 2014

Figura 1.10. Ludoteca para niños



Fuente: Junior-Club, 2014

Figura 1.11. Cafeterías y comedor



Fuente: Junior-Club, 2014

La construcción está dividida en dos grandes zonas, en una de ellas encontramos el área de regaderas y vapor dividida en regaderas hombre y mujeres. Por una escalera se llega al primer piso donde está ubicada una pequeña cafetería y una mínima superficie de juegos.

Caminando a través de un pasillo en el primer nivel nos conduce al área de gimnasios, ahí se encuentran una amplia y sofisticada cantidad de aparatos de ejercicios corporales.

#### 1.5.2. Datos de facturación energética

En el deportivo “Junior Club” se utilizan dos fuentes de energía para abastecer a la instalación: energía eléctrica y gas LP. En la Tabla 1.5. se presentan los datos de facturación y consumo de gas LP, mientras que en la Tabla 1.6. los datos correspondientes a la facturación eléctrica.

Tabla 1.5. Datos de facturación de Gas LP

Periodo (mes/año)	Consumo (litros)	Precio (\$/litro)	Facturación (\$)	Energía (GJ)
agosto-14	14,453.5	7.27	105,076.9	374.91
septiembre-14	16,062.7	7.32	117,579.0	416.65
octubre-14	14,634.2	7.38	108,000.4	379.60
noviembre-14	18,778.7	7.44	139,713.5	487.10
diciembre-14	18,223.5	7.49	136,494.0	472.70
enero-15	17,617.8	7.64	134,600.0	456.99
febrero-15	16,663.5	7.64	127,309.1	432.24
marzo-15	22,064.8	7.64	168,575.1	572.34
abril-15	15,964.7	7.64	121,970.3	414.11
<b>Promedio</b>	<b>17,162.6</b>	<b>7.50</b>	<b>128,813.2</b>	<b>445.18</b>

Nota: Poder calorífico neto del Gas LP = 4.124 GJ/barril (SENER, 2014)

Un barril = 158.9875 litros (SENER, sf)

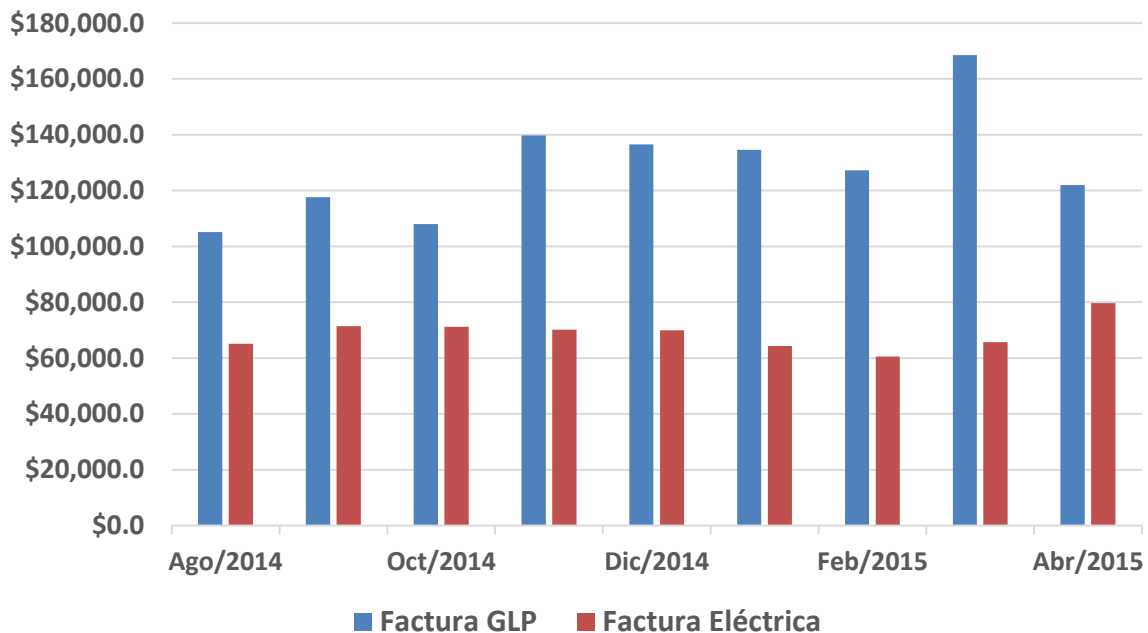
Tabla 1.6. Datos de facturación eléctrica, Tarifa 3

Periodo (mes/año)	Consumo (kWh)	Precio (\$/kWh)	Facturación (\$)	Energía (GJ)
agosto-14	25,520	2.55	65,086	91.87
septiembre-14	22,880	3.12	71,393	82.37
octubre-14	26,320	2.70	71,186	94.75
noviembre-14	24,640	2.85	70,128	88.70
diciembre-14	23,200	3.01	69,935	83.52
enero-15	23,200	2.77	64,293	83.52
febrero-15	22,560	2.68	60,519	81.22
marzo-15	21,040	3.12	65,682	75.74
abril-15	25,120	3.17	79,680	90.43
<b>Promedio</b>	<b>23,831</b>	<b>2.89</b>	<b>68,656</b>	<b>85.79</b>

Nota: 1 kWh = 0.0036 GJ (SENER, sf)

En la Figura 1.12 se muestra un comparativo de los gastos monetarios en el “Junior Club” por concepto de facturación eléctrica y de gas L.P., en donde se puede observar que el pago por gas LP representa en promedio 1.87 veces más que lo que se realiza por energía eléctrica.

Figura 1.12. Facturación mensual de eléctrica y de gas LP



Con respecto al consumo de gas LP, en la Figura 1.12. se observa un incremento atípico en el mes de marzo de 2015, esto debido a que se realiza el torneo anual de tenis, con dicho torneo se incrementa el número de usuarios que solicitan los servicios de regaderas, vapor y sauna en el club.

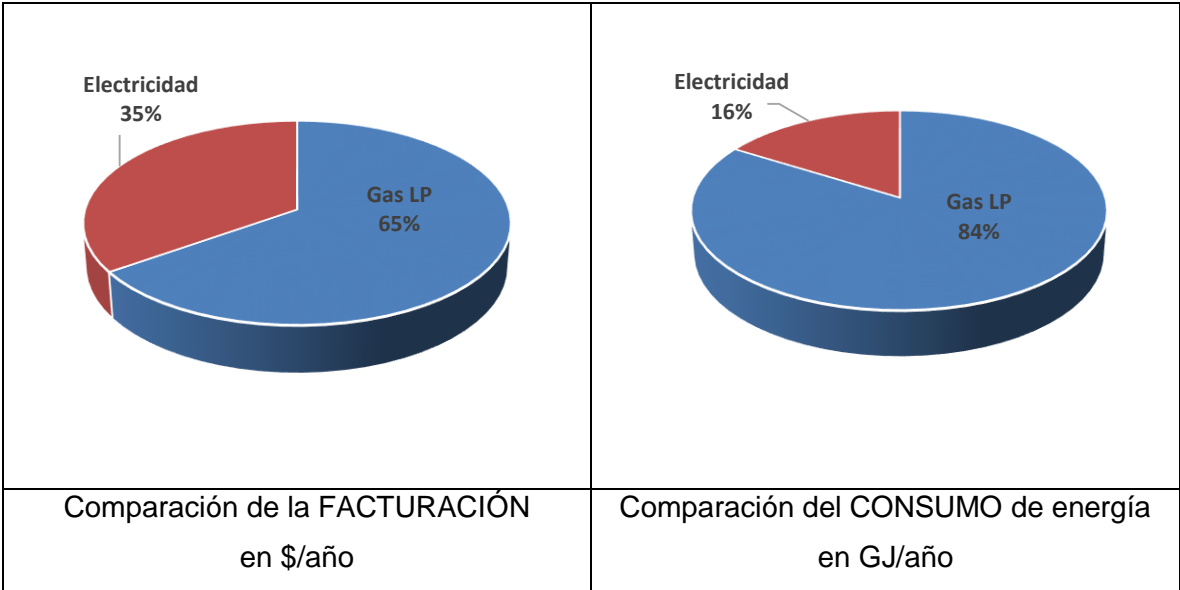
Tabla 1.7. Comparativo de la facturación eléctrica vs facturación de gas LP

Concepto	Facturación		Consumo de energía	
	(\$/año)	(%)	(GJ/año)	(%)
Gas LP	1,545,757.8	65%	5,342.2	84%
Electricidad	823,869.3	35%	1,029.5	16%
Total	2,369,627.1	100%	6,371.7	100%

Fuente: Junior-Club

Tanto en la Tabla 1.7. como en la Figura 1.13., se muestra un comparativo entre las fuentes de energía que se tienen en el club. Con respecto a la facturación, el consumo de gas LP representa el 65% mientras que el gasto por la electricidad sólo representa el 35%. Sin embargo, cuando hablamos en términos de consumo de energía, el peso porcentual del gas LP es aún mayor que lo correspondiente a la electricidad, 84% y 16%, respectivamente. Con ello, se refleja la importancia de empezar por mejorar los sistemas térmicos del club, antes que los sistemas eléctricos.

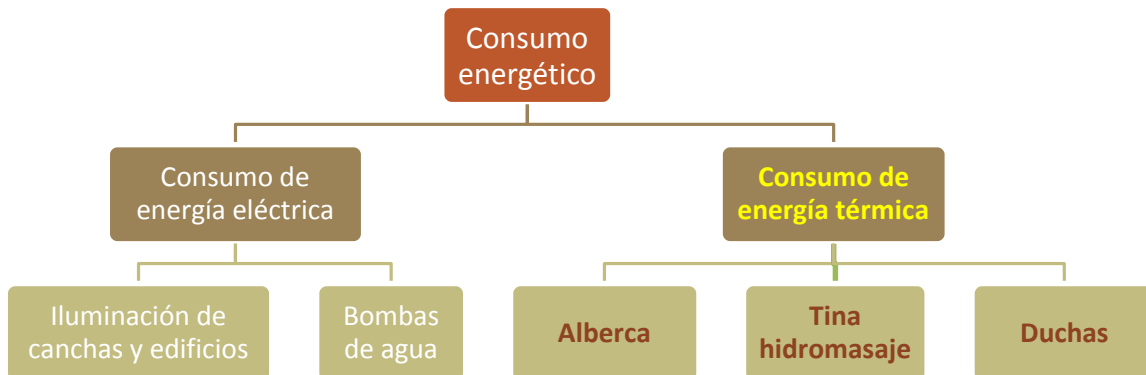
Figura 1.13. Comparación datos de facturación eléctrica y gas LP



### 1.5.3. Descripción de las principales áreas de consumo energético

En el deportivo “Junior Club” la energía consumida en los procesos finales son de dos tipos: energía eléctrica y energía térmica (Figura 1.14.). La energía eléctrica se utiliza principalmente en la iluminación de las canchas de tenis y edificios, bombas de agua, aparatos electrónicos, entre otros; mientras que la energía térmica se utiliza principalmente para el calentamiento de agua para mantener la alberca a temperatura regular y la utilización de agua caliente sanitaria para duchas.

Figura 1.14. Diagrama de las principales Áreas de consumo energético en el deportivo “Junior Club”

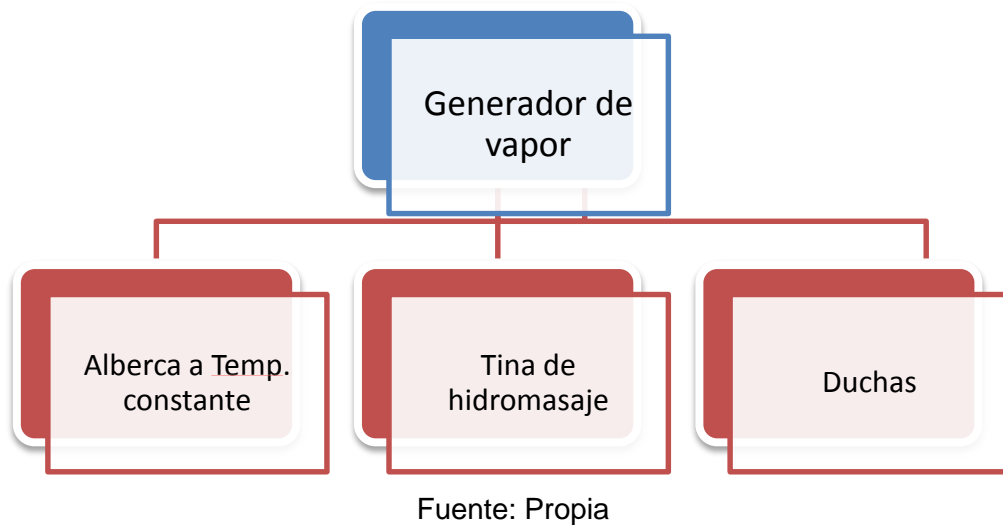


Fuente: propia

### 1.5.4. Descripción del sistema térmico: cargas principales

Las áreas consumidoras de energía térmica (Figura 1.15.), son alimentadas por una caldera de vapor que distribuyen la energía a tres zonas: a una alberca al aire libre para mantener su temperatura constante (28°C), una tina de hidromasaje, también al aire libre, y a las regaderas y lavabos para suministrar agua caliente sanitaria.

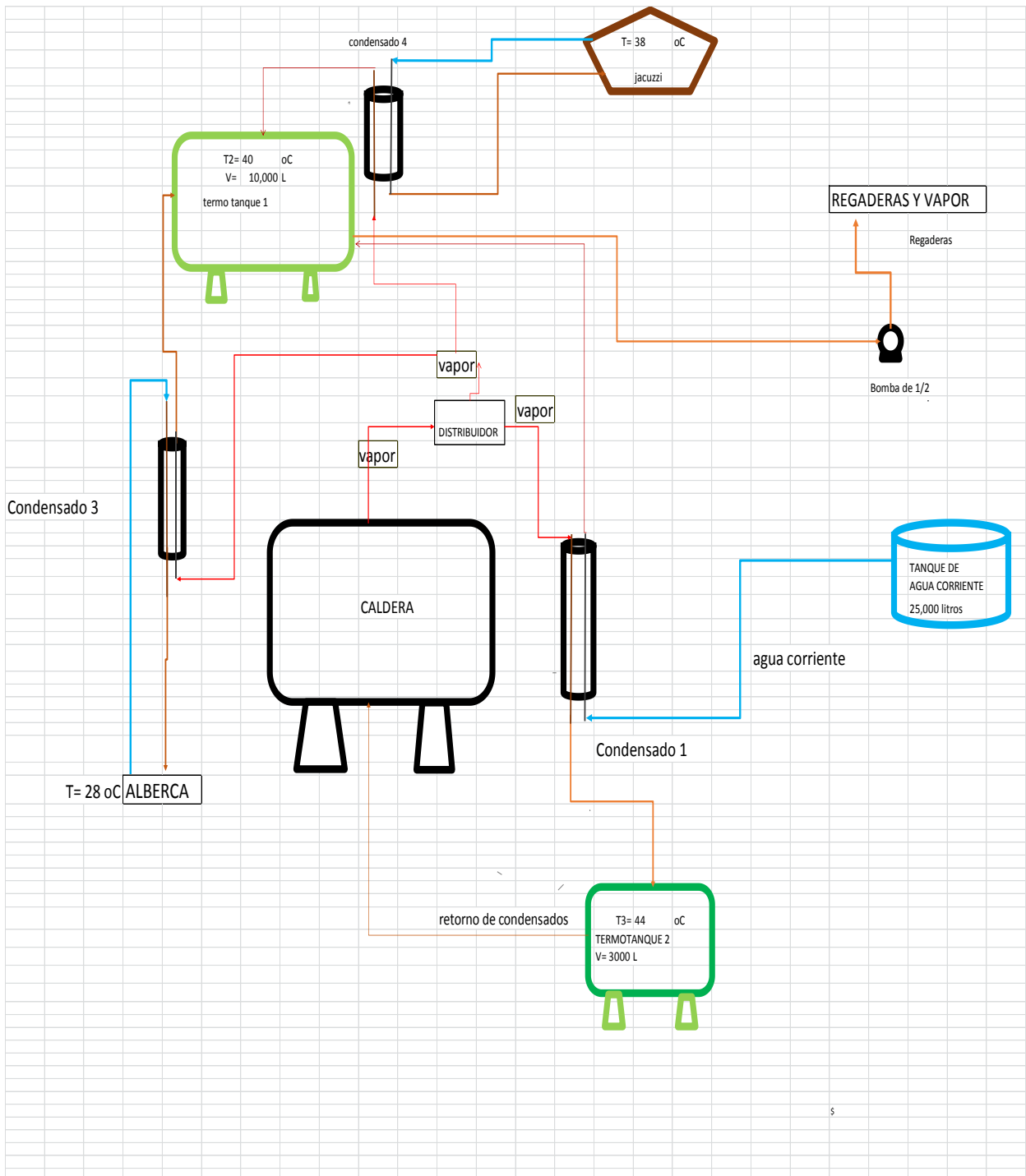
Figura 1.15. Sectores consumidores de energía térmica



La producción de agua caliente se obtiene a través de una caldera Powermaster pirotubular con régimen de uso en un primer paso de 2 horas con un horario de 3:00 a 5:00 h, después de esta última hora el régimen de uso se normaliza encendiendo regularmente cada 15 minutos por cada hora transcurrida hasta las 22:00 h.

Es en el cuarto de máquinas donde se ubica la caldera con dos termo tanques, uno de recirculación de condensados y el segundo como almacenador de agua caliente sanitaria para suministrar agua caliente a las regaderas. Observe la Figura 1.16.

Figura 1.16. Diagrama de proceso.



Fuente: Elaboración Propia

## 1.6. Planteamiento del problema

En México, y en el mundo, se ha registrado un aumento de clubes deportivos, que debido a sus características de operación (de casi 24 horas al día y los 365 días del año), se han convertido en entidades que demandan altos volúmenes de energía, ya sea eléctrica o de origen fósil, para ofrecer servicios como cafetería, canchas de tenis, sauna, regaderas, tina de hidromasaje, gimnasio, etc., por lo que se tiene la concepción de que los clubes deportivos son organismos de elevada dependencia energética.

Se puede puntualizar que los clubes deportivos, al ser una empresa de servicios, los gastos en energía por lo general suelen representar un alto porcentaje de la contabilidad de una empresa, en donde los recursos siempre son limitados por lo que se hace indispensable su uso racional.

Dentro del consumo energético destinado a la producción de energía térmica mediante combustibles fósiles, en España los deportivos con albercas cubiertas (con climatización) representan el 25% del total de la energía en un club deportivo (FENERCOM, 2008). No obstante, en el deportivo de Junior-Club el consumo de energía por gas LP representa el 84%, mientras que la electricidad sólo el 16%.

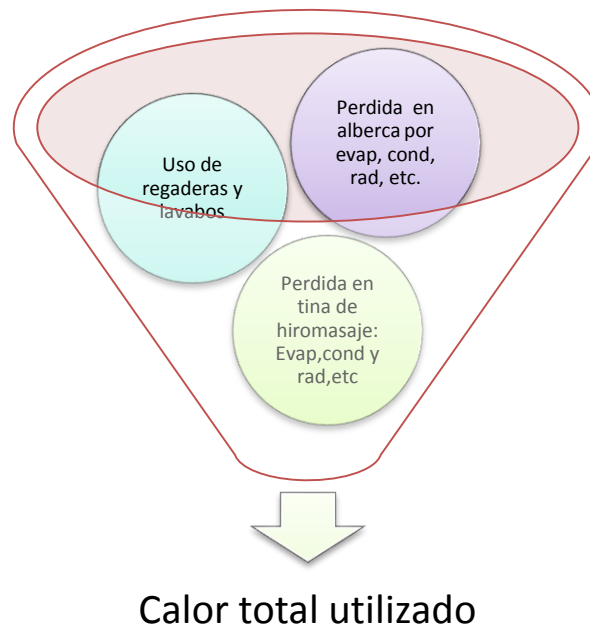
Se considera que hay áreas específicas en donde es posible perder grandes cantidades de energía térmica, tales como: regaderas, tina de hidromasaje, alberca y vapor o sauna. En el caso de las albercas, las pérdidas térmicas son debidas a la evaporación, radiación, convección y conducción.

Dentro de las pérdidas asociadas a la evaporación, las más significativas son causadas por la agitación del agua que producen los nadadores durante los horarios de servicios y por la noche cuando no se cuenta con una cubierta protectora. Esto se debe a que es necesario mantener la alberca a una temperatura confortable y al inmenso volumen de agua que contiene el vaso.

## Capítulo 2. Desarrollo metodológico

El procedimiento para estimar el consumo o gasto de energía térmica que se destina a las distintas áreas consumidoras (Figura 2.1), se realiza mediante la aplicación el método de pérdidas de calor por evaporación, convección, conducción y radiación; además de la energía requerida para la renovación o reposición de agua, según sea el caso.

Figura 2.1. Energía utilizada y que genera la caldera



## 2.1. Consumo de energía térmica en la alberca

La alberca es de tipo semi-profesional de cuatro carriles situada al aire libre (Figura 2.1). Cuenta con una capacidad estimada de  $625 \text{ m}^3$  y sus dimensiones son 25 metros de largo por 12.5 metros de ancho y una profundidad de 2 metros. El régimen de servicio es de las 5:00 h 21:00 h.

Condiciones de operación:

Temperatura de la alberca =  $T_{\text{alberca}} = 28^\circ\text{C}$  (301K)

Temperatura ambiente media anual CDMX =  $T_{\text{amb}} = 16^\circ\text{C}$  (289K)

Figura 2.1 Alberca semi-profesional de “Junior club”



Fuente: Junior-Club, 2014

### 2.1.1. Pérdidas de calor por convección en la alberca

La convección natural es el movimiento de materia de algún líquido o gas, si una masa de un fluido se somete a un proceso de calentamiento sus moléculas aumentan su energía cinética y se separan y dispersan, por ello la masa del fluido llega a ser menos densa; si una masa de un fluido es menos densa se desplazará hacia arriba y horizontalmente hacia un área de menor energía calórica.

A consecuencia de ello, la masa más fría y más densa del fluido descenderán o se moverán en un sentido opuesto al del movimiento de la masa más caliente (Cengel, 2010).

Mediante este mecanismo, los volúmenes más calientes transfieren calor a los volúmenes menos calientes de ese fluido, para calcular la cantidad de calor involucrado en un proceso de convección, se puede utilizar la ley de enfriamiento de Newton:

$$Q = h A (T_s - T_f)$$

Ecuación 1

Donde:

$Q = \text{calor por convección [J]}$

$h = \text{coeficiente de película } \left[ \frac{W}{m^2K} \right] \text{ o } \left[ \frac{J}{s m^2K} \right]$

$A = \text{área del cuerpo en contacto con el fluido [m}^2\text{]}$

$T_s = \text{temperatura en la superficie [K]}$

$T_f = \text{temperatura del fluido lejos de la superficie [K]}$

Para calcular el coeficiente de película (coeficiente de transferencia de calor, h) en una placa plana horizontal, que es como se puede modelar una alberca, se utiliza el número de Nusselt como sigue (Holman, 1999):

$$h = \frac{Nu k_f}{L_c}$$

Ecuación 2

Donde:

$h =$  coeficiente de transferencia de calor  $\left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$

$Nu =$  número de Nusselt [adimensional]

$L_c =$  longitud característica [m]

$k_f =$  conductividad térmica del fluido  $\left[ \frac{W}{m K} \right]$

Cuanto mayor es el número de Nusselt más eficaz es la convección. Para determinar el número de Nusselt, hay que distinguir si la convección es natural o forzada, laminar o turbulenta, rugosidad y más; en este caso se utiliza una convección natural. El número de Nusselt ( $Nu$ ) involucra al número de Prandtl ( $Pr$ ) y al número de Grashof ( $Gr$ ) en una convección natural (Holman, 1999).

$$Nu_f = C (Gr_f Pr_f)^m$$

Ecuación 3

Donde el subíndice  $f$  indica que las propiedades en los grupos adimensionales se evalúan a temperatura de la película (Holman, 1999).

$$T_f = \frac{(T_\infty + T_w)}{2}$$

Ecuación 4

$T_{\infty} = \text{temperatura en el infinito}$

$T_w = \text{temperatura de la superficie}$

El producto de los números de Grashof y Prandtl es el número de Raleigh ( $Ra$ ), que sólo se utiliza en convención natural (Holman, 1999):

$$Ra = Gr \cdot Pr$$

Ecuación 5

El número de Prandtl ( $Pr$ ) es un número adimensional proporcional al cociente entre la difusividad de momento (viscosidad) y la difusividad térmica.

$$Pr = \frac{\text{viscosidad cinemática, } \vartheta}{\text{difusividad térmica, } \alpha}$$

Donde:

$$T_f = \frac{(16^{\circ}\text{C} + 28^{\circ}\text{C})}{2} = 22^{\circ}\text{C}$$

$$\vartheta = \text{viscosidad cinemática del agua a } 22^{\circ}\text{C} = 0.963 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\alpha = \text{difusividad térmica del agua} = 0.139 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Nota: Datos obtenidos de los anexos 1 y 2.

Desarrollando

$$Pr = \frac{0.893 \times 10^{-6}}{0.139 \times 10^{-6}} = 6.42 [\text{adimensional}]$$

El número de Grashof, en transferencia de calor, es un valor adimensional que es proporcional a la división entre las fuerzas de flotación y fuerzas viscosas y se calcula con la siguiente expresión:

$$Gr = \frac{g \beta (T_w - T_\infty) L_c^3}{\nu^2}$$

Ecuación 6

En donde:

$$g = \text{aceleración de la gravedad} = 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$\beta = \text{coeficiente de expansión volumétrica} = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{289 K}$$

$$= 3.46 \times 10^{-3} K^{-1}$$

$$T_w = \text{Temperatura de la superficie} = 301 K$$

$$T_\infty = \text{Temperatura en el infinito} = 289 K$$

$$L_c = \frac{\text{área de la alberca}}{\text{perímetro de la alberca}} = \frac{312.5 m^2}{75 m} = 4.16 m$$

$$Gr = \frac{\left(9.8 \frac{m}{s^2}\right) (3.46 \times 10^{-3} K^{-1}) (301 K - 289 K) (4.16 m)^3}{\left(0.963 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}\right)^2}$$

$$Gr = 3.15 \times 10^{13}$$

$$Ra = Pr * Gr$$

$$Ra = (6.42)(3.15 \times 10^{13})$$

$$Ra = 2.02 \times 10^{14}$$

Así con ayuda de la siguiente fórmula y el condicionante, calculamos el número de Nussel:

$$Nu = 0.17(Gr Pr)^{0.25}$$

Ecuación 7

$$Nu = 0.17(2.02 \times 10^{14})^{0.25}$$

$$Nu = 641.5$$

Ahora es indispensable conocer la conductividad térmica para evaluar el coeficiente de transferencia de calor convectivo de forma natural.

$$k = \text{conductividad térmica} = 0.024 \frac{W}{mK}$$

Conociendo el número de Nussel podemos calcular el coeficiente de transferencia

$$h = \frac{Nu * K}{L_c}$$

Ecuación 8

$$h = \frac{(641.5) * \left(0.024 \frac{W}{mK}\right)}{4.16 m}$$

$$h = 3.7 \frac{J}{sKm^2}$$

De esta manera determinamos la pérdida de calor por convección:

$$Q_{convectiva} = hA(T_w - T_{\infty})$$

Ecuación 9

$$Q_{convectiva} = \left(3.7 \frac{J}{sKm^2}\right) (312.5 m^2)(301 K - 289 K)$$

$$Q_{convectiva} = 13\,879.25 \left[\frac{J}{s}\right]$$

$$Q_{convectiva} = 13.879 \left[\frac{kJ}{s}\right]$$

### 2.1.2. Pérdidas de calor por evaporación en alberca

La evaporación es un proceso en el cual las moléculas en estado líquido encerradas en un contenedor como en una alberca pasan a estado de vapor (vapor de agua) espontáneamente. Una consecuencia de la evaporación es la pérdida de materia y puede observarse por la disminución del volumen de un líquido, otro efecto de tal fenómeno es la pérdida de energía si se encuentra una diferencia de temperatura entre dos fluidos como agua y aire.

Para el cálculo de pérdidas de calor por evaporación en una alberca es necesario contar con diferentes variables como:

En la superficie de la alberca el aire está saturado de vapor por lo que se asume que la presión de vapor en esa parte es igual a la presión de saturación del agua a la temperatura superficial.

Por otra parte, debido que el aire de la Ciudad de México tiene una humedad relativa (f) de 65%, la presión de vapor del aire lejos de la superficie del agua de la alberca a 16°C siendo esta última la temperatura media en las Ciudad de México es:

$$p_{vap \infty} = \text{presión de vapor en el infinito [kPa]}$$

$$p_{vap cdmx} = \text{presión de vapor en la cdmx} = 1.8187 \text{ kPa}$$

$$p_{vap \infty} = f \cdot p_{vap cdmx}$$

Ecuación 10

$$p_{vap \infty} = (0.65)(1.8187 \text{ kPa}) = 1.18 \text{ kPa}$$

Para calcular la tasa de evaporación se debe encontrar la concentración de vapor de agua en la interface agua-aire.

$p_w = \text{presión de saturación de vapor a la temperatura del agua}$

$$p_w = 3.78 \text{ kPa}$$

Si se consideran al vapor de agua y al aire como gases ideales, y se observa que la presión atmosférica total es igual a la suma de la presión de vapor y del aire seco se determinan las densidades (concentraciones) correspondientes como sigue (Criollo, C. & Pogo, G; 2011)

En la superficie, se obtiene las densidades en ambas condiciones de estudio:

- a. La densidad del vapor en la superficie  $\rho_{vs}$  y la densidad del aire en la superficie  $\rho_{as}$  de la alberca
- b. La densidad de vapor y del aire en el infinito respectivamente  $\rho_{v\infty}$  y  $\rho_{a\infty}$

a. Densidades en la superficie de la alberca:

$$PV = m \cdot R_{vap} \cdot T_w$$

Ecuación 11

Tenemos:

$$\rho_{vs} = \text{densidad de vapor en la superficie} \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$\rho_{vs} = \frac{P_w}{R_{vap} T_w}$$

Ecuación 12

$$R_{vap} = \text{constante universal de vapor} = 0.4528 \frac{kPa \cdot m^3}{kg \cdot K}$$

$$\rho_{vs} = \frac{(3.78 \text{ kPa})}{\left(0.4528 \frac{kPa \cdot m^3}{kg \cdot K}\right) (301 \text{ K})} = 0.0271 \frac{kg}{m^3}$$

La densidad del aire en la superficie es:

$$\rho_{as} = \frac{p_{as}}{R_{as} T_w}$$

Ecuación 13

$$R_{as} = \text{constante universal del aire en la superficie} = 0.287 \frac{\text{kPa m}^3}{\text{kg K}}$$

$$p_{as} = p_{atm} - p_w = 77.98 \text{ kPa} - 3.78 \text{ kPa} = 74.2 \text{ kPa}$$

$$\rho_{as} = \frac{(74.2 \text{ kPa})}{\left(0.287 \frac{\text{kPa m}^3}{\text{kg K}}\right) (301 \text{ K})} = 0.8589 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{sup} = \text{densidad en la superficie} = \rho_{vs} + \rho_{as}$$

$$\rho_{sup} = \left(0.0271 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) + \left(0.8589 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) = 0.8866 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

b. Densidad en el infinito:

Para calcular la densidad en el infinito es necesario conocer la presión de vapor en el infinito a la temperatura media de la CDMX.

$$p_{vap\infty} = \text{presión de vapor en el infinito} = 1.8188$$

$$\rho_{v\infty} = \frac{P_{vap\infty}}{R_{vap} T_{\infty}}$$

Ecuación 14

$$\rho_{v\infty} = \frac{(1.8181 \text{ kPa})}{\left(0.4528 \frac{\text{kPa m}^3}{\text{kg K}}\right) (289 \text{ K})} = 0.0116 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Del mismo modo se calcula la densidad del aire en el infinito:

$$\rho_{a\infty} = \frac{P_{as}}{R_{as}T_{\infty}}$$

$$\rho_{a\infty} = \frac{(74.2 \text{ kPa})}{\left(0.287 \frac{\text{kPa m}^3}{\text{kg K}}\right) (289 \text{ K})} = 0.8945 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{\infty} = \text{densidad en el infinito} = \rho_{v\infty} + \rho_{a\infty}$$

$$\rho_{\infty} = \left(0.0116 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) + \left(0.8945 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) = 0.9061 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Ahora bien, existe una forma análoga del número de Grashof utilizada en convección natural por transferencia de masa:

$$Gr = \frac{g (C_{sup} - C_{\infty}) L_c^3}{\vartheta^2 (C_{sup} + C_{\infty})}$$

Ecuación 15

Donde:

$C_{sup}$  = concentración de la especie en la superficie

$C_{\infty}$  = concentración de la especie en el infinito

Se puede igualar las concentraciones con las densidades de las especies, de este modo:

$$C_x = \rho_x$$

$$Gr = \frac{g (\rho_{sup} - \rho_{\infty}) L_c^3}{\vartheta^2 (\rho_{sup} + \rho_{\infty})}$$

Ecuación 16

$$Gr = \frac{\left(9.8 \frac{m}{s^2}\right) \left(0.9061 \frac{kg}{m^3} - 0.8866 \frac{kg}{m^3}\right) (4.16 m)^3}{\left(0.963 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}\right)^2 \left(0.9061 \frac{kg}{m^3} + 0.8866 \frac{kg}{m^3}\right)} = 8.28 \times 10^{12}$$

$$Gr * Pr = 5.3 \times 10^{13}$$

Calculamos el número de Schmidt

$$Sc = \frac{\vartheta}{D_{ab}}$$

Ecuación 17

Para ello tenemos:

$$D_{ab} = \text{difusibilidad de la masa de vapor en el aire a } 16^\circ\text{C (289 K)} \left[ \frac{m^2}{s} \right]$$

Debido a su importancia práctica, la difusión del vapor de agua en el aire ha sido el tema de varios estudios y se han desarrollado algunas fórmulas empíricas para el coeficiente de difusión  $D_{agua-aire}$ . Marrero y Mason (1972) propusieron esta popular fórmula

$$D_{ab} = \frac{1.87 \times 10^{-10} * T_{\infty}^{2.072}}{P_{atm}}$$

Ecuación 18

$$P_{atm} = 0.7697 \text{ atm}$$

$$D_{ab} = \frac{(1.87 \times 10^{-10}) * (289 \text{ K}^{2.072})}{0.7697 \text{ atm}} = 3.05 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$D_{ab} = 3.05 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Ahora se calcula el número de Schmidt (Sc) que es análogo al número de Prandtl.

$$Sc = \frac{\left(9.63 \times 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right)}{\left(3.05 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right)} = 3.16 \times 10^{-2}$$

El número de Sherwood (Sh) es igual al número Nussel (Nu)

$$Sh = Nu$$

$$Sh = 0.17(Gr \cdot Sc)^{0.3}$$

$$Sh = 0.17 (8.28 \times 10^{12} * 3.16 \times 10^{-2})^{0.3}$$

$$Sh = 452.4$$

El coeficiente de transferencia de masa es

$$h_{m\acute{a}sico} = \frac{Sh * D_{ab}}{L_c}$$

Ecuación 19

$$h_{m\acute{a}sico} = \frac{(452.4) * \left(3.05 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right)}{4.16 \text{ m}} = 3.32 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La masa evaporada es:

$$M_{evap} = h_{m\acute{a}sico} * A * (\rho_{vs} - \rho_{v\infty})$$

Ecuación 20

$$M_{evap} = \left(3.32 \times 10^{-2} \frac{m}{s}\right) * (312.5 \text{ m}^2) * \left(0.027 \frac{kg}{m^3} - 0.016 \frac{kg}{m^3}\right)$$

$$M_{evap} = 1.59 \times 10^{-2} \frac{kg}{s}$$

$$Q_{evap} = M_{evap} * h_{fg28^{\circ}C}$$

Ecuación 21

$$h_{28^{\circ}C} = \text{entalpía a } 28^{\circ}C = 2432 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_{evap} = \left(1.59 \times 10^{-2} \frac{kg}{s}\right) * \left(2432 \frac{kJ}{kg}\right)$$

$$Q_{evap} = 38.83 \frac{kJ}{s}$$

### 2.1.3. Pérdidas de calor por radiación en alberca

Es la energía que la alberca pierde por irradiación hacia la atmósfera. Por la noche son las más tendientes a perder ese calor. Con ayuda de una manta protectora se reduce significativamente las pérdidas por irradiación. Utilizamos la ley de Stefan-Boltzmann:

$$Q_{rad} = \text{pérdidas de calor por radiación} = \sigma \epsilon A (T_w^4 - T_{\infty}^4)$$

Ecuación 22

$$\sigma = \text{constante de Stefan - Boltzmann} = 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{K^4 m^2}$$

$$\varepsilon = \text{emisividad} = 0.91$$

$$Q_{rad} = \left( 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{K^4 m^2} \right) * (0.91) * (312.15 m^2) * (301 K^4 - 289 K^4)$$

$$Q_{rad} = 19.88 \frac{kJ}{s}$$

#### 2.1.4. Pérdidas de calor por renovación en alberca

En la alberca existen pérdidas de calor debido a la entrada o salida de nadadores, pero ella no llega a más de 5% del total diariamente. Ahora se calcula la pérdida de calor por renovación de agua:

$$Q_{renova} = V \cdot \rho_{agua} \cdot Cp \cdot (T_w - T_{grifo})$$

Ecuación 23

Donde tenemos:

$$V = 5\% \text{ del volumen del aguade la alberca} = 500 m^3 * 0.05 = 25 \frac{m^3}{día}$$

$$\rho_{agua} = \text{densidad del agua} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

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

$$Cp = 4.18 \frac{kJ}{kg^\circ C}$$

$$Q_{renova} = \left( 25 \frac{m^3}{día} \right) * \left( 1000 \frac{kg}{m^3} \right) * \left( 4.18 \frac{kJ}{kg^\circ C} \right) * (28 \text{ } ^\circ C - 15.5 \text{ } ^\circ C)$$

$$Q_{renova} = 1.306 \times 10^6 \frac{kJ}{día} = 15.11 \frac{kJ}{s}$$

### 2.1.5. Pérdidas de calor por conducción en alberca

Existen pérdidas por conducción a través de las paredes y el piso de la alberca, para determinar estas pérdidas de calor se emplea la fórmula

$$Q_{conducción} = UA (T_w - T_{suelo})$$

Ecuación 24

Donde:

$$U = \text{coeficiente de transferencia de calor} = 0.6 \frac{W}{K m^3}$$

$$A = \text{área de las paredes y fondo} = [m^2]$$

$$\text{Área del suelo} = 312 m^2$$

$$\text{Área de dos paredes largas} = 100 m^2$$

$$\text{Área de dos paredes cortas} = 25 m^2$$

$$A = 437.5 m^2$$

$$T_{suelo} = 290 K$$

$$Q_{conducción} = \left(0.6 \frac{W}{K m^3}\right) * (437.5 m^2) * (301 K - 290 K)$$

$$Q_{conducción} = 3.36 \frac{kJ}{s}$$

## 2.2. Pérdidas de calor en la tina de hidromasaje

Se realizan el mismo procedimiento, pero para la tina de hidromasaje de una longitud de 2m por ancho de 2m. Y con las mismas ecuaciones.

### 2.2.1. Pérdidas por convección

Las condiciones de la tina de hidromasaje son:

La temperatura de película es:

$T_{\infty} = \text{temperatura en el infinito}$

$T_{wt} = \text{temp. superficie de la tina de hidromasaje} = 38^{\circ}\text{C} = 311\text{ K}$

$$T_{ft} = \text{Temperatura de película en la tina de hidromasaje} = \frac{T_{wt} + T_{\infty}}{2}$$
$$= \frac{38^{\circ}\text{C} + 16^{\circ}\text{C}}{2} = 27^{\circ}\text{C} = 300\text{ K}$$

$$\beta = \text{coeficiente de expansión volumétrica} = \frac{1}{T_{ft}} = \frac{1}{300\text{ K}}$$
$$= 3.33 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

Dimensiones de tina de hidromasaje:

$A = \text{área de la tina de hidromasaje} = 4\text{ m}^2$

$P = \text{perímetro} = 8\text{ m}$

$$L_c = \text{longitud característica} = \frac{4\text{ m}^2}{8\text{ m}} = 0.5\text{ m}$$

$$Gr = \frac{g \beta (T_{wt} - T_{\infty}) L_c^3}{\nu^2}$$

$$Gr = \frac{\left(9.8 \frac{m}{s^2}\right) (3.33 \times 10^{-3} K^{-1}) (311 K - 289 K) (0.5 m)^3}{\left(0.685 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}\right)^2} = 1.92 \times 10^{11}$$

$$Ra = Pr * Gr$$

$$Ra = (6.42)(1.92 \times 10^{11})$$

$$Ra = 1.23 \times 10^{12}$$

$$Nu = 0.17(Gr Pr)^{0.25}$$

$$Nu = 0.17(1.23 \times 10^{14})^{0.25}$$

$$Nu = 179$$

$$k = \text{conductividad térmica} = 0.024 \frac{W}{mK}$$

$$h = \frac{Nu * k}{L_c}$$

$$h = \frac{(179) \left(0.024 \frac{W}{mK}\right)}{0.5 m}$$

$$h = 8.6 \frac{W}{m^2K}$$

De esta manera determinamos la pérdida de calor por convección:

$$Q_{conveccion} = hA(T_{wt} - T_{\infty})$$

$$Q_{conveccion} = \left(8.6 \frac{W}{m^2K}\right) (311 K - 289 K)(4 m^2)$$

$$Q_{conveccion} = 756.27 W \left[\frac{J}{s}\right]$$

$$Q_{conveccion} = 0.756 \left[\frac{kJ}{s}\right]$$

## 2.2.2. Pérdidas de calor por evaporación en tina de hidromasaje

Las condiciones son:

$p_{vap \infty}$  = presión de vapor en el infinito [kPa]

$p_{vap cdmx}$  = presión de vapor en la cdmx = 1.8187 kPa

$$p_{vap \infty} = f \cdot p_{vap cdmx}$$

$$p_{vap \infty} = (0.65)(1.8187 \text{ kPa}) = 1.18 \text{ kPa}$$

Para calcular la tasa de evaporación se debe encontrar la concentración de vapor de agua en la interface agua-aire.

$p_{wt}$  = presión de saturación de vapor a temp. del agua en la tina  
= 6.63 kPa

En la superficie tenemos:

$\rho_{vs}$  = densidad de vapor en la superficie  $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

$$\rho_{vs} = \frac{P_w}{R_{vap} T_{wt}}$$

$R_{vap}$  = constante universal de vapor =  $0.4528 \frac{kPa \cdot m^3}{kg \cdot K}$

$$\rho_{vs} = \frac{(6.63 \text{ kPa})}{\left(0.4528 \frac{kPa \cdot m^3}{kg \cdot K}\right) * (311 \text{ K})} = 0.047 \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_{as} = \frac{p_{as}}{R_{as} T_{wt}}$$

$$R_{as} = \text{constante universal del aire en la superficie} = 0.287 \frac{\text{kPa m}^3}{\text{kg K}}$$

$$p_{as} = p_{atm} - p_{wt} = 77.98 \text{ kPa} - 6.63 \text{ kPa} = 71.34 \text{ kPa}$$

$$\rho_{as} = \frac{(71.34 \text{ kPa})}{\left(0.287 \frac{\text{kPa m}^3}{\text{kg K}}\right) * (311 \text{ K})} = 0.79 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{sup} = \text{densidad en la superficie} = \rho_{vs} + \rho_{as}$$

$$\rho_{sup} = \left(0.047 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) + \left(0.799 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) = 0.846 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

a. Densidad en el infinito:

$$\rho_{v\infty} = \frac{P_{vap\infty}}{R_{vap} T_{\infty}}$$

Donde:

$$p_{vap\infty} = \text{presión de vapor en el infinito} = 1.8188$$

$$\rho_{v\infty} = \frac{(1.8181 \text{ kPa})}{\left(0.4528 \frac{\text{kPa m}^3}{\text{kg K}}\right) * (289 \text{ K})} = 0.0116 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Del mismo modo se calcula la densidad del aire en el infinito:

$$\rho_{a\infty} = \frac{P_{as}}{R_{as} T_{\infty}}$$

$$\rho_{a\infty} = \frac{(71.34 \text{ kPa})}{\left(0.287 \frac{\text{kPa}\cdot\text{m}^3}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right) * (289 \text{ K})} = 0.86 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{\infty} = \text{densidad en el infinito} = \rho_{v\infty} + \rho_{a\infty}$$

$$\rho_{\infty} = \left(0.0116 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) + \left(0.86 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) = 0.87 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Gr = \frac{\left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \left(0.87 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 0.84 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) (0.5 \text{ m})^3}{\left(0.963 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right)^2 \left(0.87 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 0.84 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} = 1.95 \times 10^{10}$$

$$Gr * Pr = 1.25 \times 10^{11}$$

$$Sc = \frac{\vartheta}{D_{ab}}$$

$$D_{ab} = 3.05 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Sc = \frac{9.63 \times 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}{3.05 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 3.16 \times 10^{-2}$$

$$Sh = Nu$$

$$Sh = 0.17(Gr Sc)^{0.3}$$

$$Sh = 0.17(1.95 \times 10^{10} * 3.16 \times 10^{-2})^{0.3}$$

$$Sh = 73.65$$

El coeficiente de transferencia de masa es

$$h_{\text{másico}} = \frac{Sh \cdot D_{ab}}{L_c}$$

$$h_{\text{másico}} = \frac{(73.65) * \left(3.05 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}\right)}{0.5 \text{ m}} = 4.49 \times 10^{-3} \frac{m}{s}$$

La masa evaporada es:

$$M_{\text{evap}} = h_{\text{másico}} * A * (\rho_{vs} - \rho_{v\infty})$$

$$M_{\text{evap}} = \left(4.49 \times 10^{-3} \frac{m}{s}\right) * (0.5 \text{ m}^2) * \left(0.047 \frac{kg}{m^3} - 0.016 \frac{kg}{m^3}\right)$$

$$M_{\text{evap}} = 7.95 \times 10^{-5} \frac{kg}{s}$$

$$Q_{\text{evap}} = M_{\text{evap}} * h_{fg38^\circ C}$$

$$h_{38^\circ C} = \text{entalpía a } 38^\circ C = 2410.38 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_{\text{evap}} = \left(7.95 \times 10^{-5} \frac{kg}{s}\right) * \left(2410.38 \frac{kJ}{kg}\right)$$

$$Q_{\text{evap}} = 0.19 \frac{kJ}{s}$$

### 2.2.3. Pérdidas de calor por radiación en tina de hidromasaje

En esta parte utilizamos los valores en las condiciones de la tina de hidromasaje para calcular la pérdida de calor por radiación

$$Q_{rad} = \text{pérdidas de calor por radiación} = \sigma \varepsilon A (T_w^4 - T_\infty^4)$$

$$\sigma = \text{constante de Stefan - Boltzmann} = 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{K^4 m^2}$$

$$\varepsilon = \text{emisividad} = 0.91$$

$$Q_{rad} = \left( 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{K^4 m^2} \right) * (0.91) * (4 m^2) * (311 K^4 - 289 K^4)$$

$$Q_{rad} = 0.49 \frac{kJ}{s}$$

### 2.2.4. Pérdidas de calor por renovación de agua en tina de hidromasaje

Como anteriormente apuntamos la cantidad de agua perdida por renovación no debe excederse el 5% del volumen total

$$Q_{renova} = V \cdot \rho_{agua} \cdot Cp \cdot (T_{wt} - T_{grifo})$$

Donde tenemos:

$$V = 5\% \text{ del volumen del aguade la alberca} = 8 m^3 * 0.05 = 0.4 \frac{m^3}{día}$$

$$\rho_{agua} = \text{densidad del agua} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

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

$$Cp = 4.18 \frac{kJ}{kg^\circ C}$$

$$Q_{renova} = \left(0.4 \frac{m^3}{día}\right) * \left(1000 \frac{kg}{m^3}\right) * \left(4.18 \frac{kJ}{kg^{\circ}C}\right) * (28^{\circ}C - 15.5^{\circ}C)$$

$$Q_{renova} = 0.43 \frac{kJ}{s}$$

### 2.2.5. Pérdidas de calor por conducción en tina de hidromasaje

También en este caso se utiliza misma fórmula que aplicamos con anterioridad:

$$Q_{conducción} = UA(T_{wt} - T_{suelo})$$

Donde:

$$U = \text{coeficiente de transferencia de calor} = 0.6 \frac{W}{K m^3}$$

$$A = \text{área de las paredes y fondo} = [m^2]$$

$$\text{Área del suelo} = 4 m^2$$

$$\text{Área de cuatro paredes} = 16 m^2$$

$$A = 20 m^2$$

$$T_{suelo} = 290 K$$

$$Q_{conducción} = \left(0.6 \frac{W}{K m^3}\right) * (20 m^2) * (311 K - 290 K)$$

$$Q_{conducción} = 0.25 \frac{kJ}{s}$$

### 2.3. Pérdidas de calor por agua caliente para duchas

El gasto de energía para calentar el agua de las duchas, se puede obtener mediante el cálculo de la energía requerida para elevar la temperatura del agua de la red a la temperatura requerida en la ducha (40°C); así como la cantidad de agua requerida en las duchas en un periodo dado.

$$Q_{acs} = n \cdot V \cdot C_p \cdot (T_u - T_{grifo})$$

Ecuación 25

Donde:

$$Q_{acs} = \text{Gasto de energía por agua caliente sanitaria} \frac{\text{kJ}}{\text{mes}}$$

$n$  = número de duchas por mes

$$V = \text{volumen promedio de agua gastada en cada ducha} \frac{\text{kg}}{\text{ducha}}$$

$$c_p = \text{capacidad calorífica del agua} \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$T_u = \text{temperatura del agua caliente } ^\circ\text{C}$$

Consideraciones:

- El número de duchas al mes es obtenido a través del número de toallas que utilizan las personas y del cual se tiene un registro de 4,235 toallas en promedio al mes durante un año de registro.
- La cantidad máxima de agua utilizada por persona en la ducha = 30 litros.
- La densidad del agua = 1 kg/litro

Desarrollando la fórmula:

$$Q_{acs} = \left(4,235 \frac{\text{duchas}}{\text{mes}}\right) \left(30 \frac{\text{kg}}{\text{ducha}}\right) \left(4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}\right) (40^\circ\text{C} - 15.5^\circ\text{C})$$

$$Q_{acs} = 1.3 \times 10^7 \frac{\text{kJ}}{\text{mes}} = 5.01 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

## Capítulo 3. Análisis de resultados

### 3.1. Matriz energética del sistema térmico

Con base en los cálculos desarrollados en la metodología, se hace una recopilación de la cantidad de energía consumida o las pérdidas de calor obtenidas por cada uso final: alberca, tina de hidromasaje y duchas. En la Tabla 3.1. se muestra un resumen por cada tipo de pérdida en kJ/s.

Tabla 3.1. Matriz de consumo energético por uso final térmico, en kJ/s

<b>Pérdidas de calor [kJ/s]</b>	<b>Alberca</b>	<b>Tina de hidromasaje</b>	<b>Duchas</b>	<b>Total, usos finales</b>
<b>Convección</b>	13.87	0.76	---	14.63
<b>Evaporación</b>	38.83	0.19	---	39.02
<b>Radiación</b>	19.88	0.49	---	20.37
<b>Renovación</b>	15.11	0.43	---	15.54
<b>Conducción</b>	3.36	0.25	---	3.61
<b>Total [kJ/s]</b>	<b>91.05</b>	<b>2.12</b>	<b>5.09</b>	<b>98.26</b>
<b>Total [%]</b>	<b>92.7%</b>	<b>2.2%</b>	<b>5.2%</b>	<b>100.0%</b>

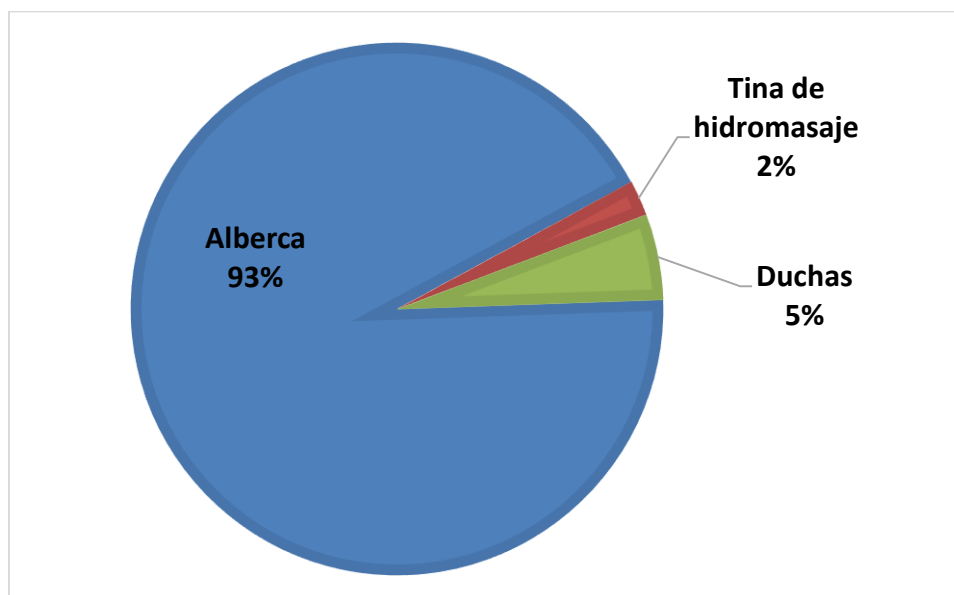
Los consumos antes señalados son calculados en un instante dado, esto es por segundo, se puede decir que es la demanda requerida en un instante, pero ahora en la Tabla 3.2. Se muestran los valores de consumo de energía mensual por servicio, en GJ/mes.

Tabla 3.2. Matriz de consumo energético por uso final térmico, en GJ/mes

Pérdidas de calor [GJ/mes]	Alberca	Tina de hidromasaje	Duchas	Total usos finales
Convección	35.95	1.97	---	37.92
Evaporación	100.65	0.49	---	101.14
Radiación	51.53	1.27	---	52.80
Renovación	39.17	1.11	---	40.28
Conducción	8.71	0.65	---	9.36
<b>Total [GJ/mes]</b>	<b>236.00</b>	<b>5.50</b>	<b>13.19</b>	<b>254.69</b>
<b>Total [%]</b>	<b>92.7%</b>	<b>2.2%</b>	<b>5.2%</b>	<b>100.0%</b>

Los resultados de la cuantificación del consumo de energía y pérdidas de los usos finales de la energía térmica se muestran en la Figura 3.1., donde se observa que las pérdidas de calor en la alberca representan el principal consumidor de energía con respecto al total de usos finales.

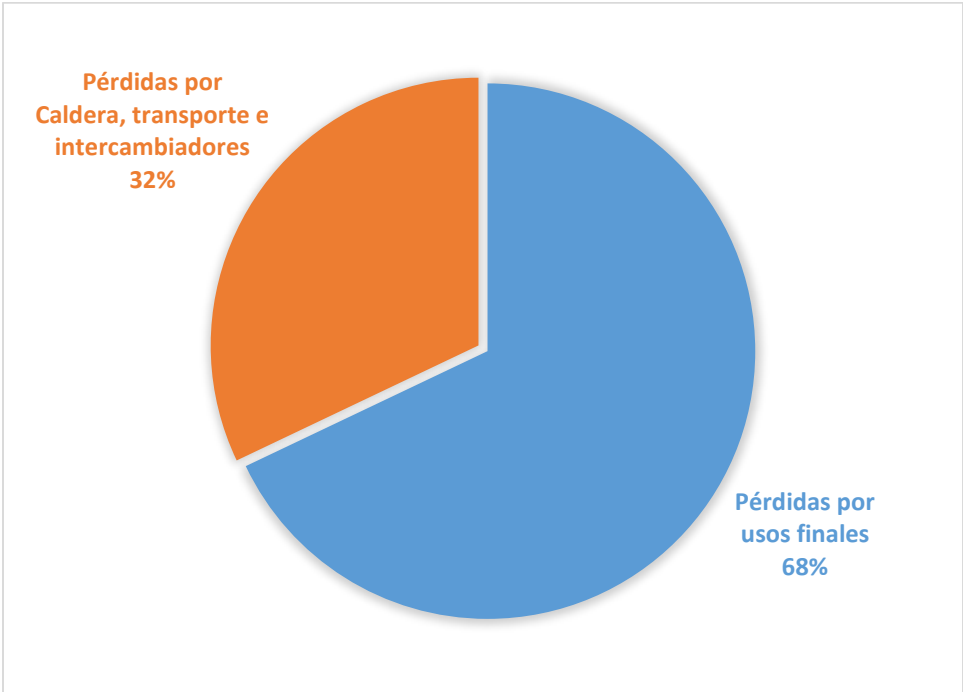
Figura 3.1. Consumo energético por uso final, en porcentaje



Fuente: Propia

Si se considera que el consumo mínimo de energía mensual que se tiene registrado en el deportivo es 375 GJ/mes y la consumida por usos finales es 254 GJ/mes, entonces el porcentaje de usos finales de la energía (alberca, tina de hidromasaje y duchas), representan el 68% del total. Esto significaría, que el resto de las pérdidas de energía puede deberse por la generación de vapor (caldera), el transporte del vapor (por ductos), así como por los intercambiadores de calor (Figura 3.2.), entre otros.

Figura 3.2. Distribución de las pérdidas totales de energía térmica



Fuente: Propia

El total de energía térmica por usos finales se mostró en la Figura 3.1. donde el área que consume mayor cantidad de energía calórica es la alberca con poco más de 90% del total. En este sentido, al ser el segmento de mayor consumo, también representa el segmento con las mejores oportunidades de proponer acciones de eficiencia energética y obtener mayores ahorros de energía.

### 3.2. Indicadores de intensidad energética

La energía consumida por actividad o unidad de producción se le conoce como intensidad energética. La intensidad generalmente se reporta como un índice de energía consumida por algún indicador económico (Houssin, 2015).

El valor de la intensidad energética depende de agentes como tipo de industria, costo del servicio energético sea térmico o eléctrico, tamaño del país, el clima, la eficiencia energética y más (Houssin, 2015). En el caso específico del deportivo Junior Club, los indicadores globales se presentan en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Índices globales de intensidad energética del deportivo Junior Club

Características	Unidad	Cantidad
<b>Datos globales</b>		
<b>Número de usuarios al año</b>	$\frac{Usuarios}{año}$	250,163.0
<b>Superficie del terreno</b>	m <sup>2</sup>	13,264.0
<b>Superficie construida</b>	m <sup>2</sup>	2,155.0
<b>Consumo de electricidad</b>	$\frac{kWh}{año}$	285,973
<b>Consumo de electricidad</b>	$\frac{GJ_{electrico}}{año}$	1,029.5
<b>Consumo de gas LP</b>	$\frac{GJ_{térmicos}}{año}$	4500
<b>Consumo de energía TOTAL (Electricidad + gas LP)</b>	$\frac{GJ}{año}$	5529.5
<b>Indicadores globales</b>		
<b>Índice eléctrico por usuario</b>	$\frac{kWh}{usuario}$	1.14
<b>Índice térmico por usuario</b>	$\frac{GJ_{térmicos}}{usuario}$	0.017
<b>Índice global (eléctrico + térmico) por usuario</b>	$\frac{GJ}{usuario}$	0.022

Índice eléctrico por superficie del terreno	$\frac{kWh}{año\ m^2}$	21.56
Índice térmico por superficie del terreno	$\frac{GJ_{t\u00e9rmicos}}{a\u00f1o - m^2}$	0.033
Índice global (el\u00e9ctrico + t\u00e9rmico) por superficie del terreno	$\frac{GJ}{a\u00f1o - m^2}$	0.041
Índice eléctrico por superficie construida	$\frac{kWh}{a\u00f1o\ m^2}$	132.70
Índice térmico por superficie construida	$\frac{GJ_{t\u00e9rmicos}}{a\u00f1o - m^2}$	0.17
Índice global (el\u00e9ctrico + t\u00e9rmico) por superficie construida	$\frac{GJ}{a\u00f1o - m^2}$	2.56

Fuente: propia

Es preferible que los indicadores energ\u00e9ticos sean reportados como una cantidad de energ\u00eda utilizada al final de cada \u00e1rea consumidora, o sea el nivel m\u00e1s desagregado posible del uso final, a raz\u00f3n de representar con mayor fidelidad la eficiencia energ\u00e9tica y con ello propuestas de ahorro energ\u00e9tico (Houssin, 2015).

Desarrollar indicadores de eficiencia energ\u00e9tica de uso final tiene valor si existen los datos y recursos para hacerlo, a fin de poder calcular la eficiencia global del sistema energ\u00e9tico.

## Capítulo 4. Evaluación de alternativas de ahorro

Derivado de los resultados obtenidos en la distribución de la energía en el sistema térmico de la instalación deportiva (matriz energética), se observa que el principal consumidor de energía térmica es la alberca (con 93% del consumo total); por lo que los esfuerzos para reducir sensiblemente los costos energéticos en el sistema térmico se concentran en este servicio.

En este sentido, se presentan dos propuestas de ahorro energético en el sistema térmico de la alberca:

- a. Propuesta de uso de cubierta térmica.
- b. Propuesta de utilización de paneles solares térmicos para:
  - b.1. Desplazar 10% del consumo de energía total (térmica).
  - b.2. Desplazar 20% del consumo de energía total (térmica).

### 4.1. Propuesta de uso de cubierta térmica en la alberca

Se propone la utilización de una cubierta de térmica de operación anual hecha de material polyair (polímeros de alta resistencia a los rayos solares) autoflotante, con pieza de enrolladores, que puede reducir hasta un 70% de pérdidas de energía con un tiempo de vida estimado de 5 años.

#### **Beneficios energéticos y económicos**

El cálculo del ahorro de gas LP se evalúa en litros por mes tomando en cuenta una reducción de 70% de las pérdidas por radiación en la alberca y considerando que el ahorro por reducción de pérdidas sólo será durante la noche, en un intervalo de cuatro horas.

Pérdidas totales por radiación en la alberca	51.53	GJ/mes
Pérdidas por radiación durante la noche (4 h/d)	8.59	GJ/mes
Ahorro del 70% de las pérdidas por radiación (noche)	6.01	GJ/mes

Haciendo sólo la conversión de GJ en litros de gas LP, se considera que:

Poder calorífico neto del Gas LP = 4.124 GJ/barril (SENER, 2014)

Un barril = 158.9875 litros (SENER, sf)

Ahorro energético de gas LP	231.76	litros/mes
Precio promedio del gas LP	\$7.50	\$/litro
Ahorro económico por gas LP (mensual)	\$1,738.22	\$/mes
Ahorro económico por gas LP (anual)	\$20,858.59	\$/año

### Inversión requerida

Los costos para la implementación de la cubierta se presentan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Cotización de cubierta térmica de aire sellado tipo autoflotante

Equipo	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Importe
<b>Autoflotante 12 micras de espesor con medidas de 25.75 y 6.35 m</b>	Pza.	2	\$8,106.3	\$16,212.6
<b>Enrollador</b>	Pza.	2	\$10,362.5	\$20,725.0
<b>Grapas tirantes para uso del Enrollador</b>	Pza.	13	\$160.0	\$2,080.0
			Subtotal	\$39,017.6
			I.V.A.	\$6,242.8
			<b>TOTAL</b>	<b>\$45,260.4</b>

## Evaluación de la rentabilidad del proyecto

Conociendo la inversión inicial al adquirir la cubierta térmica de aire sellado y los beneficios económicos, entonces se procede a calcular el valor presente neto (VPN) considerando un periodo de vida de cinco años y una tasa de inversión de 8% anual (Tabla 4.2.).

Tabla 4.2. Valor presente neto (VPN) de la propuesta de una cubierta térmica

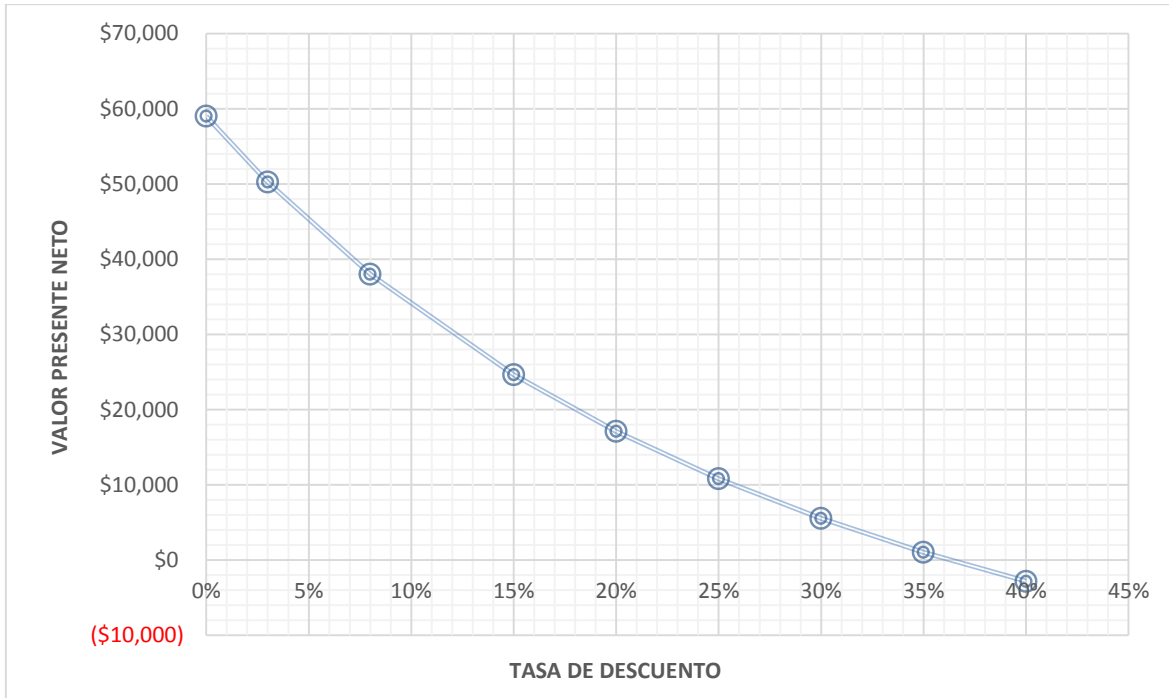
No. Periodos	Flujo Neto de efectivo (FNE)	Factor $(1 + i)^n$	FNE / $(1 + i)^n$
0	-45,260	---	-45,260
1	20,859	1.08	19,314
2	20,859	1.17	17,883
3	20,859	1.26	16,559
4	20,859	1.36	15,332
5	20,859	1.47	14,196
		<b>VPN</b>	<b>38,024</b>

El valor presente neto (VPN) es el método más usado para evaluar la rentabilidad de los proyectos de inversión. Cuando el VPN es positivo, significa que el proyecto es rentable, y en este caso arroja un beneficio de \$38,024.

Otro método utilizado para determinar la rentabilidad del proyecto, es la tasa interna de retorno (TIR), que nos permite encontrar la máxima tasa de inversión que puede ofrecer el proyecto en función del VPN. Esto se puede observar en la Figura 4.1., en donde el proyecto se evalúa a diferentes tasas de inversión, las cuales van aumentando de manera progresiva, y en el momento que el VPN es igual a cero, se encuentra la TIR.

En nuestro caso, la TIR es de 36.28% anual (obtenido por fórmula), lo que significa que el proyecto puede ofrecer una tasa de inversión muy superior a la tasa de 8% con la que se evaluó la rentabilidad del proyecto.

Figura 4.1. Cálculo de la TIR de la propuesta de cubierta térmica



## 4.2. Propuesta de utilización de paneles solares térmicos

Para el uso de paneles térmicos se propuso un desplazamiento de la energía requerida de gas LP en 10 y 20% (en promedio anual).

### 4.2.1. Alternativa para desplazar 10% del consumo de energía total (térmica)

En primer término, se procederá a calcular el número de paneles solares mediante la fórmula:

$$A = \dot{m} \left( \frac{h_2 - h_1}{\eta * I} \right)$$

Ecuación 26

Tenemos:

$$A = \text{área} [m^2]$$

$$\dot{m} = \text{flujo másico} = 16416 \left[ \frac{L}{\text{día}} \right]$$

$$h_{2@28^\circ C} = 117.38 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{1@26^\circ C} = 109.02 \frac{kJ}{kg}$$

$\eta$  = eficiencia 70%

$$I = \text{irradiación} = 3500 \frac{kcal}{m^2 * \text{día}}$$

Entonces el área es de:

$$A = 13.20 [m^2]$$

$$A = 14 \text{ colectores}$$

Con los valores de la radiación solar y las temperaturas del agua en la alberca y temperatura ambiente se procede a calcular teóricamente la energía requerida y la energía disponible que calientan los 14 paneles solares.

La Tabla 4.3 muestra los ahorros mensuales de gas LP asociado a la radiación solar y la energía disponible, es indispensable puntualizar que el ahorro de 10% es un promedio anual, incrementándose el ahorro en temporadas de primavera y verano y decreciendo en otoño e invierno.

Se requieren 14 colectores solares. Los colectores serán colocados sobre la losa de la azotea. El flujo de recirculación y filtrado será de 3 galones/min en cada colector.

Tabla 4.3. Concentrado de requisitos energéticos a diferentes temperaturas y radiaciones solares

MESES DEL	TEMP.	RADIACION	TEMP.	ENERGIA	E. SOLAR	GAS DE APOYO	AHORRO MENSUAL
AÑO	AMBIENTE	SOLAR/m <sup>2</sup>	DEL AGUA	REQUERIDA	DISPONIBLE	REQUERIDO	
	(°C)	(kJ/m <sup>2</sup> día)	(°C)	(kJ/día)	(kJ/día)	(L)	(%)
Ener	12.6	14,644	28	8,163,273	545,343	12,687	6.68
Feb	14.4	17,782	28	7,316,000	662,202	10,366	9.05
Mzo	16.6	18,828	28	6,607,214	701,155	9,360	10.61
Abr	17.6	20,920	28	5,967,970	779,061	8,363	13.05
May	17.8	19,874	28	5,528,441	740,108	7,974	13.38
Jun	17.3	18,828	28	5,250,535	701,155	7,332	13.35
Jul	16	17,782	28	5,198,688	519,888	8,325	10.00
Ags	16.2	17,782	28	5,637,852	662,202	8,286	11.74
Sep	15.7	15,690	28	6,231,717	584,296	9,102	9.37
Oct	15	16,736	28	6,609,670	623,249	9,970	9.42
Nov	13.9	15,690	28	7,346,635	584,296	10,899	7.95
Dic	12.7	13,598	28	8,133,976	506,390	12,703	6.22
PRO: mes							10.21

### Beneficios energéticos y económicos

El cálculo del ahorro de gas LP se evalúa en litros por mes tomando en cuenta una reducción de 10% de las pérdidas en la alberca.

Es indispensable aclarar que la cantidad de energía consumida para mantener la alberca a la temperatura de confort se ve afectada por la radiación solar absorbida por la misma.

Esta cantidad de energía absorbida está dada por la fórmula:

$$Q_{absorvida} = A * I * T\% * \alpha$$

Ecuación 27

$A = \text{Área de la alberca} = m^2$

$I = \text{Radiación solar horizontal incidente} = \frac{kJ}{m^2}$

$T\% = \text{Transmitancia}\%$

$\alpha = \text{Absorvancia}\%$

$$Q_{absorvida} = 312.5m^2 * 17,782 \frac{kJ}{\text{día } m^2} * 0.8 * 0.6 = 2,667,300 \frac{kJ}{\text{día}}$$
$$= 30.9 \frac{kJ}{s}$$

La energía suministrada, calculada para mantener la alberca a temperatura de la alberca, es la diferencia entre la energía consumida menos la absorbida:

$$Q_{final} = 91.05 \frac{kJ}{s} - 30.8 \frac{kJ}{s} = 60.17 \frac{kJ}{s}$$

La Tabla 4.5 concentra la cantidad de energía requerida a diferentes temperaturas ambientales, afectada por las variables de cantidad de radiación solar y temperatura ambiental promedio de cada mes. La temperatura ambiental a la que se calculó la energía usada para la alberca fue de 16°C. Del mismo modo se muestran las cantidades porcentuales energéticas de ahorro mensual, en cada mes durante un año.

Pérdidas totales en la alberca	236.6	GJ/mes
Ganancia de calor	80.2	GJ/mes
Energía total	156.58	GJ/mes
Ahorro del 10%	15.6	GJ/mes

Haciendo sólo la conversión de GJ en litros de gas LP, se considera que:

Poder calorífico neto del Gas LP = 4.124 GJ/barril (SENER, 2014)

Un barril = 158.9875 litros (SENER, sf)

Ahorro energético de gas LP	601.40	litros/mes
Precio promedio del gas LP	\$7.50	\$/litro
Ahorro económico por gas LP (mensual)	\$14,510.56	\$/mes
Ahorro económico por gas LP (anual)	\$54,126.69	\$/año

### Inversión requerida

Los costos para la implementación de colectores solares se presentan en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Cotización de paneles foto térmicos par el ahorro de 10% de la energía.

PARTIDA	DESCRIPCION	CANT	PRECIO	IMPORTE
1	CONTROL AUTOMATICO HELIOTERMICO. MOD. USO-800 PARA SISTEMA SOLAR	1	4,110	4,110
2	COLECTORES SOLARES DE 3.8m2 (1.2X3.3m) MODELO "USOL-904", U-38, CON 15 AÑOS DE GARANTÍA	14	3,647.2	51,060.8
3	INSTALACION DEL EQUIPO, INCLUYE MATE RIAL Y MANO DE OBRA	1	25,000	25,000

<b>Subtotal</b>	<b>55,170.8</b>
<b>I.V.A.</b>	<b>8,827.3</b>
<b>Sub TOTAL</b>	<b>63,998.1</b>
<b>TOTAL</b>	<b>88,998.1</b>

## Evaluación de la rentabilidad del proyecto

Conociendo la inversión inicial al adquirir los colectores solares, el control automático y el costo de la instalación, los beneficios económicos, entonces se procede a calcular el valor presente neto (VPN) considerando un periodo de vida de quince años y una tasa de inversión de 8% anual. El valor presente neto es de \$374,297 (Tabla 4.5).

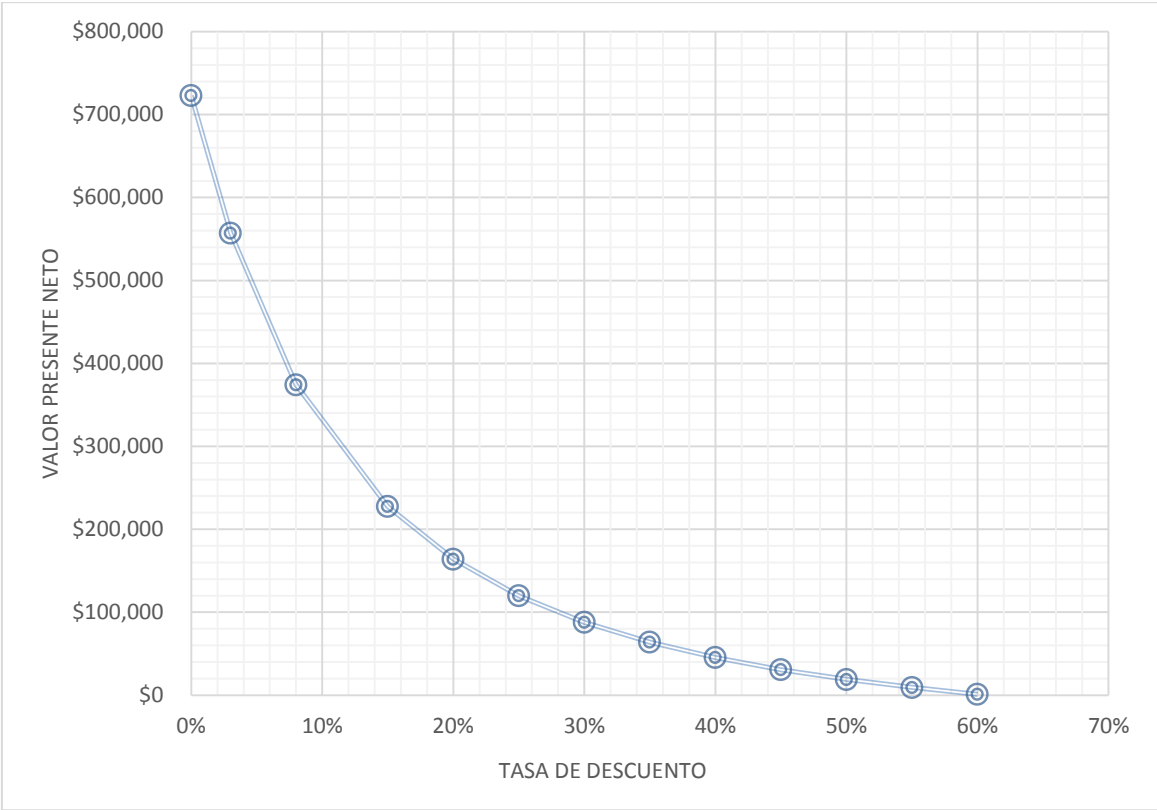
Tabla 4.5. Valor presente neto (VPN) de la propuesta colectores solares 10%.

No. Periodos	FNE	$(1 + i)^n$	FNE / $(1 + i)^n$
0	-88,998	---	-88,998
1	54,127	1.08	50,117
2	54,127	1.17	46,405
3	54,127	1.26	42,968
4	54,127	1.36	39,785
5	54,127	1.47	36,838
6	54,127	1.59	34,109
7	54,127	1.71	31,582
8	54,127	1.85	29,243
9	54,127	2.00	27,077
10	54,127	2.16	25,071
11	54,127	2.33	23,214
12	54,127	2.52	21,494
13	54,127	2.72	19,902
14	54,127	2.94	18,428
15	54,127	3.17	17,063
<b>TOTAL</b>			<b>374,298</b>

La tasa interna de retorno bajo estas circunstancias muestra un comportamiento mostrado en la Figura 4.2., en donde el proyecto se evalúa a diferentes tasas de inversión, las cuales van aumentando de manera progresiva, y en el momento que el VPN es igual a cero, se encuentra la TIR.

La TIR es de 60.77% anual (obtenido por fórmula), lo que significa que el proyecto puede ofrecer una tasa de inversión muy superior a la tasa propuesta de 8%.

Figura 4.2. Cálculo de la TIR de la propuesta de colectores solares en 10%



4.2.2. Alternativa para desplazar 20% del consumo de energía total (térmica)

Aplicando el mismo procedimiento de cálculo que se realizó para la propuesta de 10%, pero ahora con 20%, se determina que se requieren 28 colectores solares. Los colectores serán colocados sobre la losa de la azotea. El flujo de recirculación y filtrado será de 3 galones/min en cada colector, observe la Tabla 4.6, que presenta el ahorro mensual de gas LP asociado a la radiación solar y la energía disponible, es indispensable puntualizar como anteriormente se dijo que el ahorro de 20% es un promedio anual.

Tabla 4.6. Concentrado de requisitos energéticos a diferentes temperaturas y radiaciones solares.

MESES DEL	TEMP.	RADIACION	TEMP.	ENERGIA	E. SOLAR	GAS DE APOYO	AHORRO MENSUAL
AÑO	AMBIENTE	SOLAR/m2	DEL AGUA	REQUERIDA	DISPONIBLE	REQUERIDO	
	(°C)	(kJ/m2 día)	(°C)	(KJ/día)	(KJ/día)	(L)	(%)
<b>ENERO</b>	12.6	14,644	28	8,163,273	1,090.685	11,779	13.36
<b>FEBRERO</b>	14.4	17,782	28	7,316,000	1,324.403	9,335	18.1
<b>MARZO</b>	16.6	18,828	28	6,607,214	1,402.309	8,668	21.22
<b>ABRIL</b>	17.6	20,920	28	5,967,970	1,558.122	7,107	26.11
<b>MAYO</b>	17.8	19,874	28	5,528,441	1,480.216	6,742	26.77
<b>JUNIO</b>	17.3	18,828	28	5,250,535	1,402.309	6,202	26.71
<b>JULIO</b>	16	17,782	28	5,199,420	1,216.664	7,222	23.4
<b>AGOSTO</b>	16.2	17,782	28	5,637,852	1,324.403	7,184	23.49
<b>SEPTIEMBRE</b>	15.7	15,690	28	6,231,717	1,168.591	8,160	18.75
<b>OCTUBRE</b>	15	16,736	28	6,609,670	1,246.497	8,932	18.86
<b>NOVIEMBRE</b>	13.9	15,690	28	7,346,635	1,168.591	9,957	15.91
<b>DICIEMBRE</b>	12.7	13,598	28	8,133,976	1,012.779	11,860	12.45
<b>PROM.MENS</b>							20.43

### Beneficios energéticos y económicos

El cálculo del ahorro de gas LP se evalúa en litros por mes tomando en cuenta una reducción de 20% de ahorro en la alberca.

Pérdidas totales en la alberca	236.6	GJ/mes
Ganancia de calor	80.2	GJ/mes
Energía total	156.58	GJ/mes
Ahorro del 20%	31.31	GJ/mes

Haciendo sólo la conversión de GJ en litros de gas LP, se considera que:

Poder calorífico neto del Gas LP = 4.124 GJ/barril (SENER, 2014)

Un barril = 158.9875 litros (SENER, sf)

Ahorro energético de gas LP	1207.05	litros/mes
Precio promedio del gas LP	\$7.50	\$/litro
Ahorro económico por gas LP (mensual)	\$9,052.92	\$/mes
Ahorro económico por gas LP (anual)	\$108,635.03	\$/año

### Inversión requerida

Los costos para la implementación de 28 colectores solares se presentan en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7. Cotización para la propuesta de 28 paneles solares.

PARTIDA	DESCRIPCION	CANT	PRECIO	IMPORTE
1	CONTROL AUTOMATICO HELIOTERMICO MOD. USO-800 PARA SISTEMA SOLAR	1	4,110	4,110
2	COLECTORES SOLARES DE 3.8m2 (1.2X3.3m) MODELO "USOL-904", U-38, CON 15 AÑOS DE GARANTIA*	28	3,647.2	10,2121.6
3	INSTALACION DEL EQUIPO, INCLUYE MATE RIAL Y MANO DE OBRA	1	25,000	25,000

<b>subtotal</b>	<b>106,231.60</b>
<b>I.V.A.</b>	16,997.0
<b>Sub TOTAL</b>	123,228.6
<b>TOTAL</b>	148,228.6

## Evaluación de la rentabilidad del proyecto

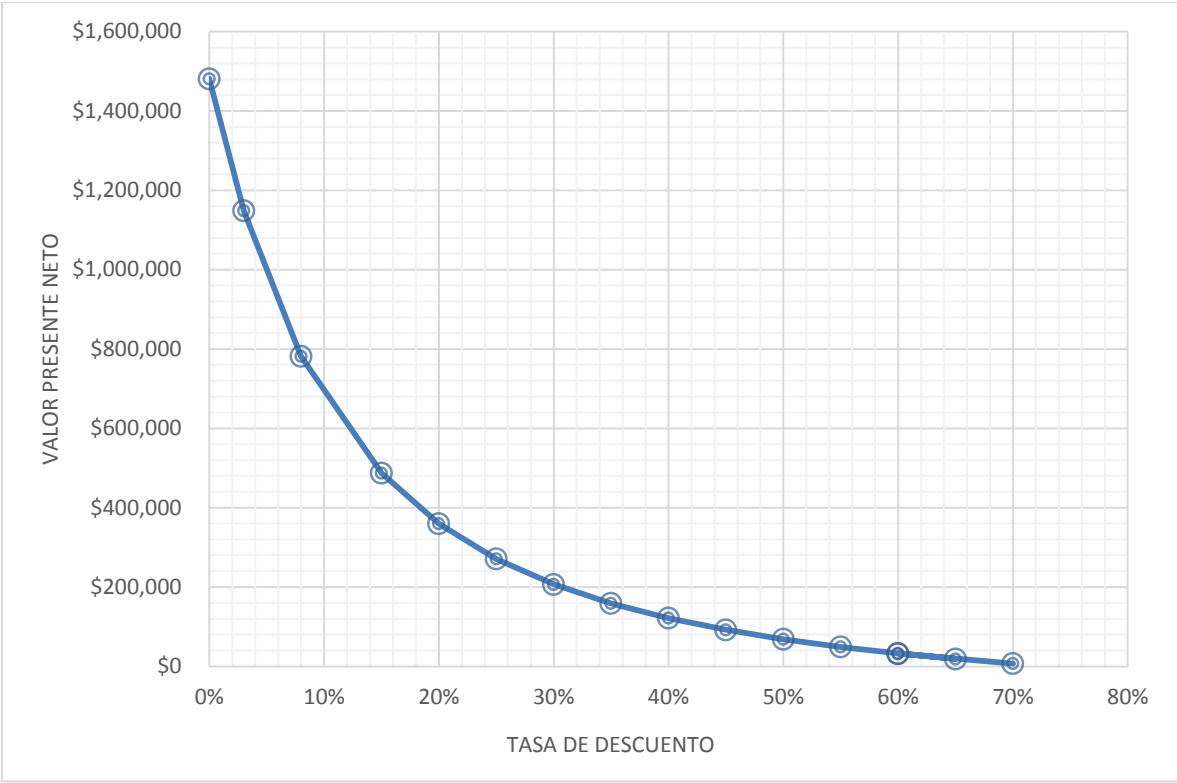
Conociendo la inversión inicial al adquirir los colectores solares, el control automático y el costo de la instalación, los beneficios económicos, entonces se procede a calcular el valor presente neto (VPN) considerando un periodo de vida de quince años y una tasa de inversión de 8% anual (Tabla 4.8). El valor presente neto es: \$781,631

Tabla 4.8. Valor presente neto (VPN) de la propuesta colectores solares 20%.

No. Periodos	FNE	$(1 + i)^n$	$FNE / (1 + i)^n$
0	-148,229	---	-148,229
1	108,635	1.08	100,588
2	108,635	1.17	93,137
3	108,635	1.26	86,238
4	108,635	1.36	79,850
5	108,635	1.47	73,935
6	108,635	1.59	68,458
7	108,635	1.71	63,387
8	108,635	1.85	58,692
9	108,635	2.00	54,345
10	108,635	2.16	50,319
11	108,635	2.33	46,592
12	108,635	2.52	43,140
13	108,635	2.72	39,945
14	108,635	2.94	36,986
15	108,635	3.17	34,246
<b>TOTAL</b>			<b>781,631</b>

La TIR es de 73.27% anual (obtenido por fórmula), lo que significa que el proyecto puede ofrecer una tasa de inversión muy superior a la tasa propuesta de 8%. Observe la figura 4.3

Figura 4.3. Cálculo de la TIR de la propuesta de colectores solares en 20%



## Conclusiones

En la actualidad la eficiencia energética en México está tomando un importante impulso con la implementación de diferentes programas, junto con la Secretaría de Energía y la Agencia Internacional de Energía presentan y describen orientaciones sobre la intensidad energética y la eficiencia energética; pero dada la vastedad de sectores consumidores de energía se carece de datos de eficiencia energética en algunas áreas prioritarias hasta el momento.

Desafortunadamente los clubes deportivos nacionales, siendo una entidad de servicio y por su naturaleza consumidora, no se cuenta con algún referente energético o si existiera es difícil su localización, de lo anterior se desprende la necesidad de tener datos de calidad.

Al poseer cifras apropiadas de eficiencia energética de calidad y disponibles en el momento adecuado, que sean comparables y con un alto grado de detalle además de que reflejen el consumo en áreas específicas se podrán establecerse acciones apropiadas de eficiencia energética.

Hoy en día la eficiencia energética es considerada como un combustible oculto, de hecho, ha mudado a ser el combustible principal porque existen casos que la inversión en eficiencia energética ha superado el gasto de cualquier combustible y por lo tanto el ahorro es proporcional a la inversión.

La gestión energética en una entidad o empresa es el análisis y cuantificación del consumo de la energía en un periodo determinado que implica generalmente un año para concluir en propuestas de implementación de sistemas de control de consumo de la energía. En el presente estudio se realizó tal hecho, al determinar la intensidad energética y proponer planes de eficiencia energética.

En el club deportivo “Junior Club” el consumo de energía total se compone de dos tipos: energía eléctrica y energía calórica producida por medio de gas LP. Del gasto total (facturación) por concepto de energía, la energía calórica representa 3/5 partes mientras que la electricidad representa 2/5; esto es, se paga una cantidad mayor por la energía de combustión que por la energía eléctrica.

Del suministro de energía total calórica de combustión solo 3/5 partes fueron aprovechables para mantener el grado de confort ofertado a los usuarios en el club deportivo, la restante se pierde durante el proceso en estadios como intercambiadores de calor, humos, transporte, entre otras cosas.

En la evaluación del desempeño energético, se cuantificó el gasto de energía calórica en las áreas consumidoras: alberca, duchas y tina de hidromasaje, encontrándose que la alberca representó el 68% de la energía utilizada, lo que nos dice que la mayor demanda de energía calórica final la representa la climatización de dicha alberca. El consumo en duchas y tina de hidromasaje representan 5% y 2%, respectivamente.

Con respecto al consumo de energía en la alberca, se determinó que las pérdidas por evaporación son las más significativas y que, mediante el balance energético, la demanda de energía final en la alberca es de 91.07 kJ/s. Del mismo modo la demanda energética final en la tina de hidromasaje es de 2.12 kJ/s y, por último, el caso de las duchas y lavabos su demanda final fue de 5.09 kJ/s.

El abultado consumo de energía calórica que representa el mantenimiento de la temperatura de confort en la alberca (de 28°C), mostró que existe en esta área un enorme segmento de oportunidades para echar a andar planes de ahorro energético como los propuestos: cubierta térmica y paneles térmicos.

La propuesta de la cubierta térmica se muestra como una oportunidad importante, al evaluar el proyecto de inversión a largo plazo (5 años) con el valor presente neto

el cual muestra un valor positivo de \$374,298. Con ello podremos concluir que la propuesta es rentable, lo cual se puede confirmar con la tasa interna de retorno de 32.28% anual.

En el caso de la propuesta de utilización de paneles térmicos para desplazar el 10% (14 paneles solares) y 20% (28 paneles solares) del consumo de energía total, también evidenció una alta rentabilidad con una la tasa interna de retorno de 60.77% y 73.27% respectivamente.

De las dos propuestas se recomienda inclinarse por la utilización 14 paneles solares, es decir desplazar solo el 10% del total energético. Esto debido a las dificultades de espacio que presenta el club.

Con los datos anteriores se demuestra el elevado beneficio que representa en este caso la implementación de dispositivos que desplaza el 10% de ahorro energético y su corto periodo de recuperación que está lindando entre uno y cinco años.

Por último, se calcularon los indicadores de intensidad energética destacándose el índice térmico por usuario (GJ-térmico/usuario) con valor de 0.017 y el índice de superficie (GJ-térmico/año m<sup>2</sup>) con valor de 0.033.

No obstante a lo anterior, el segmento de oportunidades para limitar el consumo energético utilizando dispositivos más eficientes es bastante amplio, algunas de ellas son la utilización de un economizador en la caldera para aprovechar el calor de los gases de chimenea que se expelen a 230°C.

Otra oportunidad se presenta en el aislamiento de los dos termos tanques que contienen el agua caliente para proveer a las duchas. En dichos termo tanques se pierde una apreciable cantidad de energía calórica por radiación al no contar alguna cubierta aislante.

Una acción más es la sustitución de la caldera Power-Master que tiene una antigüedad de más de 20 años, pero en este caso es claro que la inversión es muy alta y el tiempo de recuperación suele ser prolongado.

Existen grandes retos en el estudio de la eficiencia energética en clubes deportivos iniciando porque se necesita entre muchas cosas crear información de consumos energéticos, índices energéticos, entre más.

## Referencias Bibliográficas

- ACEE (2012). *Guía de apoyo docente: la eficiencia energética en la escuela*. Agencia Chilena de Eficiencia Energética (ACEE). Santiago de Chile, marzo de 2012.
- Holman, J. (1999). *Transferencia de calor*. CECOSA. Décima reimpresión, México.
- Miranda, J.C. (2017, 26 de febrero). *Aumentará 500% número de personas y empresas que venderán energía a CFE*. La Jornada. P.18
- SENER (2014). *Balance de Energía 2014*. Secretaría de Energía, México.
- UNEP (2007). *Handbook for drafting laws energy efficiency and renewable energy resources*. Unión national environment programmer. USA, 2007.

## Electrónica

- Cárcel, C.F. (2014). *Supervisión energética para monitorización y control de consumo eléctrico: Un caso práctico*. 3cienciasTecnología, vol. 4, (13). Pp.19-31.  
Disponible en:
  - <https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2015/03/SUPERVISI%C3%93N-ENERG%C3%89TICA-PARA-MONITORIZACI%C3%93N-Y-CONTROL-DE-CONSUMO-EL%C3%89CTRICO.-UN-CASO-PR%C3%81CTICO2.pdf>
- Cengel, Y. (2010). *Termodinámica*. México, D.F. McGraw-Hill
- CONADE (2015). *Registro Nacional de Infraestructura Deportiva*. Comisión Nacional de Cultura Física y Recreativa (CONADE). Disponible en:
  - [http://sistemas.conade.gob.mx/portalCenso/index\\_2.aspx](http://sistemas.conade.gob.mx/portalCenso/index_2.aspx)
- Condori, Y.R. (2010). *Estudio para la climatización de la piscina y la producción de agua caliente sanitaria ACS con energía solar de la UNAP*. IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar. XVII Simposio Peruano de Energía Solar. Simposio llevado a cabo en Cusco Perú. Recuperado de:
  - [http://perusolar.org/17-spes-ponencias/02/ConversionTermica/CondoriYucraReynaldo/Condori\\_Yucra\\_Reynaldo.pdf](http://perusolar.org/17-spes-ponencias/02/ConversionTermica/CondoriYucraReynaldo/Condori_Yucra_Reynaldo.pdf)
- Criollo, C. & Pogo, G. (2011). *Diseño de un sistema dual de calentamiento de agua, por medio de energía solar y gas LP y diseño estructural de la cubierta para*

*alberca de la hostería "Los Juanes" en el cantón Santa Isabel.* Tesis de pregrado, junio de 2011. Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca, Ecuador.

- <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1338/14/UPS-CT002086.pdf>
- ENTE (2009). *Fondos públicos para programas de ahorro de la energía y aprovechamiento de energías renovable México.* Energía, tecnología y educación. S.C. (ENTE). México. Tomado de:
  - <file:///C:/Users/juan%20carlos/Downloads/reporte especial8.pdf>
- Gas Natural Fenosa (Sin fecha). *Manual de eficiencia energética para pymes: Centros deportivos (CNAE 93.1).* Centro de Eficiencia Energética de Gas Natural Fenosa. España. Disponible en:
  - [http://www.planeficienciaenergetica.es/archivos/04\\_MEE\\_PYMES\\_centros\\_deportivos.pdf](http://www.planeficienciaenergetica.es/archivos/04_MEE_PYMES_centros_deportivos.pdf)
- FENERCOM (2008). *Guía de eficiencia energética en instalaciones deportivas.* Comunidad de Madrid. Consejería de Economía y Consumo, Dirección General de Industria Energía y Minas, y Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (FENERCOM). Disponible en:
  - <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-de-la-eficiencia-energetica-en-instalaciones-deportivas-fenercom.pdf>
- FENERCOM (2013). *Guía básica de Calderas Industriales Eficientes.* Comunidad de Madrid. Consejería de Economía y Consumo, Dirección General de Industria Energía y Minas, y Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (FENERCOM). Disponible en:
  - <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-basica-calderas-industriales-eficientes-fenercom-2013.pdf>
- Houssin, D; Gagne, J; Garnier, J (2015). *Indicadores de eficiencia energética: bases esenciales para el establecimiento de políticas.* Agencia Internacional de Energía (AIE) París Francia OCDE. Disponible en:
  - <http://www.revistavirtualpro.com/revista/eficiencia-energetica/20>
- INDESCAT (2012). *Proyecto EFISport: eficiencia energética en instalaciones deportivas.* Instituto Estadístico de Cataluña (INDESCAT). Disponible en:
  - [http://www.indescat.org/images/documentos/uploads/indescat\\_doc\\_ca\\_5\\_7\\_efi\\_sport\\_eficiencia\\_energetica\\_en\\_instal\\_la.pdf](http://www.indescat.org/images/documentos/uploads/indescat_doc_ca_5_7_efi_sport_eficiencia_energetica_en_instal_la.pdf)

- Junior-Club (2014). *Junior. Junior Club Quienes somos*. Ciudad de México.  
Disponible en:
  - <http://www.juniorclub.com.mx/site/index.php/2014-06-15-14-27-24/quienessomos>
- Ramírez, M. (2014). *México, líder en clubes deportivos... y obesidad*. Milenio.com, sección de negocios, 22 de octubre de 2014. México. Disponible en línea:
  - [http://www.milenio.com/negocios/Mexico-lider-clubes-deportivos-obesidad-AL-obesos-Fitness-potencial-mercado-salud\\_0\\_395360493.html](http://www.milenio.com/negocios/Mexico-lider-clubes-deportivos-obesidad-AL-obesos-Fitness-potencial-mercado-salud_0_395360493.html)
- SE (2009). *Guía de solución de eficiencia energética*. Schneider Electric (ES). España, marzo 2009. Disponible en:
  - <https://issuu.com/instalacionesmaslevi/docs/guia-soluciones-eficiencia-energeti>
- SENER (2017). *Fondo para la transición energética y el aprovechamiento sustentable de la energía*. Secretaría de Energía, México.
  - <http://www.gob.mx/sener/articulos/el-fondo-para-la-transicion-energetica-y-el-aprovechamiento-sustentable-de-la-energia-es-un-instrumento-de-politica-publica-de-la-secretaria>
- SENER (sf). Factores de conversión usados en el sector energético. Secretaría de Energía, México. Disponible en:
  - [sie.energia.gob.mx/docs/cat\\_unidades\\_es.pdf](sie.energia.gob.mx/docs/cat_unidades_es.pdf)
- SportWorld (2016). *Sport World: Perfil Corporativo*. Ciudad de México. Disponible en:
  - <http://sportsworld.xdesign.com.mx/seccion/corporativo>
- SUDOE (2009). *Buenas Prácticas para el Ahorro de Energía en la Empresa: Proyecto OptimaGrid*. Programa de Cooperación Territorial del Espacio Sudoeste Europeo (SUDOE). Disponible en:
  - <http://4.interreg-sudoe.eu/contenido-dinamico/libreria-ficheros/11268EB8-CE46-5D93-D5CC-6F82D70A6841.pdf>

## Anexos

### Anexo 1. Propiedades térmicas de materiales

Material	Densidad(kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico(J/(kg·K))	Conductividad térmica(W/(m·K))	Difusividad térmica(m <sup>2</sup> /s) (x10 <sup>-6</sup> )
Acero	7850	460	47-58	13,01-16,06
Agua	1000	4186	0,58	0,139
Aire	1,2	1000	0,026	21,67
Alpaca	8,72	398	29,1	8384,8
Aluminio	2700	909	209-232	85,16-94,53

Fuente: <http://www.miliarium.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.asp>

- **Densidad ( $\rho$ ):** masa de material por unidad de volumen:  $\rho = m / V$  [kg/m<sup>3</sup>].
- **Calor específico ( $C$ ):** cantidad de energía necesaria para aumentar en 1 °C la temperatura de 1 kg de material. Indica la mayor o menor dificultad que presenta una sustancia para experimentar cambios de temperatura bajo el suministro de calor. Los materiales que presenten un elevado calor específico serán buenos aislantes. Sus unidades del Sistema Internacional son J/ (kg·K), aunque también se suele presentar como kcal/ (kg·°C); siendo 1 cal = 4,184 J. Por otra parte, el producto de la densidad de un material por su calor específico ( $\rho \cdot C$ ) caracteriza la inercia térmica de esa sustancia, siendo esta la capacidad de almacenamiento de energía.
- **Conductividad térmica ( $k$ ):** capacidad de un material para transferir calor. La conducción térmica es el fenómeno por el cual el calor se transporta de regiones de alta temperatura a regiones de baja temperatura dentro de un mismo material o entre diferentes cuerpos. Las unidades de conductividad térmica en el Sistema Internacional son W/ (m·K), aunque también se expresa como kcal/ (h·m·°C), siendo la equivalencia: 1 W/ (m·K) = 0,86 kcal/ (h·m·°C).
- **Difusividad térmica ( $\alpha$ ):** caracteriza la rapidez con la que varía la temperatura del material ante una solicitud térmica, por ejemplo, ante una variación brusca de temperatura en la superficie. Se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$\alpha = k / (\rho \cdot C) \quad [m^2/s]$$

## Anexo 2. Propiedades físicas del agua

Temperatura (°C)	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Módulo de elasticidad (kg/m <sup>2</sup> )	Viscosidad dinámica (N·s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática (m <sup>2</sup> /s)	Tensión superficial (N/m)	Presión de vapor (kg/m <sup>2</sup> )
0	9,805	999,8	1,98 · 10 <sup>6</sup>	1,781 · 10 <sup>-3</sup>	1,785 · 10 <sup>-6</sup>	0,0765	0,61
5	9,807	1000,0	2,05 · 10 <sup>6</sup>	1,518 · 10 <sup>-3</sup>	1,519 · 10 <sup>-6</sup>	0,0749	0,87
10	9,804	999,7	2,10 · 10 <sup>6</sup>	1,307 · 10 <sup>-3</sup>	1,306 · 10 <sup>-6</sup>	0,0742	1,23
15	9,798	999,1	2,15 · 10 <sup>6</sup>	1,139 · 10 <sup>-3</sup>	1,139 · 10 <sup>-6</sup>	0,0735	1,70
20	9,789	998,2	2,17 · 10 <sup>6</sup>	1,102 · 10 <sup>-3</sup>	1,003 · 10 <sup>-6</sup>	0,0728	2,34
25	9,777	997,0	2,22 · 10 <sup>6</sup>	0,890 · 10 <sup>-3</sup>	0,893 · 10 <sup>-6</sup>	0,0720	3,17
30	9,764	995,7	2,25 · 10 <sup>6</sup>	0,708 · 10 <sup>-3</sup>	0,800 · 10 <sup>-6</sup>	0,0712	4,24
40	9,730	992,2	2,28 · 10 <sup>6</sup>	0,653 · 10 <sup>-3</sup>	0,658 · 10 <sup>-6</sup>	0,0696	7,38
50	9,689	988,0	2,29 · 10 <sup>6</sup>	0,547 · 10 <sup>-3</sup>	0,553 · 10 <sup>-6</sup>	0,0679	12,33
60	9,642	983,2	2,28 · 10 <sup>6</sup>	0,466 · 10 <sup>-3</sup>	0,474 · 10 <sup>-6</sup>	0,0662	19,92
70	9,589	977,8	2,25 · 10 <sup>6</sup>	0,404 · 10 <sup>-3</sup>	0,413 · 10 <sup>-6</sup>	0,0644	31,16
80	9,530	971,8	2,20 · 10 <sup>6</sup>	0,354 · 10 <sup>-3</sup>	0,364 · 10 <sup>-6</sup>	0,0626	47,34
90	9,466	965,3	2,14 · 10 <sup>6</sup>	0,315 · 10 <sup>-3</sup>	0,326 · 10 <sup>-6</sup>	0,0608	70,10
100	9,399	958,4	2,07 · 10 <sup>6</sup>	0,282 · 10 <sup>-3</sup>	0,294 · 10 <sup>-6</sup>	0,0589	101,33

Fuente: <http://www.miliarium.com/Paginas/Prontu/Tablas/Aguas/PropiedadesFisicasAgua.htm>

- **Peso específico (γ):** se define como el peso de una sustancia dividido entre el volumen que ocupa. Además, está directamente relacionado con la densidad (ρ) y la aceleración de la gravedad (g) mediante la siguiente expresión:

$$\gamma = \rho \cdot g \quad [\text{N/m}^3]$$

- **Densidad (ρ):** es la cantidad de masa presente por unidad de volumen:

$$\rho = m / V \quad [\text{kg/m}^3]$$

- **Módulo de elasticidad (E):** se define el módulo de elasticidad de volumen como el esfuerzo de volumen entre la deformación de volumen, es decir, al aplicar un incremento de presión ( $\Delta p$ ) a un volumen ( $V$ ), se produce una disminución del mismo ( $\Delta V$ ):  

$$E = (\Delta p) / (\Delta V/V) \quad [N/m^2]$$
- **Viscosidad dinámica ( $\mu$ ):** la viscosidad es una magnitud física que mide la resistencia interna al flujo de un fluido (resistencia al esfuerzo cortante). Es medida por el tiempo en que tarda en fluir éste a través de un tubo capilar a una determinada temperatura. Las unidades con que se mide en el Sistema Internacional son  $N \cdot s/m^2$ .
- **Viscosidad cinemática ( $\nu$ ):** representa la característica propia del líquido desechando las fuerzas que generan su movimiento. Se obtiene mediante el cociente entre la viscosidad dinámica o absoluta ( $\mu$ ) y la densidad ( $\rho$ ) de la sustancia en cuestión:  

$$\nu = \mu / \rho \quad [m^2/s]$$
- **Tensión superficial ( $\sigma$ ):** fenómeno por el cual la superficie de un líquido tiende a comportarse como si fuera una delgada película elástica y se debe a que en este punto la fuerza neta que experimentan las moléculas que lo componen es hacia el interior del mismo. Se mide en  $N/m$  o  $J/m^2$ .
- **Presión de vapor ( $p_v$ ):** es la presión que ejercen las moléculas en estado vapor que han sido proyectadas fuera de la masa del líquido a través de una superficie libre debido a que presentan una elevada energía cinética adquirida en el choque con otras moléculas. Se mide en unidades de presión  $N/m^2$ .

Fuente:

METCALF & EDDY, INC. *Ingeniería de aguas residuales*. Mc Graw Hill. 3ª Edición (1995)