

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA
INGENIERIA MECÁNICA

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de
INGENIEROS MECÁNICOS

TEMA
ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CALENTAMIENTO
DE AGUA PARA PISCINAS, POR MEDIO DE BOMBAS DE CALOR

AUTORES
DARWIN CAMILO LOMAS MARTINEZ
RAUL ALBERTO MONTALVO GORDILLO

TUTOR
ANDRANGO ANDRANGO LUIS ANIBAL

Quito, febrero del 2017

**DECLARACION DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACION DE USO
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, Darwin Camilo Lomas Martínez y Raúl Alberto Montalvo Gordillo con Cédulas de Identidad N° 1717849325 y 1719950972 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titulación sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos los autores del Trabajo de Titulación: “Análisis y simulación de los sistemas de calentamiento de agua para piscinas, por medio de bombas de calor”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el Título de Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Darwin Camilo Lomas Martínez
1717849325



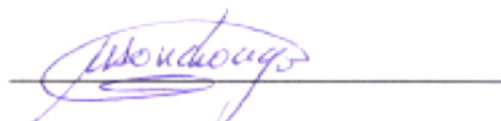
Raúl Alberto Montalvo Gordillo
1719950972

Quito, febrero del 2017

DECLARACIÓN DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el proyecto investigativo, “Análisis y simulación de los sistemas de calentamiento de agua para piscinas, por medio de bombas de calor” realizado por Darwin Camilo Lomas Martínez y Raúl Alberto Montalvo Gordillo, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, febrero del 2017



Ing. Luis Aníbal Andrango Andrango
1704400553

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer la culminación de este proyecto, en primer lugar a la Universidad Politécnica Salesiana y a todo su personal docente y administrativo; en especial, al personal de secretaria del Campus Kennedy; a nuestro docente - tutor Ing. Luis Andrango por compartirnos sus conocimientos y ayuda incondicional que nos ha permitido culminar este proyecto y nuestra Carrera de Ingeniería.

Darwin Lomas

Quiero agradecer este proyecto investigativo a mis padres que me han apoyado y dado un impulso para finalizarlo, a mis maestros que con su guía y conocimiento me ayudaron a convertirme en un profesional, a mi tutor, el Ing. Luis Andrango que nos ha brindado su conocimiento, apoyo, ayuda y comprensión. De igual manera a la Universidad Politécnica Salesiana y a todo su personal administrativo.

Gracias.

Raúl Montalvo

DEDICATORIA

Los resultados de este proyecto los quiero dedicar, en primer lugar a Dios y a la Virgencita, sus bendiciones me han dado la fuerza para seguir sin detenerme en este camino; a mis padres por su apoyo incondicional, en todo momento o circunstancia; a mis hermanos que estuvieron ahí apoyándome.

Darwin Lomas

Dedico este proyecto investigativo a mi familia que nunca ha perdido la confianza en mí y ha sabido encaminarme en mi vida profesional y como persona; también a todos mis maestros que supieron enseñarme y hacerme superar cada día más, como persona para poder lograr este objetivo y llegar a ser, finalmente, un profesional.

Raúl Montalvo

RESUMEN

El presente proyecto técnico investigativo muestra un análisis teórico-experimental de los sistemas de calentamiento de agua para piscinas y sus componentes, explica la comparación teórica de un sistema que usa Gas Licuado de Petrolero (GLP) desde un cilindro de 15 kg que genera un calor de 9300.00 W y los sistemas que usan bombas de calor que generan un calor para el agua de 41000.00 W en una piscina, son suficientes para satisfacer las necesidades de climatización (25°C) de una piscina según medidas estándar de 10 m x 5 m x 2 m. En el balance térmico calculado, las pérdidas por convección, radiación, evaporación, renovación de agua y transmisión de calor, para esta piscina son de 12516.59 W. La potencia requerida para elevar la temperatura en 8 horas de trabajo es de 21750.00 W obteniendo un cálculo total de pérdidas de 34266.59W, al considerar que la puesta en marcha del sistema es para 24 horas, se tiene una potencia requerida final de 36250.00W, energía teórica requerida, que fue calculada para seleccionar el equipo a usar, que en el caso de la bomba de calor corresponde a un solo equipo de 41000.00 W (dato de proveedor de una bomba de calor marca Jandy) y en el caso del calefón de Gas Licuado de Petróleo a 4 unidades de calefón que generan 9300.00 W cada uno un total de 37200.00 W (dato de proveedor de un calefón marca Neckar).

Al encontrar la cantidad de energía que necesita la piscina se usa el software ANSYS 16.1 para evaluar en forma experimental cual sería la cantidad real de energía que el sistema necesita, se evalúa los dos sistemas propuestos: calefón de Gas Licuado de Petróleo y Bomba de Calor, obteniendo como resultado el sistema energético más eficiente para calentar la piscina.

Palabras claves: análisis, simulación, sistemas, calentamiento, agua, piscinas, bombas.

ABSTRACT

The present technical-research project, shows a theoretical-experimental analysis of water heating systems for pools and their components, explains the theoretical comparison of a system using liquefied petroleum gas (LPG) from a 15kg cylinder that generates a heat of 9300.00 W and systems that use heat pumps that generate heat of 41000.00 W in a water, are sufficient to conditioning the water (around of 25°C) of a pool, according to standard measures (10 x 5 x 2)m. In the thermal balance, the losses from: convection, radiation, evaporation, water renewal and heat transfer, for this pool are 12516.59 W, the power required to raise the temperature in 8 hours of work is 21750.00 W, obtaining a total calculation of losses of 34266.59W, considering that the commissioning of the system is for 24 hours, we have a final required power of 36250.00 W, theoretical energy required, which was calculated to select the equipment to use, which in the case of The heat pump corresponds to a single unit of 41000.00 W (supplier data of a Jandy heat pump) and in the case of the LPG heater to 4 heating units generating 9300.00 W each a total of 37200.00W (supplier data a neckar heater).

When finding the amount of energy that the pool needs, the ANSYS 16.1 software is used to experimentally evaluate what the actual amount of energy the system needs, the two proposed systems are evaluated: LPG heating and Heat Pump, obtaining Result the most efficient energy system to heat the pool. This study will serve as a reference for the selection of the most energy-efficient machine whether this LP Gas Heater or Heat Pump for the air conditioning of the designed pool.

Keywords: analysis, simulation, systems, heating, water, swimming pools, pumps.

Índice General

INTRODUCCIÓN.....	18
CAPÍTULO I:	22
MARCO TEÓRICO	22
1.1. Piscinas	22
1.2. Tipos de Piscinas	22
1.3. Temperatura de confort para piscinas.....	23
1.4. Sistemas de calentamiento de agua para piscinas.....	23
1.5. Sistemas de calentamiento de agua con Gas Licuado de Petróleo (GLP)	24
1.5.1 Elementos de un sistema de calentamiento con Gas Licuado de Petróleo. 25	
1.5.2 Calentador de agua	25
1.5.3 Intercambiador de calor.....	25
1.5.4 Bomba	26
1.5.5 Filtros	26
1.5.6 Válvulas.....	26
1.6. Parámetros de funcionamiento de los sistemas de calentamiento de agua por Gas Licuado de Petróleo.....	26
1.6.1 Calor Total o Calor Generado (Q_c).....	27
1.6.2 Calor útil o Calor absorbido (Q_a)	27
1.6.3 Pérdidas de energía.....	28
1.6.4 Eficiencia.....	29
1.7. Ventajas y desventajas de los sistemas que trabajan con Gas Licuado de Petróleo.....	29
1.8. Sistemas de calentamiento de agua por medio de Bombas de calor	30
1.8.1 Bombas de Calor Generalidades	31
1.8.2 Componentes principales de una bomba de calor	31

1.8.3 Compresor	32
1.8.4 Válvula de estrangulamiento	33
1.8.5 Condensador y Evaporador	34
1.9. Funcionamiento de la bomba de calor	35
1.10. Ciclo ideal y real en una bomba de calor.....	36
1.10.1 Ciclo ideal de una bomba de calor	36
1.10.2 Ciclo real de una bomba de calor	37
1.11. Tipo de refrigerante de las Bombas de calor	37
1.12. Bombas de calor usadas en piscinas	38
1.13. Eficiencia de una Bomba de calor	39
1.14. Ventajas y desventajas de las bombas de calor	40
CAPÍTULO II:.....	41
ANÁLISIS TÉRMICO	41
2.1. Balance Térmico de una piscina.....	41
2.2. Evaluación de cargas térmicas presentes en el sistema	41
2.2.1 Pérdidas de calor del agua en la piscina	41
2.2.2 Pérdidas producidas por la evaporación (Q_e)	43
2.2.3 Pérdidas por radiación efecto de la diferencia de temperaturas (Q_r).....	45
2.2.4 Pérdidas por convección producida entre el aire y el agua de la piscina (Q_c)	
.....	46
2.2.5 Pérdidas por renovación (Q_{re})	46
2.2.6 Pérdidas por transmisión de calor a través de la estructura de la piscina (Q_t)	
.....	48
2.2.7 Potencia necesaria	49
2.3. Resumen de pérdidas en balance térmico de la piscina.....	50
2.4. Selección del equipo: Bomba de calor y Calefón.....	51

2.4.1 Equipo Bomba de calor:	51
2.4.2 Equipo Calefón:.....	52
CAPÍTULO III:	53
SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	53
3.1. Procedimiento para la simulación del flujo de calor en la piscina por medio de ANSYS 16.1	53
3.2. Condiciones generales de trabajo	55
3.3. Simulación en ANSYS 16.1 Modulo CFX 16.1.....	56
3.4. Condiciones iniciales, mallado y restricciones de frontera	57
3.5. Condiciones de entrada.....	57
.....	60
CAPÍTULO IV:	68
ANÁLISIS DE RESULTADOS	68
4.1. Análisis de velocidades y flujo.....	68
4.2. Análisis de volumen de control	70
4.3. Análisis de temperaturas versus la posición	71
4.4. Análisis de la distribución de temperaturas en las paredes	77
4.5. Análisis de la distribución de temperaturas en la superficie	77
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES	83
REFERENCIAS	85

Anexos

Índice de tablas

Tabla 1. Tipos de piscinas	22
Tabla 2. Temperaturas en piscinas.	23
Tabla 3. Resumen de pérdidas de la piscina	50
Tabla 4. Bomba de calor Marca Jandy	51
Tabla 5. Calores generados por un calefón	52
Tabla 6. Bomba de calor marca Neckar.	52
Tabla 7. Valor del peso específico:	55
Tabla 8. Ponderación asignada al software ANSYS	55
Tabla 9. Renovación de agua en piscinas.....	3

Índice de Figuras

Figura 1. Sistema de calentamiento de piscina con GLP	24
Figura 2. Instalación de una bomba de calor.....	31
Figura 3. Gráfico del ciclo ideal de una bomba de calor en un diagrama P-h	36
Figura 4. Gráfico del ciclo ideal de una bomba de calor en un diagrama P-h	37
Figura 5. Pérdidas de calor en la piscina.....	42
Figura 6. Pérdidas de calor en la piscina.....	51
Figura 7. Generalidades del inicio del programa	56
Figura 8. Selección de la ecuación a usar en modulo de ANSYS.....	56
Figura 9. Ecuación de transferencia de calor en modulo de ANSYS	57
Figura 10. Ingresando geometría.....	57
Figura 11. Importando geometría.....	58
Figura 12. Ingresando mallado en modulo ANSYS	58
Figura 13. Ingreso de variables para mallado de piscina.	59
Figura 14. Nombrando a las secciones comprometidas	59
Figura 15. Verificando que la creación de las condiciones sean correctas.	60
Figura 16. Cargando el mallado y las condiciones de entrada.	60
Figura 17. Terminando con las condiciones del modelado.....	61
Figura 18. Cargando el modelo de estudio Total Energy.....	61
Figura 19. Cargando condiciones desde libreria	62
Figura 20. Editando condiciones para el ingreso de fluido.....	62
Figura 21. Editando las restricciones de entrada.....	63
Figura 22. Seleccionando la temperatura	63
Figura 23. Editando las restricciones de salida	64

Figura 24. Editando las restricciones de salida	64
Figura 25. Editando las condiciones de frontera.....	65
Figura 26. Editando las condiciones de borde	66
Figura 27. Editando las condiciones de borde para la superficie.....	66
Figura 28. Simulando la solución del sistema.....	67
Figura 29. Gráficas variable vs tiempo	67
Figura 30. Simulación de llenado de agua en piscina a velocidad determinada	68
Figura 31. Simulación de llenado de agua en piscina a velocidad determinada	69
Figura 32. Comparación de la distribución de temperatura a su volumen de control	70
Figura 33. Curvas de distribución de temperatura	71
Figura 34. Curvas de distribución de temperatura	72
Figura 35. Comparación de la distribución de temperatura	73
Figura 36. Grafica de tarifa de GLP.....	75
Figura 37. Grafica de consumos de GLP	76
Figura 38: Simulación de la pérdida de calor en los tres casos.....	77
Figura 39. Grafica de temperaturas vs posición para los tres casos.....	78
Figura 40. Simulación de la distribución de temperaturas a nivel superficial en los tres casos	79
Figura 41. Dimensiones de una bomba de calor marca Ultratemp	5
Figura 42. Dimensiones de una bomba de calor instalada.....	6
Figura 43. Instalaciones de las tuberías de una bomba de calor	7

Índice de Ecuaciones

[Ecuación 1]	27
[Ecuación 2]	27
[Ecuación 3]	28
[Ecuación 4]	29
[Ecuación 5]	32
[Ecuación 6]	33
[Ecuación 7]	34
[Ecuación 8]	35
[Ecuación 9]	39
[Ecuación 10]	39
[Ecuación 11]	43
[Ecuación 12]	43
[Ecuación 13]	45
[Ecuación 14]	46
[Ecuación 15]	47
[Ecuación 16]	47
[Ecuación 17]	48
[Ecuación 18]	49
[Ecuación 19]	50
[Ecuación 20]	50
[Ecuación 21]	74

Índice de Anexos

Anexos 1. Ordenanzas 3457 de Normas de Arquitectura y Urbanismo del distrito Metropolitano de Quito	2
Anexos 2. Instalación de las bombas de calor.....	4
Anexos 3. Dimensiones de una bomba de calor:	5
Anexos 4. Distancias de seguridad	6
Anexos 5. Conexiones de agua	7
Anexos 6. Datos de Bomba de calor	8
Anexos 7. Datos de Calefón.....	9
Anexos 8. Datos teóricos.....	10

Glosario

Bomba de calor: Sistema de refrigeración utilizado para suministrar calor o frío mediante válvulas que cambian la dirección de flujo de gas refrigerante.

Calor: Energía que ocasiona el movimiento de las moléculas provocando un aumento de temperatura en una sustancia. (Joaquin Romaní, 2017)

Calor específico: La cantidad de calor requerido para elevar la temperatura de 1kg de una sustancia 1 °C. (Joaquin Romaní, 2017)

Calor latente: Energía calórica absorbida o rechazada cuando una sustancia cambia de estado y no se experimenta cambios de temperatura. (Joaquin Romaní, 2017)

Calor radiante: Calor que pasa a través del aire y calienta objetos sólidos que a su vez calienta el ambiente. (Joaquin Romaní, 2017)

Calor total: Cantidad total de calor sensible o del calor latente presente en una sustancia, con respecto a un punto de referencia.

COP: Coeficiente de operación, (Vicenzo Bianco, 2017), es el porcentaje entre el calentamiento o enfriamiento proporcionado y la electricidad consumida.

Entalpía: Cantidad de calor que contiene una sustancia establecida desde una base o un punto predeterminados.

GLP: Gas licuado de petróleo, es la mezcla de gases (propano y butano) licuados presentes en el gas natural o disuelto en el petróleo,

Entalpía: Cantidad de calor que contiene una sustancia establecida desde una base o un punto predeterminados.

Intercambiador de aire y calor: Dispositivo utilizado para intercambiar el calor entre el aire y otro medio, como por ejemplo aire y aire, aire y agua o aire y refrigerante, a diferentes niveles de temperatura.

Intercambiador de calor: que transmite calor de una sustancia a otra. (Chow, 2012)

Presión: se define como una fuerza normal que ejerce un fluido por unidad de área.
(Cengel, 2006)

Presión para condensación: La presión que corresponde a la temperatura de condensación en un sistema de refrigeración.

Punto de ebullición: es aquella temperatura en la cual la presión del vapor del líquido iguala a la presión de vapor del medio que se encuentra.

Punto de fusión: es la temperatura a la cual se encuentra el equilibrio de fases sólido-líquido.

Radiación: es una onda electromagnética, que difieren sólo en la longitud de onda.
(Mark Zemansky, Richard Dittman, 1986)

Radiación térmica: es la radiación emitida por un sólido, un líquido o un gas en virtud de su temperatura. (Mark Zemansky, Richard Dittman, 1986)

Refrigeración: es un proceso que consiste en bajar o mantener el nivel de calor de un cuerpo o un espacio.

Sobrepresión: Cuando la presión de descarga aumenta demasiado o la presión en el evaporador es demasiado baja, el refrigerante fluye del lado de alta presión al lado de baja presión de un sistema de compresor centrífugo. Este movimiento produce un sonido fuerte.

Temperatura ambiente: Temperatura del aire circulante 20°C.

Tubería: Tubo que tiene una pared delgada, utilizado para conducir fluidos.

Vacío: Margen de presión entre la atmósfera de la Tierra y la presión cero, por lo general expresado en milímetros de mercurio (mm Hg) de vacío.

Válvula: Dispositivo utilizado para regular el flujo de fluido.

Vaporización: Cuando un líquido se convierte en gas o vapor.

Volumen específico: Volumen que ocupa una libra de fluido.

INTRODUCCIÓN

La industria energética a nivel mundial ha pasado por varios cambios, en busca de fuentes energéticas cada vez más ecológicas y puras, con el fin de no depender de combustibles fósiles, entendiendo que los mismos, son limitados, lo que ha llevado a la industria a explotar otros recursos naturales o renovables como energía eólica, solar, hidroeléctrica, mareomotriz, geotérmica, entre otras.

El Ecuador, siendo un país petrolero y dependiendo en su mayoría de los combustibles fósiles, para su desarrollo socio económico, apuesta a la transformación energética, realizando la construcción de 8 hidroeléctricas, con esto el Ecuador pretende satisfacer las necesidades eléctricas que actualmente requiere. También una de las metas luego de concluido estos proyectos es la eliminación de subsidios en combustibles, lo que permitirá un ahorro considerable en esta área.

Se estima que las reservas ecuatorianas de petróleo son para una producción de 20 años (AIHE, 2012), es por eso que se han tomado medidas para afrontar este período con lo que se espera, un cambio en la matriz productiva, para de esta manera evitar depender económicamente del combustible fósil y sus derivados.

Frente a ello, se ve la necesidad de otras soluciones en paralelo al uso de cocinas de inducción por las cocinas domésticas de Gas Licuado de Petróleo. Las bombas de calor en este específico caso de estudio para el calentamiento de agua de piscinas frente a los comúnmente usados calefones.

En este contexto, se evaluará cuáles podrían ser las bondades de la bomba de calor frente a los sistemas de calentamiento por Gas Licuado de Petróleo, destacando sus ventajas, desventajas, posibilidades, eficiencia energética y rentabilidad a corto, mediano y largo plazo analizando sus resultados con la ayuda de un simulador de computadora.

“Las piscinas al aire libre se utilizan generalmente cuando las temperaturas exteriores son mayores de 22-24°C” (Dongellini Matteo, 2015) pero si las temperaturas bajan, el confort de estas se ve afectado, por lo que es necesario un sistema que permita la climatización de las mismas, y un adecuado control para garantizar la higiene como lo describe (DIOEng, Florencia Saravia, Gudrun Abbt-Braun, Harald Horn, 2016).

Actualmente el progreso de la tecnología, permite utilizar sistemas más eficientes, con menor costo de mantenimiento y mayor rendimiento, como lo explica una investigación realizada de los “sistemas de bombas de calor asistidos por energía solar para climatización de piscinas cubiertas” (T.T. Chow, 2012), estas investigaciones defienden que las bombas de calor son un sistema muy usado para la climatización, “en los países del centro y norte de Europa alrededor de 800000 bombas de calor fueron vendidas en 2010 a 2015” (Davis Fischer, 2016), pero como lo indica (Katsaprakakis, 2015) hasta ahora la mayoría de piscinas se calientan usando combustibles fósiles, y según estadísticas de (AIHE, 2012) el país tiene reservas para 20 años de petróleo, razón por la cual, las empresas y consumidores se ven en la necesidad de evaluar estos nuevos sistemas mediante un análisis, y concluir cuáles son sus ventajas en relación a otros sistemas, así como también el uso de nuevas propuestas para la eficiencia energética de estas como indica (Curtis Harrington, 2013) con un sistema experimental para usar las piscinas como disipadores de calor para aires acondicionados, o como describe (Muhammed Enes Kuyumcu, 2016) donde la calefacción de una piscina es usada mediante la utilización de residuos de energía de una pista de hielo.

La necesidad de realizar un estudio de los sistemas de calentamiento de agua para piscinas, por medio de bombas de calor, destacando cuales serían sus ventajas, desventajas, eficiencia, rendimiento y rentabilidad.

Es importante, que un ingeniero sepa encontrar la mejor opción para un proyecto sin dejar de lado el costo del mismo, por tanto, es necesario realizar un estudio completo del sistema a utilizarse, sistemas estudiados y propuestos como lo dice (Peng Sun, 2011). Los sistemas de calentamiento de agua por medio de bombas de calor, son sistemas que se están instalando recientemente en las aéreas de recreación y que son evaluados por las especificaciones técnicas UNI/TSI 11300-3 (Luca A. Tagliafico, 2012) de conjuntos los cuales en su mayoría con piscinas estándar: Largo: 10m, Ancho: 5m, Profundidad: 1.5m, razón por la cual es necesario someterlos a un análisis en su funcionamiento y a una previa simulación para garantizar los datos obtenidos, de esta forma, se podrá destacar si el sistema a elegir, justifica su uso en dicho proyecto.

El alcance para este proyecto fue evaluar los sistemas de calentamiento de agua para piscinas mediante bombas de calor que se podrá obtener como resultado si es eficiente o no, sus ventajas, desventajas, posibilidades, costos, eficiencia y rentabilidad a corto, mediano y largo plazo, frente a otros sistemas como el eléctrico. Dicho proyecto, se verá reflejado en base a los datos tomados en piscinas reales estándar (ver anexo 1 tabla 9), a diferencia de los sistemas comunes, empleados en ciertas piscinas como el de gas licuado para comparar con la propuesta de bombas de calor.

La delimitación es uno de los mejores resultados que se puede obtener al realizar un análisis de un sistema energético termodinámico en el que se puede obtener por medio de una simulación; para el presente proyecto se entregará una simulación en el software ANSYS 16.1 de la cantidad de energía necesaria para calentar una piscina y comparándolo con un cálculo matemático del balance térmico de los sistemas de calentamiento de piscinas por medio de Gas Licuado de Petróleo vs. Bombas de

calor, para el estudio en la Carrera de Ingeniería Mecánica, en la Universidad Politécnica Salesiana ubicada en la ciudad de Quito-Ecuador.

El presente estudio tuvo una duración aproximada de seis meses a partir del mes de marzo del año 2016.

El objetivo general de este proyecto fue realizar un análisis de los sistemas de calentamiento de agua para piscinas estándar, por medio de bombas de calor para comprender su funcionamiento, eficiencia, rendimiento y principales características, que permitan elaborar una simulación precisa, de una bomba de calor bajo los parámetros antes establecidos.

Los objetivos específicos del mismo fueron: investigar cuáles son los sistemas de calentamiento de agua para piscinas y mencionar cuáles son sus componentes, describir cada uno de ellos y consultar el funcionamiento individual de los elementos, realizar el respectivo análisis, tomando en cuenta sus cálculos y fundamentos teóricos, efectuar el respectivo análisis de cargas térmicas (pérdidas en el sistema) para el calentamiento de piscinas a una temperatura de trabajo de 24 – 26 °C, para definir la capacidad térmica del sistema, elaborar una simulación de calentamiento de piscinas utilizando el software ANSYS CFX que trabaje bajo parámetros previamente establecidos por el cálculo de cargas térmicas (perdidas en el sistema) y el análisis teórico, evaluar, analizar y comparar los datos obtenidos en la simulación con los datos analíticos destacando los resultados finales.

CAPÍTULO I:

MARCO TEÓRICO

El presente capítulo tiene como fin realizar una breve descripción de lo que es una piscina, sus tipos y temperatura de confort de acuerdo a normas, se abarca el tema de la climatización de las piscinas comparando los sistemas de calentamiento del agua por Gas Licuado de Petróleo (GLP) con el de Bombas de calor, en el cual se analizará los datos técnicos de cada sistema y sus parámetros principales, balance térmico, entre otros.

1.1. Piscinas

Las piscinas, piletas o albercas son un depósito artificial de agua que puede ser utilizado para fines recreativos, decorativos o deportivos según las necesidades del usuario. Ver anexo 1. (Distrito Metropolitano de Quito, 2003)

1.2. Tipos de Piscinas

Existen distintos tipos de piscinas según sus dimensiones, y las mismas están reglamentadas con diferentes especificaciones y características según el área de recreación y el objetivo para el cual van a ser utilizadas, una clasificación de los tipos de piscinas se puede ver en la tabla 1.

Tabla 1. Tipos de piscinas

Tipo de Piscina	Dimensiones			Ubicación o Complejo	Actividad de construcción
	Largo	Ancho	Profundidad		
Olímpica	50 m	1 m	2.5 m	Complejo deportivo	Entrenamiento profesional.
Semi- Olímpica	25 m	10 m	2 m	GYM o Balneario	Clases de natación.
Estándar	10 m	5 m	1.5 m	Jardín de una casa	Recreación.

Nota: Tipos de construcción de piscinas y sus dimensiones

Elaborado por: (Lomas & Montalvo, 2016)

1.3. Temperatura de confort para piscinas

La temperatura de confort en una piscina debe mantenerse en unos dos o tres grados sobre la temperatura promedio en la piscina y el área mantenga por lo menos una humedad relativa al 65%, para que el usuario no tenga la sensación de frío al momento de salir de la piscina y reducir las pérdidas de calor de la piscina, la tabla 2 se resume las temperaturas a las que debe estar una piscina de acuerdo a su uso.

Tabla 2. Temperaturas en piscinas.

Temperaturas óptimas del agua (Agustín, 2009)	
Competición (*)	24 °C
Entrenamiento (*)	26 °C
Enseñanza y recreo (*)	25 °C
Disminuidos físicos	29 °C
Piscina infantil	30 °C
Niños de 3 a 6 años y tercera edad	32 °C
Mujeres embarazadas	32 °C

Nota: Diferentes temperaturas en piscinas climatizadas

Fuente: (Agustín, 2009)

1.4. Sistemas de calentamiento de agua para piscinas

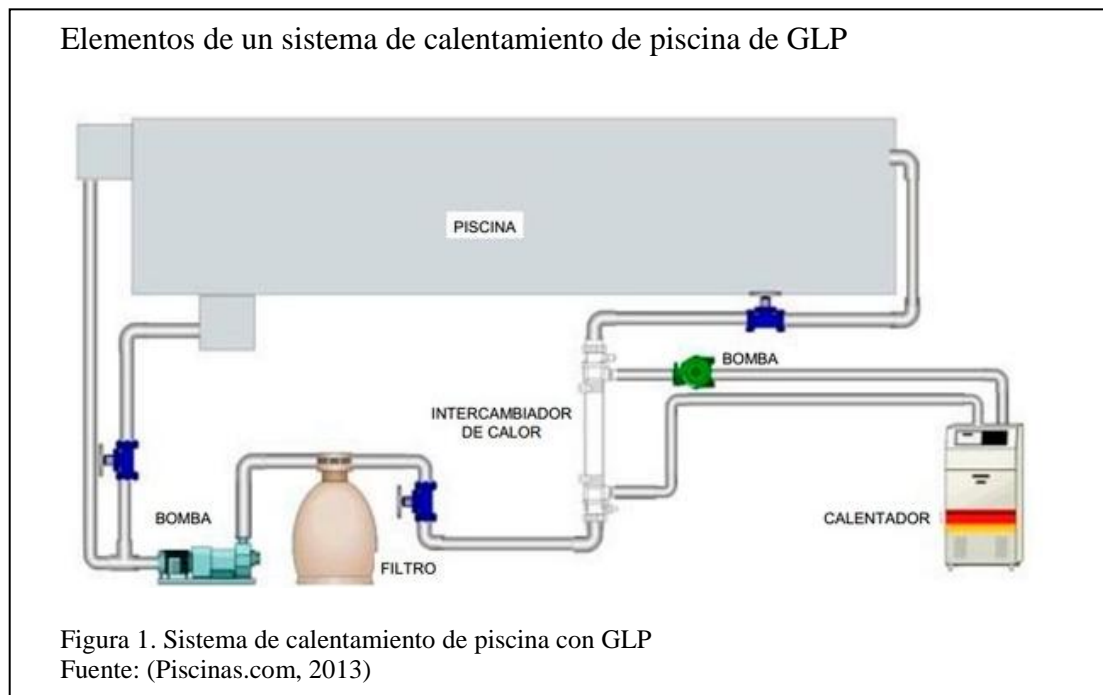
Los sistemas más comunes para el calentamiento de agua para piscinas presentes en el Ecuador son:

-Los sistemas de Gas Licuado de Petróleo, que en el Ecuador, pueden ser considerados de los sistemas más económicos para su implementación. Trabajan por medio de un sistema de tuberías y pueden ser de dos tipos: tipo intercambiadores de calor que tiene una caldera donde se quema el gas y el segundo que es un calentador de gas que trabaja por medio de una cámara de combustión, en la figura 1 se puede ver la distribución de un sistema de calentamiento de agua que utiliza Gas Licuado de Petróleo.

-Los sistemas de Bombas de Calor, estos sistemas trabajan en un ciclo invertido de refrigeración, utilizando en su ciclo gas refrigerante y calentando la piscina por medio de intercambiadores. A diferencia de los sistemas que trabajan por medio de Gas Licuado de Petróleo estos sistemas involucran una alta inversión inicial con una alta tasa de retorno hablando en términos económicos.

1.5. Sistemas de calentamiento de agua con Gas Licuado de Petróleo (GLP)

Los sistemas de calentamiento de agua para piscinas que utilizan Gas Licuado de Petróleo son los más comunes, en este tipo de sistemas. El suministro de agua caliente solo se acaba al momento que el sistema termina de trabajar; por lo tanto el sistema tiene fijado las horas de demanda de agua caliente. Estos sistemas no tienen un flujo limitado de agua caliente debido a su tanque de reserva pero en un contra punto esto puede aumentar el consumo de energía, por tanto, un mayor consumo de Gas Licuado de Petróleo. (Véase figura 1)



1.5.1 Elementos de un sistema de calentamiento con Gas Licuado de Petróleo

Para su correcto funcionamiento los sistemas de calentamiento por Gas Licuado de Petróleo es importante mencionar que hay dos sistemas en una piscina. El primer sistema sería la parte de filtrado y tratamiento de agua mientras que el segundo sería únicamente el sistema de calentamiento de agua, para lo cual se mencionan los elementos básicos del presente sistema.

1.5.2 Calentador de agua

Los calentadores actuales trabajan con Gas Licuado de Petróleo que contiene un regulador de presión en el quemador para realizar el calentamiento del agua, normalmente los calentadores de agua tienen una cámara de combustión la cual normalmente se encuentra en la parte inferior del serpentín que de esta manera permite el calentamiento del agua. La entrada de agua de los calentadores normalmente viene de la línea salida del intercambiador de calor y su línea de salida va a la entrada del intercambiador de calor.

1.5.3 Intercambiador de calor

Un intercambiador de calor puede ser comprendido como un dispositivo en el cual sucede una transferencia de energía, este proceso de intercambio de energía es dado entre dos fluidos que se encuentran a diferentes temperaturas y separados por un medio sólido.

El sistema normalmente trabaja en contra flujo para que se pueda transferir la mayor cantidad de energía posible, sin embargo su análisis se lo realiza con flujos constantes para cuantificar el cambio de temperatura.

Entre sus principales aplicaciones se pueden mencionar en los sistemas de calefacción y enfriamiento de procesos, en la recuperación de del calor desperdiciado por industrias, y es común ver este tipo de dispositivos en climatización de piscinas.

1.5.4 Bomba

La bomba es un dispositivo que cumple la función de proporcionar energía a un fluido. El fluido recibe la energía proporcionado por la bomba que puede ser en forma de posición, de velocidad o de presión.

La bomba en los sistemas de Gas Licuado de Petróleo solo cumple la función de hacer circular el fluido dentro del sistema permitiendo que la piscina mantenga la temperatura ideal, la bomba en estos tipos de sistema normalmente se encuentran entre el filtro y la piscina.

1.5.5 Filtros

Los filtros son elementos indispensables en las piscinas, normalmente se utilizan para el cuidado y tratamiento del agua, la cual es una tarea que no puede ser ignorada por el usuario ya que se trata de un tema sanitario y de salud, los filtros con fundamentales para una piscina ya que son los encargados de limpiar y retener las impurezas presentes en las piscinas.

1.5.6 Válvulas

Las válvulas son dispositivos mecánicos diseñados para controlar el paso de un flujo de un líquido, también son utilizados para la retención de un flujo.

1.6. Parámetros de funcionamiento de los sistemas de calentamiento de agua por Gas Licuado de Petróleo

Los indicadores técnicos de un sistema de calentamiento de agua por Gas Licuado de Petróleo son: Calor útil, Calor total, Pérdidas de energía, eficiencia, como

consideraciones generales se toma que un cilindro de gas tiene 15kg de Gas Licuado de Petróleo.

1.6.1 Calor Total o Calor Generado (Q_c)

Es la cantidad de calor que se genera, se calcula así:

$$Q_c = \dot{m} \times C_e$$

[Ecuación 1]

Donde:

Q_c = Calor generado.

\dot{m} = flujo másico del GLP [0.75 kg/h]

C_e = Poder calorífico del gas GLP 10986.62 [Kcal/kg] = 46.054 [KJ/kg]

$$Q_c = 34.54 \left[\frac{MJ}{h} \right]$$

Para objetos de cálculo se calculará el calor generado por 1 hora del sistema de uso de Gas Licuado de Petróleo.

$$Q_c = 34.54 \left[\frac{MJ}{h} \right] \times 1 [h]$$

$$Q_c = 34.54 [MJ]$$

$$Q_c = 8255.26 [KCal]$$

$$Q_c = 9594.44 [W]$$

1.6.2 Calor útil o Calor absorbido (Q_a)

Será el calor absorbido por el agua, y se calcula de la siguiente manera.

$$Q_a = C_e \times m \times (t_{sal} - t_r) \times n \times D$$

[Ecuación 2]

Donde:

Q_a = Energía térmica necesaria [J/mes]

C_e = Calor específico del agua: 4187 [J/kg°C]

m = Caudal: 200 [l/día] (dato del fabricante calefón)

t_{sal} = temperatura saliente: 45 [°C] (datos del fabricante)

t_{red} = temperatura del agua de la red: 15 [°C]

n = número de días: 1 [día]

D = densidad del agua: 1 [kg/l]

$$Q_a = 4187 \left[\frac{J}{kg^\circ C} \right] \times 200 [l] \times (45 - 15) [^\circ C] \times 1 \times 1 \left[\frac{kg}{l} \right]$$

$$Q_a = 7978.33 [W]$$

1.6.3 Pérdidas de energía

Las pérdidas producidas por el uso de Gas Licuado de Petróleo se calculan de la siguiente manera.

$$P_c = C_G - C_A$$

[Ecuación 3]

Donde:

P_c = Pérdidas de calor

C_G = Calor Generado

C_A = Calor Absorbido

$$P_c = 9594.44 [W] - 7978.44 [W]$$

$$P_c = 1616.11 [W]$$

$$P_c = \frac{1616.11 [W]}{9594.44 [W]} \times 100$$

$$P_c = 16.84\%$$

1.6.4 Eficiencia

La eficiencia en el calefón es el cociente de energía que se desea obtener de dicha máquina y la energía disponible para transferir.

En el sistema de Gas Licuado de Petróleo la eficiencia del sistema será:

$$N = \frac{C_A}{C_G} \times 100$$

[Ecuación 4]

$$N = \frac{7978.33 [W]}{9594.44 [W]} \times 100$$

$$N = 83.15\%$$

1.7. Ventajas y desventajas de los sistemas que trabajan con Gas Licuado de Petróleo

Las principales ventajas de estos sistemas parten de su precio, este tipo de sistemas de calentamiento son relativamente simple en su instalación (al momento de la construcción de la obra civil).

Otra de sus ventajas son sus costos de instalación y compra de los equipos, los mismos que son sumamente bajos en precio y de fácil adquisición, es posible conseguir estos sistemas entre USD 3000 y 8000 dependiendo de la capacidad termina del sistema.

Es importante destacar que otra de las razones por las cuales estos sistemas tienen ventajas sobre otros, es porque sus tiempos de calentamiento son rápidos aún; sin embargo, el consumo de Gas Licuado de Petróleo es proporcional a la capacidad térmica del sistema, es decir si se necesita más energía se necesita un mayor flujo másico para alcanzar la temperatura requerida.

Finalmente, otra de sus ventajas es que este tipo de sistemas puede trabajar independientemente de la temperatura ambiente sin afectar su eficiencia y rendimiento térmico.

Entre sus desventajas se debe mencionar son de los sistemas de calentamiento de agua por medio de Gas Licuado de Petróleo son los menos eficientes que puede haber, ya que su eficiencia de calentamiento puede estar entre el 80% y 85%.

También otra de sus desventajas es que debido a los costos variables del Gas Licuado de Petróleo los valores económicos de su funcionamiento son extremadamente altos a los de otros sistemas de calentamiento de agua, si se necesita aumentar la cantidad de energía que entrega el calefón es necesario aumentar el caudal de Gas Licuado de Petróleo en el sistema, que desembocará en aumento de costos de funcionamiento.

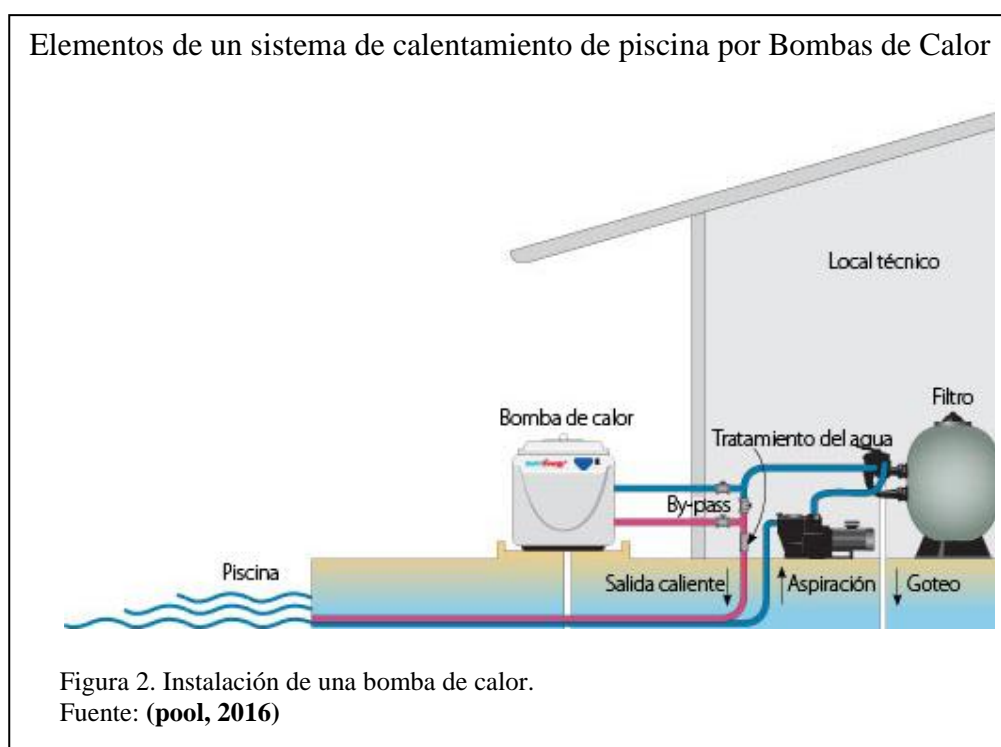
Por último, al ser un sistema que trabaja con Gas Licuado de Petróleo tiene emisiones de gas razón por la cual no es un sistema que sea amigable con el medio ambiente, además que en promedio la vida útil de estos tipos de sistemas puede estar entre los 4 a 6 años de vida.

1.8. Sistemas de calentamiento de agua por medio de Bombas de calor

Los sistemas de bombas de calor con fuentes de calor de aire que es lo que normalmente se usa en Quito; mantienen un coeficiente de operación COP alrededor de tres, es decir que proporciona tres unidades de calor por cada unidad de energía consumida; mientras las condiciones de trabajo sean similares a las del diseño; sin embargo, estos sistemas no son recomendables para climas extremadamente fríos ya que el sistema extrae calor del ambiente para transferirlo a la fuente deseada, por tanto, al trabajar en ambientes extremadamente fríos producirá un aumento en el trabajo haciendo que su consumo de energía sea mayor.

1.8.1 Bombas de Calor Generalidades

El principio de funcionamiento de una bomba de calor es utilizar el ciclo termodinámico de Reynolds invertido, se extrae el calor de un ambiente utilizando electricidad y se lo transmite hacia un depósito, para este caso una piscina ver Figura 2. Su funcionamiento será más efectivo en climas cálidos por la cantidad de calor del ambiente, “las bombas de calor de fuente de aire no son apropiadas para climas fríos porque su eficacia disminuye en forma considerable” (Cengel, 2006), por lo tanto será necesaria una mayor cantidad de energía eléctrica para alcanzar una determinada temperatura.



1.8.2 Componentes principales de una bomba de calor

Los principales elementos de una bomba de calor son: condensador, evaporador, compresor y válvula de estrangulamiento.

Estos dispositivos de ingeniería normalmente operan bajo las mismas condiciones durante periodos de trabajo muy largos. Es muy común ver que este tipo de dispositivos en industrias térmicas trabajen durante meses sin recibir un mantenimiento, por esta razón el análisis de estos dispositivos se lo puede realizar como dispositivos de flujo estable.

1.8.3 Compresor

El compresor es uno de los dispositivos que se utiliza en los sistemas para aumentar la presión del fluido de trabajo. c. El compresor puede comprimir el fluido de trabajo a muy altas presiones. En los compresores la transferencia de calor es casi insignificante $Q \approx 0$ ya que normalmente están bien aislados. En este tipo de dispositivos se puede comprender que los cambios de energía potencia son insignificantes ($\Delta ep \cong 0$); las velocidades en los compresores son muy bajas como para que su valor tenga un cambio importante en su energía cinética ($\Delta ec \cong 0$).

Balance de energía:

$$\dot{E}_{entrada} - \dot{E}_{salida} = \frac{\partial E_{sistema}}{\partial t} \quad \partial t = 0 \text{ (Sistema estable)}$$

$$\dot{E}_{entrada} - \dot{E}_{salida} = 0$$

$$\dot{E}_{entrada} = \dot{E}_{salida}$$

$$\dot{W}_{entrada} + \dot{m} \times h_1 = \dot{Q}_{salida} + \dot{m} \times h_2 \text{ (Puesto que } \Delta ec = \Delta ep \cong 0)$$

De este resultado se obtiene la ecuación de la energía del compresor

$$\dot{W}_{entrada} = \dot{m} \times q_{salida} + \dot{m} \times (h_2 + h_1)$$

[Ecuación 5]

1.8.4 Válvula de estrangulamiento

Las válvulas de estrangulamiento son un tipo de dispositivos que restringen el paso del flujo esto se da ya que existe una súbita variación en el diámetro de la tubería seguida de una expansión, esto causa una caída de presión muy significativa para el fluido de trabajo sin la necesidad de requerir trabajo. Al producirse una caída de presión en el fluido de trabajo esta produce un considerable descenso de temperatura, es por esto que su mayor utilización se da en sistemas de refrigeración y aire acondicionado.

Por lo general, las válvulas de estrangulamiento son elemento pequeños razón por la cual se puede interpretar que el fluido de trabajo que pasa por el mismo es adiabático ($q \cong 0$) esto se da a que la transición por el dispositivo es tan rápida y su área tan pequeña como para que se produzca una transferencia de calor significativa. Las válvulas de estrangulamiento no producen ningún tipo de trabajo ($w = 0$), también al estar al mismo nivel el cambio de energía potencial es prácticamente insignificante ($\Delta ep \cong 0$).

Al igual que en otros dispositivos para su análisis en la ecuación de conservación de la energía para la válvula se considera al fluido de trabajo estable por tanto la ecuación se reduce a:

$$(h_2 \cong h_1)$$

[Ecuación 6]

Por consiguiente, como se aprecia en el resultado de la ecuación los valores de la entalpia a la entrada y a la salida de la válvula de estrangulamiento serán iguales. Es por este proceso que se considera a las válvulas de estrangulamiento isoentálpico.

1.8.5 Condensador y Evaporador

El condensador y el evaporador, estos son dispositivos en los cuales entran dos tipos de fluidos los cuales realizan un intercambio de calor a través de las paredes de las tuberías del dispositivo sin mezclarse.

El intercambiador de calor es uno de los dispositivos que no recibe ni entrega trabajo ($w = 0$), también los cambios de energía cinética y potencial son mínimos debido a que la velocidad del fluido no cambia durante el proceso de transferencia de calor y no existe una variación significativa de altura entre la entrada y salida del fluido por tanto el cambio de energía también es casi mínimo e incluso insignificante para el flujo como para tomarlo en cuenta ($\Delta ep \cong 0, \Delta ec \cong 0$). El análisis para los intercambiadores de calor se puede realizar en base a la tasa de transferencia de calor la cual está estrictamente relacionada con la selección del volumen de control para el análisis.

Balance de masa en intercambiador de calor:

$$\dot{m}_{entrada} = \dot{m}_{salida}$$

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

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_R$$

[Ecuación 7]

Balance de energía:

$$\dot{E}_{entrada} - \dot{E}_{salida} = \frac{\partial E_{sistema}}{\partial t} \quad \partial t = 0 \text{ (Sistema estable)}$$

$$\dot{E}_{entrada} - \dot{E}_{salida} = 0$$

De esta ecuación se obtiene el balance de energía en el intercambiador de calor

$$\dot{E}_{entrada} = \dot{E}_{salida}$$

[Ecuación 8]

$$\dot{W} + \dot{m}_1 \times h_1 + \dot{m}_3 \times h_3 = \dot{Q} + \dot{m}_2 \times h_2 + \dot{m}_4 \times h_4 \text{ (Puesto que } \Delta ec = \Delta ep \cong 0 \text{)}$$

$$\dot{m}_1 \times h_1 + \dot{m}_3 \times h_3 = \dot{m}_2 \times h_2 + \dot{m}_4 \times h_4 \text{ (Puesto que } \dot{Q} \cong 0, \dot{W} \cong 0 \text{)}$$

$$\dot{m}_w \times (h_1 - h_2) = \dot{m}_R \times (h_4 - h_3)$$

1.9. Funcionamiento de la bomba de calor

El sistema trabaja de la siguiente manera, el aire pasa a través de la bomba de calor y sobre el evaporador que contiene gas refrigerante (R-410a), este refrigerante se mantiene a baja temperatura para poder absorber energía, mientras el aire pasa por la bobina del evaporador, el refrigerante va ganando energía (se calienta) y de esta manera aumenta su temperatura. Una vez aumentado su nivel energético entra a un compresor aumentando su presión y haciendo que el gas refrigerante aumente aún más su temperatura. En el compresor el aumento de la presión produce un mayor nivel energético en el refrigerante convirtiendo a este en un refrigerante sumamente caliente. Este refrigerante una vez salido del compresor entra a un condensador donde el agua de la piscina entra y sale constantemente del sistema. En este punto es donde la energía del gas refrigerante transfiere calor al fluido, de esta manera es cómo se calienta el agua de la piscina. Mientras el agua de la piscina se calienta, el gas refrigerante baja su nivel energético (baja su temperatura). Una vez realizado este proceso, el gas refrigerante pasa por una válvula de estrangulamiento bajando aún más su temperatura para completar el ciclo.

“La capacidad de la bomba de calor suele ser controlando la capacidad del compresor. La forma más simple es un control intermitente donde el compresor está

encendido y apagado por un termostato. Una solución más eficiente en el control de velocidad variable (VSC) del compresor.” (marian Rubik, 2016)

1.10. Ciclo ideal y real en una bomba de calor

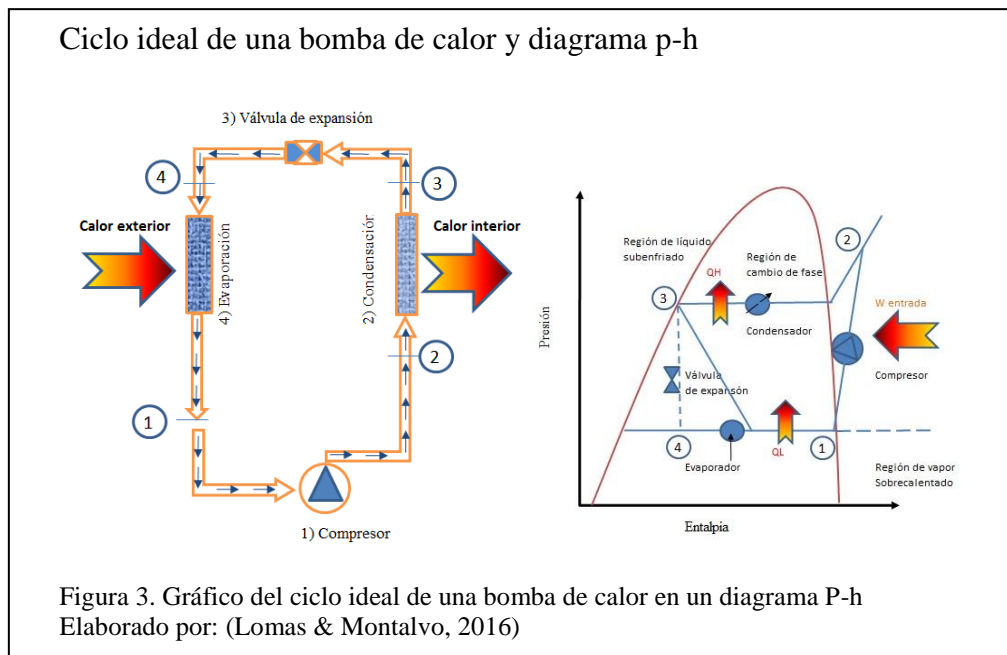
Los ciclos Ideal y Real de una bomba de calor se describen a continuación.

1.10.1 Ciclo ideal de una bomba de calor

El ciclo ideal se entiende como un proceso totalmente reversible. Este tipo de procesos tiene una eficiencia térmica máxima los cuales permiten determinar sus temperaturas máximas y sirven como un estándar para los ciclos de potencia reales.

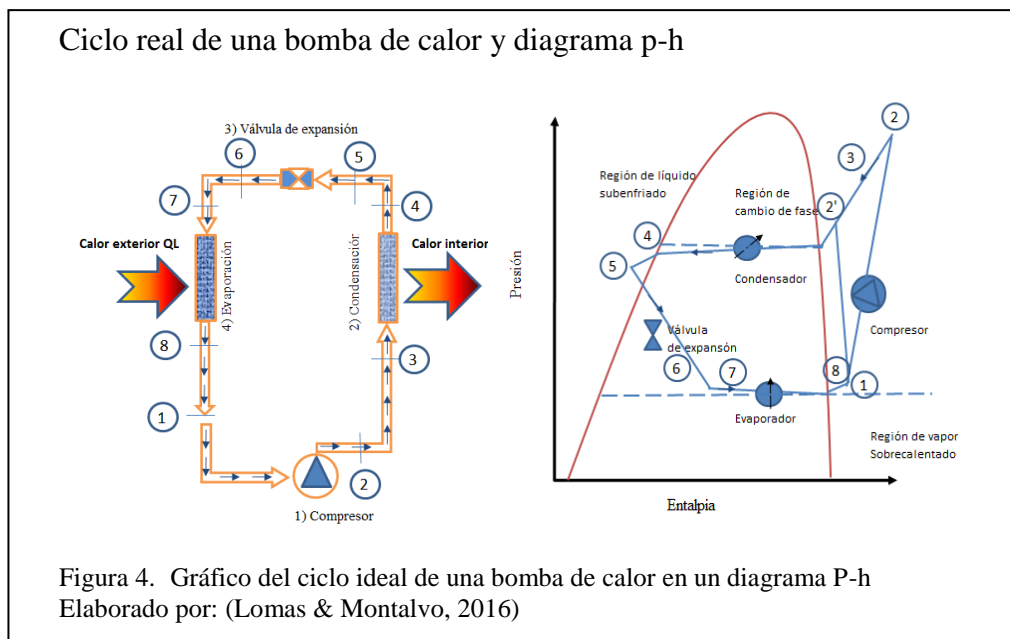
Las bombas de calor se comprenden de los siguientes procesos:

- a. 1-2 Compresión isotrópica en un compresor
- b. 2-3 Rechazo de calor a presión constante en un condensador
- c. 3-4 Estrangulamiento en un dispositivo de expansión
- d. 4-1 Absorción de calor a presión constante en un evaporador



1.10.2 Ciclo real de una bomba de calor

En el ciclo ideal el refrigerante sale del evaporador y entra al compresor como vapor saturado, sin embargo en la práctica no es posible realizar este proceso y ser completamente preciso razón por la cual es más fácil diseñar un sistema de modo que el refrigerante este sobrecalentado a la entrada del compresor, también la línea que conecta al evaporador suele ser muy larga en ciertos equipos por tanto la caída de presión y la fricción del fluido aumentan al igual que el área de transferencia de calor haciendo que estas pérdidas serán muy significativas. Uno de los resultados del sobrecalentamiento es que la ganancia en la línea de conexión y las caídas de presión en el evaporador producen un aumento en el volumen específico, como resultado se obtiene un aumento en la potencia de entrada del compresor.



1.11. Tipo de refrigerante de las Bombas de calor

El refrigerante actualmente utilizado por las bombas de calor es el refrigerante R410a que es utilizado a partir del año 2014 en el Ecuador como el reemplazo del R22 por ser más ecológico para el medio ambiente, también es más utilizado por su

versatilidad para usarse en sistemas de tipo invertir. El R410a solo contiene flúor, no contribuye a la reducción de la capa de ozono y por ello se utiliza ampliamente.

Un estudio realizado sobre el rendimiento y las características del R22 en Aire Acondicionado AC residenciales, “entre las 11 alternativas, cuatro eran: R410a, R407a, R134a y R600. Se encontró que la relación de presión para todos los refrigerantes en diferentes temperaturas de condensación fueron mayores que las de R22 siendo el R410a el más alto al 40% y R407a al 18%” (Bantan Mafor Glrory)

Es un refrigerante de alta seguridad al no ser toxico ni inflamable, lo cual es una ventaja muy alta en caso de fugas. Este refrigerante puede trabajar a presiones más altas que el R22 dando versatilidad en los diseños y mayor amplitud en eficiencia, también tiene una función termodinámica atractiva y posee una elevada capacidad de enfriamiento volumétrico, en comparación con el R22, y tiene mejores propiedades de intercambio térmico.

El uso de refrigerantes en base de aceites genera algunas dificultades, “uno de los problemas más graves de la baja temperatura de refrigeración, en los que podría incluirse es la dificultad para devolver el evaporador al compresor. Dado que los compresores bombean un poco de aceite al sistema, lo proporcionado para devolverlo del evaporador continuamente, este problema se agrava con la baja temperatura porque el aceite se vuelve más viscoso.” (Harnish, 2016)

1.12. Bombas de calor usadas en piscinas

La bomba de calor absorbe el calor de una fuente para transferirlo a otra fuente que requiere el calor. El ciclo termodinámico de la bomba de calor es lo que permite trasferir energía (calor) de una fuente a otra.

-Las Bombas de calor aire-agua son el tipo de bombas de calor que se encargan de aprovechar el calor en el aire del ambiente para transferirlo al agua, este calor del

ambiente es el que genera el intercambio de calor. Estos sistemas se encargan de quitar calor al ambiente para transferirlo a un fluido. Su uso más común se es el del calentamiento de piscina o estanques.

1.13. Eficiencia de una Bomba de calor

Para seleccionar una bomba de calor es necesario conocer su eficiencia mediante el “coeficiente de operación que a menudo se denomina COP, se define como la cantidad de calor transferido por unidad de trabajo de entrada requerido. Matemáticamente: (Muhammad Akmal, Brendan Fox, 2016).

$$COP_{BC} = \frac{Sal_{deseada}}{Ent_{requerida}} = \frac{Q_H}{W_{netoentradi}}$$

[Ecuación 9]

$$COP_{BC} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{1 - \frac{Q_L}{Q_H}}$$

Donde:

COP = Coeficiente de operación

Q_H = Calor extraído de la piscina

W = Trabajo eléctrico que necesita el compresor.

En el dimensionamiento de la bomba de calor se debe conocer el calor a transportar, para ello se usará la siguiente fórmula:

$$Q = \dot{m} \times C_e \times (T_{ag} - T_x)$$

[Ecuación 10]

Donde:

Q = calor necesario

\dot{m} = flujo másico

C_e = calor específico del agua: $1.16 [W \times h/kg^\circ C]$

T_{ag} = temperatura del agua de la piscina en grados centígrados

T_x = temperatura del agua de la red en grados centígrados

El COP para una bomba de calor que utiliza como fuente de calor el aire será alrededor de 3 si sus parámetros de trabajo son iguales al del diseño.

1.14. Ventajas y desventajas de las bombas de calor

Entre las principales características de las bombas de calor es que su coeficiente de desempeño oscila entre el 5 y 6, ósea un sistema de calefacción eficiente.

Los costos de operación son relativamente bajos, su costo de operación oscila entre los USD 80 a 200 mensuales dependiendo de la capacidad del sistema.

Los sistemas de bombas de calor implementados para agua de piscinas presentan un rango de vida que oscila entre los ocho a doce años. Estos sistemas utilizan energía eléctrica y el ciclo termodinámico invertido de Reynolds para transferir energía no emite contaminación por tanto son sistemas amigables con el ambiente.

Los sistemas de bombas de calor involucran costos elevados de instalación y de venta del equipo que pueden estar por encima de los USD 12 000.

También las bombas de calor al operar con el medio ambiente se convierten en más o menos eficientes dependiendo de la temperatura externa, haciendo que en climas cálidos su eficiencia sea alta y en climas fríos su eficiencia sea baja.

CAPÍTULO II:

ANÁLISIS TÉRMICO

En el siguiente capítulo se realiza el balance térmico de la piscina, para ello se calcula las pérdidas de calor (o cargas térmicas del sistema), la cantidad de calor necesario para llegar a la temperatura requerida, así como también la potencia requerida para llegar al calor necesario para el análisis y seleccionar un equipo bomba de calor como calefón.

2.1. Balance Térmico de una piscina

Para el siguiente análisis se tomara en cuenta que la piscina necesita 25°C , es decir una piscina para recreación y un área de 50m^2 (Ver Anexos 1).

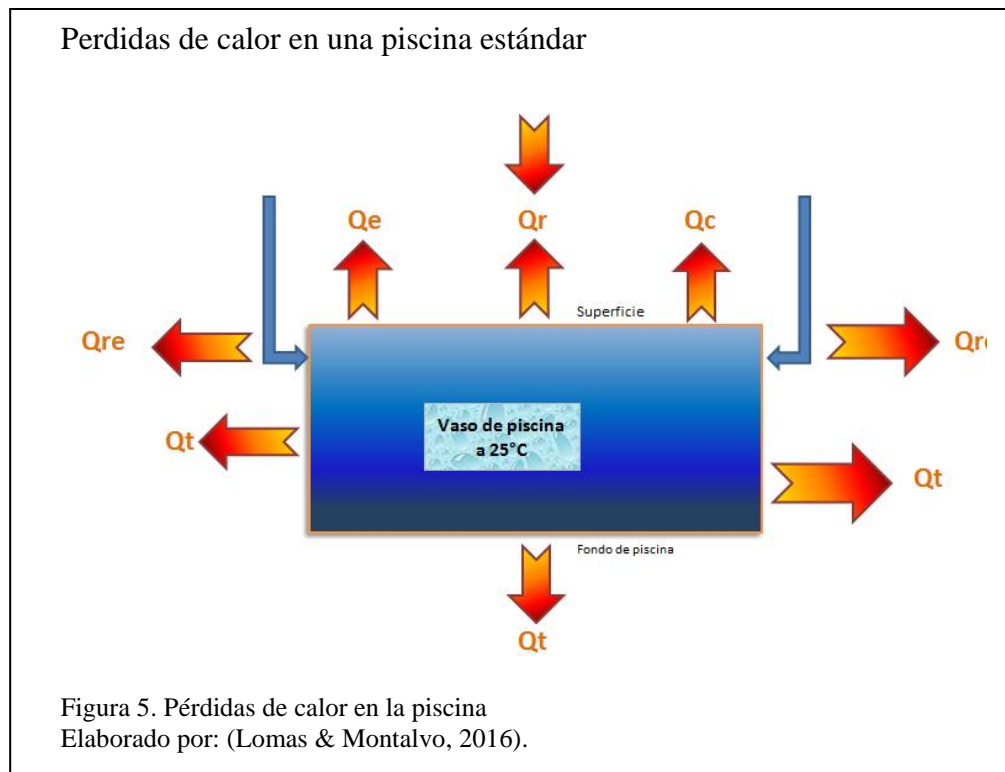
2.2. Evaluación de cargas térmicas presentes en el sistema

Es necesario analizar las diferentes perdidas presentes en el sistema para poder mantener la temperatura en la piscina, esto se realizara en el siguiente balance térmico.

2.2.1 Pérdidas de calor del agua en la piscina

Las pérdidas de calor pueden deberse a varios factores entre los cuales se menciona los más influyentes.

- Evaporación del agua de la piscina (Q_e).
- Radiación de calor debido a las diferentes temperaturas (Q_r).
- Convección de calor que se trasmite entre el agua y el aire (Q_c).
- Renovaciones del agua (Q_{re}).
- Trasmisión de calor del agua (Q_t).



Datos Iniciales:

- a. Tipo de pisciana: Estándar ($10 \times 5 \times 1.5$) [m] (Cubierta)
- b. Temperatura del agua: $25 [^{\circ}\text{C}]$
- c. Temperatura del ambiente máxima: $27 [^{\circ}\text{C}]$
- d. Temperatura del ambiente mínima: $20 [^{\circ}\text{C}]$
- e. Humedad relativa 65%
- f. Periodo de renovaciones: 8 [h] y número de renovaciones: 3
- g. $D =$ Constante de Stefan-Boltzmann = $5.67 \times 10^8 [\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4]$
- h. $E = 0.95$ para el agua; ($E =$ emisividad de la superficie)
- i. $V_r = 5\%$; volumen de agua de renovaciones [m^3] de la piscina
- j. $D =$ Densidad del agua: $1000 [\text{kg}/\text{m}^3]$

k. $C_e = \text{Calor específico del agua: } 1.16 \left[\frac{\text{Wh}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$

l. $C_T = \text{coeficiente de transmisión de las paredes: } 1.5 \left[\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \right]$

Hormigón

2.2.2 Pérdidas producidas por la evaporación (Q_e)

Al momento de calentar el agua de la piscina uno de sus resultados será la evaporación del agua, ya que este proceso requiere de energía, el resultado será una pérdida de calor; por tanto entre mayor sea la cantidad de evaporización de la piscina mayor será la disminución de temperatura.

El cálculo de esta pérdida se realiza por medio de la siguiente ecuación.

$$Q_e = M_e \times C_v$$

[Ecuación 11]

Donde:

$$Q_e = \text{Perdidas por evaporación } \left[\text{W/m}^2 \right]$$

$$M_e = \text{Masa de agua evaporada } \left[\text{kg/h} \right]$$

$$C_v = \text{Calor de vaporización del agua } \left[676 \text{ W/kg} \right]$$

$$S_{\text{pis}} = \text{Superficie de la piscina en } \left[\text{m}^2 \right]$$

Para el cálculo de la masa evaporada se usa la ecuación de Bernier:

$$M_e = S \times [(16 + 133 \times n) \times (W_e - G_a \times W_{as})] + (0.1 \times N)$$

[Ecuación 12]

Donde:

$$M_e = \text{flujo másico de agua evaporada en } \left[\text{kg/h} \right]$$

$$S = \text{Superficie del agua de la piscina. } (250 \left[\text{m}^2 \right] \text{ ver anexo 1})$$

W_e = Humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del agua de la piscina, en $[\text{kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{aire}}]$ $[0.02 \text{ kg}_{\text{agua}} / \text{kg}_{\text{aire}}]$

W_{as} = Humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del ambiente interior, en $[\text{kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{aire}}]$ $[0.025 \text{ kg}_{\text{agua}} / \text{kg}_{\text{aire}}]$

G_a = Grado de saturación (Humedad relativa), (0,65)

n = Número de bañistas: 10 personas.

N = Número total de ocupantes (espectadores): 5 personas

16 = Coeficiente de evaporación asociada a la piscina sin agitación.

133n = Coeficiente de evaporación asociada a la agitación de los ocupantes.

$$M_e = 50 [m^2] \times [(16 + 133 \times \frac{10}{50}) \times (0.02 - 0.65 \times 0.025) \left[\frac{kg}{h \times m^2} \right]] + (0.1 \times 5)$$

$$M_e = 8.4875 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

Una vez obtenido el flujo másico se vuelve a la ecuación de pérdidas por evaporización:

$$Q_e = M_e \times C_v$$

Entonces:

$$Q_e = 8.4875 \left[\frac{kg}{h} \right] \times 676 \left[\frac{Wh}{kg} \right]$$

$$Q_e = 5737.55 [W]$$

2.2.3 Pérdidas por radiación efecto de la diferencia de temperaturas (Q_r)

Las pérdidas por radiación se deben a la diferencia de temperaturas presente en la piscina ya que la temperatura del agua no es uniforme. El cálculo de las pérdidas por radiación se realiza por medio de la fórmula de Stefan Boltzmann que es la siguiente:

$$Q_r = S_{pis} \times D \times E \times (T_{ag}^4 - T_c^4) \times W$$

[Ecuación 13]

Donde:

$$D = \text{Constante de Stefan-Boltzmann} = 5.67 \times 10^{-8} \text{ [W/m}^2\text{K}^4\text{]}$$

$E = 0.95$; E =emisividad de la superficie para el agua

T_{ag} = temperatura del agua en grados kelvin

T_c = temperatura superficial de los cerramientos en grados kelvin

S_{pis} = Superficie de la piscina

Para el análisis de la piscina en mención se considera los siguientes datos:

$$T_{ag} = 298.15 \text{ }^\circ\text{F [25 }^\circ\text{C]}$$

$$T_c = 297.15 \text{ }^\circ\text{F [23 }^\circ\text{C]}$$

$$S_{pis} = 50 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$Q_r = 50 \text{ [m}^2\text{]} \times (5.67 \times 10^{-8} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \right]) \times 0.95 \times (298.15^4 - 297.15^4) \text{ [K}^4\text{W]}$$

$$Q_r = 284.0897 \text{ [W]}$$

Por lo general, cuando se hace este análisis para piscinas cubiertas el valor es insignificante, por tanto es despreciable para su análisis.

2.2.4 Pérdidas por convección producida entre el aire y el agua de la piscina (Q_c)

Esta pérdida es inevitable para una piscina ya que la transferencia de calor no puede ser eliminada.

El cálculo de esta pérdida se realiza con la fórmula de convección que es:

$$Q_c = S_{pis} \times 0.6246 \times (T_{ag} - T_a)^{\frac{4}{3}} W$$

[Ecuación 14]

Donde:

T_{ag} : Temperatura del agua

T_{ag} = Temperatura del agua

T_a = temperatura del aire

S_{pis} = Superficie de la piscina

Datos:

$$T_{ag} = 298.15 \text{ °F } [25 \text{ °C}]$$

$$T_a = 297.15 \text{ °F } [23 \text{ °C}]$$

$$S_{pis} = 50 \text{ m}^2$$

$$Q_c = 50 [m^2] \times 0.6246 \times (25 - 23)^{\frac{4}{3}} [W]$$

$$Q_c = 78.7 [W]$$

Al realizar este cálculo para piscinas cubiertas el valor de convección es muy bajo, por tanto este es despreciable.

2.2.5 Pérdidas por renovación (Q_{re})

La pérdida por renovación es la pérdida de calor que existe en la piscina cuando entra o sale agua de la misma, también esta pérdida se da por cambios que ocurren en la

piscina. Cabe mencionar que en la mayoría de casos estas variaciones pueden estar entre el 3 al 5% del volumen total de la piscina.

El cálculo de las pérdidas por renovación se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{re} = V_r \times D \times C_e \times (T_{ag} - T_x)W$$

[Ecuación 15]

Donde:

V_r = volumen de agua de renovaciones [m^3] 5% del volumen de la piscina

D = densidad del agua: 1000 [kg/m^3]

C_e = calor específico del agua: 1.16 [Wh/kg °C]

T_{ag} = temperatura del agua de la piscina en grados centígrados

T_x = temperatura del agua de la red en grados centígrados

Datos:

Se usa una piscina semi-olímpica (ver anexo 1; tabla 9):

Largo = 10m,

Ancho = 5m,

Profundidad = 1,5m

$$V_r = L \times A \times P \times 5\% [m^3]$$

[Ecuación 16]

$$V_r = (10 \times 5 \times 1.5 \times 5\%) [m^3]$$

$$V_r = 3.75 [m^3]$$

V_r = cada 8 horas de renovación de agua

$$V_r = 0.46875 [m^3]$$

$$T_{ag} = 298.15^\circ F [25^\circ C]$$

$$T_x = 288.15^\circ F [15^\circ C]$$

$$Q_{re} = 0.46875 [m^3] \times 1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \times 1.16 \left[W \frac{h}{kg} \text{ } ^\circ C \right] \times (25 - 15) [^\circ C]$$

$$Q_{re} = 5437.5 [Wh]$$

Qr para cada hora

$$Q_{re} = 5437.5 [W]$$

2.2.6 Pérdidas por transmisión de calor a través de la estructura de la piscina (Q_t)

Las pérdidas por transmisión dependerán de cómo fue construida la piscina y del material del cual fue construida ya que esto da su coeficiente de transmisión térmica. Por lo general, la construcción de las piscinas se realiza con hormigón y en el subsuelo de los conjuntos o casas, el cálculo de estas pérdidas se lo realiza por medio de la siguiente formula.

$$Q_t = C_T \times S \times (T_{ag} - T_{ex})W$$

[Ecuación 17]

Donde:

C_T = coeficiente de transmisión de las paredes: $1.50 [W/m^2 \text{ } ^\circ C]$

Hormigón-Azulejos

S_{pis} = superficie de la piscina

T_{ag} = temperatura del agua de la piscina

T_{ex} = temperatura exterior al de la piscina

Datos:

$$S_{pis} = 50 [m^2]$$

S_{pis} = base de piscina + paredes a lo largo $\times 2$ + paredes a lo ancho $\times 2$

$$S_{pis} = 50 [m^2] + (10 \times 1.5) [m^2] + (5 \times 1.5) [m^2] = 72.5 [m^2]$$

$$T_{ag} = 25 [^\circ C]$$

$$T_x = 16 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$Q_t = 1.5 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right] \times 72.5 \text{ [m}^2\text{]} \times (25 - 16) \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$Q_t = 978.75 \text{ [W]}$$

2.2.7 Potencia necesaria

Se entiende como el calor necesario para elevar la temperatura 2 grados en un tiempo estimado de 8 horas.

La potencia que necesitará el sistema se calcula de la siguiente manera:

$$Q_{pot} = \frac{V \times D \times C_e \times (T_{ag} - T_x)}{t} \text{ W}$$

[Ecuación 18]

Donde:

V = Volumen de la piscina; $[\text{m}^3]$

D = Densidad del agua 1000 $[\text{kg}/\text{m}^3]$

C_e = Calor específico del agua 1.16 $[\text{Wh}/\text{kg}^\circ\text{C}]$

T_{ag} = temperatura del agua de la piscina en grados centígrados: 25 $[\text{}^\circ\text{C}]$

T_x = temperatura del agua de la red en grados centígrados: 23 $[\text{}^\circ\text{C}]$

t = tiempo de puesta en marcha 8 horas.

Datos:

$$V = (10 \times 5 \times 1.5) \text{ [m}^3\text{]}$$

$$V = 75 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$Q_{pot} = \frac{75 \text{ [m}^3\text{]} \times 1000 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \times 1.16 \left[\frac{\text{Wh}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right] \times (25 - 23) \text{ [}^\circ\text{C}]}{8 \text{ [h]}}$$

$$Q_{pot} = 21750.00 \text{ [W]}$$

Calor necesario para recuperar diariamente:

$$Q_N = Q_{pot} + Q_{perd}$$

[Ecuación 19]

$$Q_N = 34266.5897 \text{ [W]}$$

Calor necesario para calentar la piscina:

Temperatura inicial = 15 [°C]

Temperatura Final = 25 [°C]

$$Q_N = V \times \rho \times C_{ag} \times \frac{(T_f - T_i)}{t}$$

[Ecuación 20]

$$Q_N = 36250.0 \text{ [W]}$$

2.3. Resumen de pérdidas en balance térmico de la piscina

La siguiente tabla se observa el resumen de las pérdidas calculadas para la piscina.

Tabla 3. Resumen de pérdidas de la piscina

PÉRDIDAS CALCULADA	POTENCIA CONSUMIDA [W]	PORCENTAJE DE PÉRDIDAS
Evaporización Q_e	5.737.55	16.74%
Radiación Q_r	284.09	0.82%
Convección Q_c	78.70	0.23%
Renovación Q_{re}	5 437.50	15.86%
Transmisión Q_t	978.75	2.85%
Total de perdidas Q_{perd}	12 516.59	36.53%
Potencia requerida Q_{pot}	21 750.00	63.47%
Total de cargas Q_N	34 266.59	100%
Puesta en marcha (24horas)	36 250.00	
Potencia requerida	36 250.00	

Nota: cálculo de pérdidas de la piscina

Elaborado por: (Lomas & Montalvo, 2016)

Gráfica de las pérdidas de calor en una piscina estándar

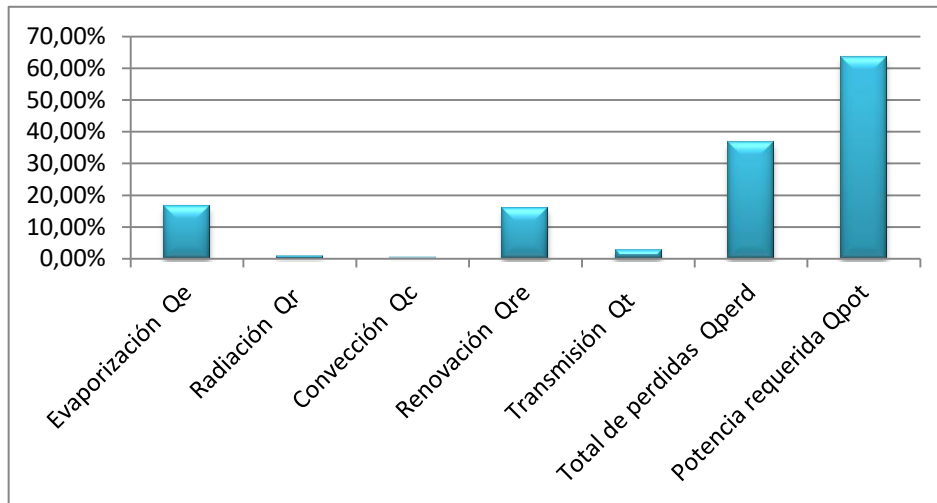


Figura 6. Pérdidas de calor en la piscina
Elaborado por: (Lomas & Montalvo, 2016).

2.4. Selección del equipo: Bomba de calor y Calefón

Para la selección del equipo se consideró los equipos que pueden ser de acceso en la ciudad de Quito y se describen en una tabla a continuación:

2.4.1 Equipo Bomba de calor:

En la tabla 4 se muestran las especificaciones de la bomba de calor sugerida:

Tabla 4. Bomba de calor Marca Jandy

Modelo	EE3000T	EE3000T-R	EE3000T-263	EE3000T-R263
Voltaje	230/60/1		230/60/3	
Rendimiento	140.000 [BTUs] / 41.000 [W]			
Entrada	6,7 [KW]			
COP	6,1			
Rendimiento	132.000 [BTUs] / 3.866 [W]			

Nota: modelos de bombas de calor disponibles en el mercado ecuatoriano

Elaborado por: (Lomas & Montalvo, 2016)

2.4.2 Equipo Calefón:

Se lo determina por el calor generado del calefón como se indica en la tabla 5:

Tabla 5. Calores generados por un calefón

Calefón	1 unidad	4 unidades	Calor necesitado
Calor que genera	9594.44 [W]	38377.76 [W]	36250.00 [W]
Flujo másico	0.75 [kg/h]	2.25 [Kg/h]	----

Nota: cantidad de calor disponible en calefones

Elaborado por: (Lomas & Montalvo, 2016)

Para alcanzar la temperatura necesitada en la piscina 25[°C] se necesitarían 4 calefones para alcanzar 36[KW], los modelos en el mercado de la marca Neckar son:

Tabla 6. Bomba de calor marca Neckar.

Modelo	WN5	WN7
Potencia útil Nominal	9.3 [kw]	11.6 [kw]
Consumo calorífico nomina	10.8 [kw]	13.4 [kw]
Caudal	6.5 [g/s]	8.1 [g/s]
Unidades requeridas en balance térmico	4 unidades	3 unidades

Nota: Calefones disponibles en el Ecuador

Elaborado por: (Lomas & Montalvo, 2016)

CAPÍTULO III:

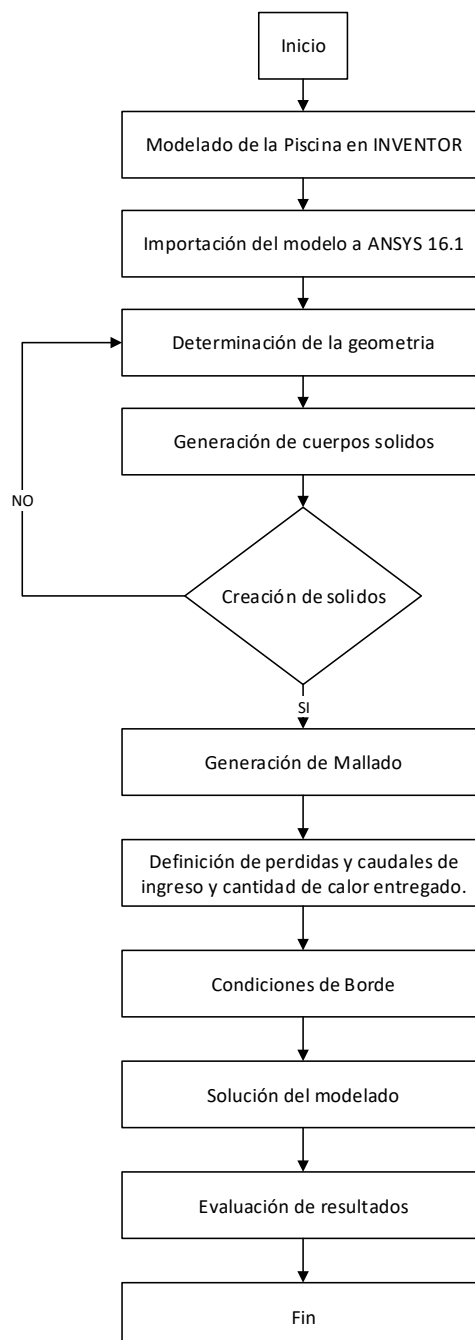
SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se muestra el procedimiento para simular en el software ANSYS 16.1 CFX el flujo de calor transferido a la piscina mediante la utilización de: un abomba de calor, un calefón, y el análisis teórico que se ha obtenido de los cálculos realizados en el capítulo II. De ahí que, la simulación permite realizar una comparación de las condiciones determinadas en el diseño teórico, y corroborar la selección de los equipos que se va a utilizar para el suministro de calor en la piscina, permitiendo validar su selección.

3.1. Procedimiento para la simulación del flujo de calor en la piscina por medio de ANSYS 16.1

En el presente apartado se expone el procedimiento realizado para la simulación del flujo de calor al ingreso de la piscina. El flujograma de simulación, permite esquematizar el procedimiento general a través del pseudocódigo utilizado, para 3 tipos de datos: teóricos (anexo 8), datos de la bomba de calor (anexo 6) y datos del calefón (anexo 7). El siguiente flujo grama explica el proceso seguido para la realización de la simulación partiendo del modelado de la piscina en inventor, consecutivo a esto se procedió a la importación de del modelado realizado en inventor a el programa de simulación ANSYS específicamente al módulo de CFX; Una vez en el simulador se procede a realizar los primeros pasos para la interpretación del sistema por parte del programas iniciando por la interpretación de la geometría, después de este proceso se realiza la generación del sólido que permitirá al programa interpretar los elementos del sistema analizarse, se realizara luego la creación del solido lo cual permitirá continuar con el proceso de simulación o regresar al proceso de determinación de la geometría. Si la creación del solido ha sido exitosa se procede a la generación de un

mallado el cual permitirá realizar un análisis más específico en los puntos más importantes según se requiera. A continuación se definen las pérdidas presentes en el sistema así como sus flujos de entrada y salida, y condiciones de borde las cuales permiten al programa interpretar como se realiza la entrega de flujo y por medio de que elementos. Por último, se procede a realizar la solución del modelado que entregara los resultados correspondientes a la simulación, información con la cual se puede analizar el sistema simulado.



3.2. Condiciones generales de trabajo

La simulación se realiza con el software de ingeniería y diseño ANSYS versión 16.1. En el módulo de trabajo Fluid Flow Analysis (CFX). Dado que, la matriz de ponderación de la Tabla 7 determina el valor más alto según los criterios evaluados mediante su peso específico.

Tabla 7. Valor del peso específico:

Valor	Ponderación
Excelente	1
Muy Bueno	0,8
Bueno	0,5
Regular	0,3
Pésimo	0,1

Nota: Ponderaciones asignadas para evaluar el uso del programa

Elaborado por: (Lomas & Montalvo, 2016)

Tabla 8. Ponderación asignada al software ANSYS

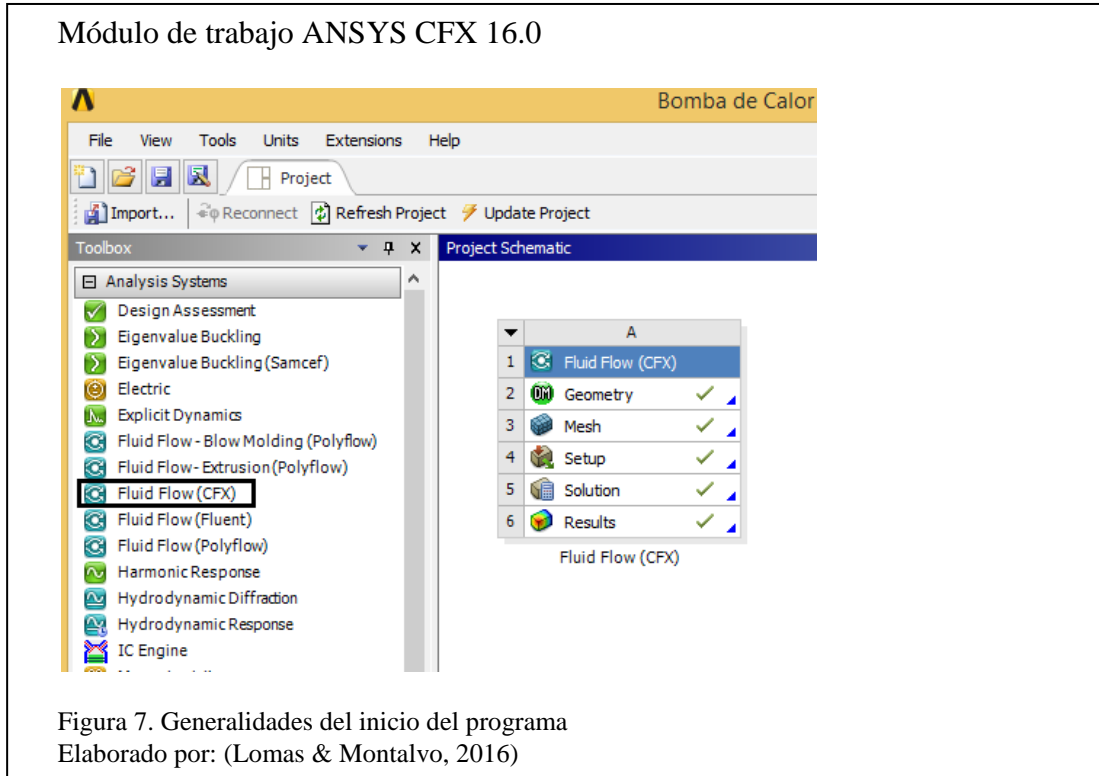
Criterio	Ansyes	COMSOL MultiPhysics	SolidWorks
Compatibilidades con el sistema Operativo	1	1	1
Estabilidad en el Manejo de Datos	1	0,8	0,5
Tiempo de Simulación	1	1	0,8
Compatibilidad con programas de CAD	1	0,8	0,8
Uso de recurso Computacional	0,5	0,8	1
Manejo Versátil	0,8	0,8	1
Exportación de datos	1	0,5	0,3
Validez	0,8	0,8	0,8
TOTAL	7,1	6,5	6,2

Nota: Calificación al software ANSYS, fuente: (Carles Riba, 2006)

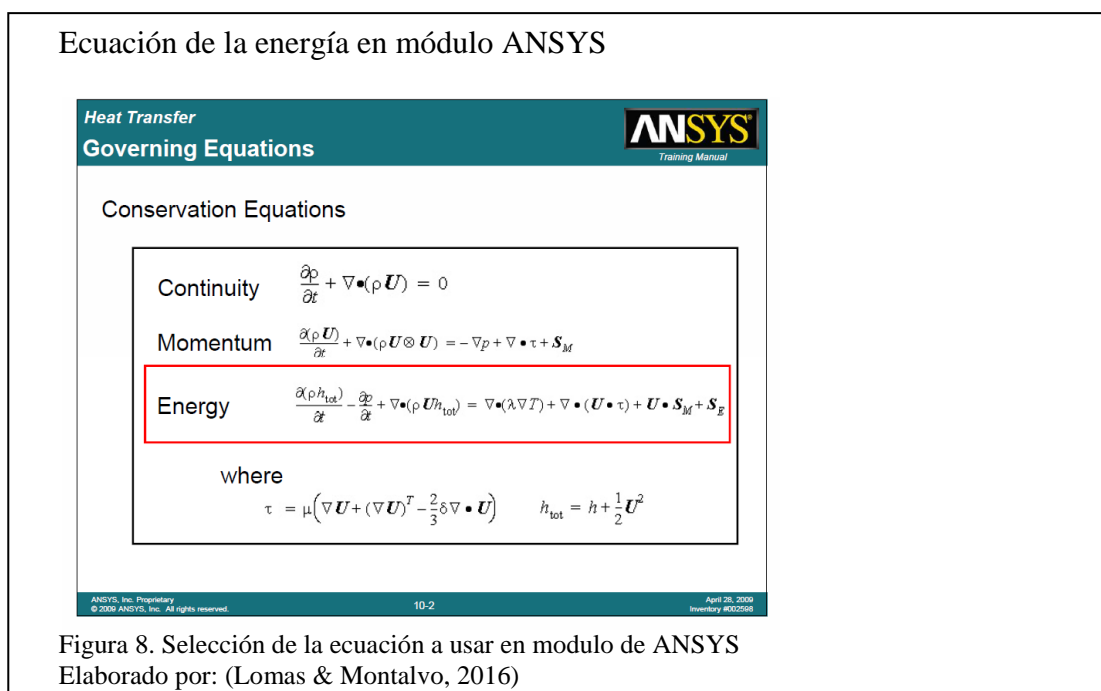
Elaborado por: (Lomas & Montalvo, 2016)

3.3. Simulación en ANSYS 16.1 Modulo CFX 16.1

A continuación se presenta los pasos para empezar la simulación en el módulo CFX, en la figura 7 inicia el programa.




El módulo de CFX, permite realizar un análisis de transferencia de calor a través de la solución de la ecuación de Energía.



Ecuación de la transferencia de calor en modulo ANSYS

Heat Transfer
Governing Equations



- Heat transfer in a fluid domain is governed by the Energy Transport Equation:

$$\underbrace{\frac{\partial(\rho h_{tot})}{\partial t}}_{\text{Transient}} - \underbrace{\frac{\partial p}{\partial t}}_{\text{Convection}} + \nabla \cdot (\rho U h_{tot}) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + \nabla \cdot (U \cdot \tau) + S_E$$

Transient
Convection
Conduction
Viscous work
Sources

- The Heat Transfer Model relates to the above equation as follows
 - **None:** Energy Transport Equation not solved
 - **Isothermal:** The Energy Transport Equation is not solved but a temperature is required to evaluate fluid properties (e.g. when using an Ideal Gas)
 - **Thermal Energy:** An Energy Transport Equation is solved which neglects variable density effects. It is suitable for low speed liquid flow with constant specific heats. An optional viscous dissipation term can be included if viscous heating is significant.
 - **Total Energy:** This models the transport of enthalpy and includes kinetic energy effects. It should be used for gas flows where the Mach number exceeds 0.2, and high speed liquid flows where viscous heating effects arise in the boundary layer, where kinetic energy effects become significant.

ANSYS, Inc. Proprietary
© 2009 ANSYS, Inc. All rights reserved.
10-3
April 28, 2009
Inventory #002598

Figura 9. Ecuación de transferencia de calor en modulo de ANSYS
Elaborado por: (Lomas & Montalvo, 2016)

3.4. Condiciones iniciales, mallado y restricciones de frontera

a. Seleccionar con doble clic Geometry Model

Ingresando la geometría en módulo ANSYS

Project Schematic

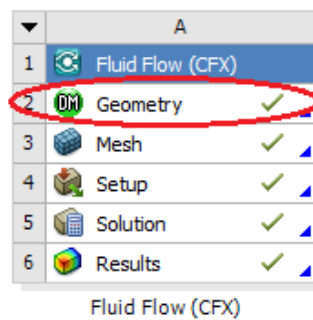


Figura 10. Ingresando geometría.
Elaborado por: (Lomas & Montalvo, 2016)

- b. Importar la geometría de la Piscina mediante un formato neutral de datos gráficos como: IGS (Initial Graphics Exchange Specification).

Importar geometría a modulo ANSYS.

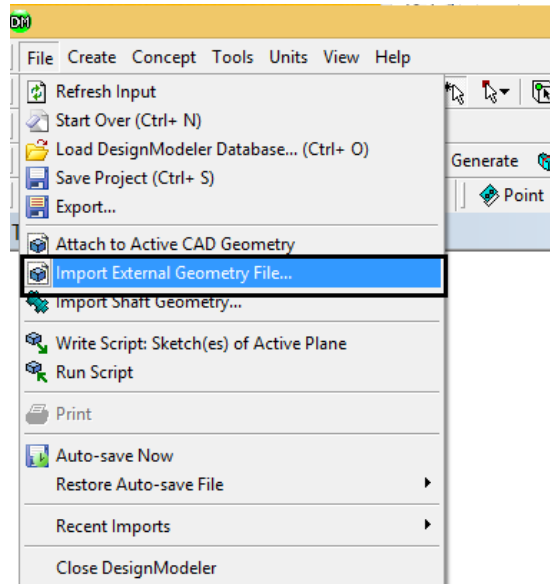


Figura 11. Importando geometría
Elaborado por: (Lomas & Montalvo, 2016)

- c. Doble clic en el módulo Mesh

Ingresar el mallado

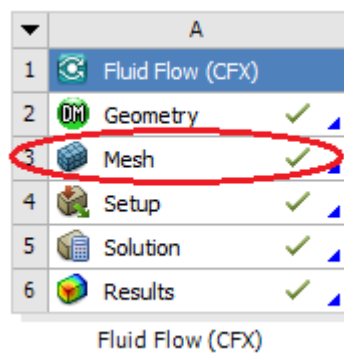


Figura 12. Ingresando mallado en modulo ANSYS
Elaborado por: (Lomas & Montalvo, 2016)

- d. Proceder a mallar el volumen de control usando Auto-Mesh, esta opción permite un mallado automático de buna calidad y compatible con CFD, CFX.

Mallar la geometría ingresada

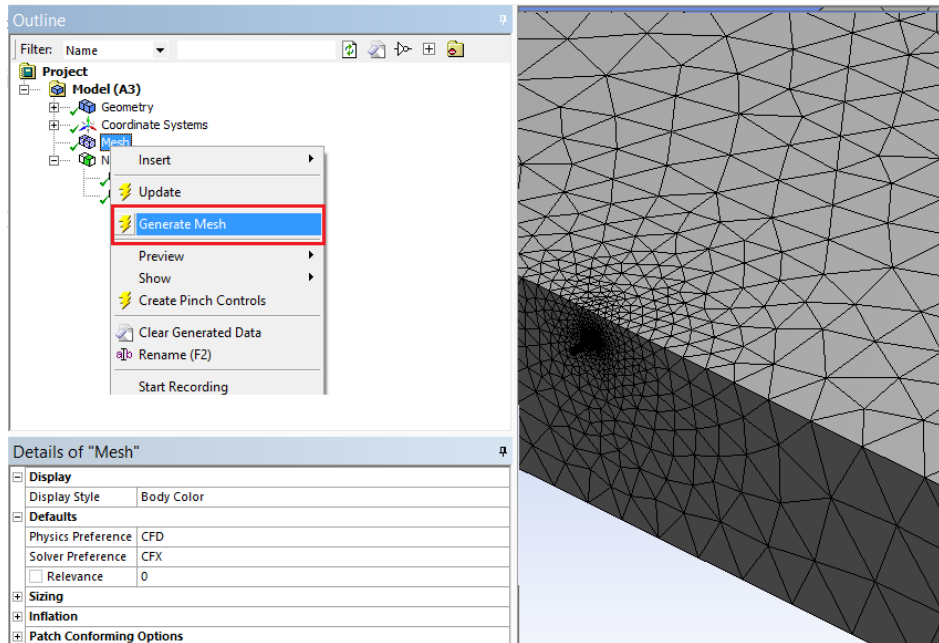


Figura 13. Ingreso de variables para mallado de piscina.
Elaborado por: (Lomas & Montalvo, 2016)

- e. Clic derecho en las superficies que determinen las condiciones iniciales para crear el nombre de las secciones.

Nombrar secciones de cada superficie a evaluar

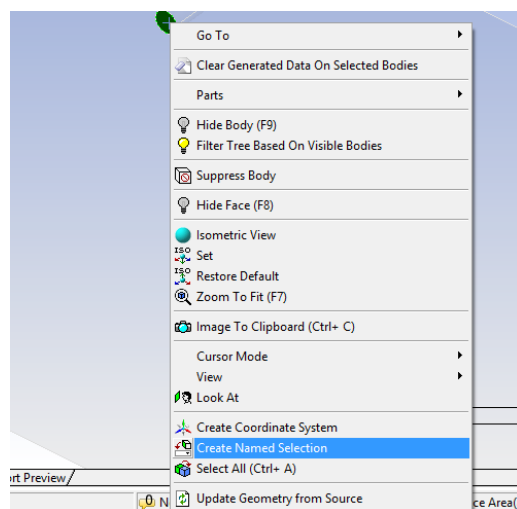


Figura 14. Nombrando a las secciones comprometidas
Elaborado por: (Lomas & Montalvo, 2016)

- f. Verificar en el árbol de programación que las condiciones de superficie se hayan creado correctamente

Verificando condiciones

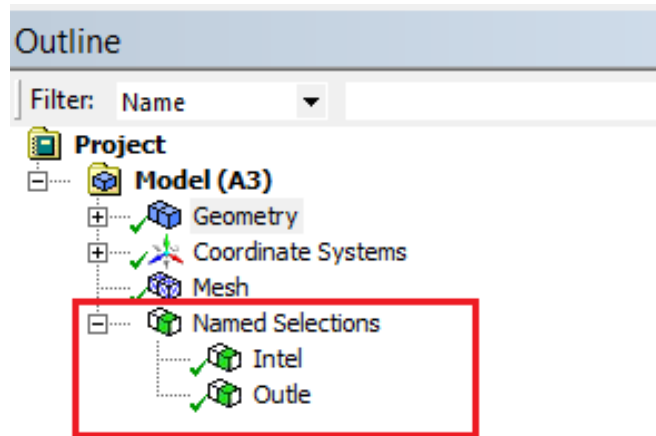


Figura 15. Verificando que la creación de las condiciones sean correctas.
Elaborado por: (Lomas & Montalvo, 2016)

- g. Clic en Setup para cargar el mallado y las condiciones de entrada

Cargar condiciones de entrada

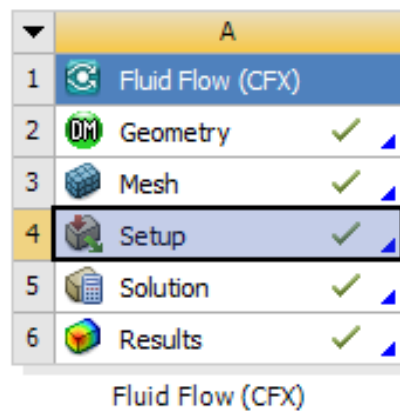


Figura 16. Cargando el mallado y las condiciones de entrada.
Elaborado por: (Lomas & Montalvo, 2016)

- h. En Defaul Domain, clic derecho, seleccionar edit, en esta parte se podrá terminar el modelo de estudio.

Finalizar con el modelo de estudio

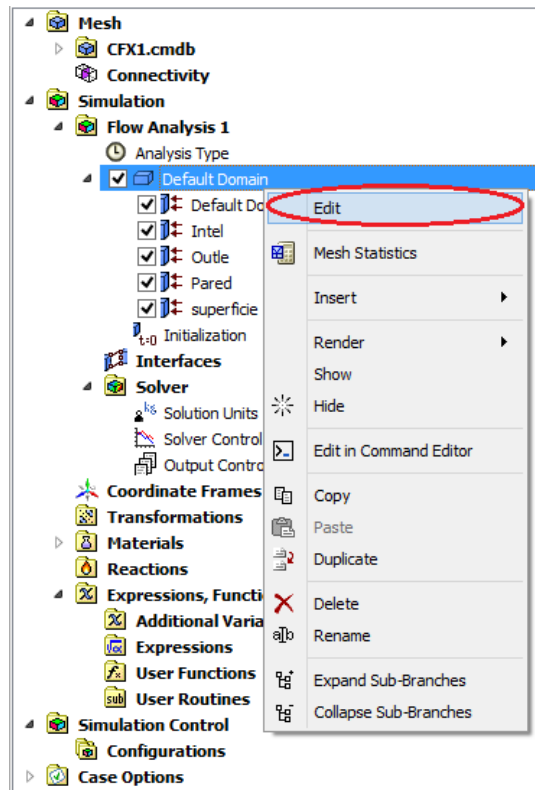


Figura 17. Terminando con las condiciones del modelado.
Elaborado por: (Lomas & Montalvo, 2016)

- i. Modelo de estudio Total Energy

Cargando modelo de estudio

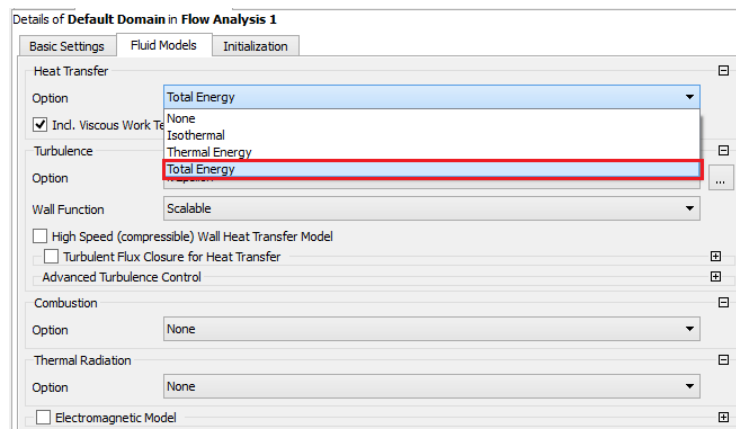


Figura 18. Cargando el modelo de estudio Total Energy.
Elaborado por: (Lomas & Montalvo, 2016)

- j. En default Domain, Basic Settings, escoger el material de la librería, para el caso de estudio agua 15 C°

Cargando condiciones para el estudio

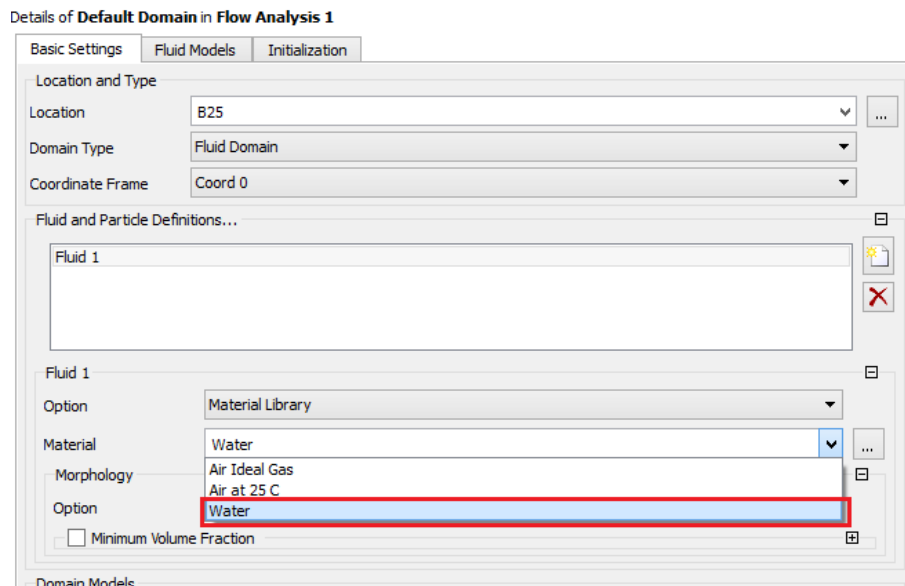


Figura 19. Cargando condiciones desde librería
Elaborado por: (Lomas & Montalvo, 2016)

- k. Clic derecho en Intel, editar las condiciones para la entrada del fluido.

Editando condiciones para el estudio

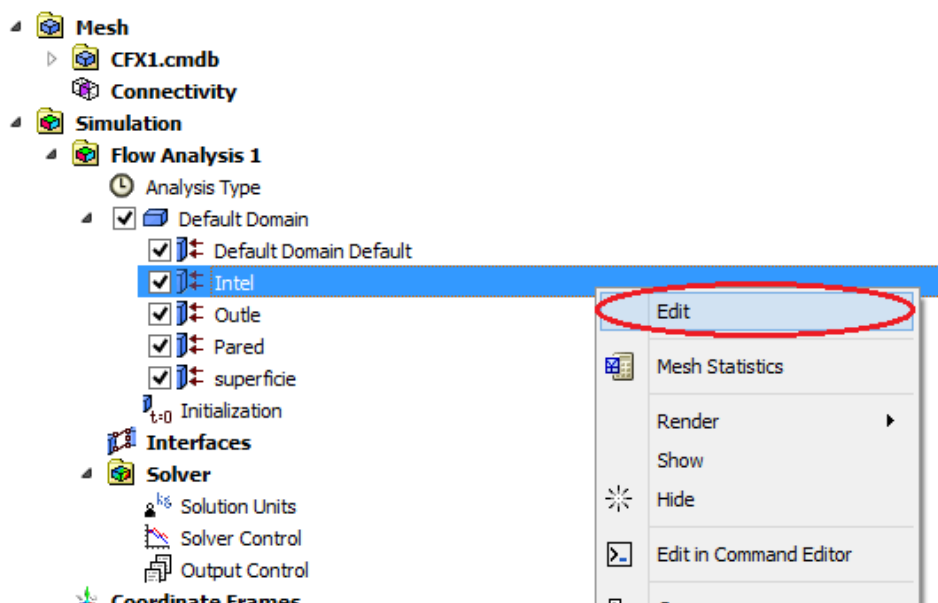
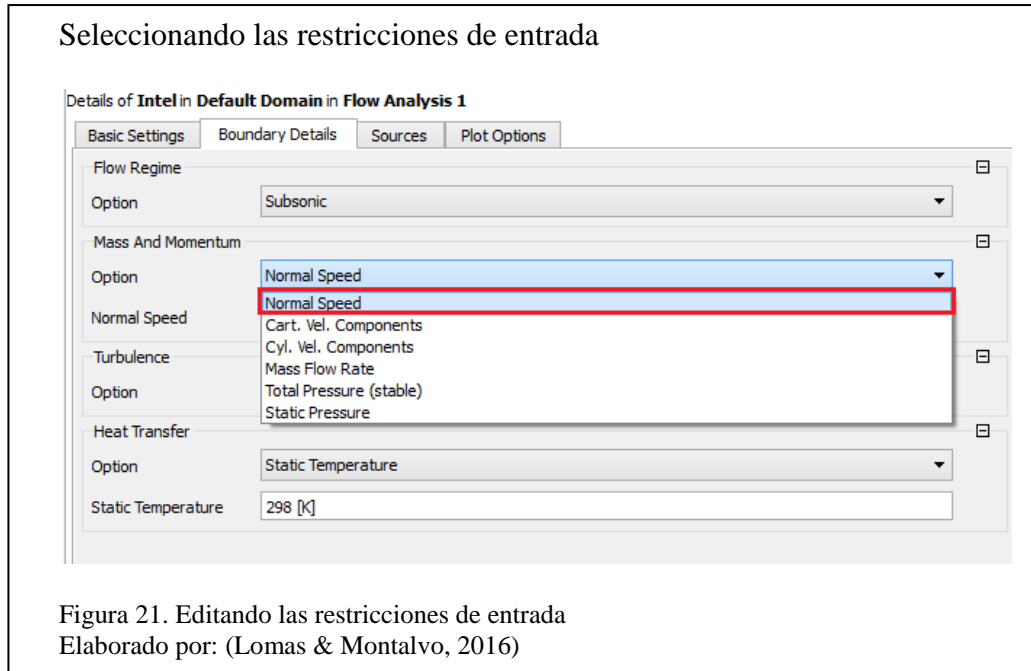
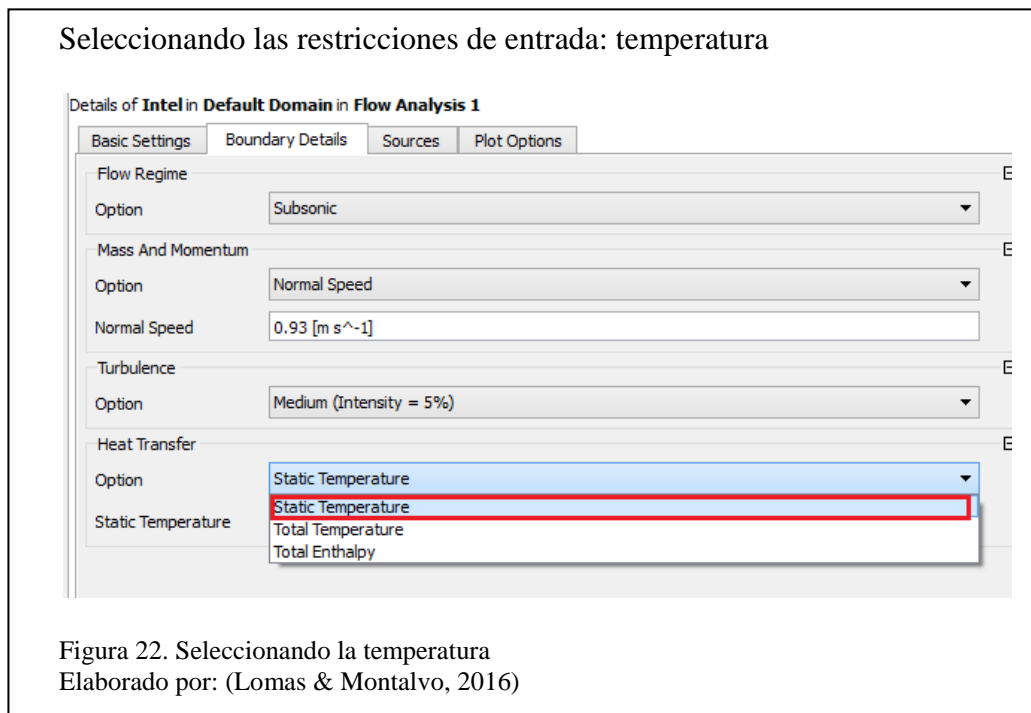


Figura 20. Editando condiciones para el ingreso de fluido
Elaborado por: (Lomas & Montalvo, 2016)

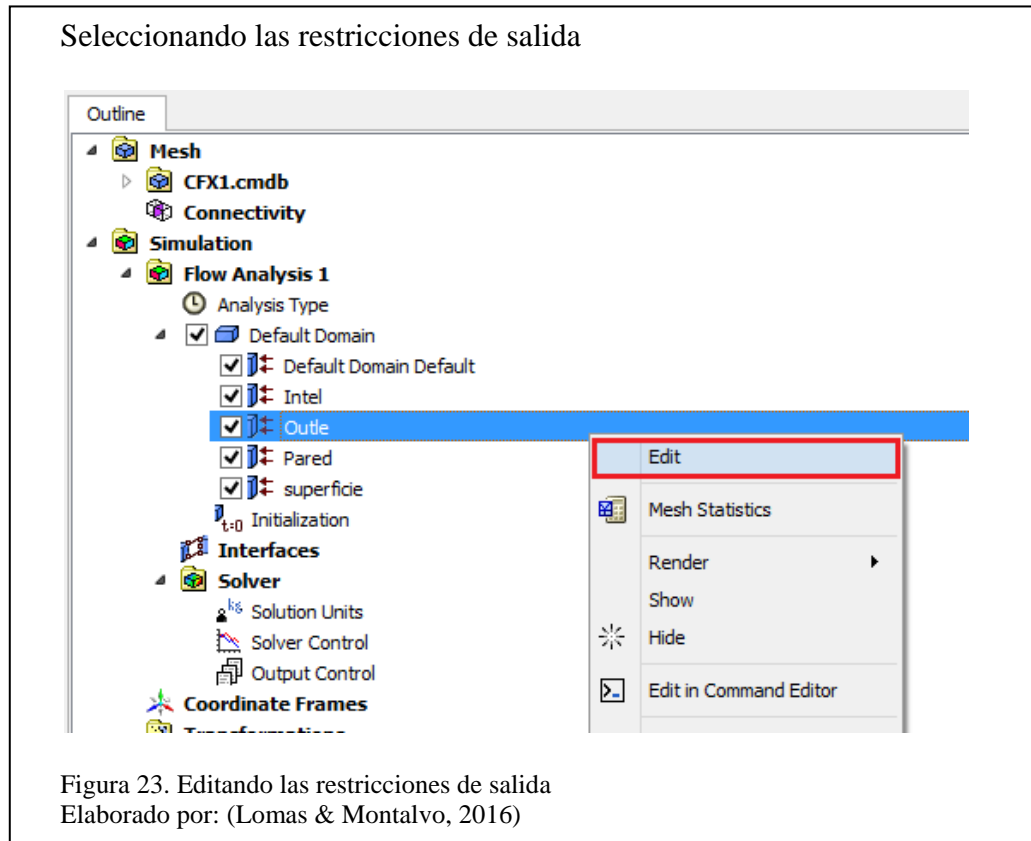
- l. En condiciones Bondary Details, seleccionar la restricción de entrada para el fluido al ingreso de la piscina, pudiendo escoger entre velocidad, flujo másico, presión estática. Esta condición de entrada dependerá del dato que se tenga.



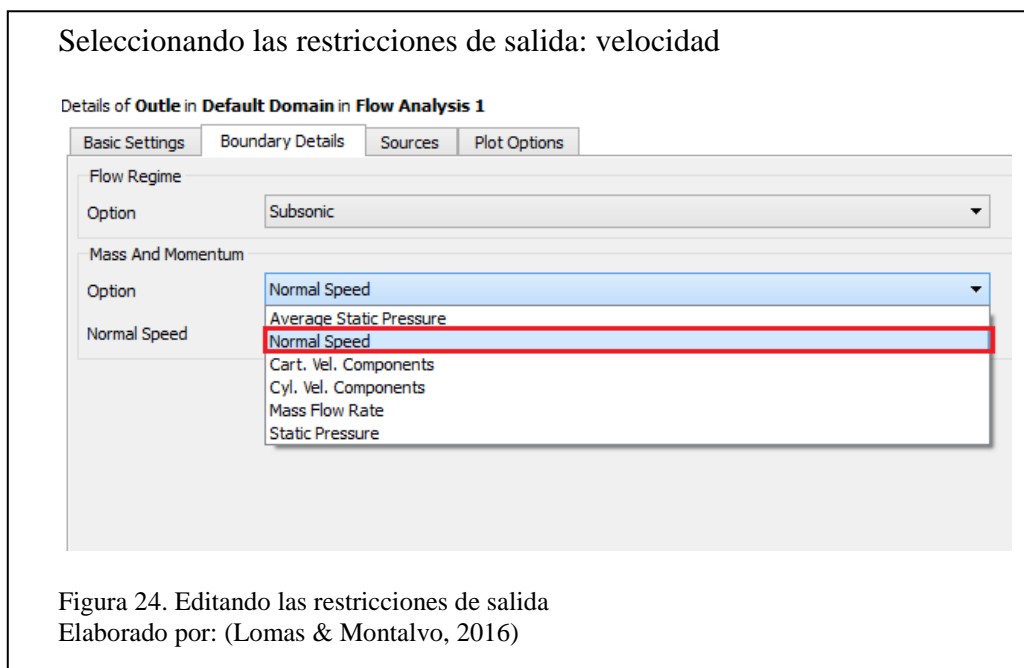
- m. Seleccionar en Heat Transfer la condición de temperatura inicial en Kelvin.



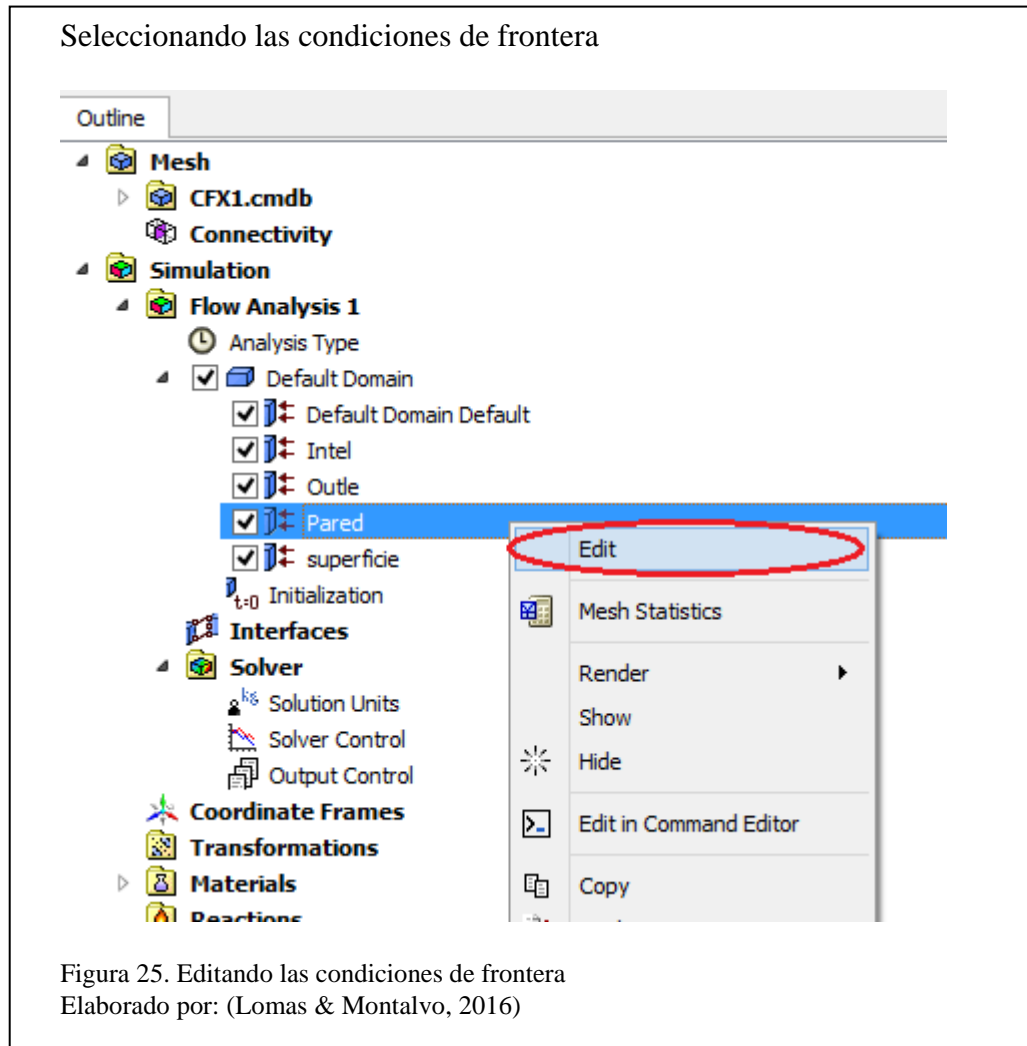
- n. Seleccionar las condiciones a la salida del fluido



- o. Seleccionar la velocidad de salida del fluido, en relación a los cambios de agua programados para las renovaciones de la piscina, y el diámetro de la tubería de salida.

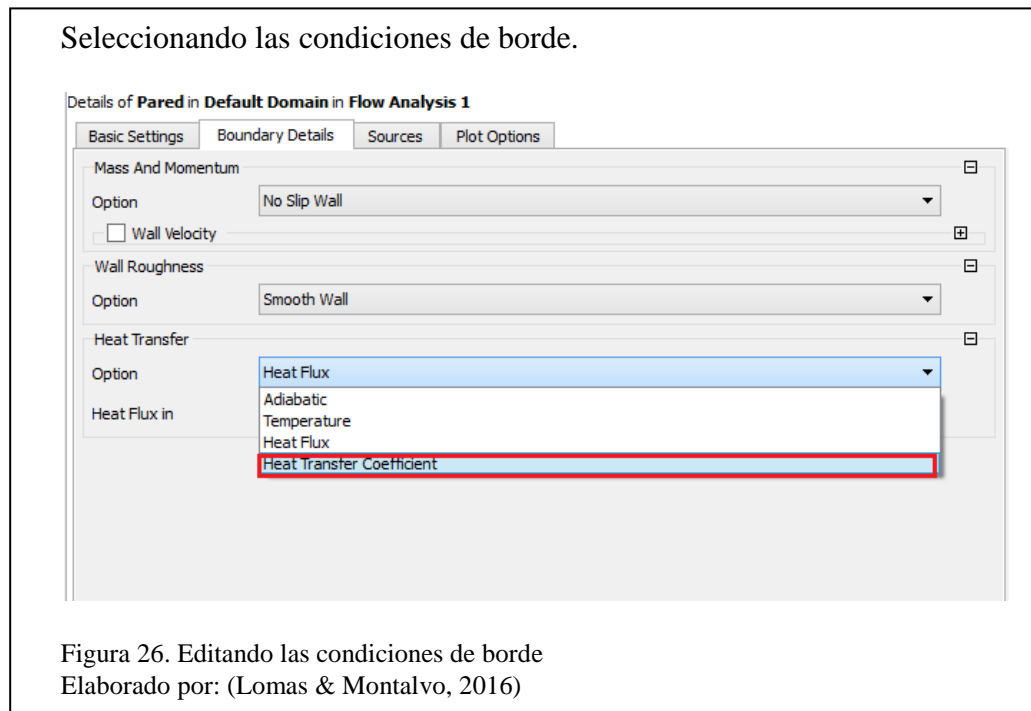


- p. Editar las condiciones de frontera para las paredes de la piscina

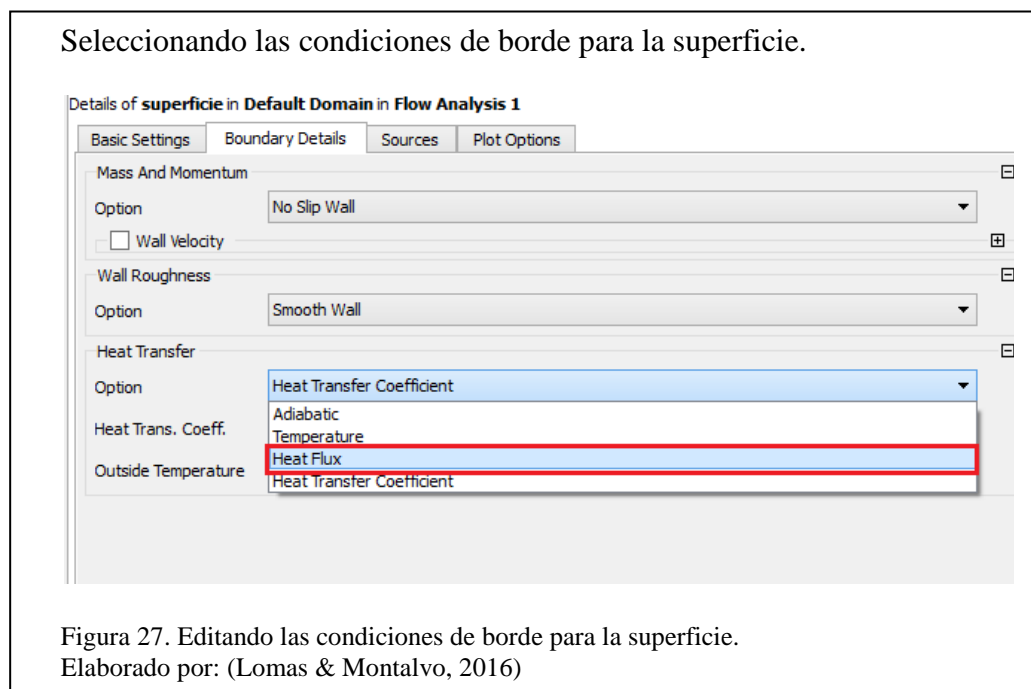


- q. Seleccionar las condiciones de borde para la pared, dado que, la investigación teórica realizada es amplia específica en el capítulo II, en esta etapa de la simulación se puede trabajar con Heat Transfer Coefficient ya que se conoce el coeficiente de conducción del material para el caso de las paredes y la diferencia de temperaturas.

Otra opción es trabajar con el flujo total de calor “Heat Flux” determinado por el cálculo teórico en el mencionado acápite



- r. Las condiciones de borde para la superficie de la piscina están asociadas a la pérdida debida al flujo total de calor por: convección, evaporación y radiación



- s. Finalmente en “Solutions”, se procederá a verificar la solución de la simulación.

Realizar la solución de la simulación.

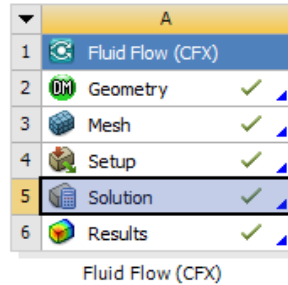


Figura 28. Simulando la solución del sistema.
Elaborado por: (Lomas & Montalvo, 2016)

- t. Verificación del criterio de convergencia, en esta etapa de la simulación, el software grafica las variables vs. el tiempo, permitiendo identificar la estabilidad o convergencia a la solución de las ecuaciones de Heat Transfer en rojo, Turbulence en verde, y momento en el caso de las restantes.

Si no se llega a la estabilidad o linealidad de estas ecuaciones los criterios de simulación conducen a un producto erróneo.

Gráfica variable vs tiempo.

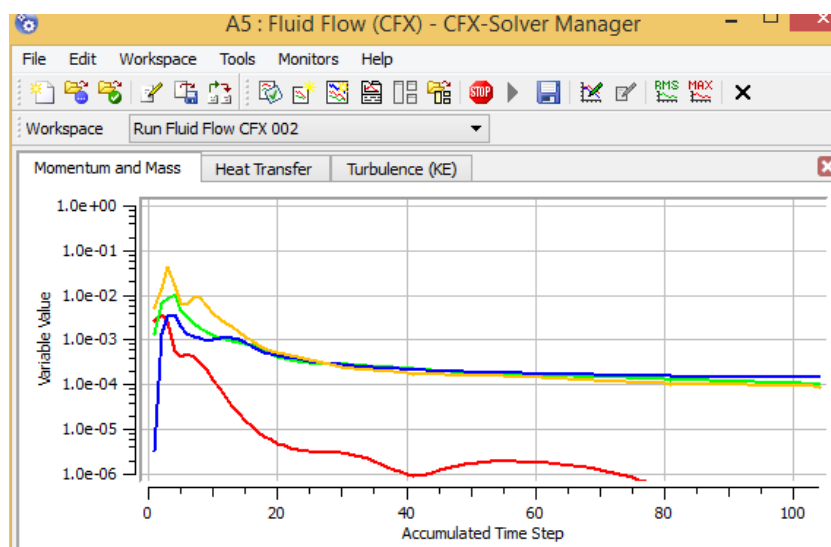


Figura 29. Gráficas variable vs tiempo
Elaborado por: (Lomas & Montalvo, 2016)

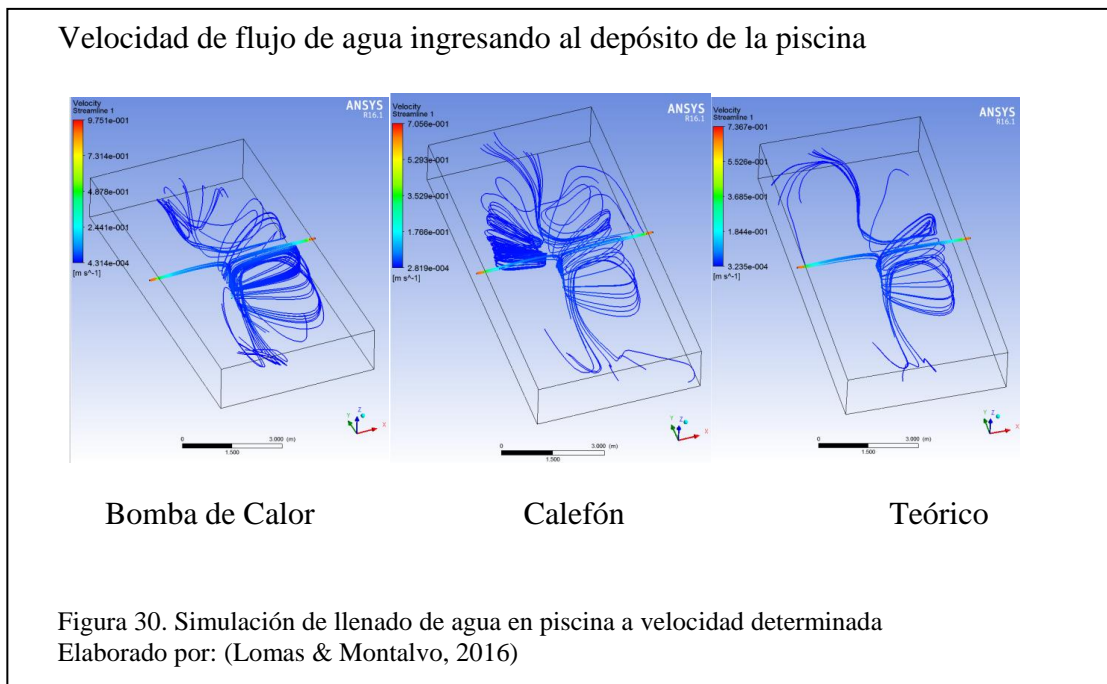
CAPÍTULO IV:

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente capítulo permite un análisis minucioso de los principales resultados obtenidos a partir de la simulación de la bomba de calor, el calefón y el análisis teórico.

4.1. Análisis de velocidades y flujo

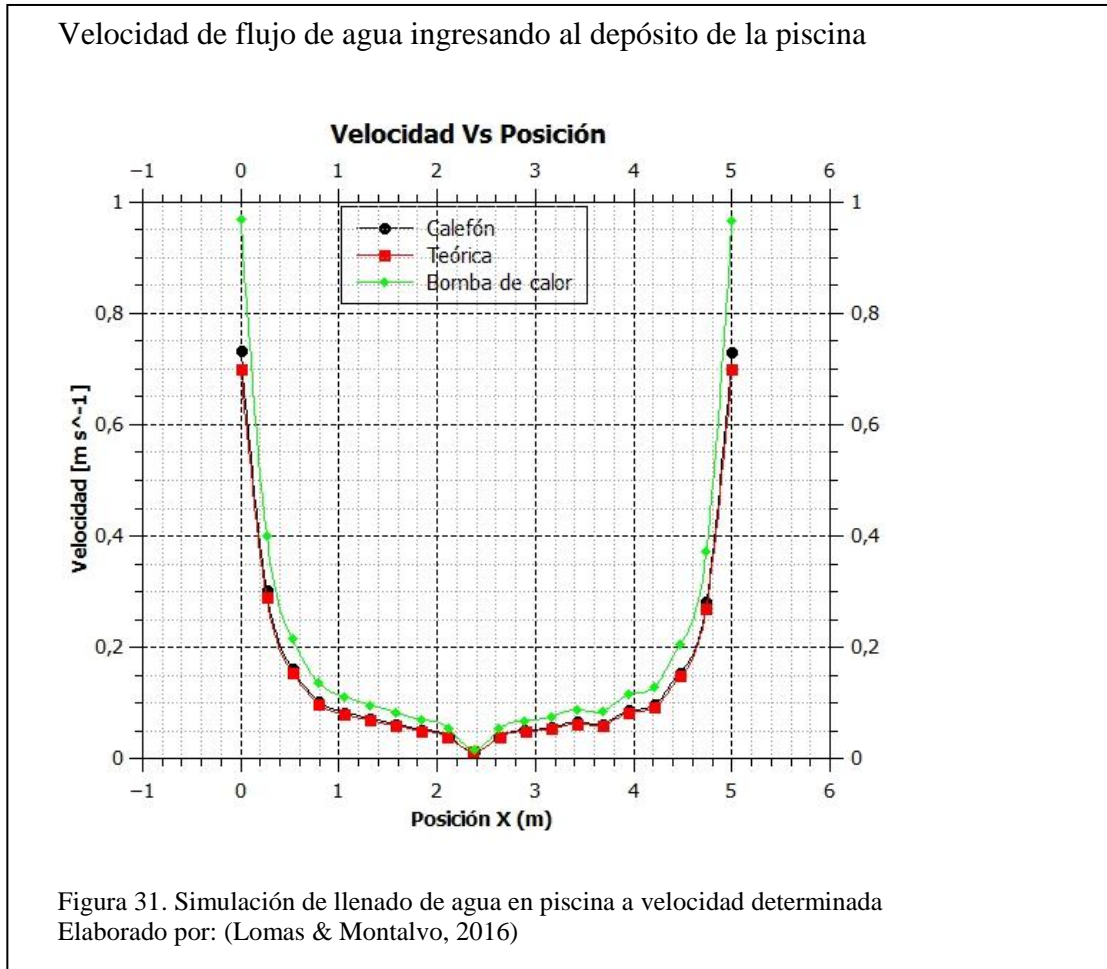
La siguiente figura 30 muestra la distribución de las líneas de flujo para los tres casos en estudio: teórico, calefón y bomba de calor.



La figura 30 determina la concentración del flujo de agua a lo largo de la piscina. Donde se evidencia la zona de mayor interacción del fluido caliente a 25 C° y el frío a 15 C°, las zonas para las que no se evidencia las líneas de flujo, se estima velocidades cercanas a cero.

En la gráfica de Velocidad vs Posición, se puede observar la variación de velocidad que experimenta el flujo de agua a la salida de la toma de alimentación en la piscina,

distribuida a lo ancho de la misma. Así se evidencia que la bomba de calor trabaja con una velocidad de 0,95m/s y el calefón tanto como el análisis teórico, trabajan con velocidades promedio de 0,8m/s



La diferencia que existe entre las velocidades al ingreso de la piscina, es debido a que el sistema está condicionado al caudal que maneja cada equipo, donde la bomba de calor trabaja a 110 lpm y el calefón con cuatro sistemas en operación trabaja a 80 lpm. La bomba de calor permite transportar una mayor cantidad de flujo másico, determinada en 1.83kg/s, a diferencia de los 1.33 kg/s por parte del calefón.

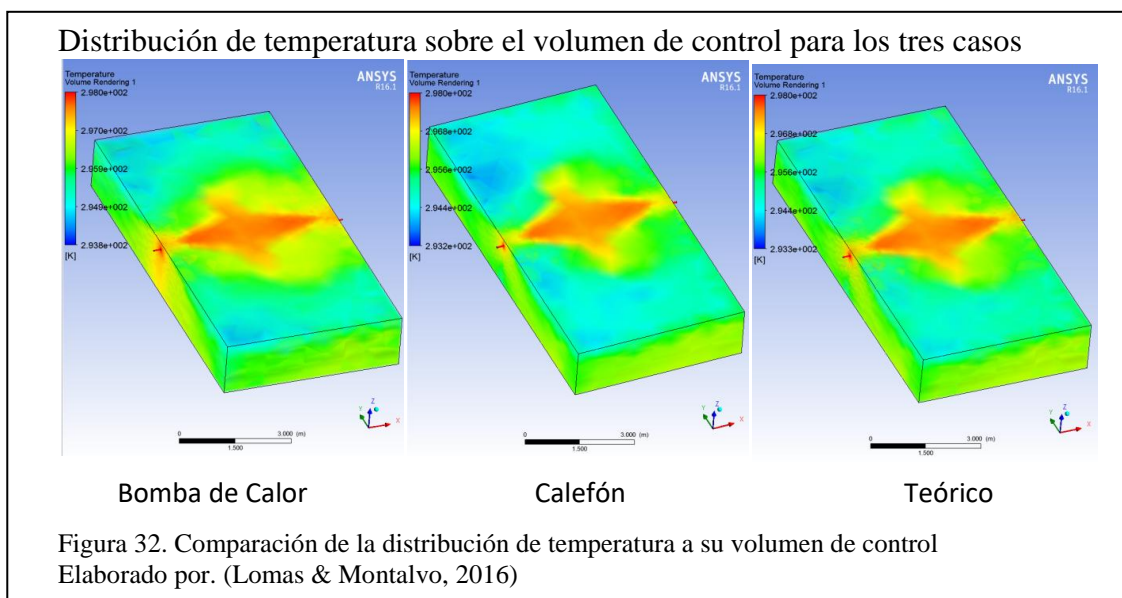
La diferencia de velocidades no solo afecta al flujo másico, ya que el flujo de calor sensible que el sistema aporta a la piscina depende de las variables en estudio, se puede evidenciar una notoria diferencia en la energía aportada a la piscina en unidad

de tiempo. De ahí que, la bomba de calor transfiere un flujo de calor sensible de 77.367 kJ/s a comparación de 56.26 kJ/s que proveen los cuatro calefones, es decir la bomba de calor transfiere una diferencia de 21.10 kJ/s más en operación a diferencia del conjunto de calefones.

4.2. Análisis de volumen de control

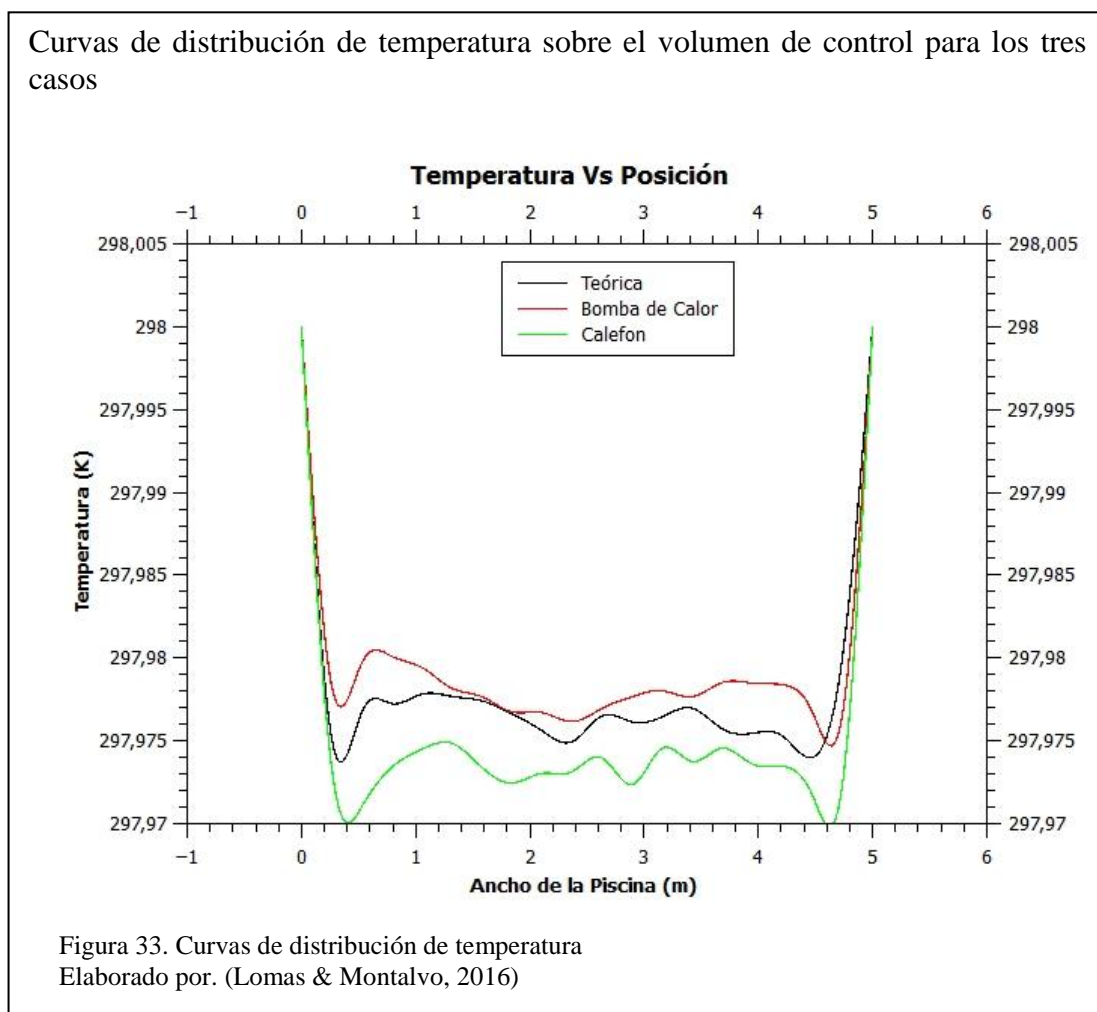
La figura 32, permite visualizar la distribución de temperatura en relación a su volumen de control, la bomba de calor evidencia una notoria zona marcada por colores verdes, donde solo existe una diferencia de un grado de temperatura con relación a las zonas de color rojo y naranja que se encuentran a temperatura de 25C° y 24,5C° respectivamente.

Para el calefón se evidencia una mayor influencia en el descenso de la temperatura, determinada por zonas de color celeste y azul, donde el descenso de la temperatura se estima hasta 3C° por debajo de la temperatura de diseño, la simulación con base a los resultados teóricos permite evidenciar que la selección de la bomba de calor y el calefón están dentro de los parámetros previstos en el diseño teórico.



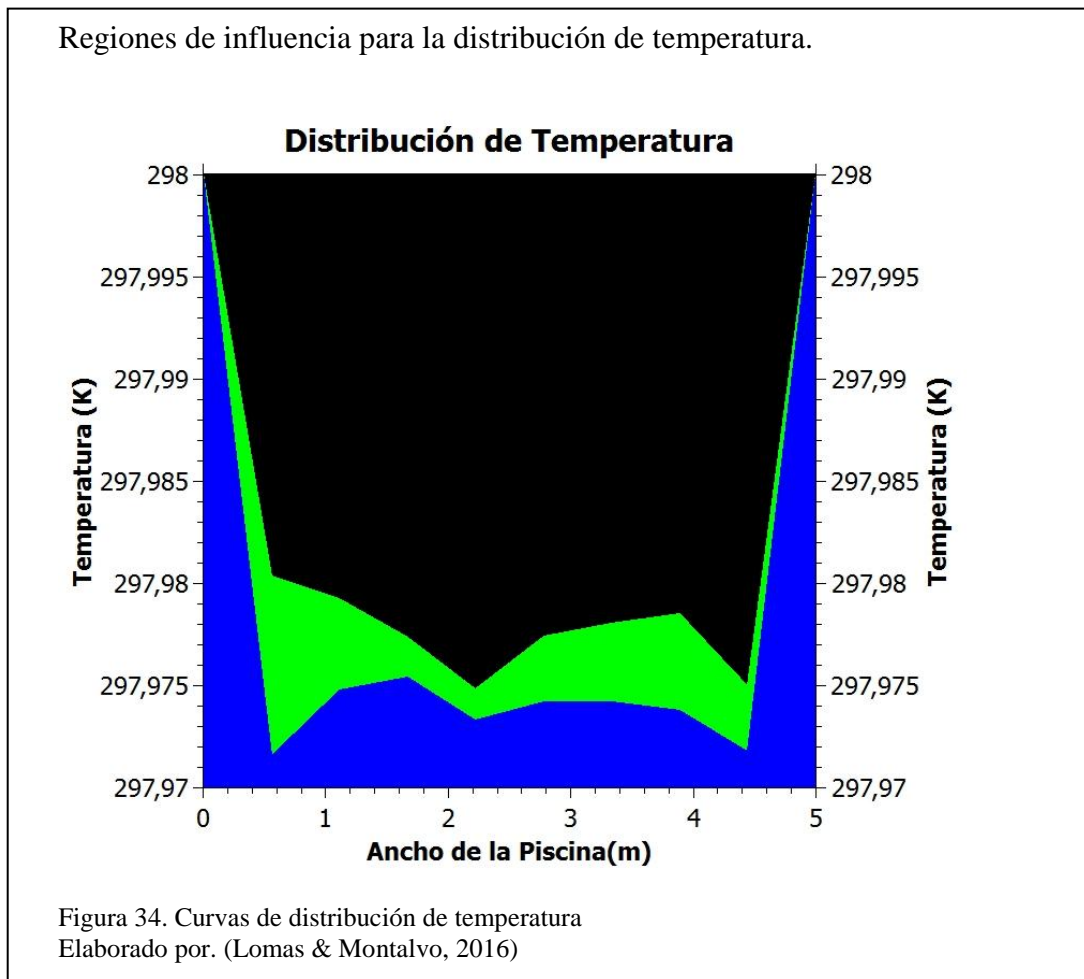
4.3. Análisis de temperaturas versus la posición

En la Figura 33 se puede apreciar las curvas de distribución de temperatura a lo ancho de la piscina en un plano axial al sistema de alimentación según los tres casos de estudio.



Al comparar los resultados de la simulación, se observa que la distribución de temperatura bajo el diseño teórico el cual considera una potencia de 36250 W/día, en relación a la tasa de transferencia de calor debido a las pérdidas del sistema, satisface las necesidades requeridas en el diseño.

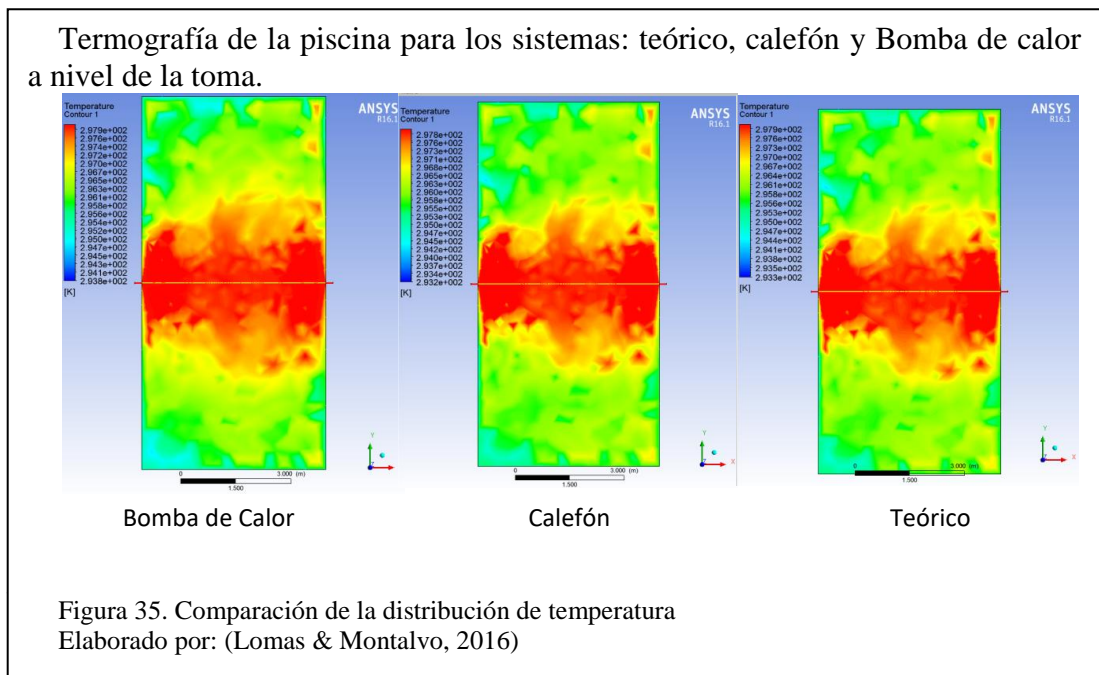
Ya que permite conservar la temperatura del centro de la piscina en 297,97 K, y sus alrededores con una diferencia de dos grados para las zonas más alejadas.



En la gráfica de la figura 34, se puede apreciar las regiones de influencia para la distribución de temperatura a lo ancho de la piscina marcadas por las zonas de color, en la bomba de calor (negro), el calefón (azul), y la teórica en (verde). Así se puede determinar que en el caso más crítico en el diseño, mantendrá la temperatura del centro estable a los 297,96 (K).

A continuación en la figura 35 se observa la distribución de temperatura en la superficie de la piscina mediante un análisis termo gráfico y en un plano paralelo al sistema de alimentación, así se evidencia la concentración del calor en el centro de la piscina para los tres casos en estudio.

En el primer análisis termo gráfico se observa que la bomba de calor permite una mejor concentración de flujo de calor en la piscina, mientras que el análisis termo grafico para el calefón y el estudio teórico, presentan una distribución análoga. La bomba de calor en sus zonas más alejadas posee una diferencia de un grado centígrado, el calefón y el diseño retorico evidencian el descenso de hasta dos grados y en las zonas más alejadas se puede observar hasta tres:



Como se puede identificar, en la termografía, la potencia seleccionada para la bomba de calor, y el calefón, en función de la carga térmica establecida en el cálculo teórico, y la disponibilidad a los equipos que ofrecen los fabricantes, satisfacen las necesidades condicionadas en el diseño de mantener la piscina temperada. Sin embargo, los mecanismos de transferencia de calor que cada equipo utiliza para transferir la energía al sistema son diferentes.

-Bomba de calor:

Como se ha descrito en el capítulo I de la presente investigación, el calor que permite suministrar la bomba de calor, a través del intercambio de energía entre el fluido

refrigerante y el agua, se da a través de la condensación del mismo, donde el refrigerante transfiere el calor que extrae del medio circundante así como del trabajo de la bomba.

Para el presente caso en estudio ya que la bomba de calor posee un COP (coeficiente de desempeño) de 6,1 y el sistema requiere una potencia de 36250W/día, la potencia requerido por la bomba será de 5942,62W, el requerimiento máximo se da cuando la bomba de calor trabaje a su máximo rendimiento 41000W, en cuyo caso la potencia de la bomba será de 6721,31W. La diferencia de energía que el sistema requiere es entregada por el calor que el refrigerante extrae del medio circundante.

-Consumo diario: 5942.62 W

-Consumo diario a máximo rendimiento: 6721.3W

Con un costo de 0,091 (USD/Kwh) determinado por la ARCONE (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, y un consumo de potencia diario de 6,7kW, que representan 280,1Wh de consumo, al final del mes se tendrá un consumo de 201,63 Kwh con un costo de USD 18,34. (Arconel, 2015)

-Calefón

Los calefones como medios de calentamiento para piscinas, fueron una de las primeras opciones consideradas en los diseños. Mediante un proceso de combustión, se libera la energía química de un combustible que es transferida al fluido. Así el calor consumido es el producto del flujo másico del combustible por el poder calórico que este aporta.

$$Q_c = F \left[\frac{\text{lb}}{\text{hr}} \right] \times Q_h \left[\frac{\text{Btu}}{\text{lb}} \right]$$

[Ecuación 21]

$$36250 \text{ [kW]} \times \frac{3412 \text{ [Btu/hr]}}{1 \text{ [kW]}} = F \times 21.57 \left[\frac{\text{Btu}}{\text{lb}} \right]$$

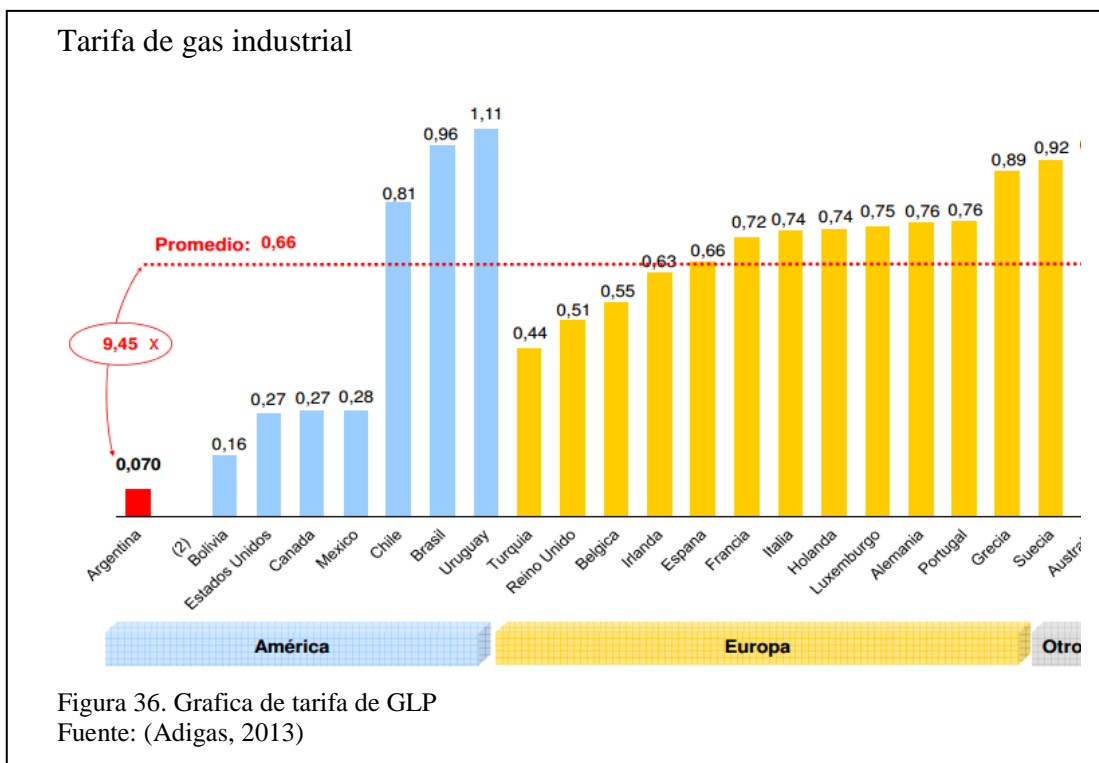
$$F = \frac{123685 \text{ [Btu/hr]}}{21.57 \text{ [Btu/hr]}} = 5734.12 \left[\frac{\text{lb}}{\text{hr}} \right]$$

$$F = 5734.12 \left[\frac{\text{lb}}{\text{hr}} \right] \times \frac{0.0020 \text{ [GPM]}}{1 \text{ [lb/hr]}} \times \frac{0.2271 \text{ [m}^3\text{/hr]}}{1 \text{ [GPM]}}$$

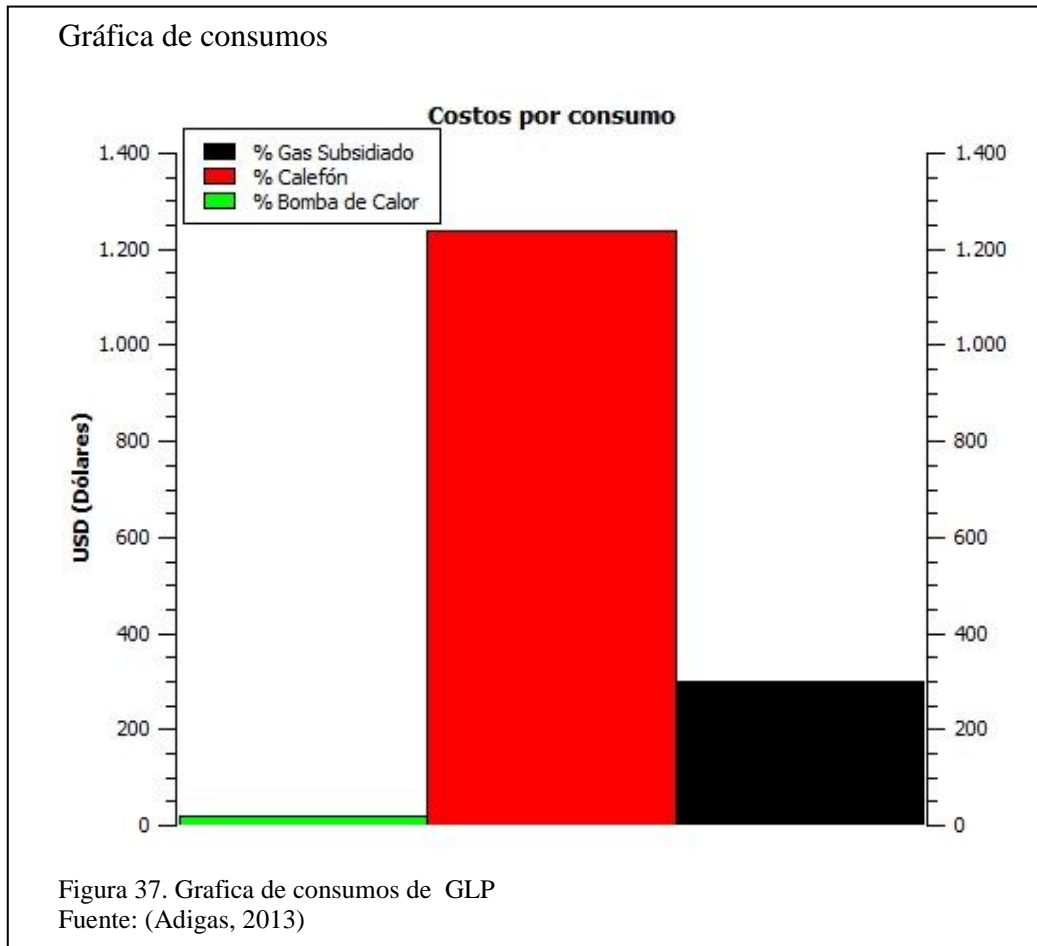
$$F = 2.60 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \right]$$

$$F = 62.5 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \right]$$

En la figura 36 se presenta la tarifa industrial de Gas Natural: comparación Internacional en (USD/m³).

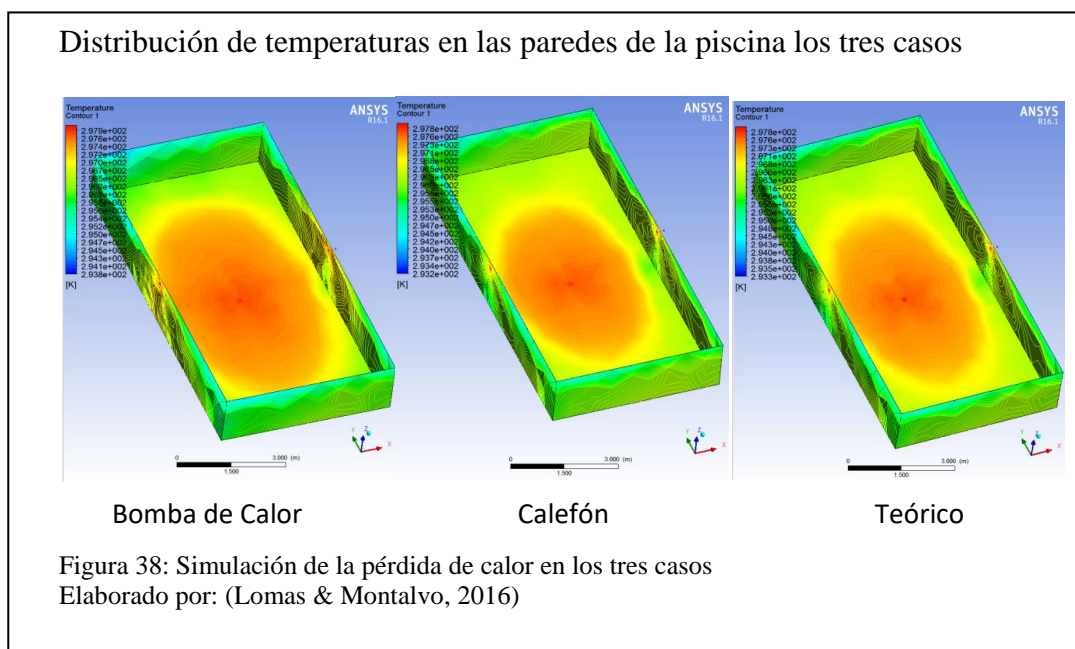


De donde se puede concluir que el costo por consumo diario de 62,5 m³ de combustible Gas natural a un promedio de USD 0,66 representa un costo diario de USD 41,25.



4.4. Análisis de la distribución de temperaturas en las paredes

La figura siguiente permite visualizar la distribución de temperatura en la superficie de la piscina, las regiones en color rojo y naranja denotan la concentración del flujo de calor, donde las pérdidas están dadas por la transmisión a través de la estructura de la piscina determinadas en 978,75 W.

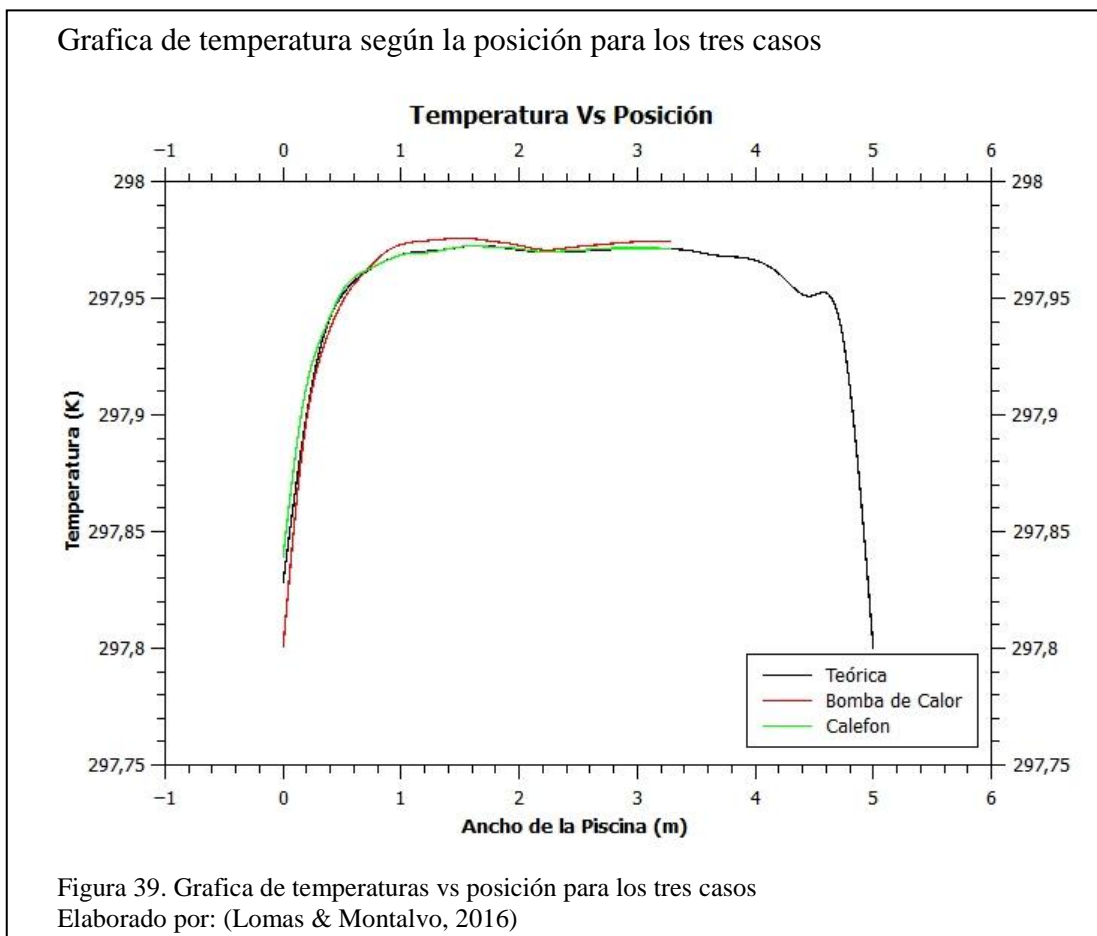


Se puede observar que en el caso de la bomba de calor existe un mayor flujo de calor a través de las paredes de la piscina, esto en gran parte se debe a que la bomba de calor suministra un mayor flujo de calor en el sistema a comparación del calefón o del análisis teórico. Así según el análisis, las pérdidas en paredes representa el 3% de la carga térmica total, en cuyo caso: para la bomba de calor representa 1230W, para el calefón 1150W y en el caso de análisis teórico según la simulación lo sitúa en 1088W.

4.5. Análisis de la distribución de temperaturas en la superficie

En el siguiente análisis se puede observar la distribución de temperaturas a nivel superficial de la piscina, esta grafica permite visualizar como de manera análoga, en

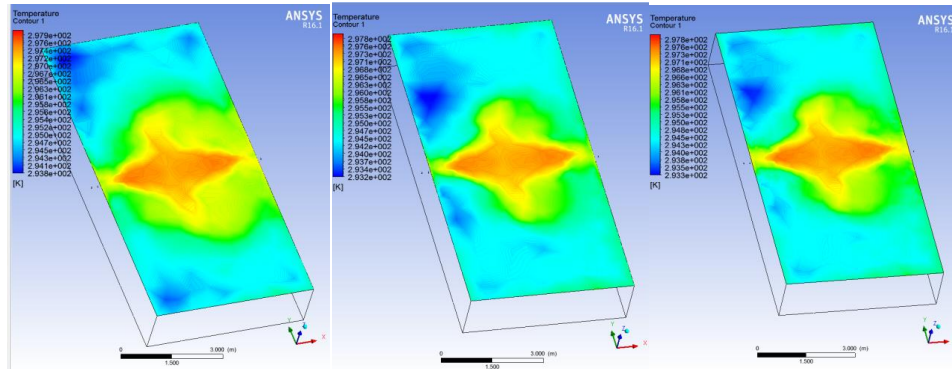
la superficie de la piscina para los tres sistemas en estudio, bomba de calor, calefón y teórico, presentan similar distribución. En gran medida se debe a que los tres sistemas estarán expuestos a la misma disipación de calor a través de la superficie, ya que la carga térmica asignada a las pérdidas está dada por convección, radiación y por evaporación en la superficie y para los tres casos es la misma. El valor del flujo de calor asignado al flujo de calor está en el orden de 6.1kW.



Sin embargo ya que el flujo de calor a través de la superficie de la piscina, representa una carga térmica de 6,1kW en disipación, esto contribuye a que ciertas zonas de la piscina se enfríen a mayor velocidad. Esto se puede evidenciar en el análisis termográfico de la distribución de temperatura a nivel superficial de la figura 39, donde en el caso del calefón y el análisis teórico se puede identificar que para el flujo de calor que se suministra a través de las tomas de alimentación en la piscina, el sistema no

abastece la disipación de calor en las superficies y la temperatura en estas regiones se sitúa alrededor de los 23 C°.

Distribución de temperaturas en la superficie de la piscina los tres casos



Bomba de Calor

Calefón

Teórico

Figura 40. Simulación de la distribución de temperaturas a nivel superficial en los tres casos
Elaborado por: (Lomas & Montalvo, 2016)

CONCLUSIONES

- Mediante el análisis que se efectuó para el calentamiento de agua de una piscina a través del uso de la bomba de calor o un sistema de calefones. Se ha podido determinar que la bomba de calor permite un mejor rendimiento, ya que la energía que consume la bomba de calor está asociada al trabajo del compresor, donde su consumo puede ser de 5-6 veces menor a la carga total requerida por el sistema, es así que, mientras con el sistema de calefones, se consume una carga diaria de 36250kW, con la bomba de calor solo se está consumiendo los 6,7kW.
- La presente investigación permite determinar que la bomba de calor es más eficiente, ya que reduce el consumo energético en más de un 75% al permitir la extracción del calor contenida en el medio y de esta manera reducir el consumo energético. Así también la bomba de calor permite ahorrar recursos económicos, ya que al analizar el costo que tiene el 1kWh de energía eléctrica en referencia al costo del combustible en base a valores internacionales, la bomba de calor permite un ahorro totalmente significativo ya que representa un costo diario de \$0,60 dólares frente a los 41\$ dólares diarios que representaría el sistema de calefones. El principal motivo por el cual no se ha realizado la adquisición de las bombas de calor está relacionado con su alto costo de inversión en comparación con el costo más bajo de un calefón, de ahí que, el precio relativamente bajo del gas en el Ecuador debido a los subsidios Estatales lo sitúa en \$0.12/m³), cuando el precio del gas internacional para aplicaciones industriales es de \$0,66/m³ y el doméstico es de \$0,99/m³, motivo por el cual los sistemas de calentamiento por combustión siguen siendo atractivos en el mercado ecuatoriano.
- A través de la presente investigación realizada, la cual ha sido de carácter, básica, documental, y bibliográfica. Se ha descrito en el capítulo I

correspondiente a la fundamentación teórica, cuáles son los principales sistemas de calentamiento para piscinas, sus componentes, principios de funcionamiento, y fórmulas asociadas para realizar sus respectivos cálculos.

- Del análisis de carga térmica, asociadas a las pérdidas en el sistema, se pudo determinar mediante el balance del flujo de calor que: las pérdidas por evaporación corresponden a un 16,74%, las pérdidas por radiación representan el 0,82%, las pérdidas conectivas el 0,23%, las renovaciones en el sistema el 15,86%, y las pérdidas por transición el 2,85%, dando un total de 36,53%. El 63,47% restante está asociado al calor sensible que es transmitido al fluido, y mantiene la capacitancia térmica de la piscina en 25C°.
- Del análisis en ANSYS-CFX, mediante la simulación realizada y ejecutada bajo los parámetros establecidos por los requerimientos de diseño temperatura en la piscina de 25C°, se ha podido comprobar que el sistema no se encuentra sobredimensionado y que la selección de los equipos para calentamiento de la piscina están acorde con los requerimientos establecidos por el diseño teórico de 36250kW, los cuales están basados en las pérdidas debido a las cargas térmicas por evaporación, radiación, convección, renovación, y transmisión. Permitiendo mantener estable la temperatura de la piscina en 25C° y 24 C° para las zonas de mayor influencia ya sea con el calefón o la bomba de calor, la simulación evidencia el caso real y valida la selección.
- Al evaluar los datos simulados para la bomba de calor, el calefón y las condiciones establecidas por el análisis teórico, se ha podido determinar que la distribución de temperaturas a lo ancho de la piscina y en su centro, se estabiliza a los 297,96 (K) para el cálculo teórico, existiendo una diferencia de una centésima de grado en comparación con los sistemas determinados por la bomba

de calor, y el calefón, lo cual permite concluir que existe un error de 0.013% entre los datos teóricos y los simulados.

- La ventaja operativa que la bomba de calor ofrece al suministrar un mayor flujo volumétrico al sistema de la piscina, determinado en 0,0018m³/s a comparación de los 0,0013m³/s que el calefón ofrece a su máxima capacidad, refleja una notoria diferencia en el aporte del flujo de calor en el sistema, a tal punto que bajo estas condiciones la razón de flujo de calor aportado por la bomba de calor en relación al flujo de calor que aporta el calefón es de 1,4 veces mayor, si la bomba de calor trabajara a su máxima capacidad de flujo volumétrico que es de 0,0079m³/s, la razón del flujo de calor aportado por la bomba en relación a la del calefón sería 6 veces mayor, este dato se ve corroborado en la simulación puesto que el sistema de calentamiento a través del flujo de calor de la bomba a caudal máximo permite hacer una renovación cada ocho horas mientras que el calefón requiere quince horas para realizar un recambio.

RECOMENDACIONES

- Es recomendable el uso de bombas de calor como sistemas de calentamiento para piscinas y uso en calefacción, ya que poseen un COP alto entre 3- 6, lo cual demuestra que la eficiencia en la bomba de calor es indudable ya que solo consume 1kW de electricidad por cada 6kW de energía en forma de calor que traslada al fluido. De ahí que el consumo energético está determinado por la potencia requerida por el compresor en cuyo caso se manifiesta como demanda de energía eléctrica. Con el fin de poder contribuir con el cambio de la matriz energética en el país se recomienda el uso de estos equipos, así también las bombas de calor permiten reducir la huella de carbono, al no emitir contaminación que se produce debida a la combustión y la formación de CO₂ ya que las bombas de calor son respetuosas con el medio ambiente, la mayoría de bombas de calor usan como refrigerante R410A el cual al liberarse no daña la capa de ozono.
- Con el fin de reducir costos operativos en un sistema de calentamiento para piscinas, es recomendable el uso de bombas de calor con el fin de mejorar la eficiencia energética del sistema, así las bombas de calor demuestran que tiene una vida operativa alta que permite su rentabilización en un tiempo relativamente corto, además su eficiencia no se ve comprometida como en un sistema de combustión donde la eficiencia puede decaer hasta en un 2% por año si no se realizan los adecuados mantenimientos preventivos sobre el sistema.
- Con el fin de lograr un diseño óptimo es importante utilizar una adecuada fundamentación teoría que permita determinar los principios de funcionamiento de los sistemas energéticos a diseñar.

- Con el fin de reducir las pérdidas por las cargas térmicas debidas a la evaporación 16,74% y renovaciones 15,86%, es recomendable utilizar los materiales aislantes correspondientes que permitan la atenuación del flujo de calor, de ahí que, el uso de mantas térmicas para cubrir las superficie de la piscina así como lana aislante en la tubería será necesario.
- Con el fin de no incurrir en un mal diseño de un sistema energético, ya sea por exceso ò déficit de carga, es recomendable apoyar los datos teóricos mediante una simulación que permitan corroborar la dispersión en los resultados, permitiendo corregir algún error realizada en el cálculo y validad el diseño.
- Es recomendable el uso de bombas de calor cuando los sistemas energéticos vayan a trabajar con la adición de calor sensible, ya que para la adición de calor latente donde las temperaturas a alcanzarse son superiores a los 100 C^o se deberá utilizar sistemas de calentamiento por combustión, con ciclos de cogeneración o sistemas híbridos a través de bombas de calor y sistemas de calentamiento por combustión.

REFERENCIAS

- Adigas. (2013). Comparación Internacional de tarifas de gas natural para clientes residenciales e industriales a Junio 2013. Adigas, 14.
- Agustín, M. (2009). Climatización de piscinas cubiertas. CIATESA, 18.
- AIHE. (2012). El petróleo en cifras. Asociación de la Industria Hidrocarburifera del Ecuador, 1-34.
- Arconel. (2015). Pliego tarifario para las empresas eléctricas. Quito.
- Bantan Mafor Glrory, S. L. (s.f.). A review on the thermodynamic an electrical properties of south african acceptable refrigerants as R22 substitutes in domestic air conditioners in south africa. IEEEExplore.
- Cengel, Y. A. (2006). Termodinamica. Mexico D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Chow, T. T. (2012). Analysis of a solar assisted heat pump system for indoor swimming pool water and space heating. ELSEVIER, 309-317.
- Curtis Harrington, M. M. (2013). Swimming pools as heat sinks for air conditioners: California feasibility analysis. ELSEVIER, 252-264.
- Davis Fischer, T. W. (2016). Model-based flexibility assessment of a residential heat pump pool. ELSEVIER, 1-12.
- DI oEng, Florencia Saravia, Gudrun Abbt-Braun, Harald Horn. (2016). Ocurrence and simulation of trihalomethanes in swimming pool water: A simple prediction method based on DOC and mass balance. ELSEVIER, 634-642.
- Distrito Metropolitano de Quito. (10 de 2003). ORD-3457 - Normas de Arquitectura y Urbanismo. Quito, Pichincha, Ecuador: DMQ.
- Dongellini Matteo, S. F. (2015). Dynamic simluation of outdoor swimming pool solarheating. ELSEVIER, 1-10.

- Harnish, J. R. (2016). A New Concept of Refrigerant Control for Heat Pumps. IEEEXplore, 485-493.
- IDAE. (2001). La bomba de calor y las energías renovables . Madrid: CREVER Y AEDIE.
- Joaquin Romaní, G. P. (2017). Experimental evaluation of a heating radiant wall coupled to a ground source heat pump. ELSEVIER, 520-529.
- Karlekar, B. V., & Desmond, R. M. (1995). Transferencia de calor. San Lorenzo: McGraw-Hill.
- Katsaprakakis, D. A. (2015). Comparison of swimming pools alternative passive and active heating. ELSEVIER, 1-16.
- Luca A. Tagliafico, F. S. (2012). An approach to energy saving assessment of solar assisted heat pumps for swimming pool water heating. ELSEVIER, 833-840.
- Marian Rubik, P. Z. (2016). Design and Implementation of the Air/Water Heat Pump Controller with Increased Coefficient of Performance. IEEEXplore, 959-964.
- Mark Zemansky, Richard Dittman. (1986). Calor y Termoninámica . México: Macgraw-Hill.
- Martinez, F. J. (2005). Bombas de calor y energías renovables en edificios. Madrid: Paraninfo.
- Muhammad Akmal, Brendan Fox. (2016). Modelling and simulation of Underfloor Heating System Supplied from heat pump. IEEEXplore, 246-251.
- Muhammed Enes Kuyumcu, H. T. (2016). Performance of a swimming pool heating system by utilizing waste. ELSEVIER, 349-357.
- Peng Sun, J. Y. (2011). Analysis of indoor environmental conditions and heat pump energy supply systems in indoor swimming pools. ELSEVIER, 1071-1080.

- Pentair. (2015). Guía de instalación y del usuario Bomba de calor Ultratemp. Bombas de calor, 109.
- Pool, S. (2016). HAYWARD Powerline heat pump. Obtenido de <http://www.swimming-pool-online.com/hayward-powerline-heat-pump.html>
- T.T. Chow, Y. B. (2012). Analysis of a solar assisted heat pump system for indoor swimming pool waterand space heating. ELSEVIER, 9.
- Vicenzo Bianco, F. S. (2017). Estimation of primary energy savings by using heat pumps for heating purposes in the residential sector. ELSEViER, 938-947.
- Whitman, W. C., & Johnson, W. M. (2000). Tecnología de la Refrigeración y Aire Acondicionado. Tomo 4. Magallanes, España: International Thomson Editores Spain.

Anexos

Anexos 1: Ordenanzas 3457 de Normas de Arquitectura y Urbanismo del distrito Metropolitano de Quito

- Art.316 piscinas

Por piscina se entiende una estructura o estanque con sus instalaciones y equipos anexos para su funcionamiento, destinado al baño o deportes acuáticos de diversas personas y éstas pueden ser:

Piscinas públicas

Piscinas semipúblicas

Piscinas privadas

Piscinas intermitentes

Piscinas continuas (Distrito Metropolitano de Quito, 2003, pág. 173)

- Art.328 Dimensiones de la piscina

La profundidad de una piscina podrá variar entre 0.90 m. y 1.50 m. en la parte más baja, y de 1.80 m. a 3.60 m. en la profunda. Entre el 80% y 90% del área total de una piscina deberá tener una profundidad menor a 1.50 m. La parte profunda deberá extenderse por lo menos de 3.00 m. a 3.50 m. más atrás del trampolín. (Distrito Metropolitano de Quito, 2003, pág. 175)

- Art.333 Entradas de agua

Las piscinas deberán tener cuatro entradas de agua localizadas en la parte menos profunda de la piscina, y su dimensión no podrá ser inferior a 75 mm de diámetro. (Distrito Metropolitano de Quito, 2003, pág. 176).

- **Art.334 Evacuación de agua**

La canalización para el escurrimiento del agua estará dimensionada de modo que permita su vaciamiento en cuatro horas. Estas salidas estarán localizadas en la parte más profunda de la piscina. En todo caso, su diámetro no podrá ser inferior a 100 mm. (Distrito Metropolitano de Quito, 2003, págs. 176-177).

- **Art.339 Recirculación del volumen de agua**

Las piscinas deberán contar con maquinaria y equipos que permitan una recirculación del volumen de agua de la siguiente manera:

Tabla 9. Renovación de agua en piscinas

Área de Piscinas	Periodo de Renovación diario	Nº de recirculación
Superior a 50 m²	8 horas	3
Inferior a 50 m²	6 horas	4

Nota: Recirculación de agua de las piscinas

Elaborado por: (Distrito Metropolitano de Quito, 2003, págs. 177-178)

Anexos 2: Instalación de las bombas de calor

- Requisitos para la instalación de una bomba de calor:

- a. Dimensionar el lugar de instalación.
- b. Diseñar distancias de seguridad.
- c. Ensamblaje de piezas en el lugar de instalación.
- d. Flujo de agua y cableado eléctrico adecuados.

- Instalación

Se debe considerar: superficie nivelada, protección en techos, materiales para la instalación, drenaje y condensación.

- Superficie nivelada

La bomba de calor debe ser colocada sobre una superficie de hormigón plana y con pendiente, para poder drenar la condensación de la base de la unidad.

- Protección en techos

La bomba de calor debe ser ubicada o tiene que estar protegida de lugares donde puedan caer grandes cantidades de agua como lluvia.

- Materiales para la instalación

Estos elementos a instalar constan de:

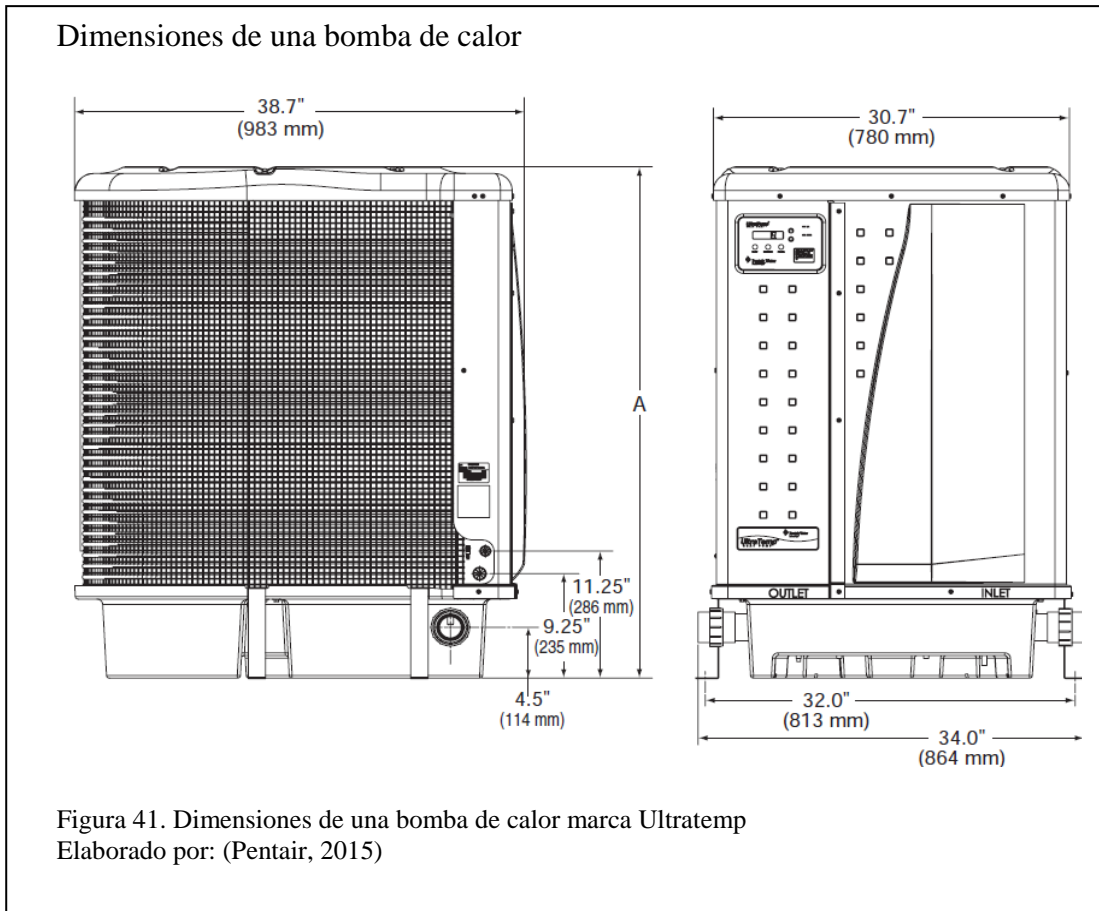
- a. Conexiones de tuberías de 2 pulgadas o 5 cm
- b. Línea de suministro eléctrico apropiada.
- c. Interruptor eléctrico que corte el suministro de energía en la unidad.

- Drenaje y condensación:

Es necesaria la purga frecuente cada hora de 3 o 5 galones por los orificios de drenaje.

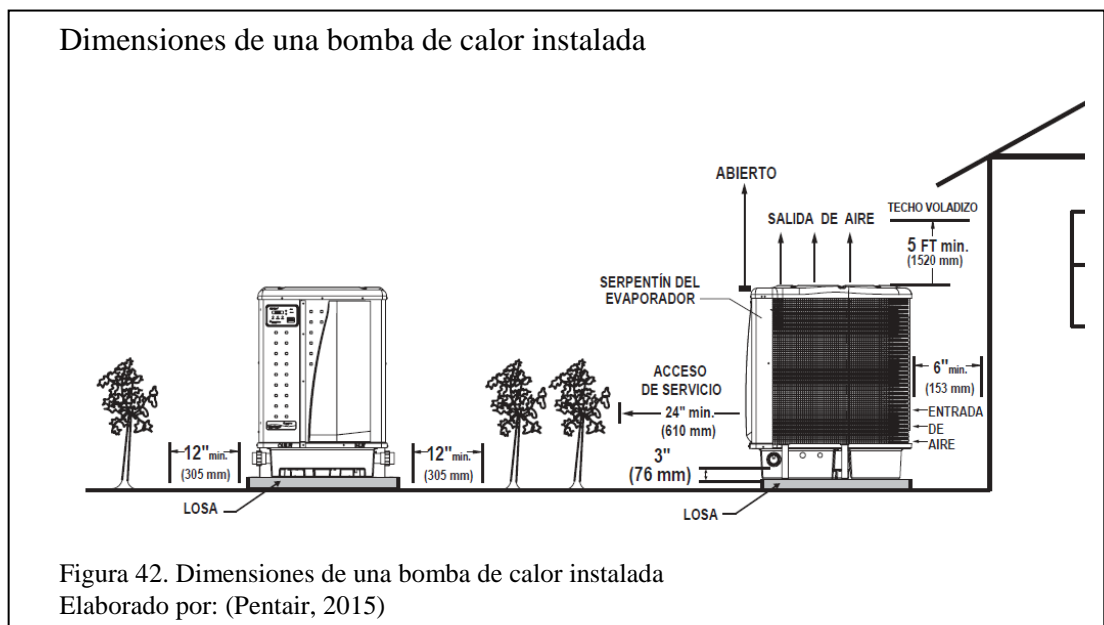
Anexos 3: Dimensiones de una bomba de calor:

La siguiente figura muestra una bomba de calor marca Ultratemp y sus dimensiones:



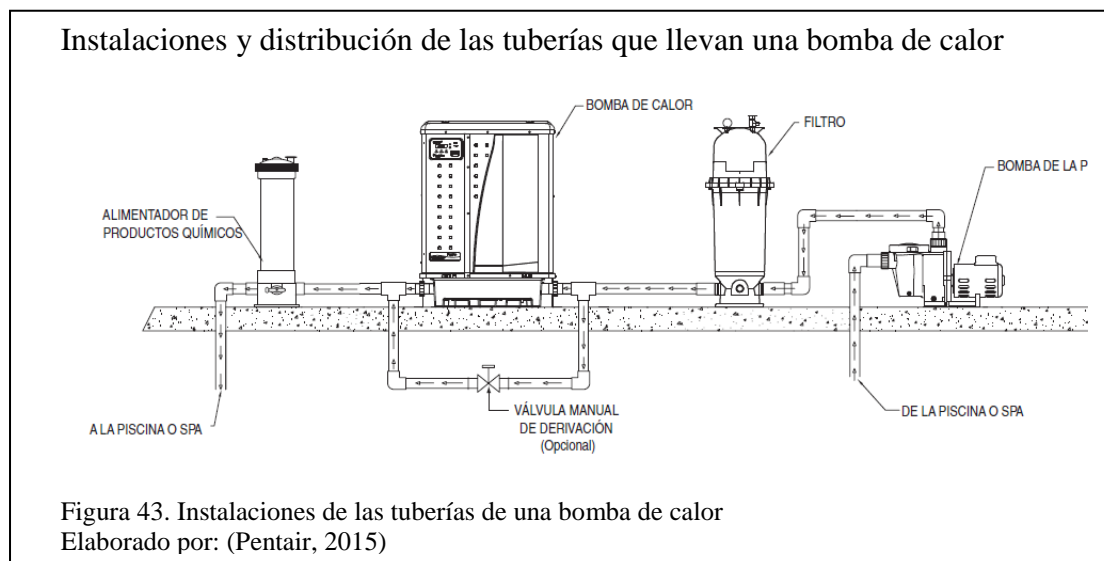
Anexos 4: Distancias de seguridad

- Acceso de 24 (610mm) pulgadas al frente y 12 (305mm) pulgadas a los lados para la circulación del flujo de aire.
- Distancia de seguridad mínima de 5 pies (1.52m) desde la parte superior de la bomba y la cubierta.
- Distancia mínima de 5 pies (1.52m) de la pared interna de la piscina a la bomba de calor. Es recomendable que la bomba este separado de la piscina por una barrera de 5 pies (1.52m) de alto.
- Distancia mínima de 6 pulgadas (153mm) a la pared de la casa.



Anexos 5: Conexiones de agua

En la figura 30 se ilustra la disposición de las tuberías para una bomba de calor. Es de considerar que la ubicación de la bomba de calor por encima o debajo del nivel superior de agua de la piscina afectará la presión hidráulica de la bomba de calor, se puede regular el interruptor de presión si la bomba de calor no está a más de 6 pies (1.8m) del nivel superior del agua de la piscina.



Anexos 6: Datos de Bomba de calor

A continuación los datos técnicos de una bomba de calor marca Jandy.

Bomba de Calor

Bombas de Calor Jandy®
Modelo EE-TI



Rendimiento (w)	41000	0,47453704	20500
Caudal (lpm)	475	0,0079	m ³ /s
Caudal (lpm)	110	0,0018	m ³ /s
Cp(J/kgK)	4220		
d(kg/m³)	1000		
Área (m²)	0,002	d(cm)	5
Velocidad (m/s)	0,934		
Temperatura (K)	298,0	25	

1,8869918
7

Q(J/s)	77366,67	W
m(kg/s)	1,83	
Tf	25	
To	15	

C _{onvección}	0,47453704
ΔT	5,30
h	45,6047683
A	0,0019635

Potencia Requerida	36250
---------------------------	--------------

Piscina (m³)	75	40909,0909	11,3636364
Piscina (m³)	75	9473,68421	2,63157895

0,31123633
3

Caudal Máximo

Q(J/s)	334083,3	W	8,14837398
m(kg/s)	7,9		
Tf	25		ΔT 5,30
To	15		ΔT 1,23

Anexos 7: Datos de Calefón

A continuación los datos técnicos de un calefón marca Neckar.

Calefón



Rendimiento (w)	10800		
Caudal (l/min)	20	0,00033	m ³ /s
Cp(J/kgK)	4220		
d(kg/m³)	1000		
Área (m²)	0,002	d(cm)	5
Velocidad (m/s)	0,679		

1,3024691
36

Q(J/s)	14066,67	W
m(kg/s)	0,333	
Tf	25	
To	15	

34.266,
59

0,40 w/s
0,419560
19

Potencia Requerida	36250
---------------------------	--------------

3,36

Número de Unidades	
43200	
0,00133	m ³ /s

Piscina (m³)	75	56250	15,625
--------------------------------	-----------	--------------	---------------

5,209876543

Q(J/s)	56266,67	W
m(kg/s)	1,333	
Tf	25	
To	15	

ΔT	7,68
ΔT	8,10

Anexos 8: Datos teóricos

A continuación los datos técnicos calculados, necesarios para el dimensionamiento del sistema.

PÉRDIDAS CALCULADA	POTENCIA CONSUMIDA (W)	PORCENTAJE DE PÉRDIDAS		
Evaporización Q_e	5.737,55	16,74%		
Radiación Q_r (W)	284,0897	0,82%	6100,3	Total superficie Total paredes
Convección Q_c (W)	78,7	0,23%	122,0	
Renovación Q_{re} (W)	5.437,50	15,86%	67,5	
Transmisión Q_t (W)	978,75	2,85%		
Total de perdidas Q_{per} (W)	12.516,59	36,53%		
Potencia requerida Q_{pot} (W)	21.750,00	63,47%		
Total de cargas Q_N (W)	34.266,59	100%		
Puesta en marcha (24horas) (W)	36.250,00			
Potencia requerida (W)	36.250,00			

Bomba de calor	
Flujo calorífico (J/s)	77.366,67
Velocidad (m/seg)	0,933708999
Caudales (m ³ /seg)	0,00183333

Calefón	
Flujo calorífico (J/s)	14.066,67
Velocidad (m/seg)	0,679061091
Caudales (m ³ /seg)	0,00133333

Calentador teórico	
Flujo calorífico (J/s)	60.459,10
Velocidad (m/seg)	0,706385045
Caudales (m ³ /seg)	0,001431680