



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
EN OPCIÓN AL GRADO ACADÉMICO DE
MAGISTER EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

TEMA:

“Mejoramiento de la eficiencia térmica en el sistema de calentamiento de agua en la piscina del Círculo Militar ubicada en la ciudad de Quito”.

Autor: Ibujés Villacís Tomás Isaías

Tutor: PhD. Torres Tamayo Enrique

LATACUNGA – ECUADOR

Junio – 2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD DE POSGRADO
Latacunga – Ecuador

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe del Proyecto de Investigación y Desarrollo de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el posgraduado: Ibujés Villacís Tomás Isaías, con el título del trabajo de investigación y desarrollo titulado: MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA TÉRMICA EN EL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA EN LA PISCINA DEL CÍRCULO MILITAR UBICADA EN LA CIUDAD DE QUITO, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, junio 22, 2017.

Para constancia firman:

PhD. SECUNDINO MARRERO
NOMBRES Y APELLIDOS
CC. 1757107907
PRESIDENTE

PhD. JUAN JOSE LA CALLE DOMINGUEZ
NOMBRES Y APELLIDOS
CC. 1756604227
MIEMBRO

M.Sc.. ÁNGEL LEÓN SEGOVIA
NOMBRES Y APELLIDOS
CC. 0502041353
MIEMBRO

PhD. HÉCTOR LAURENCIO
NOMBRES Y APELLIDOS
CC. 1712813
OPONENTE

AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS

Latacunga, 22 de junio de 2017

En mi calidad de Director de Tesis presentada por Ibujés Villacís Tomás Isaías, Egresado de la Maestría en Gestión de Energías, previa a la obtención del mencionado grado académico cuyo título es “Magister en Gestión de Energías”.

Considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador.

Atentamente

.....
PhD. Torres Tamayo Enrique
DIRECTOR DE TESIS

RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE TESIS

El contenido del presente proyecto de investigación es original y de mi exclusiva responsabilidad.

Atentamente

.....
Ing. Ibujés Villacís Tomás Isaías
C.C. 0500904743

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, a sus docentes que me han permitido actualizar mis conocimientos y en especial a mi tutor el PhD Enrique Torres Tamayo, que me supo guiar incondicionalmente en la realización del presente trabajo.

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mis padres Carlitos y Lucita, a mi hermanita Berthita Cecilia, quien es un ejemplo de vida para toda nuestra familia.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS	III
RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE TESIS	IV
AGRADECIMIENTO	V
DEDICATORIA	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
INTRODUCCIÓN	1
Situación problémica.....	2
Justificación de la investigación.	2
Objeto y problema de investigación.....	3
Objeto de estudio	3
Formulación del problema de investigación	3
Campo de acción y objetivo general de la investigación	3
Campo de acción.....	3
Objetivo general.....	3
Hipótesis de la investigación	4
Objetivos específicos de la investigación	4
Sistema de tareas por objetivos específicos	4
Visión epistemológica de la investigación.....	5
Paradigmas o enfoques epistemológicos	5
Nivel de investigación	5
Alcance de la investigación	5
Descripción de la estructura de los capítulos del proyecto de investigación	5

CAPÍTULO 1	7
MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO SOBRE LA PISCINA DE AGUA TEMPERADA Y SU EFICIENCIA TÉRMICA	7
1.1. Introducción	7
1.2. Caracterización detallada del objeto	7
1.3. Marco teórico de la investigación	8
1.3.1. Antecedentes de la investigación.....	8
1.4. Fundamentación de la investigación.....	10
1.4.1. Operacionalización de variables.....	10
1.4.2. Fundamentación legal.....	11
1.5. Aspectos teóricos fundamentales.....	11
1.5.1. Balance de energía.....	11
1.5.1.1. Sistema abierto	11
1.5.1.2. Balance de energía en un sistema abierto.....	12
1.5.2. Sistema cerrado.....	12
1.5.2.1. Balance de energías en un sistema cerrado	13
1.5.3. Mantenimiento del vaso de la piscina.....	13
1.5.3.1. Pérdidas por evaporación del agua del vaso.....	13
1.5.3.2. Pérdidas por radiación de calor de la piscina	14
1.5.3.3. Pérdidas por convección de calor.....	14
1.5.3.4. Pérdidas por transmisión de calor	15
1.5.3.5. Calor de radiación incidente sobre una superficie	15
1.5.4. Mantas térmicas para piscinas	15
1.5.4.1. Especificaciones técnicas de las mantas.....	15
Manta térmica económica:	17
1.5.4.2. Manta térmica de 400 micras	17
1.5.4.3. La manta térmica de 700 micras	17
1.5.4.4. Manta térmica de 500 micras	17
1.6. Bombas de calor.....	18
1.7. Características de la piscina del círculo militar	19
1.8. Conclusiones del capítulo	20

CAPÍTULO 2	21
PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉRMICA DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE LA PISCINA DEL CÍRCULO MILITAR	21
2.1. Introducción	21
2.2. Balance de energía en un sistema cerrado	21
2.2.1. Calor perdido al ambiente.....	22
2.2.1.1. Pérdidas por evaporación del agua del vaso.....	23
2.2.1.2. Pérdidas por radiación de calor de la piscina	25
2.2.1.3. Pérdidas por convección de calor.....	25
2.2.1.4. Pérdidas por conducción de calor.....	26
2.2.1.5. Pérdidas por renovación del agua del vaso	26
2.2.1.6. Pérdidas de calor totales del agua del vaso al ambiente.....	27
2.3. Eficiencia de una bomba de calor	27
2.4. Pérdidas de calor al ambiente por conducción y convección simultáneamente 28	
2.4.1. Potencia necesaria para puesta a régimen.....	28
2.4.2. Calor de radiación incidente sobre la cubierta.....	29
2.5. Técnicas e instrumentos de medición	31
2.6. Modelación con métodos de volúmenes finitos (ANSYS)	33
2.6.1. ANSYS CFX	33
2.7. Conclusiones del capítulo	33
 CAPÍTULO 3	 34
ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PROCESO DE CALENTAMIENTO DEL AGUA DE LA PISCINA	34
3.1. Balance de energía de la piscina	34
3.2. Cálculo de las pérdidas de energía por evaporación y transferencia de calor .	36
3.3. Cálculo de la ganancia de energía calorífica por la cubierta de la piscina	41
3.4. Potencia necesaria para puesta a régimen	42
3.4.1. Simulación del proceso de transferencia de calor con ANSYS	42
3.5. Cálculo de la eficiencia del sistema de calentamiento de la piscina.....	42
3.6. Modelación del sistema en el software ANSYS	43
3.7. Conclusiones del capítulo	49

CAPÍTULO 4	50
PROPUESTA DE REFORMAS PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO TÉRMICO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE LA PISCINA DEL CÍRCULO MILITAR DE QUITO	50
4.1. Introducción	50
4.2. Título de la propuesta.....	50
4.3. Justificación	50
4.4. Objetivo.....	51
4.5. Estructura de la propuesta.....	51
4.6. Mejoramiento de los parámetros operacionales	52
4.7. Selección del material y dimensionamiento de la manta térmica.....	53
4.8. Análisis de la pérdida de calor con el uso de la manta	54
4.9. Construcción del soporte de la manta.....	56
4.10. Valoración económica de la propuesta.....	56
4.11. Conclusiones del capítulo.....	58
CONCLUSIONES GENERALES	59
RECOMENDACIONES	60
REFERENCIAS	61
ANEXOS	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Matriz causa - efecto	10
Tabla 1.2. Matriz de operacionalización de variables	10
Tabla 1.3. Especificaciones técnicas	20
Tabla 2.1. Radiación solar promedio mensual en Quito y Guayaquil.	30
Tabla 2.2. Técnicas e instrumentos de investigación	31
Tabla 3.1 Datos físicos para ser usados en el cálculo de masa evaporada en la superficie de la piscina, pérdidas de calor.	37
Tabla 3.2 Pérdidas de energía térmica del vaso de la piscina durante el día, de 9 am a 9 pm con 40 bañistas.	39
Tabla 3.3 Pérdidas de energía térmica del vaso de la piscina durante la noche, sin ocupantes.	40
Tabla 4.1 Especificaciones técnicas del cobertor	53
Tabla 4.2 Valores de parámetros para cálculos de la pérdida de calor con la manta.	54
Tabla 4.3 Pérdidas de calor con el uso de la manta.	55
Tabla 4.4 Balance de energía con la manta en uso.	55
Tabla 4.5 Costo para la implementación de la propuesta	56
Tabla 4.6 Datos para calcular el VAN y TIR.	57
Tabla 4.7 Valores de flujo de caja y mantenimiento anual.	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Sistema abierto	12
Figura 1.2 Sistema cerrado y sistema aislado.....	12
Figura 1.3 Varias fórmulas empíricas para calcular la masa de evaporación en piscinas con el agua sin disturbios.....	14
Figura 1.4 Tipos de mantas térmicas para cubrir piscinas de uso recreacional y deportivo	16
Figura 1.5. Esquema de funcionamiento de una bomba de calor	18
Figura 1.6. Ubicación del Círculo Militar en Quito	19
Figura 1.7. Interior del área de las piscinas.	19
Figura 2.1. Esquema de los aportes de calor y las pérdidas en la piscina	22
Figura 2.2. Medidor de temperatura y humedad	32
Figura 2.3. Medidor de temperatura.	32
Figura 3.1 Dimensiones de la piscina olímpica del Círculo Militar.....	35
Figura 3.2 Grafica Temperatura vs. Tiempo.	36
Figura 3.3 Pérdidas de calor en la piscina del Círculo Militar.	36
Figura 3.4 Pérdidas de calor de 9 am. a 9 pm.....	40
Figura 3.5 Gráfica de pérdidas de energía por transferencia de calor de 9 am a 9 pm... 41	
Figura 3.6. Esquema de la geometría de la piscina en Solid Edge	43
Figura 3.7. Esquema de la geometría de la piscina en ANSYS.....	44
Figura 3.8. Mallado de la geometría.....	44
Figura 3.9. Parámetros iniciales	46
Figura 3.10. Resultados de la simulación	46
Figura 3.11. Resultados de la simulación parte exterior.....	47
Figura 3.12. Corte longitudinal.....	47
Figura 3.13. Corte transversal.....	48
Figura 3.14. Volumen de control total.....	48
Figura 4.1 Espacio interior de la piscina	52
Figura 4.2 Pérdidas de calor de la piscina en la noche.	54
Figura 4.3 Pérdidas de calor de la piscina en la noche con la manta.....	55
Figura 4.4 Tasas de interés para diferentes segmentos de la economía según el Banco Central del Ecuador	57

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Tablas psicométricas a la altura de Quito.	64
Anexo 2. Propiedades del aire a 2500 msnm.....	65
Anexo 3. Cotización de manta térmica para una piscina semi-olímpica.....	66
Anexo 4. Modelo de enrollador de piscina a construirse.	68
Anexo 5. Cotización de enrolladores para la manta térmica.	69
Anexo 6. Bombas de recirculación de agua de la piscina.	70
Anexo 7. Bombas de calor para calentamiento del agua de la piscina.....	71
Anexo 8. Especificaciones técnicas de la bomba de recirculación y la de calor.	71

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

TÍTULO: Mejoramiento de la eficiencia térmica en el sistema de calentamiento de agua en la piscina del Círculo Militar ubicada en la ciudad de Quito.

AUTOR: IBUJÉS VILLACÍS Tomás Isaías

TUTOR: PhD. TORRES TAMAYO Enrique

RESUMEN

En el presente trabajo se ha realizado un análisis teórico y experimental del rendimiento térmico del sistema de calentamiento de la piscina cubierta del Círculo Militar en Quito, a base de establecer el mejoramiento de los parámetros operacionales actuales y proponiendo el uso de una manta isotérmica, para reducir las pérdidas de calor y obtener un ahorro energético. Las pérdidas de energía térmica se deben a la transferencia de calor por conducción, convección y radiación por las paredes de la piscina, además por el proceso de evaporación de agua del vaso al ambiente, las mismas que se logran disminuir con el uso de una manta térmica en contacto con la superficie del agua. Se inicia el análisis del estudio de la cantidad de energía necesaria para mantener la temperatura del agua a 31 °C, así como la determinación de las pérdidas de calor por las paredes de la piscina y por el proceso de evaporación. Se cuantifica la cantidad de energía ahorrada con el uso de la manta, se llevó a cabo el análisis del costo económico y la viabilidad de su implementación, propuesta que permitirá el aumento de la eficiencia del proceso de calentamiento del agua de la piscina mejorando los parámetros operacionales de la misma. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente estudio.

Descriptores: Piscinas cubiertas, sistema de calentamiento de agua, energía, ahorro energético, eficiencia térmica.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
POSTGRADUATE DIRECTION
ENERGY MANAGMENT MASTER'S DEGREE

TOPIC: Improvement of the thermal efficiency of the heating water system in the swimming pool at “Circulo Militar” located in Quito city.

AUTHOR: IBUJÉS VILLACÍS Tomás Isaías

TUTOR: PhD. TORRES TAMAYO Enrique

ABSTRACT

This study has been done both theoretical and experimental analysis, for the thermal efficiency of the indoor pool heating system, at “Círculo Militar” located in Quito, by means of establishing the improvement of current operational parameters and proposing the use of a thermal blanket, to reduce the heat losses and get an energy saving. The loss of thermal energy is due to the heat transfer by conduction, convection and radiation through the walls of the swimming pool, in addition to the water evaporation process from the vessel toward the environment; these losses are able to reach its decreasing with the use of a thermal blanket on contact with the water surface. The analysis started with a study of the amount of power required to maintain the water temperature at 31 °C, as well as the determination of the quantity of energy lost through the walls of the pool and the evaporation process. The amount of energy saved is quantified according to the use of a blanket; it was carried out an economic analysis and the feasibility of its implementation, a proposal that will allow an increase of the efficiency of the heating water process, improving the operational parameters for itself. To sum up, the most important conclusions and recommendations achieved during this job are presented at the end of this study.

Descriptors: Indoor pool, heating water system, energy saving, thermal efficiency.

INTRODUCCIÓN

En el país a lo largo y ancho del mismo, existen áreas recreacionales pertenecientes a Instituciones públicas para atención a sus empleados, socios y muchas de ellas abiertas a todo público según disposición del Gobierno Nacional.

En la mayoría de estas áreas de recreación se cuenta con una piscina de agua temperada en las provincias de la serranía por sus bajas temperaturas, con muchas fluctuaciones de la temperatura ambiente durante un mismo día, independiente de la estación del año, sea invierno o verano.

Dado a qué en la piscina, se llevan a cabo actividades para distintos grupos de población: niños, personas con discapacidad, adultos que practican la natación con un fin recreativo, nadadores que entrenan y compiten, personas que buscan un fin terapéutico, presentan necesidades diferentes con respecto a la temperatura del agua, surgen problemas en cuanto a la misma cuando llevan actividades para todos estos colectivos, siendo éste un problema en las piscinas climatizadas, razón por la cuál es importante mantener la temperatura adecuada y disminuir las pérdidas energéticas que incrementan los costos de operación de las instalaciones.

La sede social del Círculo Militar ubicada en Quito en las Avenidas Diego de Almagro y Orellana. Los Socios del Círculo Militar son los Miembros de las Fuerzas Armadas del Ecuador, en servicio activo o pasivo, quienes hayan aceptado afiliarse voluntariamente al Club y cumplido los requisitos establecidos en los estatutos y reglamentos.

Durante la investigación se analizan las diferentes pérdidas de energía en la piscina para conocer su comportamiento energético y se plantean alternativas para aumentar el rendimiento térmico disminuyendo las pérdidas de calor, que se traduce en un buen servicio a los socios y consecuentemente una disminución en los costos de operación de la piscina.

Situación problemática.

Las pérdidas de energía se hacen evidentes por el incremento de pago en la planilla eléctrica, debido al mayor tiempo de funcionamiento de los equipos de calentamiento de agua, lo que es consecuencia de una baja en el rendimiento térmico de la instalación en su conjunto.

Con el fin de disminuir el alto costo del consumo eléctrico la Institución planificó dos etapas para disminuir costos de operación:

- Etapa I. Se cambió el sistema de calentamiento de agua mediante calderas que consumían 2500 kg de Gas Licuado de Petróleo (GLP) con un costo de USD 2500 al mes a un sistema por el uso de bombas de calor que actualmente consume de 7500 a 9500 kWh por mes con un costo de USD 750 al mes. Con un ahorro substancial de USD 1750 al mes.
- Etapa II. Mejorar la eficiencia térmica de la piscina disminuyendo las pérdidas de calor. Considerando que las piscinas fueron construidas hace 30 años.

La primera etapa está en operación desde hace unos dos años, la segunda es la que se pretende analizar y proponer un plan de mejoramiento en cuanto a su eficiencia energética.

Justificación de la investigación.

Las instalaciones físicas y térmicas de las piscinas deben ser las óptimas y de ser posible todos los días del año.

Las pérdidas de energía se hacen evidentes por el incremento de pago en la planilla eléctrica, debido al mayor tiempo de funcionamiento de los equipos de calentamiento de agua, lo que es consecuencia de una baja en el rendimiento térmico de la instalación en su conjunto.

Es necesario conocer mediante mediciones periódicas el comportamiento energético de la piscina y buscar alternativas para aumentar el rendimiento térmico disminuyendo las pérdidas de calor, que se traduce en un buen servicio a los socios y consecuentemente una disminución en los costos de operación de la piscina.

Es conveniente realizar este estudio por su relevancia social, pues un buen servicio a los usuarios ayuda a mantener la imagen del servicio del Círculo Militar.

Objeto y problema de investigación

Objeto de estudio

- ✓ Piscina de agua temperada del Círculo Militar, ubicada en Quito.

Formulación del problema de investigación

- ✓ ¿Cómo inciden las pérdidas de calor en la eficiencia térmica del sistema de calentamiento de agua en la piscina del Círculo Militar, ubicada en la ciudad de Quito?

Campo de acción y objetivo general de la investigación

Campo de acción

- ✓ Eficiencia térmica en el sistema de calentamiento del agua en piscinas

Objetivo general

- ✓ Mejorar la eficiencia térmica en el sistema de calentamiento de agua en la piscina del Círculo Militar ubicada en la ciudad de Quito.

Hipótesis de la investigación

- ✓ La implementación de una manta térmica para disminuir las pérdidas de calor permitirá mejorar en un 40 % la eficiencia térmica, de la piscina temperada del Círculo Militar de Quito.

Objetivos específicos de la investigación

- ✓ Evaluar las variables necesarias, para conocer la eficiencia térmica del sistema de calentamiento de agua de piscinas, mediante ecuaciones de transferencia de calor y termodinámica.
- ✓ Determinar la eficiencia de la piscina en condiciones normales de operación y elaborar una propuesta para mejorar la eficiencia térmica de la instalación.

Sistema de tareas por objetivos específicos

Objetivo específico	Metodología	Descripción de tareas	Indicador de logro.
Evaluar las variables necesarias, para conocer la eficiencia térmica del sistema de calentamiento de agua de piscinas, mediante ecuaciones de transferencia de calor y termodinámica.	Bibliográfica, documental. Software ANSYS	Investigar: Libros, artículos científicos y páginas Web. Descripción del proceso. Metodología. Simular las pérdidas de calor	Teoría de evaluación de pérdidas de energía y eficiencia térmica. Conocimiento de la distribución de temperaturas del agua en la piscina.
Determinar la eficiencia de la piscina en condiciones normales de operación y elaborar una propuesta para mejorar la eficiencia térmica de la instalación.	Bibliográfica, Documental.	Ejecución de mediciones. Realizar cálculos con aplicación de la teoría. Análisis técnico de la propuesta. Análisis económico.	Conocimiento del rendimiento térmico de la piscina. Propuesta de mejoras.

Visión epistemológica de la investigación

Paradigmas o enfoques epistemológicos

En la investigación se utilizará la modalidad de campo y un enfoque cuali-cuantitativo, usando la técnica de la observación, conociendo las condiciones de operación con datos obtenidos del personal vinculado a las instalaciones, también el método analítico que permite una explicación del problema.

Nivel de investigación

Corresponderá a un nivel explicativo, ya que se tratará de comprobar experimentalmente la hipótesis, que detecta los factores que determinan ciertos comportamientos (variables con otras variables).

Alcance de la investigación

Con la investigación realizada se pretende disponer de una propuesta de mejoramiento físico de las instalaciones de la piscina, con el fin de disminuir las pérdidas de calor con el consecuente ahorro de energía, que incide en un menor pago de la planilla eléctrica por parte de la Institución.

Descripción de la estructura de los capítulos del proyecto de investigación

Capítulo I: Se exponen los antecedentes de la investigación, la fundamentación legal, la definición de las variables, así como los aspectos teóricos necesarios para la ejecución de la investigación.

Capítulo II: Descripción metodológica, etapas de trabajo, metodología, las ecuaciones para los cálculos de la ganancia y pérdida de energía, para la eficiencia del sistema de calentamiento de agua mediante bombas de calor, además las técnicas e instrumentos utilizados para la realización del presente trabajo.

Capítulo III: Análisis e interpretación de resultados tomando en cuenta los parámetros actuales de funcionamiento de la piscina temperada, modelación por volúmenes finitos ANSYS del comportamiento de la temperatura de la piscina.

Capítulo IV: Se presenta la propuesta para mejorar la eficiencia energética de la piscina, aplicación de mantas térmicas, para ser usadas cuando la piscina no se encuentre en uso, así como sus costos para su implementación.

CAPÍTULO 1

MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO SOBRE LA PISCINA DE AGUA TEMPERADA Y SU EFICIENCIA TÉRMICA

1.1. Introducción

Es necesario una revisión de lo que se ha estudiado anteriormente y encontrar el sentido de la investigación. El objetivo del presente capítulo es establecer los fundamentos teóricos para la evaluación de la eficiencia térmica de la piscina del Círculo Militar.

1.2. Caracterización detallada del objeto

La sede social del Círculo militar ubicada en Quito en las Avenidas Diego de Almagro y Orellana. Los socios del Círculo Militar son los Miembros de las Fuerzas Armadas del Ecuador, en servicio activo o pasivo, quienes hayan aceptado afiliarse voluntariamente al Club y cumplido los requisitos establecidos en los Estatutos y Reglamentos.

Las piscinas de esta sede social tienen mucha demanda de los usuarios debido a las siguientes razones:

- Recreación con la familia.
- Cursos de natación para niños, jóvenes y adultos.
- Práctica deportiva para mantenerse en forma y cuidar la salud.
- Rehabilitación física por prescripción médica.

Las instalaciones físicas y térmicas de las piscinas deben ser las óptimas, están abiertas a sus socios de martes a domingo todos los días del año.

Las pérdidas de energía se hacen evidentes por el incremento de pago en la planilla eléctrica, debido al mayor tiempo de funcionamiento de los equipos de calentamiento de agua, lo que es consecuencia de una reducción en el rendimiento térmico de la instalación en su conjunto.

1.3. Marco teórico de la investigación

1.3.1. Antecedentes de la investigación

Para el mantenimiento de la temperatura del vaso de la piscina (**Eva María Albarracín**) considera que se deben analizar los distintos factores que influyen sobre la temperatura del vaso como son: pérdidas de calor por evaporación, por radiación de calor, por convección, por conducción y por renovación del vaso de agua sobre los que es preciso actuar desde el punto de vista del ahorro energético.

Mohamed (2014), informa que la evaporación es mayor en piscinas ocupadas, incrementando el área de contacto entre el aire y agua debido a las ondas en la superficie del agua, cuerpos húmedos, pisos mojados, que es función de la temperatura del agua y la densidad del aire que cubre la piscina, en piscinas cubiertas la evaporación es debido a la convección natural que debe ser analizada con ecuaciones que consideran transferencia de calor y masa.

Las causas de pérdida de calor hacia el exterior de una piscina cubierta son: 27 % por ventilación, 70 % por evaporación y 3 % por otras y que pueden ser disminuidas con una cubierta adecuada del área de la piscina dependiendo del tiempo de uso diario de la misma (Madison gas and electric, 2011).

Moreno (2014), indica que cuando la pileta está ubicada en un recinto cubierto, las mantas térmicas reducen el uso del sistema de aire acondicionado nocturno para controlar la evaporación, éstas permiten que las propiedades del agua se mantengan a lo largo del año sin deteriorarse, neutraliza la proliferación de algas y eso hace que no se necesite renovarla en su totalidad.

El proceso de evaporación del agua ha sido largamente discutido, desarrollando fórmulas empíricas basadas en principios físicos, debido a la enorme influencia de factores inciertos; no es posible capturar toda la naturaleza aleatoria de la evaporación, sin embargo, se han desarrollado programas de simulación en piscinas cubiertas para predecir este fenómeno (Lu, Lu, & Viljanen, 2014) .

Para el cálculo de las pérdidas por radiación se deben hacer dos suposiciones: primero que la temperatura media radiante es igual a la temperatura del aire, esto puede ser posible

en espacios grandes (alto volumen de aire con respecto a las superficies de las paredes internas) y ausencia de grandes fuentes de radiación, por ejemplo: intensa radiación solar o sistemas de calentadores radiantes. Esta suposición ha sido verificada en dos casos reales: en un gimnasio y en una piscina, en donde se encontró una diferencia de 2 °C entre la temperatura del aire y la de las paredes del recinto (Revel & Arnesano, 2014).

En la actualidad las piscinas se consideran de mucha importancia en la vida cotidiana de las personas, por lo cual las empresas constructoras de piscinas se encuentran innovando en las características, tanto estéticas como de revestimiento, usando diferentes materiales que resistan la corrosión del agua y de los químicos, ofreciendo así un producto con mayor claridad y durabilidad

Las empresas constructoras de piscinas han comprendido que descuidar el revestimiento de ésta durante el proceso de confección de una piscina, es algo que luego repercutirá en las ventas, ya que la tendencia a nivel mundial de los últimos años indica que los usuarios de piscinas se inclinan por aquellas que presentan un buen diseño, buen acabado que guardan relación con los tiempos actuales. Es por ello que en la actualidad se encuentra un importante número de revestimientos para piscinas, capaces de satisfacer las necesidades de cualquier usuario y dotados de las características indispensables que deben tener para ser resistentes al paso del tiempo, la corrosión del agua y los productos químicos (Piscinas agua, 2016).

La concentración de ácido asocianúrico (ICN) acumulado en piscinas, como consecuencia de la desinfección del agua mediante derivados organoclorados, no se puede eliminar mediante un tratamiento fisicoquímico convencional. Por ello, los distintos reglamentos higiénico-sanitarios de cada provincia exigen realizar una purga y renovación diaria del agua del vaso. El proceso de depuración necesita renovar el 5% del agua del vaso para eliminar el ICN que se va acumulando en el agua de la piscina. (Corral, Vergara, & Alba Fernando, 2010)

Actualmente se han desarrollado programas de simulación para análisis térmicos, en el medio el procedimiento más conocido es la construcción del modelo en un software de diseño como lo es Solid Works e importarlo a la interfaz de trabajo ANSYS CFX para la simulación.

1.4. Fundamentación de la investigación.

La causa principal para realizar la investigación, son las pérdidas de energía, éstas se hacen evidentes por el incremento de pago en la planilla eléctrica, debido al mayor tiempo de funcionamiento de los equipos de calentamiento de agua, consecuencia de una baja en el rendimiento térmico de los equipos de calentamiento de la piscina.

Tabla 1.1 Matriz causa - efecto

Causa	Variable independiente	Parámetros operacionales. Pérdidas de calor de la piscina
Efecto	Variable dependiente	Eficiencia térmica de la piscina

1.4.1. Operacionalización de variables

La manera de operar las variables independiente y dependiente se indica en la tabla 1.2.

Tabla 1.2. Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE:		Parámetros operacionales, pérdidas de calor de la piscina.			
Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Condiciones físicas de funcionamiento. Cantidad de calor que se pierde por radiación, convección, conducción de calor y evaporación del agua caliente de la piscina.	Condición térmica del agua de la piscina.	Temperatura del agua	°C	Medición	Termómetro.
	Psicrometría del aire caliente	Temperatura	°C	Medición	Termómetro.
		Humedad relativa	%	Medición Cálculos	Higrómetro Carta psicométrica.
	Agua de reposición	Flujo volumétrico	m ³ /h	Medición	Medidor de flujo.
	Materiales de construcción del vaso	Conductividad térmica de los materiales de la piscina	W/m °C	Cálculos	Ecuaciones de potencia eléctrica.
Pérdidas térmicas	Cantidad de energía perdida	%	Cálculos y medición	Ecuaciones de Termodinámica y Transferencia de calor.	

VARIABLE DEPENDIENTE:		Eficiencia térmica de la piscina.			
Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Incidencia de las pérdidas térmicas en la eficiencia del sistema de calentamiento de la piscina.	Eficiencia energética	Rendimiento	%	Cálculos	Ecuaciones de Termodinámica y Transferencia de calor.

1.4.2. Fundamentación legal

ESTATUTO DEL CÍRCULO MILITAR DE LAS FUERZAS ARMADAS

Artículo 4 literal b.- Optimizar los servicios referidos a actividades administrativas, sociales, deportivas, culturales, habitacionales, de recreación y las que se crearen posteriormente. (Círculo militar de las Fuerzas Armadas, 2005)

ASAMBLEA CONSTITUYENTE, CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR

SECCIÓN SÉPTIMA

BIÓSFERA, ECOLOGÍA URBANA Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS.

Art. 413.-El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua. (Asamblea Constituyente del Ecuador, 2008)

1.5. Aspectos teóricos fundamentales

1.5.1. Balance de energía

El balance de energía es aplicado para determinar las cantidades de energía que son intercambiadas y acumuladas dentro de un sistema, los cuales son sistemas abierto y cerrado

1.5.1.1. Sistema abierto

Un sistema abierto, o un volumen de control, es una región elegida apropiadamente en el espacio. Generalmente encierra un dispositivo que tiene que ver con flujo másico, como un compresor, turbina o tobera. El flujo por estos dispositivos se estudia mejor si se

selecciona la región dentro del dispositivo como el volumen de control. Tanto la masa como la energía pueden cruzar la frontera de un volumen de control (Cengel Y. A., 2011).

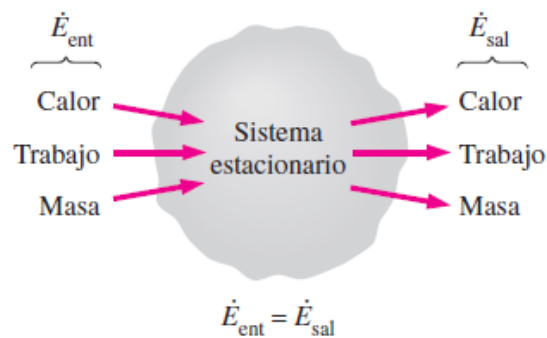


Figura 1.1 Sistema abierto
Fuente: (Cengel Y. A., 2011)

1.5.1.2. Balance de energía en un sistema abierto

En un sistema abierto es posible la transferencia de energía a través de sus límites; la masa contenida en él no es necesariamente constante. Para el balance de energía en un sistema abierto se aplica la primera ley de la termodinámica. $E_{Entrada} = E_{Salida}$

1.5.2. Sistema cerrado

Un sistema cerrado conocido también como una masa de control consta de una cantidad fija de masa y ninguna otra puede cruzar su frontera. Es decir, ninguna masa puede entrar o salir de un sistema cerrado. Pero la energía, en forma de calor o trabajo puede cruzar la frontera; y el volumen de un sistema cerrado no tiene que ser fijo. Si, como caso especial, incluso se impide que la energía cruce la frontera, entonces se trata de un sistema aislado. (Cengel Y. A., 2011).

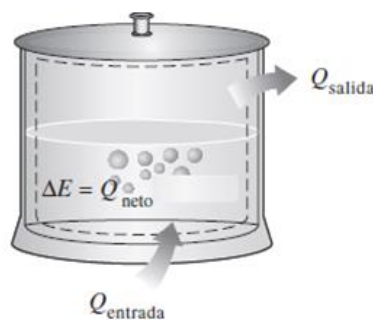


Figura 1.2 Sistema cerrado y sistema aislado
Fuente: (Cengel Y. A., 2011)

1.5.2.1. Balance de energías en un sistema cerrado

El balance integral de un sistema cerrado debe ser planteado entre dos instantes de tiempo ya que la energía no puede crearse ni destruirse, los términos de generación o consumo no tienen sentido, llegando a: $\text{Acumulación} = \text{Entrada} - \text{Salida}$

Cuando se plantea el balance de masa en un sistema cerrado los términos de entrada y salida de materia se cancelan debido a que no existe un cruce de masa en las fronteras del sistema.

Sin embargo, en un sistema cerrado, la energía puede ser transferida en los límites del sistema como calor o trabajo por lo que el balance integral de energía de un sistema cerrado será:

$\text{Energía final del sistema} - \text{energía inicial del sistema} = \text{energía neta transferida al sistema}$
(Cengel Y. A., 2011)

1.5.3. Mantenimiento del vaso de la piscina

Albarracín (CIATESA), considera analizar los distintos factores que influyen sobre la temperatura del vaso de la piscina fin de conocer los factores principales sobre los que es preciso actuar desde el punto de vista del ahorro energético.

La energía que se debe suministrar al vaso del agua, es la necesaria para suplir las pérdidas de energía que son las siguientes:

1. Pérdidas por evaporación del agua del vaso.
2. Pérdidas por radiación de calor.
3. Pérdidas por convección de calor.
4. Pérdidas por transmisión.
5. Pérdidas por renovación del agua del vaso.

1.5.3.1. Pérdidas por evaporación del agua del vaso

El agua al evaporarse del vaso de la piscina absorbe calor enfriando el resto del agua y bajando la temperatura del agua del vaso. Por tanto, cuanto mayor sea la evaporación mayor será el enfriamiento del agua del vaso. Estas pérdidas serán las mismas tanto para las cargas de invierno como las de verano.

Mohammed (2014) informa que para calcular la cantidad de evaporación en la superficie de la piscina con el agua sin disturbios existen diferentes fórmulas, como las que se expone en la figura 1.3.

Author	Correlation, SI Units	Correlation, IP Units	Note
Carrier (1918)	$E = \frac{(0.089 + 0.0782u)(p_w - p_r)}{i_{fg}}$	$E = \frac{(95 + 0.425u)(p_w - p_r)}{i_{fg}}$	
Smith et al. (1993)	$E = \frac{0.76(0.089 + 0.0782u)(p_w - p_r)}{i_{fg}}$	$E = \frac{0.76(95 + 0.425u)(p_w - p_r)}{i_{fg}}$	
Biasin and Krumme (1974)	$E = -0.059 + 0.000079(p_w - p_r)$	$E = -0.0118 + 0.0535(p_w - p_r)$	
Rohwer (1931)	$E = 0.000252[1.8(t_w - t_r) + 3]^{2/3}(p_w - p_r)$	$E = 0.08(t_w - t_r + 3)^{2/3}(p_w - p_r)$	
Boelter et al. (1946)	For $\Delta x < 0.008$, $E = 5.71 \Delta x$ For $0.008 < \Delta x \leq 0.016$, $E = 4.88(-0.024 + 4.05795 \Delta x)$ For $\Delta x > 0.016$, $E = 38.2(\Delta x)^{1.25}$	For $\Delta x < 5E-4$, $E = 91.4 \Delta x$ For $5E-4 < \Delta x \leq 1E-3$, $E = 0.98(-0.024 + 64.92 \Delta x)$ For $\Delta x > 1E-3$, $E = 1222(\Delta x)^{1.25}$	Formula 1
Boelter et al. (1946)	$E = 0.0000162(p_w - p_r)^{1.22}$	$E = 0.065(p_w - p_r)^{1.22}$	Formula 2
Tang et al. (1993)	$E = 35(\Delta x)^{1.237}$	$E = 222(\Delta x)^{1.237}$	
Himus and Hinchley (1924)	$E = 0.0000258(p_w - p_r)^{1.2}$	$E = 0.089(p_w - p_r)^{1.2}$	
Leven (c. 1969)	$E = 0.0000094(p_w - p_r)^{1.3}$	$E = 0.073(p_w - p_r)^{1.3}$	
Box (1876)	$E = 0.0000778(p_w - p_r)$	$E = 0.054(p_w - p_r)$	

Figura 1.3 Varias fórmulas empíricas para calcular la masa de evaporación en piscinas con el agua sin disturbios

Fuente: (Mohammed, 2014).

Sin embargo, la más actual es la de Shah (2014) que sugiere para calcular la cantidad de agua evaporada. La evaporación ocurre en la interfase vapor-líquido, cuando la presión de vapor es menor que la de saturación del líquido a una temperatura dada, en este caso la temperatura de la superficie del líquido.

1.5.3.2. Pérdidas por radiación de calor de la piscina

Dependen de la temperatura del agua y del cerramiento, se utiliza la ecuación de Stefan-Boltzmann (Cengel Y. , 2007).

1.5.3.3. Pérdidas por convección de calor

Debido a la diferencia de temperatura entre la superficie del agua de la piscina y el aire ambiente existe un intercambio de calor por convección. Por normativa por razones higiénicas, diariamente se ha de reponer un 5 % del total del agua del vaso de la piscina según (Eva María Albarracín).

1.5.3.4. Pérdidas por transmisión de calor

Karlekar & Desmond (1994), manifiestan que estas pérdidas dependen de los materiales de construcción de la piscina y sus coeficientes de conducción de calor.

1.5.3.5. Calor de radiación incidente sobre una superficie

Cengel (2011), expresa que: cuando la radiación, choca contra una superficie, parte de ella es absorbida, parte de ella es reflejada y la parte restante es transmitida. En superficies opacas solo se tiene absorción y reflexión, no así transmisión como sucede en superficies semitransparentes.

1.5.4. Mantas térmicas para piscinas

Las mantas o cobertores térmicos son una cubierta de polietileno con burbujas de aire confinado que se colocan sobre la pileta de natación. La baja densidad de la membrana y las burbujas de aire permite su flotabilidad; usar una buena cubierta sobre la pileta es la manera más económica de calentar o mantener climatizada la piscina, sin importar el método elegido para climatizarla, la manta debería utilizarse como complemento en todos los casos (Polybubtech, 2016). Las piletas cubiertas no están afectadas por el clima, aunque también pierden una gran cantidad de energía por la evaporación. De hecho, necesitan tener ventilación del ambiente para reducir la humedad ocasionada por la gran cantidad de evaporación. Esto también requiere de energía adicional para calentar el ambiente (Solarpool, 2017).

Las mantas térmicas minimizan la evaporación en ambos casos. Cubrir la pileta cuando no se utiliza es la manera más efectiva de reducir los costos de climatización de la misma. Es posible ahorrar entre el 50 al 70 % del costo de climatización, en el caso de las piscinas cubiertas (clubes o Spas) también reducen la necesidad de calentar el aire de la ventilación del ambiente para reducir la humedad interior (Solarpool, 2017).

1.5.4.1. Especificaciones técnicas de las mantas

Hay varias empresas que fabrican mantas térmicas especialmente diseñadas para piscinas, las mismas que pueden construirse de diferentes materiales como el polietileno,

polipropileno vinilo. Una de las mantas térmicas más comunes para piscinas es la manta térmica de burbujas, muy similar al material utilizado para empaquetar mercancías, pero con plástico más grueso, con diferentes espesores y con tratamiento anti-ultravioleta (Tecnopool, 2015).

Está formada normalmente por dos membranas de polietileno o polímero similar de 400-500 micras y en el centro una cámara de aire confinada con burbujas. La manta suele ser de alta resistencia, bajo peso, baja densidad y alta flotabilidad (Engitec). Las mantas térmicas de vinilo y PVC se fabrican con un material más pesado, tienen una vida más larga y son más eficientes (aíslan más) pero son más caras. Suelen estar compuestas por dos capas de vinilo o PVC con una capa de material aislante flexible en el centro que puede fabricarse con diferentes espesores (Instituto tecnológico de Canarias, 2009).

Medidas reductoras de ahorro energético en piscinas: mantas térmicas (fuera de las horas de ocupación), cerramientos interiores y exteriores bien aislados, instalación de control con horarios de uso y no ocupación por la noche (Saavedra Cortina).

Fernandez- Luna, Felipe, & García-Unanue (2015) expresa que: para reducir el nivel de evaporación de agua y por ende la pérdida de energía, últimamente se ha extendido la utilización de mantas térmicas, cuya versión más comercializada está fabricada con polipropileno o vinilo, para piscinas cubiertas y descubiertas. Outletpiscinas (2017), Las mantas térmicas son un producto necesario para conservar el calor del agua de su piscina y protegerla de la suciedad. Es la mejor manera de ahorrar en productos químicos y de conseguir una óptima climatización de su piscina ya que ayudan a conservar la temperatura y evitan las pérdidas de calor que se producen durante la noche.

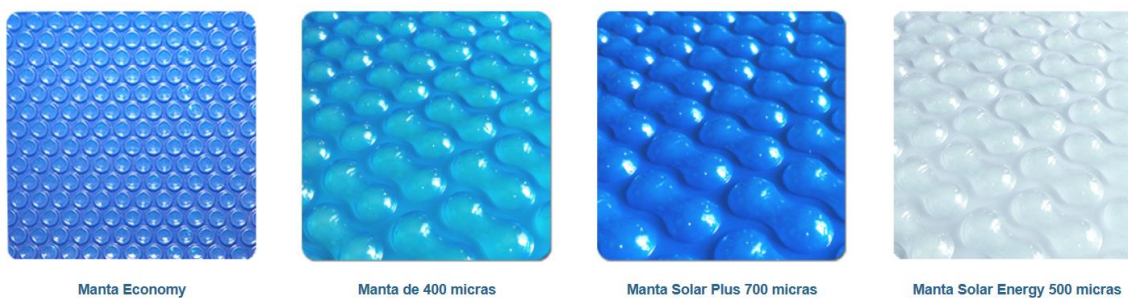


Figura 1.4 Tipos de mantas térmicas para cubrir piscinas de uso recreacional y deportivo
Fuente: (Outletpiscinas, 2017)

Manta térmica económica:

Están fabricadas en poliestireno de baja densidad. Son una solución ideal para piscinas cubiertas y spas para evitar la pérdida del calor durante la noche, economiza los productos químicos del tratamiento del agua y evita que la suciedad entre en la piscina cuando se tenga instalada la manta (Outletpiscinas, 2017).

1.5.4.2. Manta térmica de 400 micras

Están fabricadas en polietileno. Son la solución más económica y efectiva para evitar las pérdidas caloríficas de la piscina durante la noche y, por tanto, para optimizar el rendimiento de su sistema de climatización, protege el agua de suciedad e insectos, además mejora la climatización del agua y la eficacia de los tratamientos químicos de desinfección del agua (Outletpiscinas, 2017).

1.5.4.3. La manta térmica de 700 micras

Es el mejor cobertor de burbujas de calentamiento solar disponible para piscinas exteriores. Consigue incrementar la temperatura de hasta 8°C y está compuesta de polietileno, es lo más avanzado de su clase, ya que permite la máxima cantidad de ganancia solar que penetra en el agua de la piscina gracias a las características translúcidas del reverso de la manta térmica (Outletpiscinas, 2017).

1.5.4.4. Manta térmica de 500 micras

Permite ahorrar tiempo y dinero en la climatización de la piscina. La innovadora manta que le presentamos está fabricada en material transparente y tiene 500 micras. Este material produce un efecto lupa con los rayos del sol y consigue que éstos incidan más profundamente en su piscina (Outletpiscinas, 2017).

Las principales ventajas se resumen en:

- 1.- Reducción en la pérdida de calor del agua, disminuyendo el consumo de energía del sistema de calentamiento y el consumo en electricidad de la bomba de circulación del agua.
- 2.- Se reducen los niveles de humedad del recinto de la piscina, disminuyendo el uso en continuo del sistema de ventilación.

3.- Ahorros eléctricos en el consumo al apagar el sistema de ventilación en horario de no atención al público.

1.6. Bombas de calor

Cuevas (2009), informa que las bombas de calor utilizan electricidad para capturar y trasladar el calor de un lugar a otro, no generan calor directamente de ésta. Un ventilador impulsa aire a través del evaporador, dentro del cual un líquido refrigerante absorbe el calor del aire exterior y cambia a un estado gaseoso a T_1 , luego el gas el gas que pasa es comprimido, lo que resulta en un aumento de la temperatura del gas a T_2 , el mismo que circula hacia el condensador (Outletpiscinas, 2017).

En el condensador, el calor es transferido desde el gas hacia el agua circulante a T_{p1} , el agua retorna a la piscina a una temperatura $T_{p1} + \Delta T$, el gas a medida que se enfría en su paso por el condensador regresa en estado líquido al evaporador, reiniciando así el ciclo.

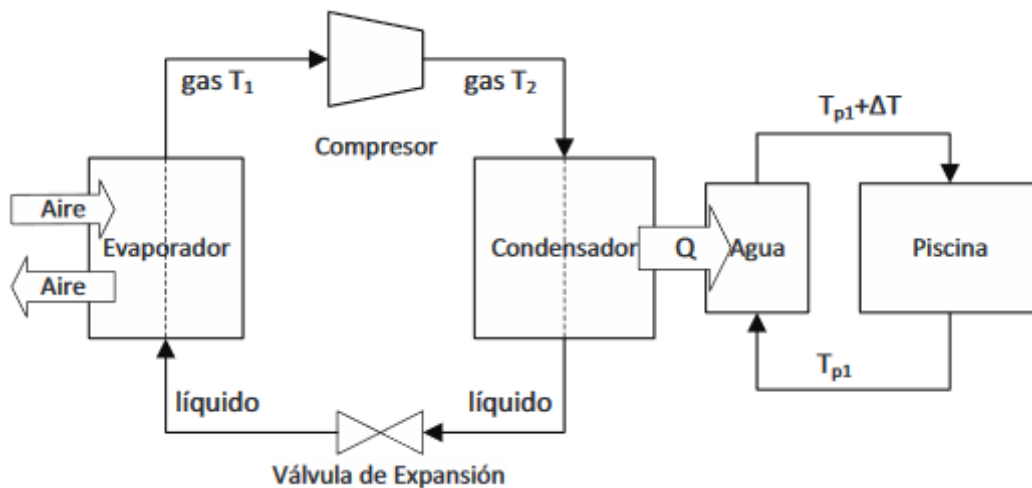


Figura 1.5. Esquema de funcionamiento de una bomba de calor
Fuente: (Universidad de Mar del Plata)

En general las bombas de calor tienen un alto costo de inversión, sin embargo, su menor costo de operación las hace comercialmente atractivas frente a otros equipos eléctricos o de combustión.

1.7. Características de la piscina del círculo militar

El Círculo Militar se encuentra en Quito capital del Ecuador, ubicado en las Avenidas Diego de Almagro y Francisco de Orellana, a 2850 metros sobre el nivel mar (msnm).

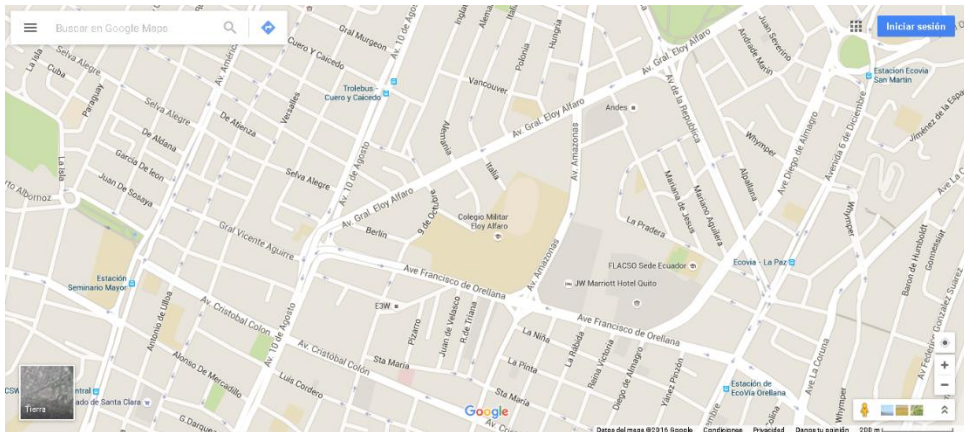


Figura 1.6. Ubicación del Círculo Militar en Quito

Las características principales de la instalación se exponen a continuación:

- Se tiene un área cubierta de 1110 m², compuesta por su estructura metálica, con fibrocemento y 14 claraboyas de policarbonato.
- Una piscina semi-olímpica de dimensiones: 25 m x 12,5 m x 1,53 m.
- Dos piscinas para niños con área total de 3,40 m².
- Horario de atención al público: de martes a viernes y domingo de (7:00 a 21:00) horas, sábado de (7:00 a 19:00) horas.
- Los lunes se hacen tareas de mantenimiento.
- El número de asistentes en promedio diario a la semana son 40 personas, sábado y domingo es cuando se tiene mayor concurrencia.



Figura 1.7. Interior del área de las piscinas.

El calentamiento del agua de la piscina es por medio de cuatro bombas de calor, las especificaciones técnicas se muestran en la tabla 1.3. La recirculación de agua en las piscinas se realiza con una bomba centrífugas de 10 hp que funciona en forma permanente, para la piscina semi-olímpica y otra de 1 hp para la de los niños. Se dispone de un medidor de consumo de energía eléctrica para iluminación, bombas de calor y de recirculación. El agua caliente sanitaria para las 20 duchas de los vestidores se calienta con una caldera.

Tabla 1.3. Especificaciones técnicas

Bomba de recirculación.	Bombas de calor.
Marca: Berkeley Pump Co.	Marca: CliTec
Modelo: B3ZPMS	Modelo: CAR-48GB
Serie: 8264134	Refrigerante: R410 A
RPM: 1800	Capacidad de calentamiento: 47,1 kW
IMP DIA: 8 - 7/16	Potencia de entrada: 9,0 kW
HP: 10	Cantidad de agua de circulación: 10,12 m ³ / h

Fuente: (*Círculo militar de las Fuerzas Armadas, 2005*).

1.8. Conclusiones del capítulo

Existe una variedad de fórmulas para los cálculos, sin embargo, se ha seleccionado la actualizada para los cálculos que se realizarán en el capítulo respectivo.

Finalmente se identificará las pérdidas de calor, para tomar medidas para reducirlas que, sin variar el funcionamiento de la piscina, solo de hacerla más eficiente en lo relacionado al consumo de energía.

CAPÍTULO 2

PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉRMICA DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE LA PISCINA DEL CÍRCULO MILITAR

2.1. Introducción

El objetivo del presente capítulo consiste en establecer los procedimientos matemáticos de las pérdidas de calor, cuando la piscina está en funcionamiento, lo que permitirá calcular la eficiencia térmica de la misma, la distribución de temperatura que experimenta el agua del vaso de la piscina, las técnicas e instrumentación para la investigación.

2.2. Balance de energía en un sistema cerrado

El balance integral de un sistema cerrado debe ser planteado entre dos instantes de tiempo ya que la energía no puede crearse ni destruirse, los términos de generación o consumo no tienen sentido, llegando a:

$$\text{Acumulación} = \text{Entrada} - \text{Salida} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Cuando se plantea el balance de masa en un sistema cerrado los términos de entrada y salida de materia se cancelan debido a que no hay cruce de masa en las fronteras del sistema.

Sin embargo, en un sistema cerrado, la energía puede ser transferida en los límites del sistema como calor o trabajo por lo que el balance integral de energía de un sistema cerrado será:

Energía final del sistema – energía inicial del sistema = energía neta transferida al sistema

$$\text{Energía inicial del sistema} = U_i + E_{ci} + E_{pi}$$

$$\text{Energía final del sistema} = U_f + E_{cf} + E_{pf}$$

$$\text{Energía transferida} = Q + W$$

Donde los subíndices i y f se refiere a los estados inicial y final del sistema, U, Ec, Ep, Q y W representan energía interna, energía cinética, energía potencial, calor transferido al sistema por los alrededores y trabajo realizado por los alrededores sobre el sistema (Universidad de Mar del Plata).

$$(U_f - U_i) + (E_{cf} - E_{ci}) + (E_{pf} - E_{pi}) = Q + W \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Donde:

U_f, E_{cf}, E_{pf} : Energías interna, cinética y potencial final del sistema.

U_i, E_{ci}, E_{pi} : Energías interna, cinética y potencial inicial del sistema.

Considerar:

1. Si no existen grandes distancias verticales entre la entrada y salida de un sistema, entonces $\Delta E_p = 0$
2. Si el sistema y sus alrededores están a diferente temperatura y el sistema no está aislado $Q \neq 0$
3. Si no se transmite energía a través de las fronteras del sistema mediante alguna parte móvil entonces $W = 0$
4. El calor a suministrarse a la piscina es el que se pierde a los alrededores.

2.2.1. Calor perdido al ambiente

Bajo condiciones normales de funcionamiento la piscina cubierta debe mantenerse a una temperatura de 31 °C. En el siguiente esquema se representan las pérdidas existentes en el vaso de la piscina:

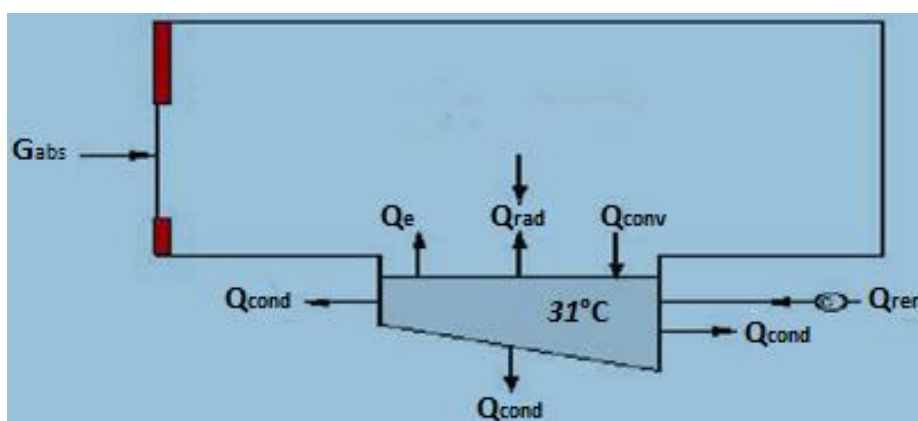


Figura 2.1. Esquema de los aportes de calor y las pérdidas en la piscina
Fuente: (Eva María Albarracín).

Donde:

Q_e : pérdidas por evaporación del agua del vaso.

Q_{rad} : pérdidas por radiación de calor.

Q_{conv} : pérdidas por convección de calor.

Q_{cond} : pérdidas por conducción.

Q_{ren} : pérdidas por renovación del agua del vaso.

G_{abs} : radiación solar absorbida en la cubierta

2.2.1.1. Pérdidas por evaporación del agua del vaso

Para su cálculo se utilizará la fórmula más actual es la de Shah (2014) que sugiere para calcular la cantidad de agua evaporada la siguiente ecuación:

$$E_0 = C \cdot \rho_w \cdot (\rho_r - \rho_w)^{\frac{1}{8}} \cdot (W_w - W_r) \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Donde:

E_0 : Cantidad de evaporación en una piscina desocupada, $\left(\frac{kg}{m^2 \cdot h}\right)$.

C : 35 en el SI.

ρ_w : Densidad del aire, a temperatura de saturación de la superficie del agua, masa de aire seco por unidad de volumen de aire húmedo, $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$, (carta psicométrica).

ρ_r : Densidad del aire a temperatura y humedad del cuarto, masa de aire seco por unidad de volumen de aire húmedo, $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$, (carta psicométrica).

W_w : Humedad específica del aire, a temperatura de saturación de la superficie del agua,
 $\left[\frac{kg(humedad)}{kg(aire)}\right]$

W_r : Humedad específica del aire, a temperatura y humedad del cuarto,

$$\left[\frac{kg(humedad)}{kg(aire)} \right]$$

Para el cálculo de la evaporación del agua que llevan sobre la piel los bañistas al salir de la piscina, la fórmula escogida para el cálculo es la fórmula de Vernier (Goñi Echeverz & Pascual, 2013) :

$$M_e = S \cdot [(16 + 1,33n) \cdot (W_e - G_a \cdot W_{as})] + 0.1N \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Donde:

M_e : Flujo de masa de agua evaporada, $\left(\frac{kg}{h} \right)$.

S : Superficie de la lámina de agua, (m^2) .

n : Número de nadadores.

W_e : Humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del agua de la piscina,

$$\left(\frac{kg(agua)}{kg(aire)} \right)$$

G_a : Grado de saturación.

W_{as} : Humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del aire ambiente interior, (kg de agua/kg de aire).

N : Número total de espectadores.

El calor de evaporación se evaluará con la siguiente expresión (Cengel Y. , 2007):

$$Q_e = E_0 \cdot h_{fg} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Donde:

Q_e : Calor perdido por evaporación, (W) .

E_0 : Masa de evaporación, $\left(\frac{kg}{m^2 h}\right)$.

h_{fg} : Calor latente de vaporización, $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$

2.2.1.2. Pérdidas por radiación de calor de la piscina

Dependen de la temperatura del agua y del cerramiento, se utiliza la ecuación de Stefan-Boltzmann (Cengel Y. , 2007):

$$Q_{rad} = S_{vas} \cdot \varepsilon_a \cdot \sigma \cdot (T_{pisc}^4 - T_{rec}^4) \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Donde:

Q_{rad} : Calor perdido por radiación, (W) .

S_{vas} : Superficie del vaso de la piscina, (m^2)

ε_a : Emisividad del agua, (0,95).

σ : Constante de Stefan Boltzmann, $\left(5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}\right)$

T_{pisc} : Temperatura del agua, (K)

T_{rec} : Temperatura superficial de los cerramientos, (K)

2.2.1.3. Pérdidas por convección de calor

La pérdida de calor desde la superficie del agua de la piscina hacia el aire del ambiente se propone (Eva María Albarracín, CIATESA) :

$$Q_{conv} = S_{vas} \cdot 0,6246 \cdot (T_{ag} - T_a)^{\frac{4}{3}} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Donde:

Q_{conv} : Calor perdido por convección, (W) .

S_{vas} : Superficie del vaso de la piscina, (m^2)

T_{ag} : Temperatura del vaso de agua, (C)

T_a : Temperatura del aire, (C)

2.2.1.4. Pérdidas por conducción de calor

Karlekar & Desmond (1994), sugieren la siguiente ecuación para las pérdidas de calor por conducción a través de las paredes de la piscina:

$$Q_{cond} = U \cdot A \cdot (T_{ag} - T_{par}) \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Donde:

Q_{cond} : Pérdida de calor por conducción, (W)

U : Coeficiente total de transferencia para la capa de azulejos y base de hormigón,
 $\left(1.5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right)$

A : Superficie del cerramiento del vaso, (m^2)

T_{ag} : Temperatura del agua de la piscina, ($^\circ C$)

T_{par} : Temperatura exterior del cerramiento, ($^\circ C$)

2.2.1.5. Pérdidas por renovación del agua del vaso

Diariamente se debe reponer el 5 % del total del agua de la piscina. (Eva María Albarracín)

$$Q_{ren} = V_{ren} \cdot \rho_{ag} \cdot C_e \cdot (T_{ag} - T_{red}) \quad (\text{Ec. 2.9})$$

Donde:

Q_{ren} : Pérdida de calor por renovación, (W)

V_{ren} : Volumen de renovación, 5 % del volumen del vaso, (m^3)

ρ_{ag} : Densidad del agua, $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

C_e : Calor específico del agua, $\left(\frac{W \cdot h}{kg \cdot ^\circ C} \right)$

T_{ag} : Temperatura del agua de la piscina, ($^\circ C$)

T_{red} : Temperatura del agua de la red, ($^\circ C$)

2.2.1.6. Pérdidas de calor totales del agua del vaso al ambiente

El calor total perdido por el agua de la piscina se tiene mediante la siguiente expresión:

$$Q_{tp} = (Q_e + Q_{rad} + Q_{conv} + Q_{trans} + Q_{ren}) \quad (\text{Ec. 2.10})$$

Q_{tp} : Calor total perdido por el agua de la piscina, (W)

Q_e : Calor perdido por evaporación, (W)

Q_{rad} : Calor perdido por radiación, (W)

Q_{conv} : Calor perdido por convección, (W)

Q_{trans} : Pérdida de calor por conducción, (W)

Q_{ren} : Pérdida de calor por renovación, (W)

2.3. Eficiencia de una bomba de calor

Cuevas (2009), sugiere que la medida de desempeño de una bomba de calor se expresa en términos del coeficiente de desempeño (COP), que relaciona el efecto del calor útil generado por calentamiento con la entrada de trabajo requerida y la energía eléctrica utilizada.

$$COP = \left(\frac{Q_{util}}{W_{in}} \right) \quad (\text{Ec. 2.11})$$

El COP se encuentra generalmente entre 3 y 7, lo que vale a una eficiencia de un 300 % a 700 % es decir, por cada unidad de electricidad ejemplo (kW) se entrega al agua de tres a siete veces unidades de calor.

2.4. Pérdidas de calor al ambiente por conducción y convección simultáneamente

Karlekar & Desmond (1994), sugiere que, en condiciones estables de operación, con una temperatura constante en la piscina y del ambiente al cual cede calor la piscina, conducción en el sólido y convección en el aire, se expresa con la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{T_1 - T_\infty}{\frac{e}{k_m \cdot A_{pis}} + \frac{1}{h_a \cdot A_{pis}}} \quad (\text{Ec. 2.12})$$

Donde:

- Q : Calor perdido por conducción y convección, (W)
- T_1 : Temperatura de contacto de la manta con la superficie del agua, ($^{\circ}C$)
- T_∞ : Temperatura del aire del ambiente, ($^{\circ}C$)
- e : Espesor de la manta que cubre la piscina, (m).
- k_m : Coeficiente de conductividad térmica de la manta, $\left(\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C}\right)$
- A_{pis} : Superficie de transferencia de calor, (m^2)
- h_a : Coeficiente de convección del aire ambiente, $\left(\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C}\right)$

2.4.1. Potencia necesaria para puesta a régimen

Luego de llenarse completamente la piscina con agua de la red, se supone que se hará una vez al año para mantenimiento, la potencia necesaria se calcula con la siguiente expresión:

$$Q_{pr} = \frac{V \cdot \rho_{ag} \cdot C_e \cdot (T_{ag} - T_{red})}{t} \quad (\text{Ec. 2.13})$$

Donde:

- Q_{pr} : Potencia puesta a régimen, (W)
- V : Volumen de la piscina, (m^3)
- ρ_{ag} : Densidad del agua, $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$
- C_e : Calor específico del agua, $\left(\frac{Wh}{kg \cdot ^\circ C}\right)$
- T_{ag} : Temperatura del agua de la piscina, ($^\circ C$)
- T_{red} : Temperatura del agua de la red, ($^\circ C$)
- t : Tiempo de puesta en régimen, (h)

La potencia que se tiene que utilizar, no requiere de equipos auxiliares o de mayor potencia (Goñi Echeverz & Pascual, 2013).

2.4.2. Calor de radiación incidente sobre la cubierta

El calor que absorbe la cubierta debido a la radiación solar durante el día, se puede calcular de la siguiente manera:

$$G_{abs} = A \cdot \eta_{cub} \cdot G \quad (\text{Ec. 2.14})$$

Donde:

- G_{abs} : Radiación absorbida, $\left(\frac{kW \cdot h}{día}\right)$
- A : Área de la cubierta, (m^2)
- η_{cub} : Eficiencia de la cubierta debido a la absortividad, (adimensional).

G : Radiación solar incidente, $\left(\frac{kW \cdot h}{m^2 \cdot día} \right)$

Cengel (2011), expresa que: cuando la radiación, choca contra una superficie, parte de ella es absorbida, parte de ella es reflejada y la parte restante es transmitida. En superficies opacas solo se tiene absorción y reflexión, no así transmisión como sucede en superficies semitransparentes.

Según (Norma ecuatoriana de construcción, 2016), los valores mensuales promedio de irradiación solar para Quito y Guayaquil se muestran a continuación:

Tabla 2.1. Radiación solar promedio mensual en Quito y Guayaquil.

RADIACIÓN SOLAR GLOBAL PROMEDIO MENSUAL EN QUITO Y GUAYAQUIL kW.h/m² . día			
Sitio	Quito centro	Quito norte	Guayaquil
Latitud	0,22 s	0,13 s	2,2 s
Longitud	78,48 W	78,48 W	79,88 W
Elevación msnm	2850	2812	6
Años de lectura	25	4	9
Enero	4,48	4,94	4
Febrero	4,6	4,64	4,17
Marzo	4,68	4,78	4,67
Abril	4,35	4,53	4,58
Mayo	4,55	4,83	4,56
Junio	4,28	4,69	3,86
Julio	5,22	5,53	4,17
Agosto	5,1	5,47	4,5
Septiembre	5,11	4,89	4,67
Octubre	4,68	5,25	4,56
Noviembre	4,39	5,14	4,31
Diciembre	4,69	5,14	4,44
Promedio	4,68	4,99	4,37

Referencia: (Norma ecuatoriana de construcción, 2016)

Mientras no se disponga de un sistema actualizado de la información de radiación solar en el Ecuador, se pueden usar estos datos confirmándolos con datos reales medidos en el sitio donde se instalará el sistema solar térmico, al menos con datos de 12 meses anteriores.

2.5. Técnicas e instrumentos de medición

En la tabla 2.2 se indican las técnicas e instrumentos utilizados en la investigación

Tabla 2.2. Técnicas e instrumentos de investigación

TÉCNICA	INSTRUMENTO
Observación	Ficha informativa.
Medición	Termómetro, higrómetro, reloj, flexómetro.
Cálculo	Ecuaciones de Transferencia de calor, Termodinámica, Carta psicrométrica.
Software	ANSYS CFX

Con la finalidad de obtener datos sobre los parámetros operacionales de las instalaciones, se solicitó la información de la Empresa encargada de la operación y mantenimiento de la piscina del Círculo Militar.

Para medir las condiciones ambientales interior y exterior de la piscina, se utilizó, el equipo que se indica en la figura 2.2.



Figura 2.2. Medidor de temperatura y humedad
Fuente: (Crutchfielda).

Especificaciones técnicas:

Rango de temperatura: (0 a 50) °C, precisión +/- 1 °C

Rango de humedad: (10 a 95) %, precisión +/- 5 %

Las temperaturas de las paredes se midió el termómetro de la figura 2.3.



Figura 2.3. Medidor de temperatura.

Fuente: (Bluemetric).

Especificaciones técnicas:

Rango de temperatura: (-50 a 550) °C, precisión +/- 3 °C

Resolución: 1 °C

2.6. Modelación con métodos de volúmenes finitos (ANSYS)

Es un software que ayuda a encontrar soluciones a problemas de ingeniería a través de la teoría de los elementos finitos para estructuras y de los volúmenes finitos para fluidos. Se utiliza para cálculos estáticos y resuelve problemas lineales y no lineales para estructuras, transferencia de calor, dinámica de fluidos, problemas acústicos y electromagnéticos (CSUC, s.f.).

2.6.1. ANSYS CFX

El software es reconocido por su excepcional precisión, robustez y velocidad con maquinaria rotativa, como bombas, ventiladores, compresores y turbinas hidráulicas e hidráulicas. A pesar de que no menciona la aplicación directa para el análisis de calderos, piscinas o recipientes con diversos fluidos si permite la obtención de diferentes variables como es la temperatura, la presión, viscosidad, velocidad entre otros.

2.7. Conclusiones del capítulo

Las pérdidas de calor durante el día son un 49,9 % más que en la noche, razón por la cual la simulación se realizó para esas condiciones. A continuación, se tiene un resumen de las fórmulas para los cálculos que se realizarán en el próximo capítulo.

Ecuación	Aplicación
(2.3)	Cantidad de agua que se evapora de la superficie de la piscina desocupada, se utilizará para la evaporación en la noche.
(2.4)	Cantidad de agua que se evapora de la superficie de la piscina ocupada, se utilizará durante el día
(2.5)	Calor de evaporación que se pierde en el proceso de cambio de fase de líquido a vapor de agua.

- (2.6) Pérdidas de calor por radiación debido a la temperatura de la piscina que es mayor que la del ambiente
- (2.7) Calor perdido por convección al ambiente cerrado de la piscina.
- (2.8) Calor perdido por conducción perdido por las paredes de la piscina.
- (2.9) Pérdida de calor por renovación del agua del vaso de la piscina.
- (2.10) Pérdida total de calor perdido al ambiente, que es el que debe ser repuesto para mantener la temperatura del agua.
- (2.11) Pérdida de calor por conducción y convección por la superficie de la piscina al utilizar una manta térmica que la cubra.
- (2.12) Eficiencia de una bomba de calor para calentamiento del agua.
- (2.13) Potencia para puesta a régimen, hasta llegar a la temperatura de trabajo.
- (2.14) Calor absorbido debido a la radiación solar que incide durante el día sobre la cubierta de la piscina.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PROCESO DE CALENTAMIENTO DEL AGUA DE LA PISCINA

3.1. Balance de energía de la piscina

Para realizar un balance energético, se debe tener en cuenta que la piscina es un almacenador de energía térmica, la misma que proviene en este caso de las bombas de calor que calientan el agua de la piscina.

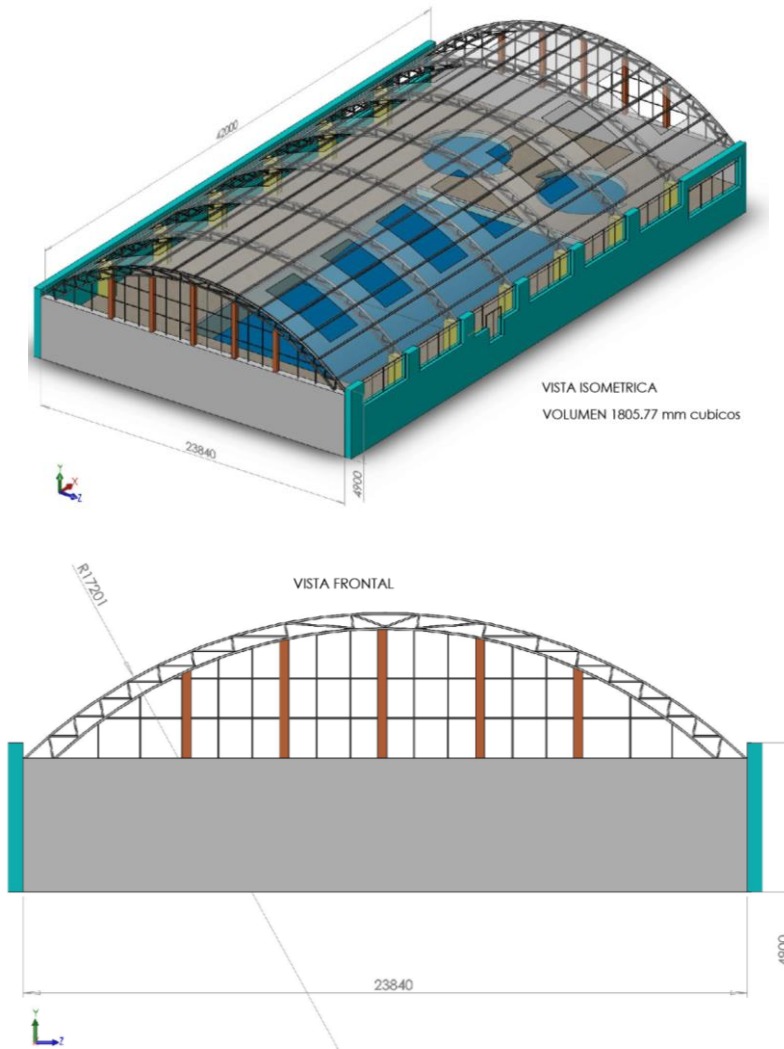


Figura 3.1 Dimensiones de la piscina olímpica del Círculo Militar

Como la energía se pierde por diferentes factores que se analizan a continuación, la que el sistema necesita es solamente para reponer las pérdidas de calor al ambiente.

También es necesario cuantificar la energía de puesta en régimen de la piscina, desde la temperatura de la red de agua de alimentación hasta la temperatura de funcionamiento de 31 °C

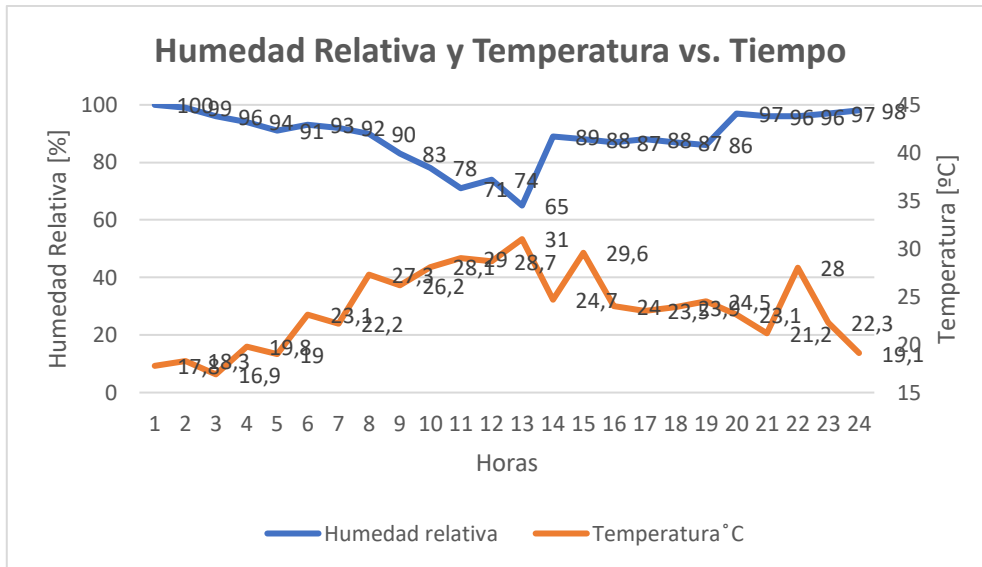


Figura 3.2 Grafica Temperatura vs. Tiempo.

En la figura 3.2, se tiene los gráficos de la humedad relativa y la temperatura del aire ambiente dentro de la piscina cubierta tomados en un día durante las 24 horas, son el promedio de los días 21 y 22 de marzo del 2017, cuando se tuvo en Quito las temperaturas más bajas del invierno. Se debe destacar que la gráfica cambia todos los días, en el día dependiendo del flujo de personas que entran y salen del recinto, de la apertura de las ventanas para ventilación en la noche y de las condiciones ambientales externas a las instalaciones de la piscina. En la noche baja la temperatura y como consecuencia aumenta el valor de la humedad relativa, que en momentos llega al 100 % dando origen a la condensación que se nota en las paredes del interior de la construcción que protege a la piscina.

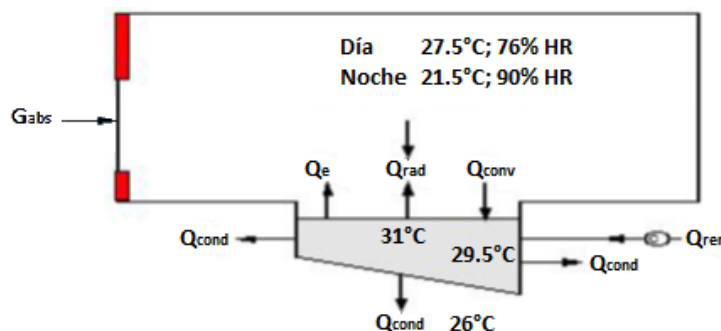


Figura 3.3 Pérdidas de calor en la piscina del Círculo Militar.

3.2. Cálculo de las pérdidas de energía por evaporación y transferencia de calor

Debido a que las condiciones ambientales de la piscina y presencia de bañistas en la misma son diferentes durante el día y durante la noche, se ha separado el cálculo de

pérdidas para cada caso. La temperatura del agua de la piscina se mantiene en 31 °C, está permanentemente recirculando con un caudal de 9,81 m³/h, la misma que ingresa al vaso de la piscina a 33 °C y sale hacia las bombas de calor a 28 °C. Los datos de medición y de la carta Psicométrica a 2500 msnm, se indican en la tabla 3.1. los mismos que servirán para los cálculos que se observan en la tabla 3.2.

Tabla 3.1 Datos físicos para ser usados en el cálculo de masa evaporada en la superficie de la piscina, pérdidas de calor.

Flujo Másico de agua evaporada

Área de superficie de agua.	Az	312,5	m ²
Grado de Saturación en el día.	Ga	0,76	-
Grado de Saturación en la noche.		0,90	-
Humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del agua de la piscina.	We*	0,0415	kg agua /kg aire
Humedad absoluta de aire saturado a la temperatura del aire (interior).	Was*	0,024	kg agua /kg aire
Número de bañistas.	n	40	-
Número de espectadores.	N	0	-
Constante en el S.I. de unidades.	C	35	-
Densidad del aire, a temperatura de saturación de la superficie del agua.	ρw**	0,70875	kg / m ³
Densidad del aire a temperatura y humedad del cuarto.	ρr**	0,82354	kg / m ³
Humedad específica del aire, a temperatura de saturación de la superficie del agua.	Ww*	0,0415	kg agua /kg aire
Humedad absoluta de aire saturado a la temperatura del aire interior.	Wr*	0,021	kg agua /kg aire
Calor latente de vaporización.	Cv***	2257	kJ / kg

*Fuente: Medición “in situ”.

**Fuente: Carta Psicométrica a 2500 msnm.

***Fuente: (Cengel Y. A., 2011)

Pérdidas por Conducción

Para el coeficiente total de transferencia de calor U, se considera la convección del agua a las paredes de la piscina, conducción en las paredes y nuevamente la convección hacia el sótano de la construcción.

Coeficiente total de transferencia.	U*	1,5	W / m ² °C
Área de pared plana X	A_x	38,25	m ²
Área de pared plana Y	A_y	19,13	m ²
Área de pared plana Z	A_z	312,5	m ²
Temperatura agua de la piscina.	T_o	31,0	°C
Temperatura del sótano.	T₁	26,0	°C

*Fuente: (Eva María Albarracín, Ahorro de energía en piscinas cubiertas, s.f.)

Pérdidas por Convección

Las temperaturas del aire tanto en el día como en la noche son las temperaturas promedio de las mediciones realizadas en el lugar.

Área de superficie de agua.	A_z	312,5	m ²
Temperatura superficie de agua.	T_o	31,0	°C
Temperatura aire interior (Día.)	T₁	27,5	°C
Temperatura aire interior (Noche).	T₂	21,5	°C

Pérdidas por Radiación

Se considera la temperatura de las paredes internas de la edificación que son inferiores a la del agua de la piscina.

Constante de Stefan-Boltzmann.	σ*	5,668E-08	W / m ² . K ⁴
Emisividad de la superficie.	ε**	0,95	-
Temperatura agua.	T_o	304,0	K
Temperatura interna paredes del cerramiento.	T₁	302,5	K

*Fuente: (Karlekar & Desmond, 1994, pág. 21)

**Fuente: (Cengel Y. A., 2011, pág. 889)

Pérdidas por Renovación

Para las pérdidas por renovación se realiza para 12 horas porque se calculó el calor perdido, tanto para el día como la noche en forma separada.

Volumen (5% Volumen total).	V_{re}	23,91	m ³
Densidad de agua.	ρ_{ag}	995,6	kg/m ³
Calor específico del agua.	Ce*	4,18	kJ/kg °C
Tiempo de renovación.	t	12	h
Temperatura agua.	T_o	31,0	°C
Temperatura de red hídrica.	T_i	12,0	°C

*Fuente: (Cengel Y. A., 2011, pág. 908)

Con los datos anteriores se realizaron los cálculos que se obtuvieron se indican en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Pérdidas de energía térmica del vaso de la piscina durante el día, de 9 am a 9 pm con 40 bañistas.

Descripción	Resultado	Porcentaje	Ecuación
Cantidad de agua que se evapora.	240,04 kg/h	---	(2.4)
Calor perdido por evaporación.	150493,75 W	75,815 %	(2.5)
Transferencia de calor por radiación	9,01 W	0,004 %	(2.6)
Transferencia de calor por convección.	1037,23 W	0,522 %	(2.7)
Transferencia de calor por conducción.	3204,38 W	1,614 %	(2.8)
Calor perdido por renovación.	43756,49 W	22,043 %	(2.9)
Calor total perdido al ambiente en el día.	198500,86 W	100 %	(2.10)



Figura 3.4 Pérdidas de calor de 9 am. a 9 pm

Se observa en la figura 3.4, los diferentes factores motivo de las pérdidas de calor y que la mayor cantidad de energía en el día se pierde por evaporación, las pérdidas por renovación son las necesarias para mantener las condiciones fisicoquímicas del agua del vaso.

Tabla 3.3 Pérdidas de energía térmica del vaso de la piscina durante la noche, sin ocupantes.

Descripción	Resultado	Porcentaje	Ecuación
Cantidad de agua que se evapora	99,50 kg/h	---	(2.3)
Calor perdido por evaporación.	48420,44 W	48,753 %	(2.5)
Transferencia de calor por radiación.	9,01 W	0,009 %	(2.6)
Transferencia de calor por convección.	3927,20 W	3,954 %	(2.7)
Transferencia de calor por conducción	3204,38 W	3,226 %	(2.8)
Calor perdido por renovación.	43756,49 W	44,057 %	(2.9)
Calor total perdido al ambiente en la noche.	99317,52 W	100 %	(2.10)

Igual que durante el día de acuerdo a los valores calculados se tiene que la mayor pérdida de calor es por evaporación. De acuerdo a los valores de las tablas 3.2. y 3.3. se puede observar que la mayor pérdida de calor es por el proceso de evaporación con un valor del 75,815 % durante el día y del 48,753 % en la noche. Es mayor la evaporación en el día debido a que las condiciones psicrométricas promedio del aire es de 27,5 °C y 76 % de humedad relativa, mientras que en la noche se tiene 21,5 °C con una humedad relativa del 90 %, de acuerdo a las tablas de las propiedades del aire, mientras mayor es la humedad relativa del aire ambiente, menor masa de agua se evapora de la superficie de la piscina, por lo tanto, se pierde menos energía calorífica.

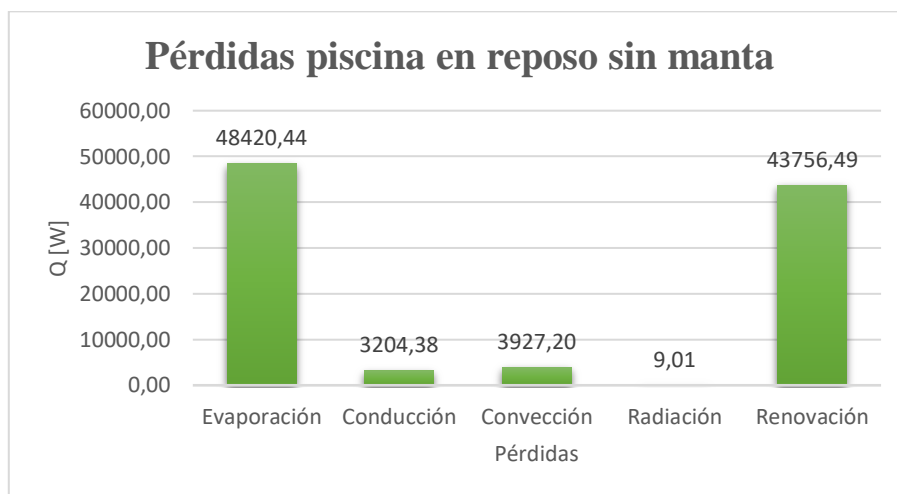


Figura 3.5 Gráfica de pérdidas de energía por transferencia de calor de 9 am a 9 pm.

Igual que en la figura 3.2, el mayor valor corresponde a la pérdida por evaporación y la renovación.

3.3. Cálculo de la ganancia de energía calorífica por la cubierta de la piscina

$$G_{abs} = A \cdot \eta_{cub} \cdot G \quad (\text{Ec. 2.14})$$

Considerando el área de la cubierta exterior de 1110 m^2 que es la que absorbe la radiación solar durante las 12 horas del día, con un rendimiento estimado del 40 % y el promedio de radiación solar medido en Quito norte $G = 4,99 \left(\frac{kW \cdot h}{m^2 \cdot día} \right)$, se aplica la ecuación

(2.14) para obtener el valor de la ganancia de energía:

$$G_{abs} = 2215,56 \left(\frac{kW \cdot h}{día} \right) = 66466,8 \left(\frac{kW \cdot h}{mes} \right)$$

3.4. Potencia necesaria para puesta a régimen

Volumen de la piscina	V	478,13	m ³
Densidad de agua	D	995,6	kg/m ³
Calor Específico del agua	Ce*	4,18	kJ/kg °C
Temperatura agua	To	31,0	°C
Temperatura superficial cerramiento	T₁	12,0	°C

*Fuente: (Cengel Y. A., 2011, pág. 908)

En este apartado se cuantifica la potencia calorífica en 36 horas, que deben suministrar las bombas de calor para alcanzar la temperatura de 31 °C, posterior a llenarse completamente con agua de la red a 12 °C, utilizando la fórmula (2.13).

Tiempo [h]	Potencia necesaria para puesta en marcha [W]
24	437564,90
36	291709,94
48	218782,45

3.4.1. Simulación del proceso de transferencia de calor con ANSYS

Con el resultado de los cálculos anteriores y utilizando el software ANSYS, se conoce la distribución de temperaturas en la piscina, debido a la permanente recirculación del agua, se tiene una distribución si bien no uniforme, pero si satisfactoria para los bañistas.

3.5. Cálculo de la eficiencia del sistema de calentamiento de la piscina

Es necesario conocer la eficiencia de los equipos con la cual se encuentra funcionando la piscina, con el fin de realizar una propuesta de reformas para mejorar sin alterar las condiciones de operación, que es el motivo de este estudio.

	Calor perdido	Energía-mes	Energía-mes aportada por el sol
Día	198,50 kW	71460,00 kW · h	66466,8 kW · h
Noche	99,31 kW	35751,60 kW · h	-----
Total	297,81 kW	107211,6 kW · h	66466,8 kW · h
Demanda de energía	---	40744,8 kW · h	

Si se compara la energía aportada por la radiación solar con la demanda total por mes, se tiene que el aporte del sol es del 62 % de la energía total para mantener la piscina a 31 °C

La demanda de energía es la diferencia entre la total Q_{tp} y la aportada por el sol G_{abs} , es la que tienen que aportar las bombas de calor. El consumo de energía promedio mensual por las cuatro bombas de calor es de $8500(kW \cdot h)$ aplicando la ecuación (2.11) se tiene:

$$COP = \frac{40744,8 kW \cdot h}{8500 kW \cdot h} = 4,8$$

Valor que es inferior al máximo obtenible de las bombas de calor que es de 5,2.

3.6. Modelación del sistema en el software ANSYS

Las condiciones para la simulación son: opción de energía total que permite ingresar datos de las pérdidas de energía por las paredes, el material que en este caso es agua y en el modo de transferencia de calor en estado estable.

Descripción del proceso

Es necesario realizar los sólidos o partes que intervienen en el análisis, es decir el volumen de control de la piscina, en este caso se realizó en SOLID EDGE, pero puede ser realizado en SOLID WORKS, INVENTOR, o cualquier otro software de similares características, considerando que la extensión en la que se deberá guardar el archivo es IGES (.igs), esto es importante debido a que ANSYS reconoce este filtro de conversión.

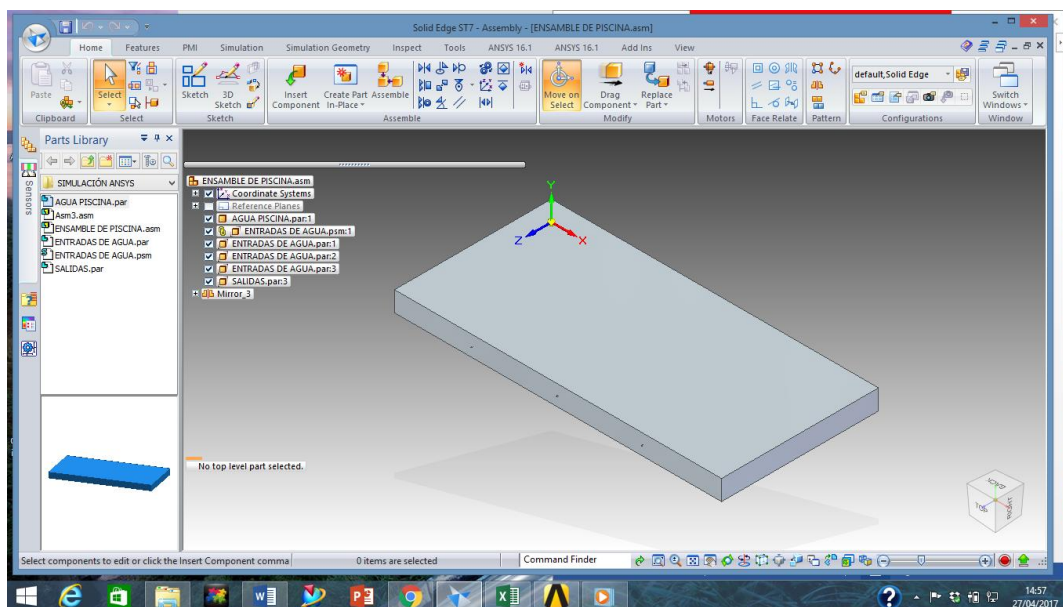


Figura 3.6. Esquema de la geometría de la piscina en Solid Edge

Se realiza la importación del modelo 3D del volumen de control ensamblado con las entradas y salidas de agua.

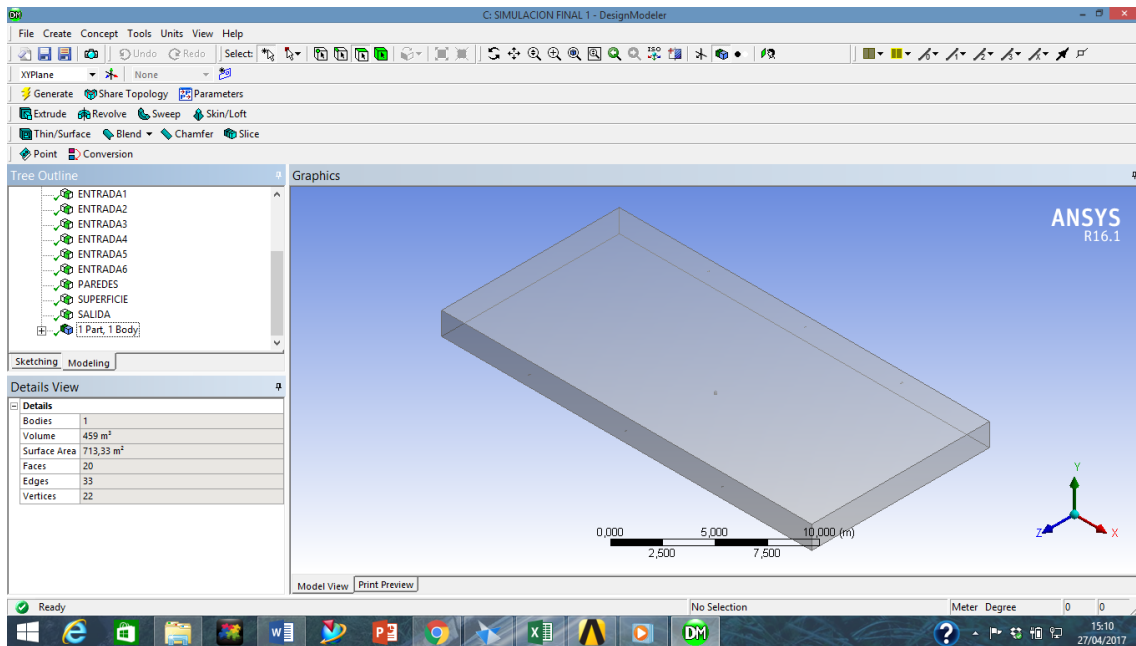


Figura 3.7. Esquema de la geometría de la piscina en ANSYS

Mallado del volumen de control, se utiliza el estándar, en donde se puede ver claramente las seis entradas de agua y la salida, identificadas con un mallado más fino.

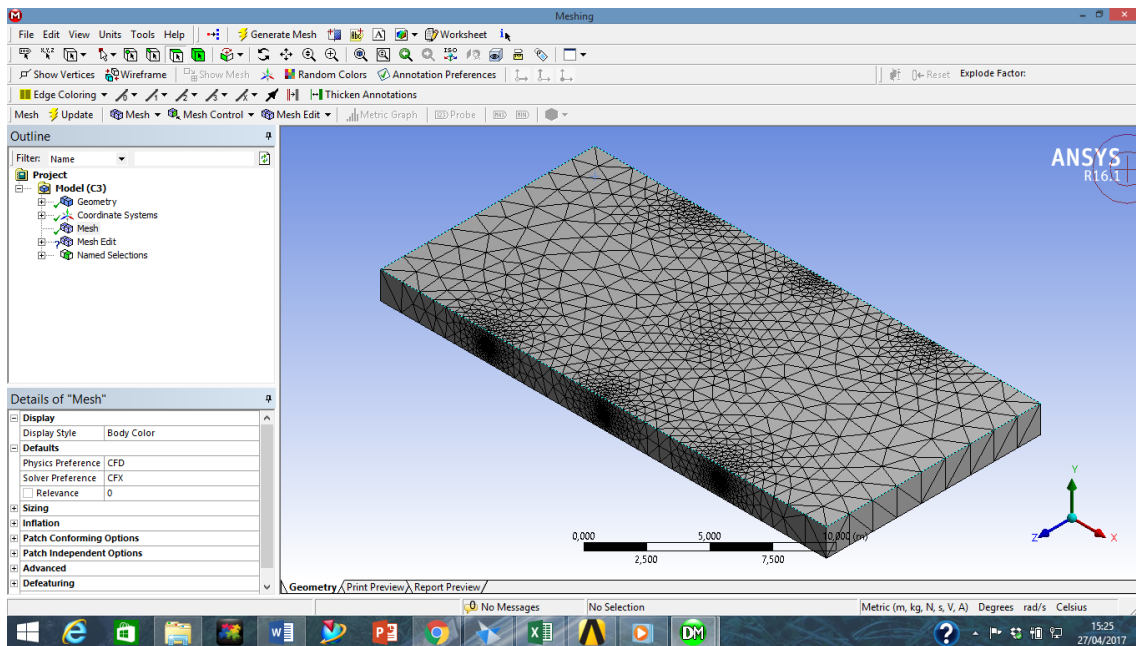


Figura 3.8. Mallado de la geometría

Se ingresan parámetros en cada una de las superficies, entradas y salidas de agua.

Temperaturas [°C]

AGUA	
Piscina	31,0
Red hídrica	12,0
Pared interna	29,5
Sótano	26,0

AIRE INTERIOR	
Día	27,5
Noche	21,5

BOMBA	
Temp. entrada	28,0
Temp. salida	33,0

Pérdidas de calor

Para 40 bañistas y sin espectadores.

Pérdidas	Q [W]	Q [W/m²]	% Total
Evaporación	150493,75	481,58	76%
Conducción	3204,38	10,25	2%
Convección	1037,23	3,32	1%
Radiación	9,01	0,03	0%
Renovación	43756,49	140,02	22%
Total	198500,86	635,20	100%

Por la superficie se tiene las pérdidas por evaporación, convección y radiación, que en total son 484,93 [W/m²], por las paredes se tiene por conducción un valor de 3204,38 [W/m²] y por renovación 43756,49 [W/m²].

Se procede con el ingreso de los parámetros iniciales

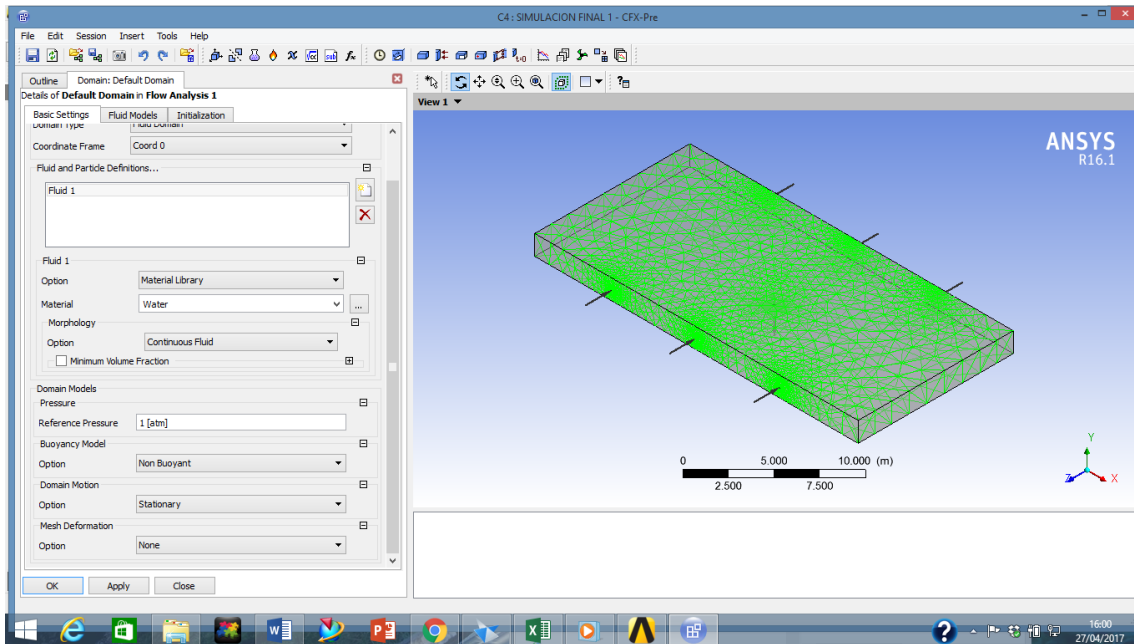


Figura 3.9. Parámetros iniciales

Para visualizar los resultados se debe especificar la temperatura, en este caso se muestran en los contornos de las paredes y se puede observar la mayor temperatura en las entradas de agua.

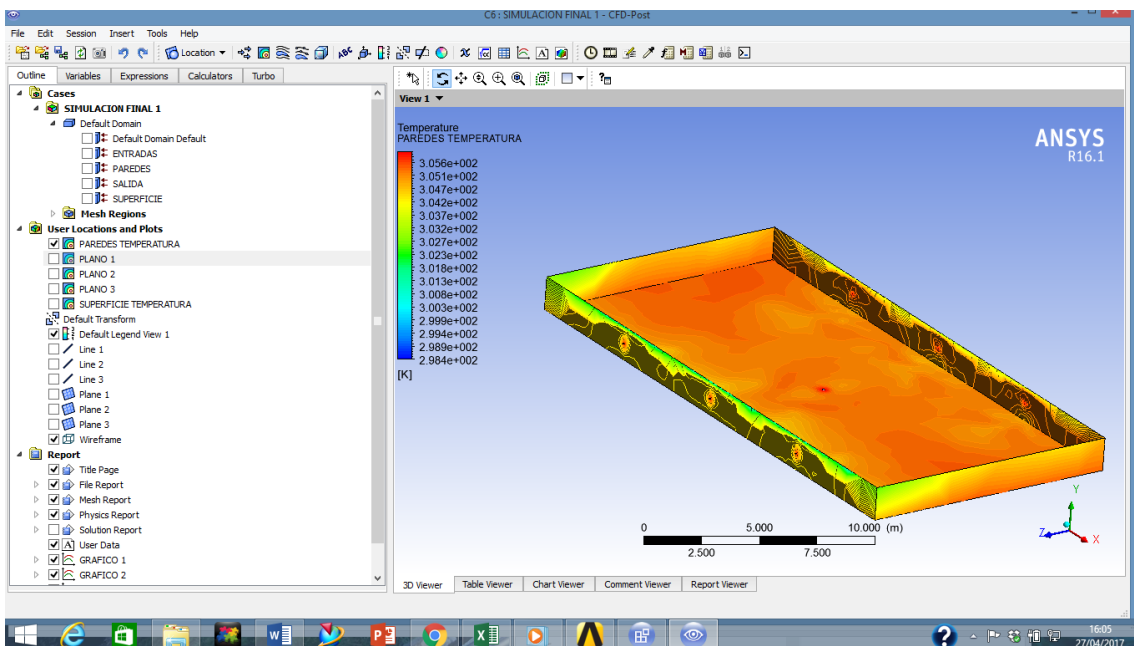


Figura 3.10. Resultados de la simulación

Se procede a verificar la superficie de la piscina

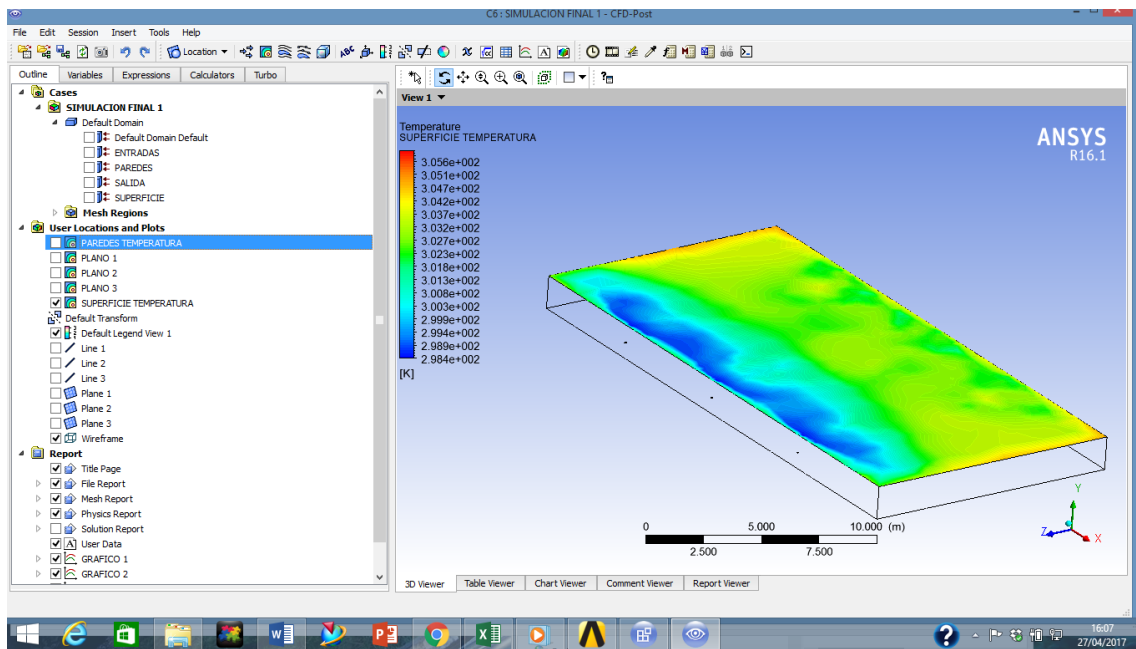


Figura 3.11. Resultados de la simulación parte exterior

Se pueden realizar varios cortes en cualquier lugar de la piscina, en la siguiente figura se procede a realizar un corte longitudinal paralelo a la superficie de la piscina, en el cual se observa una temperatura uniforme.

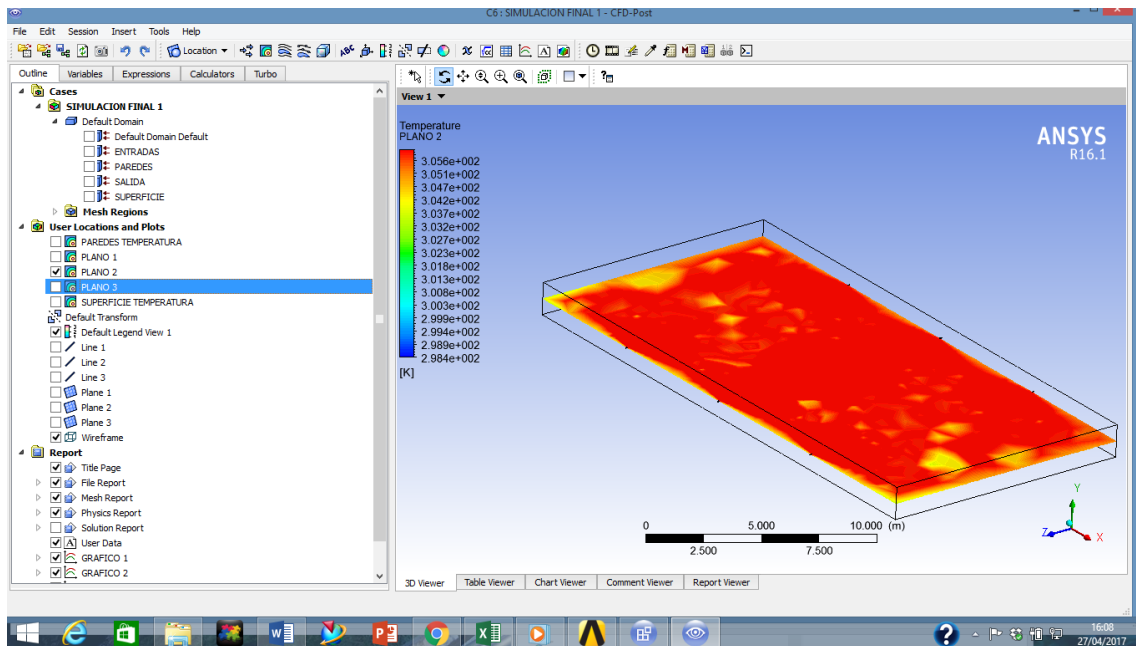


Figura 3.12. Corte longitudinal

En un corte transversal en la mitad de la piscina, se nota claramente la temperatura de una capa muy delgada de la superficie está a menor temperatura debido al proceso de evaporación.

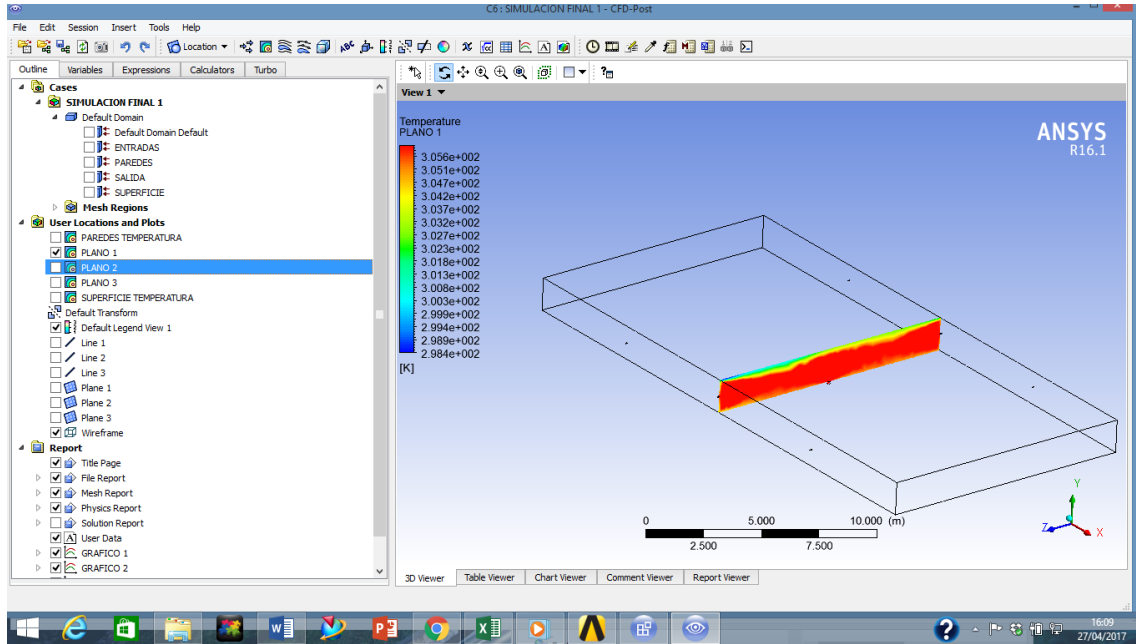


Figura 3.13. Corte transversal

En el volumen de control total, se visualizan las temperaturas en estado de equilibrio, que no varían con el tiempo.

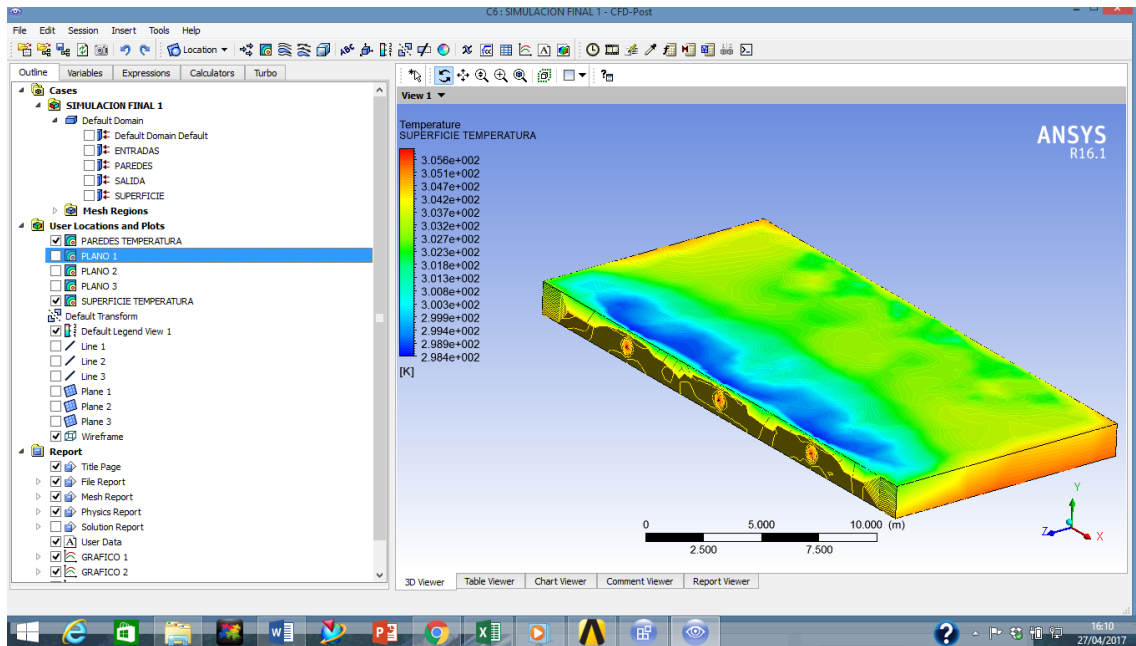


Figura 3.14. Volumen de control total

Finalmente se puede verificar que la variación de temperatura dentro de la piscina es menor a 2 °C, por lo tanto, no se produce un malestar en los bañistas, que es lo que se debe controlar.

3.7. Conclusiones del capítulo

Al realizar la simulación se observó la distribución de temperaturas prácticamente uniforme en el agua de la piscina, lo que confirma que las entradas de agua luego de pasar por las bombas de calor están ubicadas en el lugar adecuado.

Mediante el uso del software ANSYS se pudo analizar la transferencia de calor en diferentes condiciones y cómo varía la distribución de la temperatura en el agua de la piscina.

CAPÍTULO 4

PROPUESTA DE REFORMAS PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO TÉRMICO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE LA PISCINA DEL CÍRCULO MILITAR DE QUITO

4.1. Introducción

Se trata de proponer reformas técnicas para disminuir las pérdidas de calor, sin alterar el normal funcionamiento de la misma para obtener un significativo ahorro energético. Como la mayor parte de pérdidas de energía calorífica es debido a la evaporación del agua de la piscina (48,753 %), seguidas por las de renovación de agua (44,057 %), se propone el uso de una manta térmica para cubrir la superficie del agua de la piscina cuando ésta no esté en uso, es decir durante la noche para evitar la pérdida de calor por convección al ambiente, de la masa de agua de evaporación; en cuanto a la renovación se debe indicar que es la necesaria para mantener las condiciones higiénicas del agua.

4.2. Título de la propuesta

Implementación de una manta térmica para cubrir la superficie de la piscina semi-olímpica para disminuir las pérdidas de calor y obtener un ahorro en el consumo de energía del 30%, ubicada en el Círculo Militar en Quito.

4.3. Justificación

Con el fin de disminuir el alto costo del consumo eléctrico la Institución planificó dos etapas para disminuir costos de operación:

- Etapa I. Se cambió el sistema de calentamiento de agua mediante calderas que consumían 2500 kg de GLP con un costo de USD 2500 al mes a un sistema por el uso de bombas de calor que actualmente consumen 9500 kWh por mes con un costo de USD 750 al mes. Con un ahorro substancial de USD 1750 al mes.
- Etapa II. Mejorar la eficiencia térmica de la piscina disminuyendo las pérdidas de calor. Considerando que las piscinas fueron construidas hace 30 años.

La primera etapa, está en operación desde hace unos dos años, la segunda es la que se pretende analizar y proponer un plan de mejoramiento en cuanto a su eficiencia energética.

La segunda etapa, es la de motivo del presente estudio para disminuir el consumo de energía eléctrica utilizada en los equipos de calentamiento de agua de la piscina, sin afectar en su servicio a los socios.

4.4. Objetivo

Disminuir las pérdidas de calor para obtener un ahorro del 30 % en el consumo de energía en el sistema de calentamiento de la piscina del Círculo Militar ubicada en Quito.

4.5. Estructura de la propuesta

La piscina del Círculo Militar ofrece atención al público de martes a domingo durante todo el año, por lo tanto, el consumo de energía es permanente, es necesario que la propuesta de mejoras no altere la atención a los asistentes a este espacio recreacional.

Las mantas térmicas garantizan el aislamiento térmico para disminuir las pérdidas de calor al ambiente, no se deforman con el paso del tiempo, no arrastran agua y resultan muy ligeras al enrollarlas. En piscinas de interior y cubiertas reducen la humedad ambiental, el goteo de agua fría y el olor desagradable a productos químicos, evitan en gran medida la corrosión del entorno y del equipamiento.

La manta deberá ser usada durante la noche, durante los días lunes que no hay atención no se podrá cubrir la piscina por las labores propias de limpieza del agua del vaso.

4.6. Mejoramiento de los parámetros operacionales

La operación adecuada de la piscina respecto al uso de la manta térmica dependerá de las personas encargadas del funcionamiento y de las facilidades para colocarla y retirarla de la superficie de la piscina colocándolas en el enrollador manual.



Figura 4.1 Espacio interior de la piscina

Como se aprecia en la figura 4.1, la manta térmica deberá cubrir la superficie de la piscina, además deberá tener un soporte para enrollar en él la manta y ser retirado hacia un lugar adecuado para que no estorbe a los bañistas.

4.7. Selección del material y dimensionamiento de la manta térmica

Se ha seleccionado la manta (Ultra-Cover 8 mm.), por ser la más usadas en piscinas cubiertas, también por sus características físicas entre ellas su baja conductividad térmica, como se indica en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Especificaciones técnicas del cobertor

Resistencia a la tracción.	Urdime	18 kN +- 3	ISO 5081
	Trama	14 kN +- 3	ISO 5081
Resistencia a la rotura.	Urdime	450 N +- 75	ASTM D4533
	Trama	400 N +- 60	ASTM D4533
Estiramiento.	Urdime	20 % +- 5	ISO 5081
	Trama	20 % +- 5	ISO 5081
Peso del compuesto espuma.	5 mm.	930 gsm +- 80	DIN 53854
Espuma.	7 mm.	990 gsm +- 80	DIN 53854
Conductividad térmica.		0.038 W/m K	DIN 52614
Absorción de agua (28 días).		Menor al 1 % volumen	DIN 53428
Resistencia térmica.		-20 °C a 40 °C	

Fuente: (Tecnopool, 2017).

Se usarán dos enrolladores manuales de 6,5 m de ancho 0,85 m. de alto, con volante para enrollar y desenrollar la manta, que tienen las siguientes características:

Soporta el peso de la manta de hasta 300 m^2 por sus soportes y tubo de diámetro de 0,16 m y 0,003 m de espesor.

Soportes de acero inoxidable de 0,1m x 0,1m, con ruedas incorporadas y volante.

4.8. Análisis de la pérdida de calor con el uso de la manta

Como referencia retomamos el gráfico con valores de las pérdidas de calor, sin uso de la manta cuyos cálculos ya se realizaron en el capítulo anterior, con la finalidad de hacer las comparaciones con los cálculos de pérdidas de calor con el uso de la manta térmica.

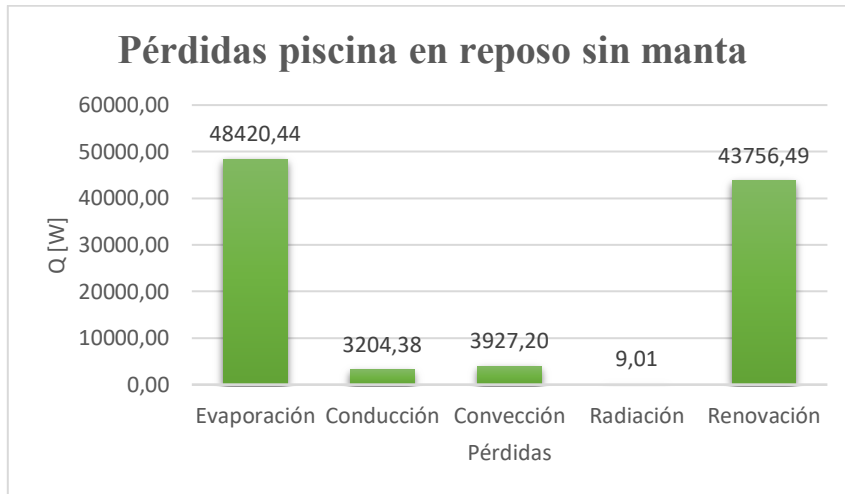


Figura 4.2 Pérdidas de calor de la piscina en la noche.

Con el uso de la manta térmica, que cubrirá la piscina cuando no está en uso durante la noche, se eliminará el calor por evaporación y convección, teniendo ahora un nuevo valor de pérdidas por conducción de la manta que está en contacto con la superficie de la piscina y por convección a la temperatura ambiente dentro de la cubierta.

Tabla 4.2 Valores de parámetros para cálculos de la pérdida de calor con la manta.

Temperatura de la superficie en contacto.	T_1	29,5	°C
Temperatura aire interior (noche).	T_∞	21,5	°C
Espesor de manta.	e	0,007	m
Coefficiente conductividad térmica.	k_m	0,038	W/m .°C
Área de superficie de agua.	A_{pis}	312,5	m ²
Coefficiente convección del aire.	h_a	0,06246	W/m ² .°C

Tabla 4.3 Pérdidas de calor con el uso de la manta.

Pérdidas	Q [W]	Q [W/m ²]	% Total
Manta	59,54	0,19	0,116 %
Conducción	3204,38	10,25	6,288 %
Convección	3927,20	12,57	7,707 %
Radiación	9,01	0,03	0,017%
Renovación	43756,49	140,02	85,870%
Total	50956,62	163,06	100%

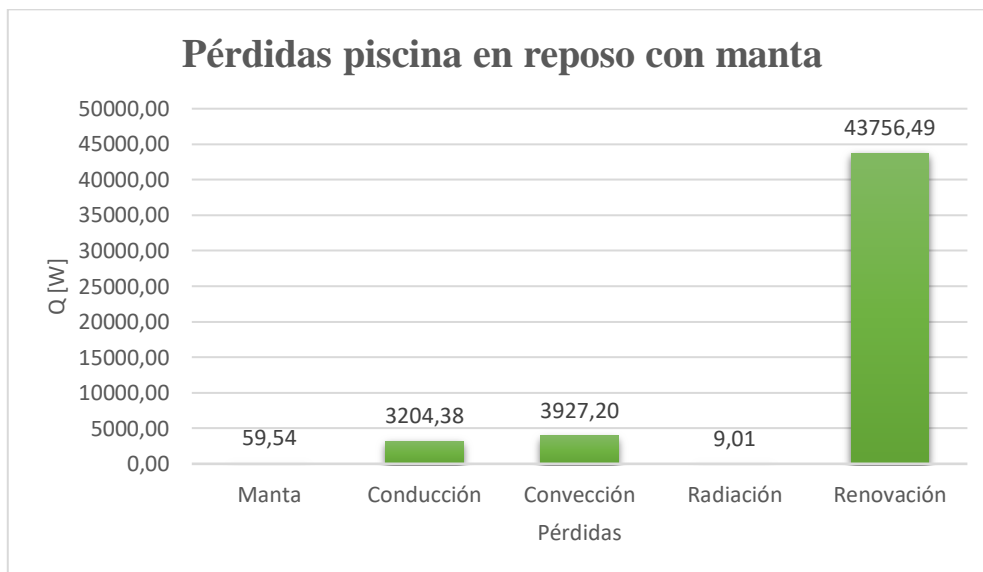


Figura 4.3 Pérdidas de calor de la piscina en la noche con la manta.

Tabla 4.4 Balance de energía con la manta en uso.

Concepto	Energía-mes
Total de pérdidas de calor.	+107211,6 kW · h
Ahorro de calor con manta.	-18820,8 kW · h
Aporte de calor por el sol.	-66466,8 kW · h
Demanda de energía térmica.	21924,0 kW · h
COP.	4,8
Consumo de energía eléctrica.	4567,5 kW · h

La diferencia en el consumo de energía eléctrica con y sin manta es de 3932,5 $kW \cdot h$ al mes.

$$\text{El de ahorro de energía} = \frac{40744,8kW \cdot h - 21924,0kW \cdot h}{40744, kW \cdot h} = 0,462$$

Con el ahorro del 46,2 % de energía consumida al mes y tomando en cuenta el costo de la energía eléctrica en Quito que es de 0,075 USD / $kW \cdot h$, el ahorro mensual es de 295 dólares, por lo tanto, un ahorro anual de 3539,25 dólares americanos.

4.9. Construcción del soporte de la manta

La construcción del soporte de la manta se lo hará en el país, con las especificaciones de los de importación.

Tabla 4.5 Costo para la implementación de la propuesta

Descripción	Costo USD
Manta térmica.	7683,20
Sistema de enrollador metálico.	107160
Varios.	150,00
Costo total.	8904,80

4.10. Valoración económica de la propuesta

A continuación, se hace un análisis de valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR).

El VAN consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión y calcular su diferencia. Para ello trae todos los flujos de caja al momento presente descontándolos a un tipo de interés determinado, en este caso es la tasa activa referencial actual vigente para el segmento Productivo Empresarial Ecuatoriano, como se expone en la tabla 4.1. Si el VAN es positivo, el proyecto es viable.

La tasa interna de retorno (TIR) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión, es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. También se define como el valor de la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero, para un proyecto de inversión dado. Para resolver este problema se puede acudir a diversas aproximaciones, utilizar una calculadora financiera o un programa informático.

Tasas de Interés			
abril - 2017			
1. TASAS DE INTERÉS ACTIVAS EFECTIVAS VIGENTES			
Tasas Referenciales		Tasas Máximas	
Tasa Activa Efectiva Referencial para el segmento:	% anual	Tasa Activa Efectiva Máxima para el segmento:	% anual
Productivo Corporativo	8.13	Productivo Corporativo	9.33
Productivo Empresarial	10.21	Productivo Empresarial	10.21
Productivo PYMES	11.04	Productivo PYMES	11.83
Comercial Ordinario	9.13	Comercial Ordinario	11.83
Comercial Prioritario Corporativo	8.13	Comercial Prioritario Corporativo	9.33
Comercial Prioritario Empresarial	9.73	Comercial Prioritario Empresarial	10.21
Comercial Prioritario PYMES	10.69	Comercial Prioritario PYMES	11.83
Consumo Ordinario	16.83	Consumo Ordinario	17.30
Consumo Prioritario	16.64	Consumo Prioritario	17.30
Educativo	9.50	Educativo	9.50
Inmobiliario	10.67	Inmobiliario	11.33
Vivienda de Interés Público	4.98	Vivienda de Interés Público	4.99
Microcrédito Minorista	27.66	Microcrédito Minorista	30.50
Microcrédito de Acumulación Simple	25.04	Microcrédito de Acumulación Simple	27.50
Microcrédito de Acumulación Ampliada	21.31	Microcrédito de Acumulación Ampliada	25.50
Inversión Pública	8.23	Inversión Pública	9.33

Figura 4.4 Tasas de interés para diferentes segmentos de la economía según el Banco Central del Ecuador

Tabla 4.6 Datos para calcular el VAN y TIR.

Datos	Valores
Número de períodos.	5
Tipo de período.	Anual
Tasa de descuento (i)	10,21
Inversión inicial	8904,80
Inflación anual	0,03 %

Tabla 4.7 Valores de flujo de caja y mantenimiento anual.

Descripción	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Valor ahorrado	3539	3539	3539	3539	3539
Mantenimiento	0	400	420	430	450
Flujo de caja.	3539	3139	3119	3109	3089

$$VAN = -8904,80 + \frac{3539}{(1+0,1021)^1} + \frac{3139}{(1+0,1021)^2} + \frac{3119}{(1+0,1021)^3} + \frac{3109}{(1+0,1021)^4} + \frac{3089}{(1+0,1021)^5}$$

$$VAN = \text{USD. } 3227,83$$

Para hallar el TIR hay que despejar k.

$$VAN = 0 = -8904,80 + \frac{3539}{(1+k)^1} + \frac{3139}{(1+k)^2} + \frac{3119}{(1+k)^3} + \frac{3109}{(1+k)^4} + \frac{3089}{(1+k)^5}$$

Utilizando Excel se obtiene el siguiente resultado

$$\text{TIR} = 24 \%$$

Como el VAN es mayor que cero, el proyecto es rentable con una tasa interna de retorno del 24 %

4.11. Conclusiones del capítulo

Con la implementación de una cubierta térmica en contacto con el agua de la piscina, se disminuyen las pérdidas de calor, así como también la masa de agua que se evapora durante la noche, cuando la piscina no está en uso.

Se disminuye el consumo de energía que se reflejará en la planilla de pago a la Empresa Eléctrica Quito. Los valores del VAN y TIR, indican la viabilidad del proyecto y la rentabilidad del mismo.

Estas medidas se pueden implementar en algunas piscinas en la serranía ecuatoriana, considerando que ya se tiene claro la metodología de cálculos para las piscinas interiores de agua temperada.

CONCLUSIONES GENERALES

1. Se evaluaron todas las variables involucradas en las pérdidas de calor de 9 am a 9 pm, por conducción (2 %), convección (1 %), radiación (0 %), por renovación del agua del vaso de la piscina (22 %) y por evaporación (76 %). De 9 pm a 9 am se tiene por conducción (3 %), convección (4 %), radiación (0 %), por renovación del agua del vaso de la piscina (44 %) y por evaporación (49 %).
2. La radiación solar que actúa durante un día de invierno sobre la cubierta de la piscina aporta con un 62 % de la energía total necesaria para mantener la temperatura del agua de la piscina.
3. Se determinó el coeficiente de rendimiento $COP = 4,8$ en las condiciones actuales de funcionamiento de la piscina, inferior al valor máximo de 5,2 como se indica en los datos de placa de las bombas de calor.
4. Al analizar las pérdidas en una piscina de $L = 25$ m, $A = 12$ m y $H = 1.53$ m, en el software ANSYS mediante el complemento FLUID FLOW (CFX), con pérdidas de calor por conducción, convección, radiación, evaporación en la piscina, mediante un volumen de control, podemos obtener los siguientes resultados: en la superficie se obtiene una temperatura de 31°C indicados en las gráficas de análisis en el programa ANSYS, en las entradas de agua se tiene una temperatura de 33°C y en un enfoque global de toda la piscina se obtiene una variación de 5°C en relación a la temperatura de salida hacia las bombas de calor. También se observa que la variación de temperatura en las diferentes zonas del agua es menor a 2°C lo que no produce malestar en los bañistas.
5. Se comprobó que, mediante el uso de una manta térmica, que en contacto con la superficie del agua de la piscina cuando ésta no está en uso durante la noche, se puede ahorrar un valor del 40 % de la energía consumida; con una inversión de USD 8905 se consigue un ahorro en la planilla de consumo eléctrico de 3539 dólares al año.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un registro de las condiciones psicométricas de los ambientes interior y exterior de la piscina de al menos de 6 meses, con el fin de tener valores más reales, puesto que en Quito durante el día se pueden tener cambios bruscos climatológicos.
2. Promover el uso de bombas de calor, para el calentamiento del agua de las piscinas tanto por disponibilidad de energía eléctrica en el Ecuador, como por su ausencia de contaminación lo que sucede al utilizar calderas con combustibles fósiles.
3. Estudiar con profundidad las condiciones fisicoquímicas del agua, con el fin de disminuir la cantidad de agua de renovación, con lo que se tendría como consecuencia un ahorro de energía y la cantidad de agua desperdiciada que se necesita para otros fines, considerando la escasez de agua en las grandes ciudades.
4. En vista de que las mantas térmicas de producción nacional no ofrecen información técnica, se deberá propender a que el Instituto Ecuatoriano de Normalización elabore las normas necesarias que cumplan los fabricantes en el país y tener mayor confiabilidad en la elaboración de proyectos de ahorro energético local.
5. Con la posibilidad de ahorro energético, es necesario realizar un estudio de la calidad microbiológica del agua, para conocer y asegurar la cantidad exacta de renovación disminuyendo pérdidas innecesarias de energía térmica.

REFERENCIAS

- Álvaro Fernández-Luna, J. L.-U. (2015). Control y ahorro energético. Piscinas climatizadas: la manta térmica. *Deporcama*, 8,9.
- Asamblea Constituyente del Ecuador. (2008).
- Asamblea Constituyente del Ecuador. (2008). *Constitución - Asamblea Nacional*. Obtenido de Constitución - Asamblea Nacional: www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion_de_bolsillo.pdf
- Batet, L., Medina, V., Fradera, J., & Sedano, L. (2011). *Modelling of integrated effect of volumetric heating and magnetic field, blanket concept*.
- Bluemetric. (s.f.). *Blemetric*. Obtenido de <http://www.bluemetric.mx/termometro-infrarrojo-tipo-pistola-rango-p-288.html>
- Cengel, Y. (2007). *Transferencia de calor y masa*. Mexico: McGraw-Hill.
- Cengel, Y. A. (2011). *Transferencia de calor y masa*. México: Mc. Graw Hill.
- Círculo militar de las Fuerzas Armadas. (2005). *Círculo militar de las fuerzas armadas*. Obtenido de <http://www.circulomilitar.com.ec/docs/EstatutoCME.pdf>
- Círculo militar de las Fuerzas Armadas. (24 de Junio de 2005). www.circulomilitar.com.ec/. Obtenido de CIRCULO MILITAR ECUADOR: https://www.google.com/search?q=Circulo+militar+Quito&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b-ab&gfe_rd=cr&ei=JO4hWI29J6ew8wfy3p2ADA
- Corral, M., Vergara, E. P., & Alba Fernando. (2010). *Estudio del agua de las piscinas para su reutilización*. Obtenido de http://www.aepro.com/files/congresos/2010madrid/ciip10_1062_1071.2848.pdf
- Crutchfielda. (s.f.). *Crutchfielda74clawsona4468a*. Obtenido de <https://crutchfielda74clawsona4468a.wordpress.com/2013/03/21/ktj-ta218a-external-hygrometer-clock-digital-thermometer-hygrometer-temperature-0-and8451-50-and8451/>
- CSUC. (s.f.). [hwww.csuc.cat/es/personal/ansys](http://www.csuc.cat/es/personal/ansys). Recuperado el 10 de 02 de 2016, de <http://www.csuc.cat/es/personal/ansys>
- Cuevas Streeter, A. (Octubre de 2009). *Análisis exergo- económico de un sistema de colectores solares para una piscina municipal*. Obtenido de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103512/cf-cuevas_as.pdf?sequence=3
- Engitec. (s.f.). *Auditoría energética de edificios municipales y alumbrado público del municipio de Segorbe*. Obtenido de <http://www.segorbe.es/files/30-2251-arxiu/AUDITORIA.pdf>
- Escuela Politécnica Nacional. (1996). *Cartas Psicrométricas*. Quito: IMPRIMA.
- Eva María Albarracín, J. S. (s.f.). *Ahorro de energía en piscinas cubiertas*. Obtenido de www.marioloureiro.net/tecnica/eficienciaEnerg/19-B.EvaMAlbarracin-

- CIATESA.pdf:
https://www.google.com/search?q=Ahorro+de+energia+en+piscinas+cubiertas&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b-ab&gfe_rd=cr&ei=cvohWPHDPLKw8weky7noDg
- Eva María Albarracín, J. S. (s.f.). *CIATESA*. Obtenido de Ahorro de energía en piscinas cubiertas:
https://www.google.com/search?q=Ahorro+de+energia+en+piscinas+cubiertas&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b-ab&gfe_rd=cr&ei=cvohWPHDPLKw8weky7noDg
- Fernandez- Luna, A., Felipe, J., & García-Unanue, J. (2015). *Piscinas climatizadas*. Madrid. Obtenido de http://www.investigacionengestiondeportiva.es/Articulos/Piscinas-climatizadas-Manta-termica_DEPORCAM21.pdf
- Goñi Echeverz, I., & Pascual, M. (20 de Febrero de 2013). *Climatización de una piscina cubierta en Pamplona*. Obtenido de <file:///C:/Users/TOMAS/Documents/Lucita%20y%20Carlitos%20Tesis%20UT%20C/Piscina-bomba%20de%20calor%20tesis.pdf>
- Instituto tecnologico de Canarias. (2009). *Guia de eficiencia energética para instalaciones hoteleras en Canarias*. Obtenido de https://es.scribd.com/fullscreen/51790335?access_key=key-1u10pvdiodjwcrk0ggkx
- Karlekar, B., & Desmond, R. (1994). *Transferencia de calor*. McGraw -Hill.
- Lu, T., Lu, X., & Viljanen, M. (2014). Prediction of water evaporation rate for indoor swimming. *Energy and building*, 268-280.
- Madison gas and electric. (14 de 07 de 2011). *Reducing swimming pool heat loss*. Obtenido de Responsible energy: http://search.mge.com/cgi-bin/ss_query?e=main&rel=6&gsr=0&sitenbr=154825266&k=reducing%20swimming%20pool%20heat%20loss
- Mohammed, M. (2014). *ASHRAE*. Obtenido de ASHRAE: <http://mmshah.org/publications/ASHRAE%202014%20Evaporation%20paper.pdf>
- Moreno Corrales, L. (2014). *Diseño de instalaciones de máxima eficiencia en piscinas*. Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4628/fichero/0.-PROYECTO+FINAL%252Fproyecto+final.pdf>
- Norma ecuatoriana de construcción. (Septiembre de 2016). *Norma ecuatoriana de construcción NEC-11 energías renovables*. Obtenido de <https://inmobiliariadja.files.wordpress.com/2016/09/nec2011-cap-14-energic3adas-renovables-021412.pdf>
- Outletpiscinas. (2017). *Enrollador de piscina*. Obtenido de <https://www.outletpiscinas.com/enrollador-forte>

- Outletpiscinas. (2017). *Enrollador piscina*. Obtenido de <https://www.outletpiscinas.com/enrollador-forte>
- Outletpiscinas. (2017). *Enrolladores*. Obtenido de <https://www.outletpiscinas.com/enrollador-forte>
- Outletpiscinas. (2017). *Mantas térmicas*. Obtenido de <https://www.outletpiscinas.com/cubiertas/mantas-termicas>
- Piscinas agua*. (2016). Obtenido de Revestimiento de piscinas: <https://www.piscinasagua.com/construccion/revestimientos.html>
- Polybubtech. (2016). *COVERPIL*. Obtenido de <http://polybubtech.com/portfolio-item/coverpil/>
- Revel, G., & Arnesano, M. (2014). Measuring overall thermal confort to balance energy use in sports facilities. *Elsevier*, 382- 393. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224114002486>
- Saavedra Cortina, J. (s.f.). *Guia de diseño y eficiencia en piscinas cubiertas*. Obtenido de <http://docplayer.es/2126650-Guia-de-diseno-eficiencia-en-piscinas-cubiertas.html>
- Shah, M. (2014). *Methods for Calculation of Evaporation from Swimming Pools and Other Water Surfaces*. Obtenido de <http://mmshah.org/publications/ASHRAE%202014%20Evaporation%20paper.pdf>
- Solarpool. (2017). *Mantas térmicas*. Obtenido de http://solarpool.com.ar/mantas_termicas/
- Tecnopool. (2015). *Mantas térmicas para piscinas*. Obtenido de <http://www.tecnopool.com/>
- Tecnopool. (2017). *Cubiertas isotérmicas flotantes*. Obtenido de <http://www.tecnopool.com/media/ficha-tecnica.pdf>
- Universidad de Mar del Plata. (s.f.). *Balances de Energía*. Obtenido de <http://www3.fi.mdp.edu.ar/procesosindustriales1/archivos/Balance%20de%20energia.pdf>

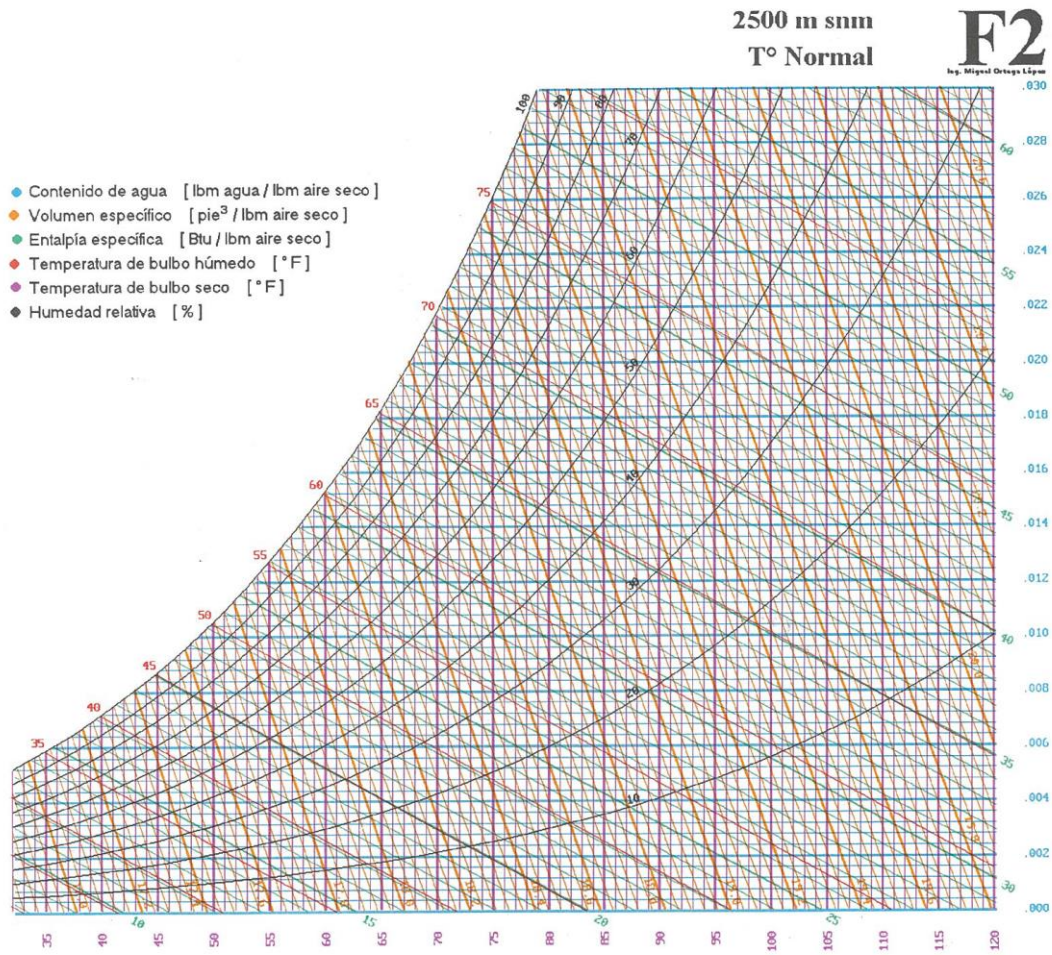
ANEXOS

Anexo 1. Tablas psicrométricas a la altura de Quito.



Fuente: (Escuela Politécnica Nacional, 1996)

Anexo 2. Propiedades del aire a 2500 msnm



Fuente: (Escuela Politécnica Nacional, 1996)

Anexo 3. Cotización de manta térmica para una piscina semi-olímpica.



CC2890-17
SRH/mat

Quito, abril 24 del 2017

Señor.
Ing. Tomás Ibutés Villacís
Presente.-

Reciba un cordial saludo:

En atención a su requerimiento, ponemos a su consideración la siguiente oferta:

MANTA TERMICA FLOTANTE PARA CUBIR UNA PISCINA SEMI-OLIMPICA (25 x 12.5) m².

ESPECIFICACIONES:
Ultra-Cover 8 mm.

ESPECIFICACIONES CUBIERTAS ISOTERMICAS PREMIUM Y ULTRA-COVER

Resistencia a la tracción.	Urdime	18 kN +- 3	ISO 5081
	Trama	14 kN +- 3	ISO 5081
Resistencia a la rotura.	Urdime	450 N +- 75	ASTM D4533
	Trama	400 N +- 60	ASTM D4533
Estiramiento	Urdime	20 % +- 5	ISO 5081
	Trama	20 % +- 5	ISO 5081
Peso del compuesto espuma.	5 mm.	930 gsm +- 80	DIN 53854
Espuma	7 mm.	990 gsm +- 80	DIN 53854
Conductividad térmica		0.038 W/m K	DIN 52614
Absorción de agua (28 días)		Menor al 1 % volumen	DIN 53428
Resistencia térmica		-20 °C a 40 °C	

Resistente al ataque de productos de limpieza: desinfectantes, jabones y detergentes, no hay cambio de color.

Resistencia al ataque de productos químicos: disolvente se reblandece ligeramente, ácido clorhídrico y alcohol.

Protector UV y agentes microbicidas

Valor de la manta: USD \$ 6.860.00 (seis mil ochocientos sesenta 00/100 dólares)
Este valor no incluye I.V.A.



Santa María E4-377 y Av. Amazonas • Edif. Amazonas Plaza Of. 301 • Telf.:(593-2) 2229451 • Telefax (593-2) 2906380

Cel. 09 99835667 • Casilla 170410377 • e-mail: captagua@cablemodem.com.ec • Quito - Ecuador

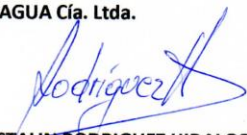
Forma de pago: 50% a la aceptación de la oferta
50% contra entrega

Garantía: 4 años.

Sin otro particular y en espera de sus gratas órdenes, me suscribo

Atentamente,

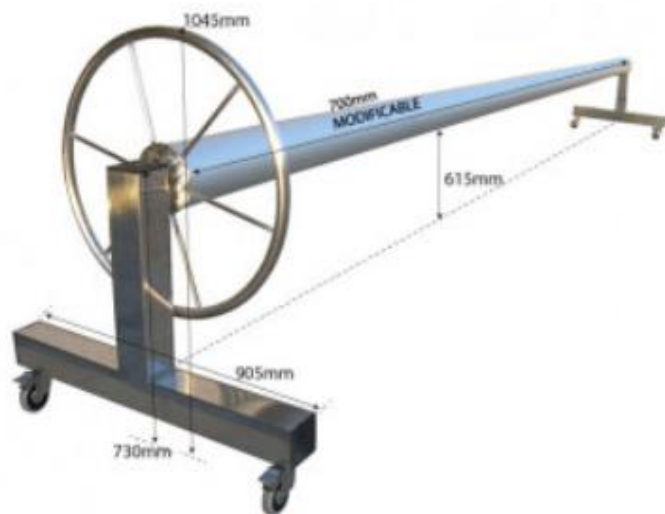
CAPTAGUA Cía. Ltda.



ING. STALIN RODRIGUEZ HIDALGO
GERENTE GENERAL



Anexo 4. Modelo de enrollador de piscina a construirse.



Anexo 5. Cotización de enrolladores para la manta térmica.



MAYPROM

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL Y PROYECTOS MECANICOS
SERVICIOS DE INGENIERIA MECANICA
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE MAQUINARIA AGRO-INDUSTRIAL

ING. MILTON SALOMON JAMI
RUC. 1707254171001

MADRE SELVAS N47-111 Y AV EL INCA TLF: 022419886 CEL: 098398320
E-MAIL: mayprom_ing@hotmail.com

QUITO- ECUADOR

PROFORMA

Quito, 11 de Abril del 2017

REF: 001527-11-04-2017

Sres. Ing. Tomas Irujes

Reciba un cordial saludo y a la vez agradecemos la confianza depositada en nuestros talleres, brindando la oportunidad de realizar la cotización para CONSTRUCCION DE DOS ENROLLADORES DE MANTAS TERMICAS SEGÚN CATALOGO

CANT	DESCRIPCION	VALOR C/U	TOTAL
2	CONSTRUCCION DE ENROLLADORES PARA MANTAS	470	940
	TERMICAS , de 6500mm x850mm para capacidad de manta		0
	de 12 m EN ACERO ESTRUCTURAL PINTADO CON PINTURA		0
	NAVAL		0
			0
			940
SON: MIL SETENTA Y UNO CON 60/100		IVA 14%	131,6
		TOTAL	1071,6

CONDICIONES.

Anticipo = 50% Y 50% CONTRA ENTREGA

Tiempo de entrega: 8 DIAS LABORABLES A PARTIR DE LA ORDEN DE COMPRA.

Lugar de entrega: PLANTA

POR MAYPROM

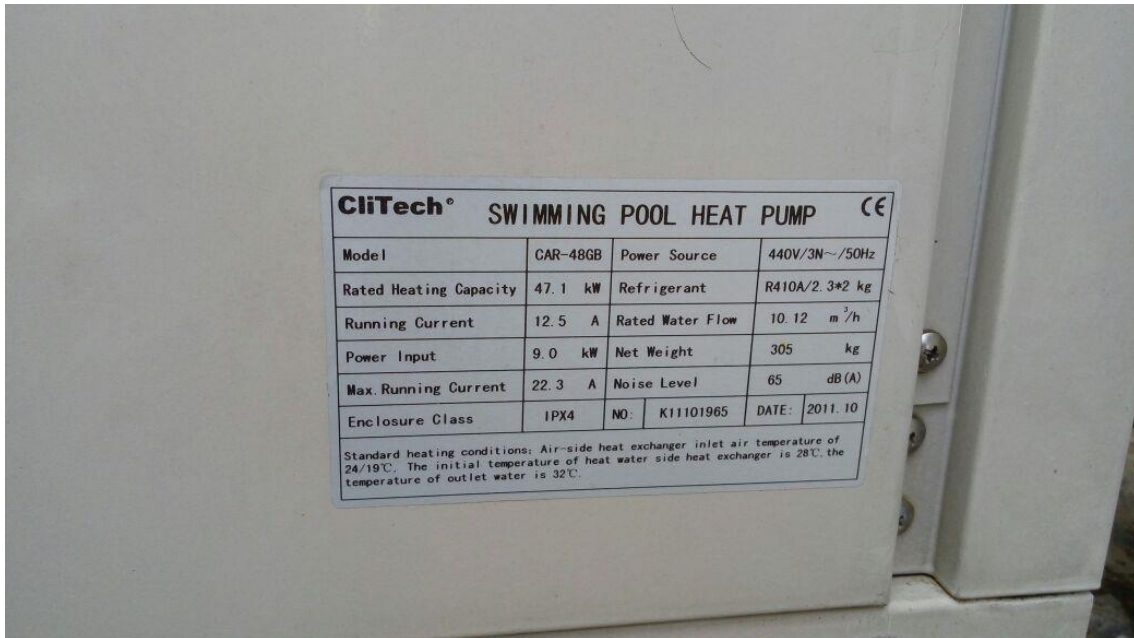
Atte.

ING. MILTON SALOMON JAMI
Gerente de Producción

Anexo 6. Bombas de recirculación de agua de la piscina.



Anexo 7. Bombas de calor para calentamiento del agua de la piscina



Anexo 8. Especificaciones técnicas de la bomba de recirculación y la de calor.

Bomba de recirculación.

Bombas de calor.

Marca: Berkeley Pump Co.

Marca: CliTec

Modelo: B3ZPMS

Modelo: CAR-48GB

Serie: 8264134

Refrigerante: R410 A

RPM: 1800

Capacidad de calentamiento: 47,1 kW

IMP DIA: 8 - 7/16

Potencia de entrada: 9,0 kW

HP: 10

Cantidad de agua de circulación: 10,12 m³/h