



**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

**“DIMENSIONAMIENTO DE CALENTADORES SOLARES PARA UNA FOSA DE CLAVADOS UBICADA EN LA CIUDAD DE CHETUMAL”**

**TESIS**  
**PARA OBTENER EL GRADO DE**

**INGENIERÍA EN SISTEMAS DE ENERGÍA.**

**PRESENTA**  
**EDILBERTO BACAB YAM.**

**DIRECTOR DE TESIS**  
**DR. JOSÉ HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ**

**ASESORES**  
**M.E.S. ROBERTO ACOSTA OLEA.**  
**DR. FERNANDO ENRIQUE FLORES MURRIETA.**  
**DR. JORGE OVIDIO AGUILAR AGUILAR.**  
**DR. INOCENTE BOJÓRQUEZ BAEZ**



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, FEBRERO DE 2019



# UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

## DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TRABAJO DE TESIS TITULADO  
"DIMENSIONAMIENTO DE CALENTADORES SOLARES PARA UNA FOSA DE CLAVADOS UBICADA  
EN LA CIUDAD DE CHETUMAL"

ELABORADO POR  
EDILBERTO BACAB YAM

BAJO SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA Y APROBADO COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**INGENIERÍA EN SISTEMAS DE ENERGÍA.**

### COMITÉ DE TESIS

DIRECTOR: DR. JOSÉ HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ.

ASESOR: M.E.S. ROBERTO ACOSTA OLEA.

ASESOR: DR. FERNANDO ENRIQUE FLORES MURRIETA.

ASESOR: DR. JORGE OVIDIO AGUILAR AGUILAR.

ASESOR: DR. INOCENTE BOJÓRQUEZ BÁEZ.



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, FEBRERO DE 2019



## RESUMEN

La presente tesis denominada “Dimensionamiento de calentadores Solares para una fosa de clavados ubicada en la ciudad de Chetumal”, tiene como objetivo aprovechar la energía que proporciona el Sol para el calentamiento de agua, así como incentivar el uso de las energías limpias y renovables que en nuestra posición geográfica es abundante.

El volumen de la fosa de clavados es de aproximadamente  $3000 \text{ m}^3$  de agua, con esta cantidad es necesario calentar un tercio del volumen total de la fosa, es decir buscar un incremento en la temperatura en al menos  $1000 \text{ m}^3$ . La propuesta es que este acondicionamiento se realice con un sistema híbrido (eléctrico-Solar) que permita una reducción en el consumo actual de energía. En este estudio se realizaron los cálculos de la homogenización de temperatura en la piscina a través de un balance de masa y energía, además de determinar las pérdidas de calor en el volumen de agua con la finalidad de garantizar que se obtiene la temperatura media ideal para el uso de la fosa, misma que se deberá mantener a lo largo del día.

## AGRADECIMIENTOS.

**A mis maestros:** por haber fomentado el aprendizaje y transmitir sus conocimientos en la formación de esta carrera profesional, a su vez alentando a la búsqueda de resultados positivos del conocimiento.

**A mis compañeros:** por haber contribuido a sus críticas positivas y ejemplos de las diversas personalidades que fortalecen los lazos sociales, reforzando a esta noble institución que nos vio crecer día a día.

A las personas que intervinieron en este trabajo de tesis:

Por haber contribuido con su tiempo, consejos y aportaciones de ideas que fueron nutriendo este proyecto.

|  |           |
|--|-----------|
| <i>RESUMEN</i> .....   | 3         |
| <i>AGRADECIMIENTOS</i> .....   | 4         |
| <i>ÍNDICE DE FIGURAS</i> .....   | 7         |
| <i>ÍNDICE DE TABLAS</i> .....  | 8         |
| <i>INTRODUCCIÓN</i> .....  | 9         |
| <b>CAPÍTULO 1</b> .....  | <b>11</b> |
| <b>DATOS GENERALES DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA</b> .....  | <b>11</b> |
| 1.1.- Características generales del Sol.....   | 12        |
| 1.2.- La radiación Solar.....  | 12        |
| 1.2.1.-Radiación directa.....  | 13        |
| 1.2.2.-Radiación difusa.....   | 13        |
| 1.2.3.- Radiación reflejada.....   | 14        |
| 1.2.4.- Radiación global.....  | 14        |
| 1.3.- Radiación ultravioleta.....  | 14        |
| 1.4.- Radiación infrarroja.....  | 14        |
| 1.5.- Luz visible.....   | 15        |
| 1.6.- Dirección de incidencia de la irradiación Solar.....   | 15        |
| 1.7.- Distribución espectral de la radiación Solar.....  | 15        |
| 1.8.- Datos de radiación recibida y absorbida por la Tierra.....   | 16        |
| 1.9.- Radiación reflejada.....   | 17        |
| 1.10.- Energía calorífica y otras formas de energía.....   | 18        |
| 1.11- Conservación de la energía.....  | 18        |
| 1.12- La intensidad de calor.....  | 18        |
| 1.13- La cantidad de calor.....  | 19        |
| 1.14.- El calor específico.....  | 19        |
| 1.15.- Calor sensible y calor latente.....   | 19        |
| 1.16.- Propagación del calor.....  | 20        |
| 1.17.-Convección.....  | 20        |
| 1.18.- Transferencia de calor por Radiación.....   | 21        |
| 1.19.- Conducción.....   | 23        |
| 1.20.- Energía Solar fotovoltaica.....   | 23        |
| 1.21.-Colectores Solares planos.....   | 24        |
| 1.22.- Enfriamiento aplicando la energía Solar.....  | 25        |
| <b>CAPÍTULO 2</b> .....  | <b>26</b> |
| <b>CONDICIONES ACTUALES DE LA FOSA DE CLAVADOS</b> .....   | <b>26</b> |
| 2.1.- Antecedentes.....  | 27        |
| 2.2.- Problemática.....  | 28        |
| 2.3.-Propuesta de diseño.....  | 29        |
| <b>CAPÍTULO 3</b> .....  | <b>30</b> |
| <b>DATOS GENERALES DE LA FOSA DE CLAVADOS</b> .....  | <b>30</b> |
| Figura 7.- Ubicación de la fosa de clavados; coordenadas UTM: 365475.95 m E,<br>2048596.86 m N y 4 m. SNMM; [21..... | 31        |
| 3.1.- Geolocalización de la fosa de clavados.....  | 31        |
| 3.2.- Datos climatológicos de la fosa de clavados.....   | 31        |
| 3.3.- Dimensiones de la fosa de clavados.....  | 31        |

|   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| 3.2.- Sistema de bombeo hidráulico. ....  | 32                                   |
| 3.3.- Dimensiones de la fosa. ....  | 32                                   |
| 3.4.- Descripción del diagrama y la recirculación. ....   | 33                                   |
| 3.5.- Preparación del equipo de medición. ....  | 37                                   |
| 3.6.- Secciones de muestreo para la medición de temperaturas en la fosa. ....                           | 39                                   |
| 3.7.-Consideraciones de los datos de temperatura de la fosa. ....                                       | 41                                   |
| 3.8.-Calculo de longitud del termopar. ....   | 41                                   |
| <b>CAPÍTULO 4.....</b>  | <b>42</b>                            |
| <b>CÁLCULOS DE CONSUMO DE ENERGÍA Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS CALENTADORES SOLARES PLANOS.....</b>        | <b>42</b>                            |
| 4.1.-Cálculos para el diseño de los calentadores Solares. ....  | 43                                   |
| 4.1.1-Temperatura de equilibrio de Volúmenes de agua. ....  | 43                                   |
| 4.1.2- Cálculo de tiempo de circulación. ....   | 44                                   |
| 4.1.3.- Consumo energético de la fosa. ....   | 45                                   |
| 4.1.4.- Evaporación de agua del vaso. ....  | 47                                   |
| 4.1.5.- Pérdidas de calor por evaporación. ....   | 47                                   |
| 4.1.6.- Pérdidas o ganancias de calor por radiación. ....   | 48                                   |
| 4.1.7.- Pérdidas o ganancias de calor por convección. ....  | 49                                   |
| 4.1.8.- Pérdidas de calor por conducción. ....  | 49                                   |
| 4.2.-Datos y cálculo para dimensionar los colectores o calentadores Solares planos. ....                | 50                                   |
| 4.2.1.- Estimación de la pérdida de energía calorífica por noche con temperatura del agua de 28°C: .... | 51                                   |
| 4.2.2.- Demanda energética (De) por día: ....   | 51                                   |
| 4.2.3.-Determinación de área necesaria de colectores Solares: ....                                      | 51                                   |
| 4.2.4.- Número de colectores necesarios: ....   | 52                                   |
| 4.2.5.- Circuito Solar de colectores. ....  | 52                                   |
| 4.2.6.-Determinación del diámetro de los tubos principales. ....  | 52                                   |
| 4.3.- Diseño Del Arreglo Del Panel De Colectores. ....  | 52                                   |
| <b>CAPÍTULO 5.....</b>  | <b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b> |
| <b>OBSERVACIÓN TÉCNICA FINAL DE OPERACIÓN.....</b>  | <b>54</b>                            |
| 5.1.- Conclusiones técnicas en la operación de los equipos de bombeo. ....                              | 55                                   |
| 5.2.- Recomendaciones Finales. ....   | 56                                   |
| <b>ANEXOS. ....</b>   | <b>57</b>                            |
| 6.1.- Reforzamiento académico con software. ....  | 58                                   |
| 6.2 Apoyo fotográfico de las instalaciones. ....  | 59                                   |
| 6.3.- Norma -008-AMBT-2005 del Distrito Federal. ....   | 60                                   |
| <i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</i>  | <i>61</i>                            |

## ÍNDICE DE FIGURAS.

|   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| Figura 1.- Tipos de radiación y ondas espectrales de la luz Solar. [4] .....  | 13                                   |
| Figura 2.- Diagrama de pérdidas de la radiación Solar. [6].....   | 16                                   |
| Figura 3.- Diagrama esquemático del comportamiento del calor en la convección.[11] ....   | 20                                   |
| Figura 4.-Diagrama de dos cuerpos con diferente temperatura bajo las condiciones de radiación térmica.[14].....   | 22                                   |
| Figura 5.- Diagrama esquemático de termodinámica de calor, conducción, convección y radiación.[15].....   | 22                                   |
| Figura   6.- Diagrama del coeficiente conductivo de transferencia k y las diferentes condiciones de temperatura. [16].....  | 22                                   |
| Figura 7.- Ubicación de la fosa de clavados; coordenadas UTM: 365475.95 m E, 2048596.86 m N y 4 m. SNMM; [21] .....   | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Figura 8.- Vista de corte longitudinal de la fosa de clavados 3,000 M <sup>3</sup> . [22] .....   | 33                                   |
| Figura 9.- Vista de isométrico de la fosa de clavados de 25 M x 30 M = área superficial 800 M <sup>2</sup> . [23].....  | 33                                   |
| Figura 10.- Diagrama de flujo del recorrido del agua en la tubería de llegada al vaso regulador. Es el tanque cuadrado al fondo. [24].....  | 34                                   |
| Figura 11.- Diagrama de flujo del recorrido del agua que pasa por los filtros de arena, son los circulares en color azul. [25].....   | 35                                   |
| Figura 12.- Diagrama de flujo del agua que hace en el sistema de bombeo muestra la conexión de los filtros de arena, al fondo los más pequeños y de color negro son los filtros de carbón activado, las flechas azules van hacia los calentadores eléctricos.[26] .....   | 35                                   |
| Figura 13.- Muestra el bypass de la línea que viene de los filtros de arena hacia los filtros de carbón activado y también la línea que va hacia lo 10 calentadores eléctricos donde se reduce la tubería de 8” a dos líneas de 4”, posteriormente se vuelve a reducir de 4” a 1” para cada entrada de los calentadores eléctricos Heat siphon. [27]..... | 36                                   |
| Figura 14.- Sistema de conexión de los calentadores eléctricos (Heat siphon). Estos equipos funcionan con electricidad y son los que calientan el agua cuando de hace recircular a través de un serpentín de acero inoxidable y regresan a la fosa a una temperatura de 57° C. [28] .....   | 36                                   |
| Figura 15.- Diagrama del sistema cerrado de circulación de la fosa de clavados.[29] .....   | 37                                   |

|  |    |
|--|----|
| Figura 16.- Colocación del dispositivo de medición térmica (termopar tipo J) para hacer las mediciones de temperatura que se encuentra dentro de la tubería de PVC. [30] .....       | 38 |
| Figura 17.- Áreas del complejo, 1.- Fosa de Clavados, 2.- Cuarto de Maquinas, 3.- Oficinas Administrativas, 4.- Plataforma de Clavados. [31] .....                                   | 39 |
| Figura 18.- Perspectiva inferior izquierda de la fosa de clavados, al nivel del piso. [32]...  | 40 |
| Figura 19.- Distribución de los puntos seleccionadas en donde se realizaran las mediciones de temperatura en la fosa. [33] .....   | 40 |
| Figura 20.-Distribución del arreglo de 7 paneles de los calentadores Solares planos.[39]   | 53 |
| Figura 21.- caratula de inicio Menú Principal Software CenSol 5. [41] .....  | 58 |
| Figura 22.- Vista del lado derecho las conexiones de los calentadores eléctricos, al fondo del lado izquierdo la caja de regulación de agua y las bombas de agua. Fuente propia..... | 59 |
| Figura 23.- Vista del ángulo del lado izq. Los filtros de arena así como las conexiones que vienen de las bombas, al fondo la caja de regulación. Fuente propia.....                 | 59 |

## ÍNDICE DE TABLAS.

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1.- Pérdidas y distribución de la radiación.[7].....                                | 16 |
| Tabla 2.- Porcentaje de radiación reflejada. [8].....                                     | 17 |
| Tabla 3.- Superficie total de calentadores Solares de agua en México en el 2010 [19]..... | 27 |
| Tabla 4.- Datos del material utilizado para llevar a cabo las mediciones. [34].....       | 41 |
| Tabla 5.- Cálculos de varias temperaturas a volumen y flujo constante.[35].....           | 44 |
| Tabla 6.- Tipos y porcentajes de las perdidas en la fosa.[36].....                        | 47 |
| Tabla 7.-Humedad absoluta del aire saturado.[37a] .....                                   | 48 |
| Tabla 8.- Tabla de pérdidas de calor, <b>Qe,Qc y Qr</b> . [38] .....                      | 50 |

## INTRODUCCIÓN.

La temperatura es un elemento esencial en toda fosa de clavados olímpica puesto que permite la práctica de diversas especialidades tales como: clavados, natación en sus diversas modalidades, waterpolo, nado sincronizado, prácticas de buceo, así como para uso terapéutico, prácticas de incursión militar. Por lo que el control de la temperatura ideal que marca reglamento de normatividad técnico-administrativa de la disciplina de clavados de la federación mexicana de natación” (FMN) en el capítulo 5; artículo 12; para una fosa de clavados es de 28 °C a 30 °C. cabe mencionar que en otras competencias internacionales también pide una temperatura ideal en sus reglamentos [\[1\]](#)

La Universidad de Quintana Roo cuenta con una fosa de clavados, la cual posee una capacidad de 3000 m<sup>3</sup>, y que para mantener la temperatura adecuada se utiliza un sistema de calefacción eléctrico conocido como bombas de calor (Head Siphon) tipo intercambiador integrado como los que se usan en refrigeración (frío). La diferencia con estos últimos es que estos equipos generan calor que le transmiten al agua por medio de un sistema de serpentín.

En este trabajo, se analiza la propuesta de reducir el consumo actual de energía de dicho sistema, con el aprovechamiento de la energía Solar para proporcionar una parte de la energía calorífica que la fosa requiere para su óptimo, para esto se propone usar calentadores Solares planos. La instalación propuesta consiste de un sistema híbrido fototérmico-eléctrico que permita la reducción del consumo de energía para mantener la temperatura deseada del agua resulta favorable ya que contribuye de manera significativa al acondicionamiento térmico de la fosa, de manera que este tipo de sistemas pueden proporcionar un servicio de calidad y confortable para su uso en las diferentes disciplinas deportivas.

El desarrollo del presente trabajo, se ha estructurado de la siguiente forma:

Capítulo 1.- Datos generales de energía Solar térmica.

Se abarcan algunos conceptos y características de la luz Solar, y algunas definiciones de termodinámica.

Capítulo 2.- Condiciones en las que se encuentra la fosa de clavados.

Se abarca la importancia del uso de la energía Solar en las fosas y las normas que actualmente existen en otro lugar.

Capítulo 3.- Datos técnicos de la fosa de clavados.

Se enfoca en los datos de la fosa, las instalaciones en el cuarto de máquinas y el sistema de bombeo.

Capítulo 4.- Cálculos de consumo de energía y dimensionamiento de los calentadores Solares.

Se desarrollan los cálculos para determinar el número de calentadores Solares planos.

Universidad de Quintana Roo.

Dimensionamiento de Calentadores Solares para una fosa de clavados en la Cd. de Chetumal.

---

Capítulo 5.- Observación técnica final de Operación. Comentarios y conclusiones de las condiciones para mejorar las instalaciones de la fosa.

Capítulo 6.- Anexos.

Normas e información complementaria.

# Capítulo 1

## Datos generales de energía Solar térmica

### 1.1.- Características generales del Sol.

El Sol es la fuente de la mayor parte de la energía sobre la tierra, es la fuente de alimentación de las plantas, la causa de los flujos atmosféricos y del agua, el origen del calor que hace posible la vida. Nada existiría sin él. En la órbita terrestre, despreciando la absorción atmosférica, cada metro cuadrado de área recibe unos 1366 watts por m<sup>2</sup> (cerca de dos HP) [2]. Esta cantidad se conoce como *constante Solar*, que varía muy poco, como se observó mediante sensores abordo de satélites de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA).

El físico alemán Hermann Von Helmholtz, observó en 1854 que la propia gravedad del Sol suministraría una apreciable cantidad de energía. Si el Sol se estuviera contrayendo gradualmente, si toda su materia estuviera cayendo gradualmente hacia su centro, se estaría emitiendo suficiente energía para mantener su radiación durante mucho tiempo. Calculó que esta fuente proveería energía al Sol durante más de 20 millones de años. [2].

El calor es el movimiento de los átomos y de las moléculas: cuanto mayor es la temperatura, mayor es su velocidad y sus colisiones son más violentas. Cuando la temperatura en el centro del Sol recién formado se elevó lo suficiente como para que las colisiones entre los núcleos venciesen a su repulsión eléctrica, los núcleos empezaron a juntarse y los protones se combinaron en helio, durante este proceso algunos protones se convirtieron en neutrones (más los positrones, electrones positivos, que se combinan con los electrones y se destruyen). Esto libera energía nuclear y mantiene la alta temperatura del centro del Sol; el calor también mantiene alta la presión del gas, manteniendo el Sol hinchado y neutralizando la atracción gravitatoria que no lo concentra más [2].

Una rama de la física, el estudio de la "fusión nuclear controlada", ha intentado desde 1950 obtener potencia útil de las reacciones de "fusión nuclear" combinando núcleos pequeños para formar otros mayores, potencia que calentará unas calderas, cuyo vapor hace girar turbinas que producen electricidad. Desgraciadamente, los laboratorios terrestres no pueden compararse con la potencia Solar, la gran masa Solar cuyo peso mantiene el plasma caliente comprimido y confinado en el "horno nuclear" del centro del Sol. En su lugar, los físicos usan potentes campos magnéticos para confinar el plasma y como combustible usan formas pesadas de hidrógeno, que se "quema" más fácilmente. Aun así, las trampas magnéticas son más bien inestables y el plasma suficientemente caliente y denso para experimentar la fusión nuclear, tiende a deslizarse fuera de ellas después de un corto período de tiempo. Aún con artilugios ingeniosos, el confinamiento, en la mayoría de los casos, dura una pequeña fracción de segundo [2].

### 1.2.- La radiación Solar.

Es el flujo de energía que se recibe del Sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta). Aproximadamente la mitad de las que recibimos, comprendidas entre 0.4 μm y 0.7 μm, pueden ser detectadas por el ojo humano, constituyendo lo que conocemos como *luz visible*. De la otra mitad, la mayoría se sitúa en la parte infrarroja del espectro y una pequeña parte en la ultravioleta. La porción de esta radiación que no es absorbida por la atmósfera, es la que produce quemaduras en la piel a las personas que se exponen muchas horas al Sol sin protección. La radiación Solar

se mide normalmente con un instrumento denominado piranómetro. La radiación Solar no es de la misma intensidad, depende de la latitud que va de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , y si se encuentra en el lado norte o sur del eje del ecuador, fecha de incidencia. la luz Solar es más intensa y de mayor calidad en las cercanías del ecuador. (Figura 1) [3].

En función de cómo reciben la radiación Solar los objetos situados en la superficie terrestre, se pueden distinguir estos tipos de radiación:



Figura 1.- Tipos de radiación y ondas espectrales de la luz Solar. [4]

### 1.2.1.-Radiación directa.

Es aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.

### 1.2.2.-Radiación difusa.

Es aquella cuya dirección ha sido modificada por diversas circunstancias (densidad atmosférica, partículas u objetos con los que chocar, reemisiones de cuerpos, etc.). Por sus características esta luz se considera proveniente de todas direcciones. La suma de ambas es la irradiación total incidente. La superficie del planeta está expuesta a la radiación proveniente del Sol.

La tasa de irradiación depende en cada instante del ángulo que forman la normal a la superficie en el punto considerado y la dirección de incidencia de los rayos solares. Por supuesto, dada la lejanía del Sol respecto de nuestro planeta, supone, con muy buena aproximación, que los rayos del Sol inciden esencialmente paralelos sobre el planeta. No obstante, en cada punto del mismo, localmente considerado, la inclinación de la superficie respecto a dichos rayos depende de la latitud y de la hora del día para una cierta localización en longitud. Dicha inclinación puede definirse a través del ángulo que forman

el vector normal a la superficie en dicho punto y el vector paralelo a la dirección de incidencia de la radiación Solar.

### 1.2.3.- Radiación reflejada.

La radiación reflejada es, como su nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado *albedo*. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no *ven* ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.

### 1.2.4.- Radiación global.

Es la radiación total. Es la suma de las tres radiaciones. En un día despejado, con cielo limpio, la radiación directa es preponderante sobre la radiación difusa. Por el contrario, en un día nublado no existe radiación directa y la totalidad de la radiación que incide es difusa.

Los distintos tipos de colectores Solares aprovechan de forma distinta la radiación Solar. Los colectores Solares planos, por ejemplo, captan la radiación total (directa + difusa), sin embargo, los colectores de concentración sólo captan la radiación directa. Por esta razón, los colectores de concentración suelen situarse en zonas de muy poca nubosidad y con pocas brumas, en el interior, alejadas de las costas.

### 1.3.- Radiación ultravioleta.

Es la radiación ultravioleta de menor longitud de onda ( $360\text{ nm}$ ), lleva mucha energía e interfiere con los enlaces moleculares. Especialmente las de menos de  $300\text{ nm}$  que pueden alterar las moléculas de ácido desoxirribonucleico (ADN), muy importantes para la vida. Estas ondas son absorbidas por la parte alta de la atmósfera, especialmente por la capa de ozono. Es importante protegerse de este tipo de radiación ya que por su acción sobre el ADN está asociada con el cáncer de piel. Sólo las nubes tipo cúmulos de gran desarrollo vertical atenúan éstas radiaciones prácticamente a cero. El resto de las formaciones tales como cirrus, estratos y cúmulos de poco desarrollo vertical no las atenúan, por lo cual es importante la protección aún en días nublados. Es importante tener especial cuidado cuando se desarrollan nubes cúmulos, ya que éstas pueden llegar a actuar como espejos y difusores e incrementar las intensidades de los rayos ultravioleta y por consiguiente el riesgo Solar. Algunas nubes tenues pueden tener el efecto de lupa.

### 1.4.- Radiación infrarroja.

Es la que corresponde a más de  $760$  nanómetros, tiene unas longitudes de onda más largas y lleva poca energía asociada. Su efecto aumenta la agitación de las moléculas, provocando el aumento de la temperatura. El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el vapor de agua y las pequeñas gotas de agua que forman las nubes absorben con mucha intensidad las radiaciones infrarrojas.

La atmósfera se desempeña como un filtro ya que mediante sus diferentes capas distribuyen la energía Solar para que a la superficie terrestre sólo llegue una pequeña parte de esa energía.

La parte externa de la atmósfera absorbe parte de las radiaciones reflejando el resto directamente al espacio exterior, mientras que otras pasarán a la Tierra y luego serán irradiadas. Esto produce el denominado balance térmico, cuyo resultado es el ciclo del equilibrio radiante.

### 1.5.- Luz visible.

A radiación correspondiente a la zona visible cuya longitud de onda está entre 360 nm (violeta) y 760 nm (rojo), por la energía que lleva, tiene gran influencia en los seres vivos. La luz visible atraviesa con bastante eficacia la atmósfera limpia, pero cuando hay nubes o masas de polvo parte de ella es absorbida o reflejada.

### 1.6.- Dirección de incidencia de la irradiación Solar.

El estudio de la dirección con la cual incide la irradiación Solar sobre los cuerpos situados en la superficie terrestre, es de especial importancia cuando se desea conocer su comportamiento al ser reflejada. La dirección en que el rayo salga reflejado dependerá de la incidencia.

Con tal fin se establece un modelo que distingue entre dos componentes de la irradiación incidente sobre un punto: La irradiación Solar directa y la irradiación Solar difusa.

### 1.7.- Distribución espectral de la radiación Solar.

La atmósfera de la tierra constituye un importante filtro que hace inobservable radiaciones de longitud de onda inferior a las 0,29 micras por la fuerte absorción del ozono y oxígeno. Esto bloquea a la radiación ultravioleta más peligrosa para la salud. La atmósfera es opaca a toda radiación infrarroja de longitud de onda superior a las 24 micras, ello no afecta a la radiación Solar pero sí a la energía emitida por la Tierra que llega hasta las 40 micras y que es absorbida. A este efecto se conoce como efecto invernadero [5].

La máxima temperatura (Ley de Wien) [6] ocurre a 0,475 micras es decir a 4750 Å. Considerando la ley de Wien ello corresponde a una temperatura de:

$$T = \frac{2897.6 \text{ } \mu\text{m} \cdot \text{K}}{0.47509 \text{ } \mu\text{m}} \quad (1.1)$$

Donde:

$$T = \frac{2897,6 \text{ } \mu\text{m} \cdot \text{K}}{0,47509 \text{ } \mu\text{m}} = 6099 \text{ K}$$

T= temperatura.

K=Kelvin

$\mu\text{m}$ = micras.

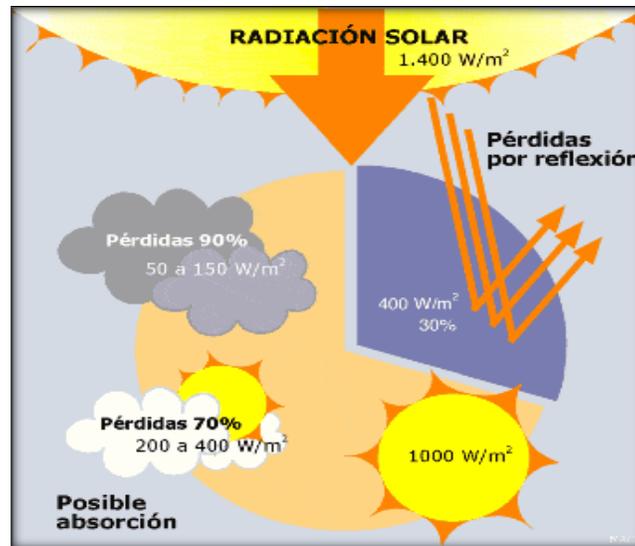


Figura 2.- Diagrama de pérdidas de la radiación Solar. [6]

### 1.8.- Datos de radiación recibida y absorbida por la Tierra.

Tabla 1.- Pérdidas y distribución de la radiación.[7]

| Radiación recibida por la Tierra    | Porcentaje (%) | Radiación absorbida por la Tierra | Porcentaje (%) |
|-------------------------------------|----------------|-----------------------------------|----------------|
| Directa a la Tierra                 | 26%            | Por la atmósfera                  | 16%            |
| Indirecta a la Tierra.              | 11%            | Por las nubes.                    | 2%             |
| Difusa a la Tierra.                 | 14%            | Por ozono y otros gases.          | 1%             |
| Pérdida de radiación por reflexión. | - 4%           |                                   |                |
| Total de radiación                  | 47%            |                                   | 19%            |

Tabla 2.- Porcentaje de radiación reflejada. [8]

| Energía Solar reflejada  | Porcentaje (%) |
|--|----------------|
| Radiación reflejada por los materiales terrestres (indirectamente) | 10%            |
| Radiación reflejada por las nubes (directamente)                   | 24%            |
| Total  | 34%            |

### 1.9.- Radiación reflejada.

En las tablas anteriores (1 y 2), se observa cómo se distribuye el 100% de la energía proveniente del Sol, un 34% (ver tabla 2) regresa al espacio exterior; debido a un efecto de refracción natural, de forma directa (24%) o indirecta (10%). Un 19% de la energía es absorbida por la atmósfera, mientras que la tierra recibe un 47% ambas serán regresadas al espacio exterior (ver Tabla 1). Esta distribución de la energía es lo que se conoce como balance energético de la tierra.

#### 1.9.1|- Energía absorbida por la vegetación.

La vegetación absorbe en todo el espectro, pero especialmente en la zona del visible, aprovechando esa energía para la fotosíntesis.

#### 1.9.2- energía solar sobre la superficie terrestre.

A pesar de su abundancia, el aprovechamiento de la energía solar está condicionado principalmente por tres aspectos: la intensidad de la radiación Solar recibida por la Tierra, los ciclos diarios y anuales a los que está sometida y las condiciones climatológicas de cada lugar. La utilización de la radiación solar como fuente de energía está directamente ligada a la situación geográfica del lugar escogido para aprovecharla y de las variaciones temporales.

En general, el término de radiación Solar se refiere a los valores de irradiación Solar, es decir, la cantidad de energía recibida por unidad de superficie en un tiempo determinado. Estos valores normalmente expresan la energía que proviene de la radiación directa del disco Solar y la radiación difusa que, esparcida por la atmósfera, proviene del resto del cielo. La proporción entre radiación directa y difusa varía según las condiciones climáticas, y, en días nublados, la radiación difusa puede llegar a anularse.

La radiación incidente sobre una superficie se suele medir a través de piranómetro. A partir de series temporales de medidas de radiación se elaboran mapas de radiación Solar, de los cuales se pueden realizar estimaciones de la radiación Solar incidente sobre territorios

determinados, durante periodos de tiempo limitados, simplemente multiplicando los valores leídos en el mapa por la superficie de la zona y por el período de tiempo dado.

También a partir de series de medidas se confeccionan manuales que reúnen tablas de valores de radiación sobre superficies con una determinada orientación e inclinación para diferentes microclimas. A través de éstos se obtienen estimaciones de la radiación Solar incidente sobre una superficie plana con una orientación e inclinación dadas.

En los últimos años, la energía Solar térmica ha conseguido un grado de madurez que la convierte en una buena opción técnica y económica. En este sentido, la aplicación de la energía Solar para producir agua caliente sanitaria es una de las posibilidades que ofrece una rentabilidad más atractiva. Los últimos avances y líneas de investigación se han centrado en la mejora de los materiales y elementos de control, regulación y seguimiento del funcionamiento de las instalaciones [9].

### 1.10.- Energía calorífica y otras formas de energía.

El calor es una manifestación de la energía que no se puede visualizar a simple vista y que se desarrolló en las tres dimensiones y que manifiesta por el movimiento a nivel molecular muchas veces modificando la materia. Al calentarse un cuerpo, aumenta la energía cinética de las moléculas, produciéndose algo parecido al golpe de ariete a nivel molecular (choques de paquetes de energía a nivel molecular). La energía calorífica o calor es susceptible de medir; lo que se efectúa teniendo en cuenta dos magnitudes fundamentales: intensidad de calor y cantidad de calor.

La energía puede existir en numerosas formas, como térmica, mecánica, cinética, potencial, eléctrica, magnética, química, y nuclear, y su suma constituye la energía total  $E$  (o *e en términos de cantidad de masa*) de un sistema. Las formas de energía relacionadas con la estructura molecular de un sistema y con el grado de la actividad molecular se conoce como energía microscópica la suma de todas las formas microscópicas se denomina *energía interna* de un sistema [9A].

### 1.11- Conservación de la energía.

La **ley de la conservación de la energía** expresa que la energía no puede ser creada ni destruida. En su aplicación a las transformaciones de energía que se realizan en la tierra no se conoce excepción alguna salvo cuando la materia se convierte en energía y viceversa. Considerando esa salvedad, se puede afirmar que la materia o masa es una forma de energía[9B].

### 1.12- La intensidad de calor.

Está relacionada con la velocidad del movimiento molecular estableciéndose para medirla una práctica que da una idea del grado o *nivel* del calor que tiene un cuerpo determinado. Arbitrariamente se fijan parámetros comparativos que permiten determinar dicho nivel de calor, al que se denomina *temperatura*. Se dice que un cuerpo con gran velocidad molecular tiene más temperatura o más nivel de calor que otro.

### 1.13- La cantidad de calor.

El total de calor de un cuerpo representa la suma de las energías térmicas de todas las moléculas que lo componen. Es decir que mientras la intensidad de calor o temperatura indica el grado de movimiento molecular o el nivel de calor de un cuerpo, esta magnitud señala su contenido total de calor [10].

Se demuestra que la cantidad de calor de un cuerpo es función de la masa del cuerpo y de su temperatura, o lo que es lo mismo, del número de moléculas que lo componen y de su nivel de intensidad térmica o velocidad molecular.

Para determinar la cantidad de calor se ha establecido un valor característico, que depende de las particularidades de cada cuerpo, que se denomina *calor específico*. Se define como calor específico a la cantidad de calor necesario para elevar en 1 °C la temperatura de la unidad de masa de una sustancia.

### 1.14.- El calor específico.

Si bien depende de la temperatura en forma muy leve, *puede suponerse constante para cada sustancia en particular*, a los fines de su aplicación práctica. Como unidad se usa el agua a presión atmosférica normal, considerándose una temperatura normal de 15 °C que está dentro del entorno de las aplicaciones prácticas.

De esa manera, el calor específico igual a 1, es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 kg de agua en 1 °C (14,5 a 15,5) a presión atmosférica normal. A esta cantidad de calor se la denomina (Kcal) *kilocaloría*.

Para ello, las unidades del calor específico (C) son:

$$C = \text{Kcal/ kg } ^\circ\text{C}$$

Se ha establecido como unidad de calor el *Joule*. La equivalencia es la siguiente:

$$\text{Kcal} = 4180 \text{ joule}$$

### 1.15.- Calor sensible y calor latente.

Cuando definimos la unidad de calor, mencionamos que el agregado de dicha energía provocaba un aumento de la temperatura, a ese estado calórico cuya variación de nivel puede determinarse mediante un termómetro, que es sensible a ella, se denomina *calor sensible*.

$$Q = m \times C \times (t_f - t_i) \tag{1.2}$$

Q= es la cantidad de calor entregada o recibida por un cuerpo (Kcal)

m= es la masa del cuerpo (Kg)

C<sub>e</sub>= es el calor específico de la sustancia (Kcal/Kg.°C)

T<sub>i</sub>= es la temperatura inicial del cuerpo (°C)

$T_f$  = es la temperatura final del cuerpo ( $^{\circ}\text{C}$ )

### 1.16.- Propagación del calor.

Todo cuerpo con una determinada cantidad de calor, tiene la propiedad de cederlo a otro cuerpo, siempre que éste se encuentre a menor temperatura.

Es decir, existe un flujo térmico que consiste en la cesión del calor de los puntos de mayor temperatura. De esa manera, entonces, la energía térmica se transfiere del nivel térmico o temperatura más alto al más bajo, hasta alcanzar un “*estado de equilibrio*” o igual temperatura.

Los mecanismos que intervienen en la transmisión del calor son tres: Convección, Radiación y Conducción.

### 1.17.-Convección.

La forma de transmisión de calor por convección, por ejemplo, en nuestro caso el aire o el agua. Por efecto de la variación de su densidad debido a un aumento o disminución de temperatura, se establece en ellos una circulación permanente y continua. Ese movimiento del fluido produce, entonces, al calor por convección, que se orienta desde los puntos calientes a los fríos. [10]



Figura 3.- Diagrama esquemático del comportamiento del calor en la convección.[11]

Se utiliza para su determinación del coeficiente “ $h_c$ ” que tiene en cuenta la convección, y se denomina *coeficiente convectivo de transferencia de calor*.

$$Q = h_c * A * (T1 - T2) \quad (1.3)$$

Donde:

Q=energía útil o calor necesario

$h_c$  =coeficiente de convección o transferencia.

A=área o superficie de contacto.

T=temperatura.

### 1.18.- Transferencia de calor por Radiación.

La forma de transmisión del calor por radiación se produce en el vacío igual que la radiación de la luz en forma de ondas electromagnéticas, tridimensional como si fuese una esfera invisible para el ojo humano. De esa manera el proceso de calor por radiación no está vinculado a soporte o vehículo material alguno, no pudiendo ser explicado como en los casos anteriores en términos de moléculas que chocan o se desplazan.

Se define entonces la radiación térmica como la transmisión de calor de un cuerpo a otro sin contacto directo, en forma de energía radiante.

Entonces un cuerpo caliente transforma una parte de su contenido de calor en energía radiante sobre su superficie, la cual se emite en forma de ondas, que, al ser absorbidas por otro cuerpo, se manifiesta en forma de calor. Se desprende de ello que para que la energía radiante pueda ser convertida en calor es necesario que sea *absorbida* por una sustancia. Todos los cuerpos absorben y además emiten energía radiante, dependiendo de la temperatura a que se encuentren y de sus características físicas.[\[12\]](#).

El cuerpo negro es un cuerpo ideal que emite y absorbe el máximo el calor por radiación cuya superficie es capaz de absorber toda la luz que incide contra ella. Por ello cuando un cuerpo está constituido por superficies oscuras, emite y absorbe el calor por radiación en gran proporción, ocurriendo todo lo contrario cuando se trata de cuerpos de superficies blancas o brillantes.[\[12\]](#).

A temperatura normal, estos cuerpos se presentarían completamente opacos, pero, si se calientan a una temperatura apreciable, el cuerpo negro producirá radiación térmica con su máximo en distintos rangos del espectro electromagnético dependiendo de su temperatura. A una temperatura superior al millón de grados Kelvin la radiación de cuerpo negro estará fundamentalmente formada por rayos X. Este proceso es importante en estrellas de neutrones o regiones opacas de los discos de acreción.[\[13\]](#).

Los cuerpos calientes emiten mayor cantidad de calor que los fríos, habiendo un continuo intercambio de energía radiante entre las sustancias que se encuentran a distintas temperaturas.

La ecuación para su cálculo es:

$$R_{ad} = e \times \sigma A \times T^4 \quad (1.4)$$

Donde:

$R_{ad}$  = Radiación

$e=1$

$\sigma = 5.76 \times 10^{-8}$  w/m °K, la constante de Stefan-Boltzmann.

T = temperatura en Kelvin

A = área

**Radiación**

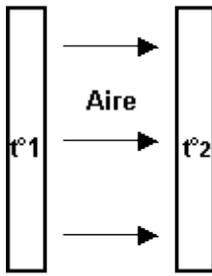


Figura 4.-Diagrama de dos cuerpos con diferente temperatura bajo las condiciones de radiación térmica.[14]

$$T^{\circ}1 > T^{\circ}2$$

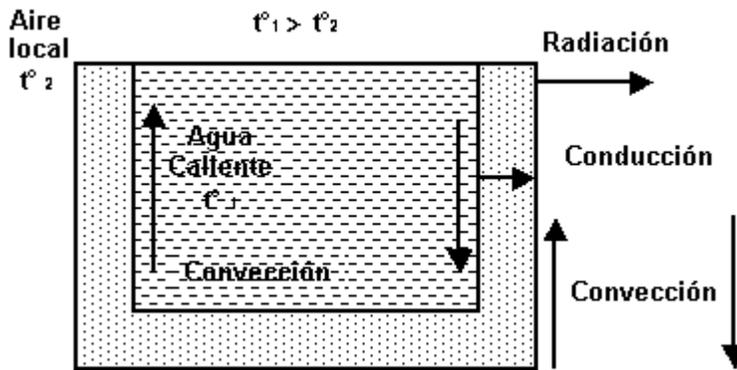


Figura 5.- Diagrama esquemático de termodinámica de calor, conducción, convección y radiación.[15]

Coefficiente de transferencia total: k

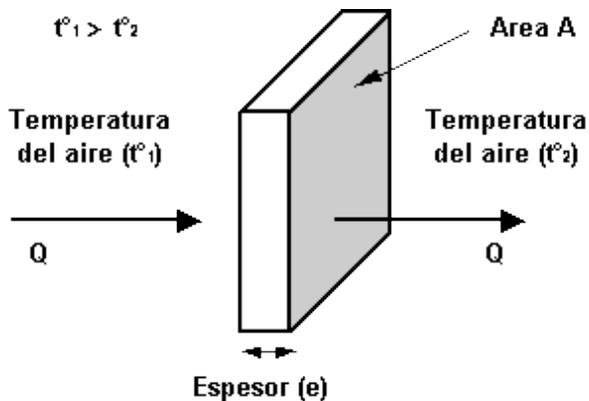


Figura 6.- Diagrama del coeficiente conductivo de transferencia k y las diferentes condiciones de temperatura. [16]

### 1.19.- Conducción.

La transmisión del calor por conducción es típica de los sólidos. Se origina por la agitación molecular provocada por el calor que se transmite progresivamente, sin modificar la distancia relativa de las moléculas.

La velocidad con que el material deja pasar el calor por conducción, depende de su conductividad que es una propiedad que tiene cada material.

Hay materiales que conducen más que otros. Los metales son mucho más conductores del calor que los no metales, por ejemplo, los materiales que se utilizan en las techumbres y paredes que son de aleaciones para hacerlos menos conductores de calor en la construcción [17].

El coeficiente de conductividad térmica es una característica de cada sustancia y expresa la magnitud de su capacidad de conducir el calor. Su símbolo es la letra griega  $\lambda$ . En el Sistema Internacional de Unidades (SI) se mide en vatios / (metro  $\times$  Kelvin) ( $W/(m \cdot K)$ ), en kilocaloría / (hora  $\times$  metro  $\times$  kelvin) ( $Kcal/(h \cdot m \cdot K)$ ) en el sistema técnico, y en BTU / (hora  $\times$  pie  $\times$  Fahrenheit) ( $BTU/(h \cdot ft \cdot ^\circ F)$ ) en el sistema inglés.

El coeficiente de conductividad térmica expresa la cantidad o flujo de calor que pasa, por unidad de tiempo, a través de la unidad de superficie de una muestra del material, de extensión infinita, caras plano paralelas y espesor unidad, cuando entre sus caras se establece una diferencia de temperaturas igual a la unidad, en condiciones estacionarias.

Este coeficiente varía con las condiciones del material (humedad que contiene, temperatura a la que se hace la medición), por lo que se fijan condiciones para hacerlo, generalmente para material seco y 15 °C (temperatura media de trabajo de los materiales de construcción) y en otras ocasiones, 300 K (26,84 °C) [17].

### 1.20.- Energía Solar fotovoltaica.

Pese a que todavía no está del todo desarrollado, ya es posible obtener energía eléctrica del Sol. Su precio es aún elevado, pero sus aplicaciones son variadas y su rentabilidad cada vez mayor. La luz solar se transforma en energía a través de celdas y paneles fotovoltaicos.

Respecto al aprovechamiento de la energía Solar, se puede hablar de dos tipos de sistemas: los que convierten la radiación Solar en electricidad mediante tecnología fotovoltaica y los que se utilizan para la producción de energía térmica. También cabe considerar la posibilidad de hacer un uso más global de la radiación Solar, la luz natural y las condiciones climatológicas concretas de cada emplazamiento en la construcción de edificios mediante lo que se ha llamado arquitectura bioclimática.

La transformación directa de la energía Solar en electricidad mediante la conversión fotovoltaica presenta ventajas claras, teniendo en cuenta su sencillez, autonomía, fiabilidad y operatividad y están relacionadas con la elevada cantidad energética de la electricidad producida y la ausencia de impacto medioambiental y de ruidos en el proceso energético.

A pesar de todo, de momento, la participación actual de la energía fotovoltaica en el balance energético europeo es todavía marginal. Su coste de inversión es por ahora más

elevado que el de las alternativas convencionales, pero experimenta una rápida reducción y se espera que en los próximos años el mercado europeo crezca a un ritmo de entre un 15 y un 25% anual.

Estas celdas se desarrollaron en la década de los 50, para ser utilizadas por satélites espaciales. Están fabricadas con silicio. Varias celdas fotovoltaicas conectadas en serie forman un panel fotovoltaico. La energía generada por estos paneles puede utilizarse para alimentar hogares, automóviles eléctricos o negocios. Las celdas también se utilizan individualmente para pequeñas máquinas, como calculadoras, bombas para riego y sistemas autónomos, refrigeración, entre otras.

La energía Solar fotovoltaica, se plantea como una Solución ante el problema de la electrificación de muchas zonas, tanto rurales como urbanas, ya que resulta inalterable con el paso el tiempo, no consume combustible y tiene mínimo mantenimiento. No hace falta que el Sol luzca para producir energía, ya que los días nublados se capta la luz que filtran las nubes, eso sí, con menos rendimiento, pudiéndose almacenarse en acumuladores para usarse durante la noche.

Los usos de la energía obtenida a través de este medio, son de lo más variado. Desde la electrificación de viviendas rurales, sistema de bombeo para riego, depuradoras de agua, hasta la iluminación de carreteras. En caso de seguir disminuyendo el precio de las celdas Solares su uso crecerá de manera importante en los países ricos en horas de Sol, como España, Estados Unidos o Australia.

### 1.21.-Colectores Solares planos.

Dos son los principales componentes de una instalación térmica: el captador Solar y el depósito acumulador. El agua fría procedente del depósito acumulador pasa por un serpentín que se encuentra dentro de los captadores Solares o calentadores Solares planos, de forma que se calienta por el calor atrapado por su sistema de absorbancia. El agua caliente se sitúa en la parte superior del depósito por el efecto de termosifón; así el agua más caliente siempre está dispuesta para su uso.

El calor obtenido tiene diversos usos prácticos: agua caliente para el uso personal; para su utilización en sistemas de calefacción, haciendo circular el agua caliente por radiadores u otros emisores térmicos; o para climatizar piscinas. Aunque parezca paradójico, este calor se está empezando a utilizar en países árabes para la refrigeración de estancias, siendo más necesario cuando más Sol hay. También es muy práctico su uso en explotaciones agrícolas como invernadero Solar, secadero o para purificar agua.

En lo que respecta a su uso como calefacción, siempre es conveniente complementarlo con un sistema convencional. Aunque en países con mucho Sol este período se limita a unas pocas semanas al año. El costo de una instalación de este tipo no es caro, estando al alcance de cualquier familia media.

### 1.22.- Enfriamiento aplicando la energía Solar.

Se puede producir frío con el uso de energía Solar como fuente de calor en un ciclo de enfriamiento por absorción. Uno de los componentes de los sistemas estándar de enfriamiento por absorción, llamado generador, necesita una fuente de calor.

En general, se requieren temperaturas superiores a 150 °C para que los dispositivos de absorción trabajen con eficacia, los colectores de concentración son más apropiados que los de placa plana [18].

# Capítulo 2

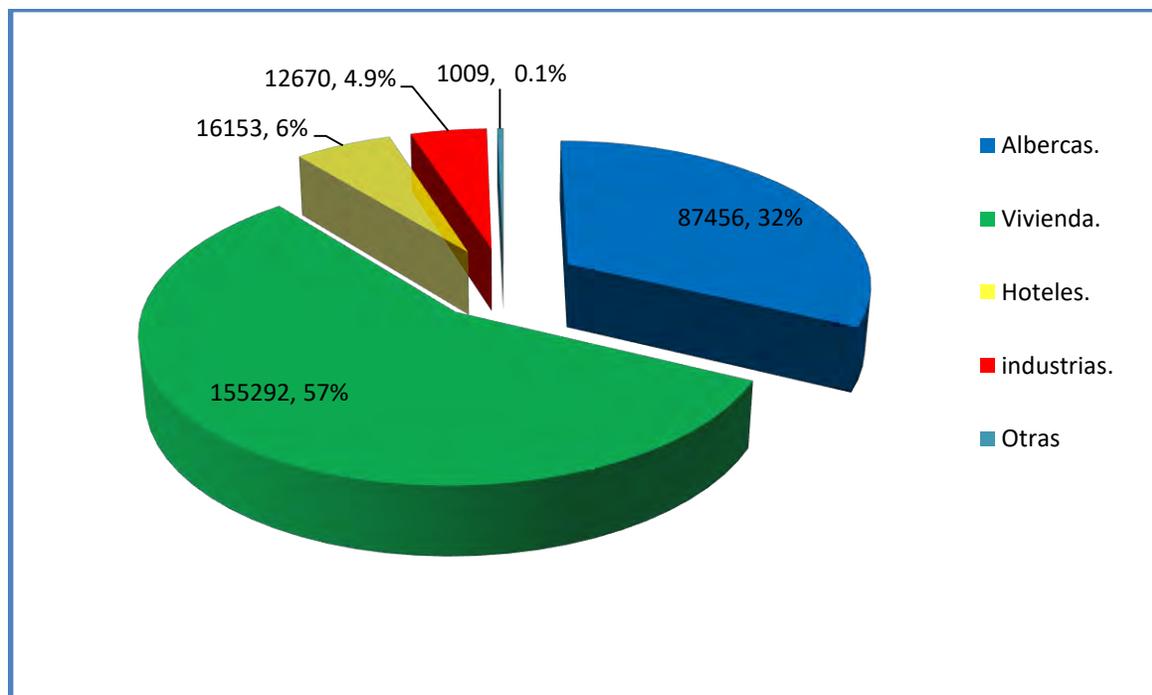
## Condiciones actuales de la fosa de clavados

### 2.1.- Antecedentes.

En la ciudad de Chetumal no es común que se usen los calentadores Solares debido a que la mayoría de las personas está acostumbrada al sistema de calefacción convencional de tipo boiler o calderas que usan gas butano para calentar el agua, es poca la gente que conoce los beneficios del uso de las energías renovables y poca la difusión en los medios masivos de comunicación locales. Las empresas que venden los sistemas de calentadores no promueven el uso de los calentadores Solares y los costos de adquisición para adoptar el sistema de calefacción de tipo Solar son altos que el muchas veces desalientan a la compra de los mismos.

Por otro lado, es muy poco el porcentaje que se tiene de aprovechamiento de la energía Solar en México para calentar agua con energías renovables y la aplicación en el sector del uso de agua caliente para uso doméstico e industrial.

Tabla 3.- Superficie total de calentadores Solares de agua en México en el 2010 [19]



El objetivo fundamental de este trabajo es que una parte del consumo de energía se reduzca con el uso de un sistema Solar que permita hacer más eficiente el uso de la fosa de clavados. Es importante mencionar que en nuestra ubicación geográfica contamos con energía del Sol disponible casi todo el año. Dada las condiciones y naturaleza de este trabajo lo que se pretende es lograr contribuir a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero causadas por el uso de la energía eléctrica para calentar agua, es bien sabido que parte de la cogeneración de la energía eléctrica se consumen grandes cantidades de combustible, fósiles (hidrocarburos, gasolinas y diésel).

Cabe mencionar que algunos de los gobiernos de otros estados de México ya se están ocupando en normar y están adoptando el uso de calentadores solares en el caso de instalaciones de uso público y privado que utilicen agua caliente. Ya que buscan la reducción de los niveles de contaminación del aire que en ocasiones se vuelven críticas. Continúan trabajando en medidas que permitan regular la utilización de sistemas de generación con energía renovable, como ejemplo se cita la siguiente norma:

Norma ambiental para el Distrito Federal (NADF-008-AMBT-2005), que establece las especificaciones técnicas para el aprovechamiento de la energía Solar en el calentamiento de agua en albercas, fosas de clavados, regaderas, lavamanos, usos de cocina, lavanderías y tintorerías [20].

Resulta importante saber que en el IX legislatura del H. Congreso de Estado de Quintana Roo se trabaja en iniciativas y puntos de acuerdo para la adecuación de esta norma, porque sabemos que las condiciones climatológicas que tiene el Distrito Federal y Quintana Roo son muy diferentes.

Desde el punto de vista ambiental, turístico y adoptando los acuerdo del protocolo de Kioto, estamos en el momento de que se deberían implementarse en el estado el uso de las energías renovables como norma y generar concientización con acciones que mitiguen el impacto de los gases de efecto invernadero derivado del uso de los combustibles fósiles que se usan cotidianamente, es por todo esto y teniendo el recurso Solar disponible, se propone el calentamiento del agua de la fosa de clavados ya mencionada.

## 2.2.- Problemática.

Actualmente la fosa de clavados en estudio tiene o emplea 10 calentadores eléctricos “Head Siphon” de una potencia nominal de 3.25 HP, para regular y mantener la temperatura del agua, lo que se propone un sistema híbrido eléctrico-calentadores Solares.

La fosa tiene **25 m.** de ancho por **32 m.** de largo, tiene tres niveles de profundidad para las diferentes actividades que se requieren, 2.00 m. 3.50 m. y 5.20 m. por diseño y funcionalidad se construyó de esa manera y cumple con las medidas oficiales de la comisión nacional del deporte (CONADE).

El volumen de agua que se emplea para operar la fosa es de 3000 m<sup>3</sup> y no cuenta con manta térmica. Se encuentra a cielo abierto por el momento, se concretan planes para en el futuro techar y climatizar la fosa de clavados.

Tiene dos equipos trifásicos con un voltaje de 440 y una potencia de 5 HP que realizan el trabajo de recirculación de agua o de bombeo en las tuberías hacia los diferentes procesos de limpieza del agua de la fosa (el filtro de arena para las grasas y sólidos suspendidos, filtro de carbón activado para los malos olores y filtro de cabello) de acuerdo con el mantenimiento del agua y la regulación de la temperatura del agua que pasa por las bombas de calor tipo Heat Siphon.

La temperatura de agua que se va a considerar para realizar el diseño de la presente propuesta es de 28 °C, se deben considerar las condiciones climatológicas que inferen en las pérdidas de calor en el agua de la fosa y debido a las pérdidas que ocurren en las tuberías y el factor de tiempo en la recirculación para lograr bombear el volumen necesario y obtener la temperatura deseada.

### 2.3.-Propuesta de diseño.

El sistema de calentadores Solares que se propone podría permitir el ahorro de hasta el 30 % de la energía eléctrica que se emplea actualmente para mantener una temperatura de confort y que cumpla con las normativas mencionadas. Se propone realizar lo anterior aprovechando la energía calorífica del Sol durante el día y así los calentadores que utilizan la energía eléctrica se utilizaría Solo lo mínimo en caso de que se requiera un sistema de respaldo de energía.

# Capítulo 3

## Datos generales de la fosa de clavados



**Figura 7.-** Ubicación de la fosa de clavados; coordenadas UTM: 365475.95 m E, 2048596.86 m N y 4 m. SNMM; [21

### 3.1.- Geolocalización de la fosa de clavados.

La fosa de clavados se encuentra ubicada en una ciudad Chetumal Quintana Roo. En la Av. Universidad S/N entre las avenida Ignacio Comonfort y calle cedro, colonia del bosque. En las coordenadas geográficas: latitud  $18^{\circ} 30'$  y longitud  $-88^{\circ} 15'$ , a 4 m. sobre el nivel medio del mar.

### 3.2.- Datos climatológicos de la fosa de clavados.

Con temperaturas promedio por año de:  $26.4^{\circ}\text{C}$ , Temperatura máxima en verano de:  $36^{\circ}\text{C}$ , Temperatura mínima en invierno:  $21^{\circ}\text{C}$ , Humedad relativa media: 89 % , Velocidad media del viento: 2.5 m/s. [CONAGUA]

### 3.3.- Dimensiones de la fosa de clavados.

Largo de la piscina: 25 m, Ancho de la piscina: 30 m, Profundidad promedio: 4 m., Posición de la piscina: abierta, Protección contra el viento: ninguna, Sistema bombeo existente: 2 x 5 HP, Temperatura del agua de la piscina con calefacción eléctrica ya instalada:  $24^{\circ}\text{C}$  como mínima y  $28^{\circ}\text{C}$  como máxima, Radiación Solar por día promedio por año:  $4.6\text{ kWh/m}^2$  [ CONAGUA].

### 3.2.- Sistema de bombeo hidráulico.

El volumen de agua de la fosa de clavados es de 3,000 m<sup>3</sup> como se ha mencionado, por lo tanto, este trabajo se enfocará al análisis y dimensionamiento de un sistema de calentadores Solares tipo plano. Se propone elevar la temperatura hasta en un 33% del volumen de dicha fosa es decir 1000 m<sup>3</sup>. Esta es la cantidad de agua que se le aplicará el calor necesario de tal manera que logre mezclarse con el volumen restante que representa alrededor del 67% (2,000 m<sup>3</sup>), para lograr la temperatura deseada de 28 °C. Por lo que esta función se realizara a través de un sistema de bombas conectadas a través de tuberías que pasaran el agua en los arreglos de paneles de calentadores Solares (arreglos de calentadores Solares en serie-paralelo) que suministrarán calor al agua de por lo menos unos 43 °C y está se mezclara con el volumen restante hasta mantener una temperatura de 28 °C, cumpliéndose con la norma de la FMN.

La circulación del agua de la fosa de clavados es de la siguiente forma: la fosa de un volumen de 3000 m<sup>3</sup> está conectada a la cisterna por medio de un tubo de PVC de 8” de diámetro y se encuentran al mismo nivel freático para evitar que alguna de las dos se rebose.

Tiene dos tubos de succión que están conectados a cada uno a un motor de 5 HP de potencia y pasan por un filtro de cabello y posteriormente al filtro de arena y si se requiere después de cierto tiempo de uso del agua pasa por un filtro de carbón activado para eliminar los olores; por ultimo pasa el agua por los diez calentadores tipo sifón que eleva la temperatura a unos 56° C y retorna por otro tubo de PVC de 8” de diámetro, que posteriormente se une a un tren de descarga para dividirse en 8 tubos de 2” de diámetro distribuidos a lo largo de la fosa a un metro por debajo del nivel freático; la fosa también tiene canales laterales de recuperación de agua cuando esta es perturbado por los ocupantes y el volumen contenido de agua sobre pasa los bordes.

La cisterna es de 200 m<sup>3</sup> y tiene 2 tuberías que conectan a una bomba cada una por medio de válvulas de mariposa.

El intervalo de flujo de cada calentador eléctrico (Head Siphon) es de 109.02 a 436.08 m<sup>3</sup>/día. para poder filtrar y calentar todo el volumen de 3000 m<sup>3</sup> se tienen instalados 10 calentadores eléctricos, quienes en su totalidad pueden alcanzar un consumo total diario máximo de: 8,580.96 kilowatt/día.

### 3.3.- Dimensiones de la fosa.

Los datos técnicos que se tienen son:

Volumen de agua: 3,000 m<sup>3</sup> o 3,000,000 litros de agua.

Dimensiones: Largo: 32.00 m. Ancho: 25.00 m y tiene tres alturas o profundidades de acuerdo a la disciplina que se practique siendo éstas de 2.50 m, 3.70 m. y 5.20 m. en la siguiente figura (9) se muestra un corte longitudinal donde se aprecia el perfil del fondo de la misma, y en la figura 10 se muestra en isométrico como se encuentra el fondo y el ancho de la fosa.

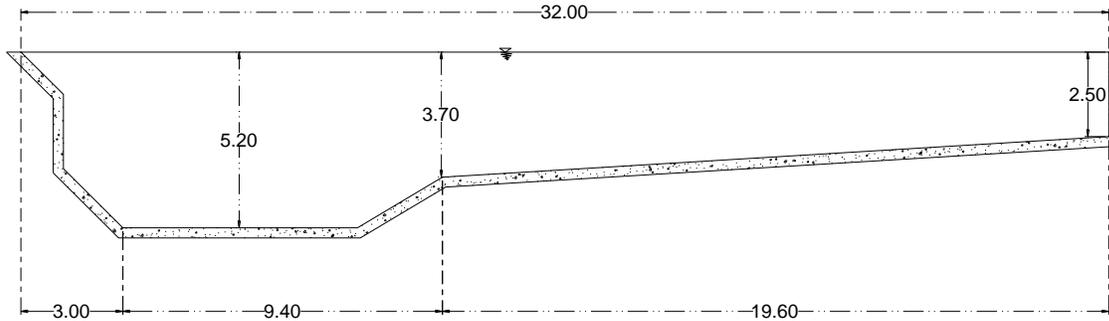


Figura 8.- Vista de corte longitudinal de la fosa de clavados 3,000 M<sup>3</sup>. [22]

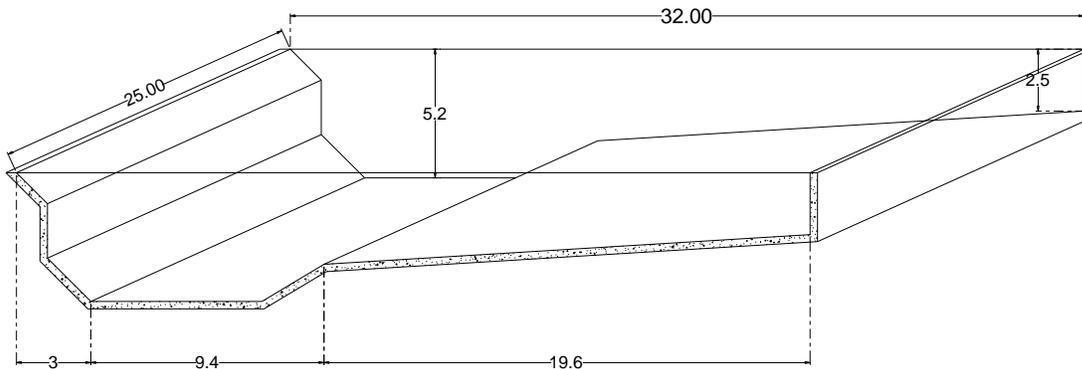


Figura 9.- Vista de isométrico de la fosa de clavados de 25 M x 30 M = área superficial 800 M<sup>2</sup>. [23]

### 3.4.- Descripción del diagrama y la recirculación.

La fosa tiene una tubería succión en el centro por debajo de los 0,50 m. del nivel de piso de la fosa, de ahí empieza la recirculación con diámetro de 8 pulg. y con una distancia total de 20 m, atraviesa por una pequeña cisterna de nivelación de agua, las medidas de dicha cisterna son de 4x4x2 metros lo cual sirve para evitar la turbulencia en la fosa. Figura (11). Posteriormente el fluido continúa su recorrido hacia los filtros que atrapan cabello antes de pasar a las bombas de 5 HP, esto con la finalidad de que se incruste el cabello en los impulsores y se amarren los equipos de bombeo figura (12). La tubería se bifurca en un bypass de doble salida para las 2 bombas de 5 hp (son dos equipos debido a que se tienen que alternar) y posteriormente el agua es enviada a los filtros de arena tipo circular de color azul para retirar las impurezas que trae el agua utilizada, figura (12 y 13).

Si se requiere un proceso más en el agua se envía al filtro de carbón activado para evitar los malos olores que esta pueda tener, figura 14. y por último el agua es trasportada hacia los

calentadores eléctricos cuando se requiere modificar su temperatura, los equipos se encienden y elevan la temperatura a unos 57 a 65 °C, figura 15. También tiene un bypass para tirar o drenar el agua hacia afuera de las instalaciones en el caso de que sea necesario un desagüe o reposición del líquido.

Al pasar por los calentadores retorna con una tubería de PVC de 6 pulg. Y se deriva en 8 tubos del mismo material en un diámetro de 3 pulg. Distribuidos simétricamente a cada 4.0 m a lo largo de la piscina. De la pared longitudinal del lado más cerca de las instalaciones o cuarto de máquinas.



Figura 10.- Diagrama de flujo del recorrido del agua en la tubería de llegada al vaso regulador. Es el tanque cuadrado al fondo. [24]

El agua pasa por los filtros de cabello que están instalados antes de que circule por las bombas, para así evitar que se incruste en los impulsores, que podrían dañar o atascar el equipo causando averías y deteniendo el sistema de bombeo, posteriormente si se requiere por el mantenimiento se abre una válvula o se cierra. Este proceso atravesara los filtros de arena figura, estos dispositivos son circulares de gran tamaño y de color azul como se aprecia en la figura (11) y figura (12), este procedimiento es para retirar del agua recirculada todas las partículas suspendidas como: grasas y sólidos suspendidos que le pueden dar turbiedad al agua. La arena con la cual se hace el mantenimiento se regenera cada seis meses, no porque se gaste o se reduzca el volumen contenido, más bien porque se ensucia y ya no sirve para el proceso.

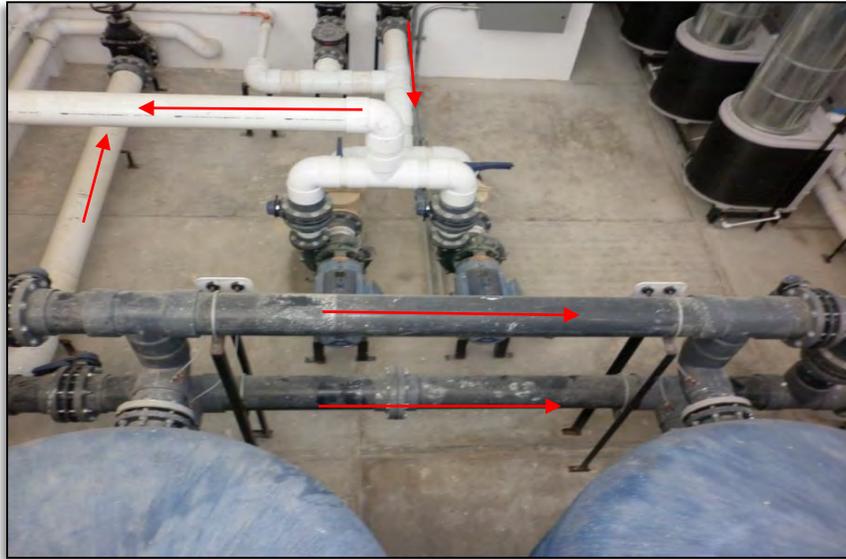


Figura 11.- Diagrama de flujo del recorrido del agua que pasa por los filtros de arena, son los circulares en color azul. [25]



Figura 12.- Diagrama de flujo del agua que hace en el sistema de bombeo muestra la conexión de los filtros de arena, al fondo los más pequeños y de color negro son los filtros de carbón activado, las flechas azules van hacia los calentadores eléctricos.[26]

El último proceso de mantenimiento es con los filtros de carbón activado son de color negro y no son gran tamaño figura (13), este dispositivo realiza la función de retirar los malos olores o neutralizarlos por intercambio iónico. Debido al proceso de degradación de la materia orgánica que se mezcla durante el uso de la fosa esta empieza a oler y es necesario este proceso en algunas veces. De igual manera tiene una válvula que se abre y cierra para su control.



*Figura 13.- Muestra el bypass de la línea que viene de los filtros de arena hacia los filtros de carbón activado y también la línea que va hacia los 10 calentadores eléctricos donde se reduce la tubería de 8" a dos líneas de 4", posteriormente se vuelve a reducir de 4" a 1" para cada entrada de los calentadores eléctricos Heat siphon. [27]*



*Figura 14.- Sistema de conexión de los calentadores eléctricos (Heat siphon). Estos equipos funcionan con electricidad y son los que calientan el agua cuando de hace recircular a través de un serpentín de acero inoxidable y regresan a la fosa a una temperatura de 57° C. [28]*

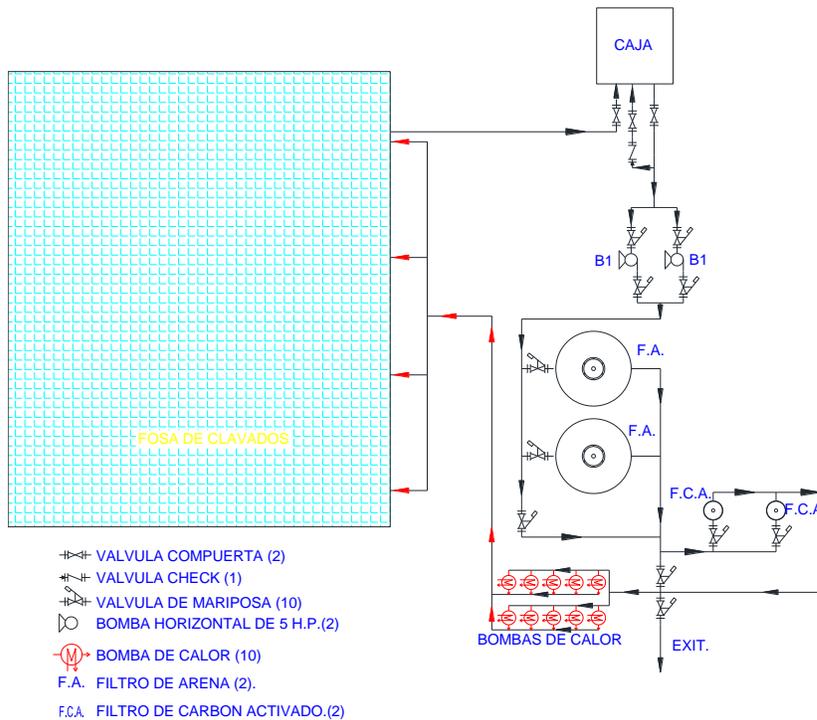


Figura 15.- Diagrama del sistema cerrado de circulación de la fosa de clavados.[29]

### 3.5.- Preparación del equipo de medición.

Para los registros de datos de temperatura del agua en los días de menor temperatura se construyó un termopar largo de 5 m como máximo por las propiedades del material y con una extensión de 7 m de largo con un adaptador para hacer la conexión entre ambos elementos y así obtener los datos en los puntos más alejados y de mayor profundidad. Se utilizó un adaptador o unión especial para los dos diferentes elementos que conforman el termopar. Se realizaron las pruebas en el laboratorio para verificar que el elemento de medición funcionara dentro de los parámetros permisibles y aceptables.

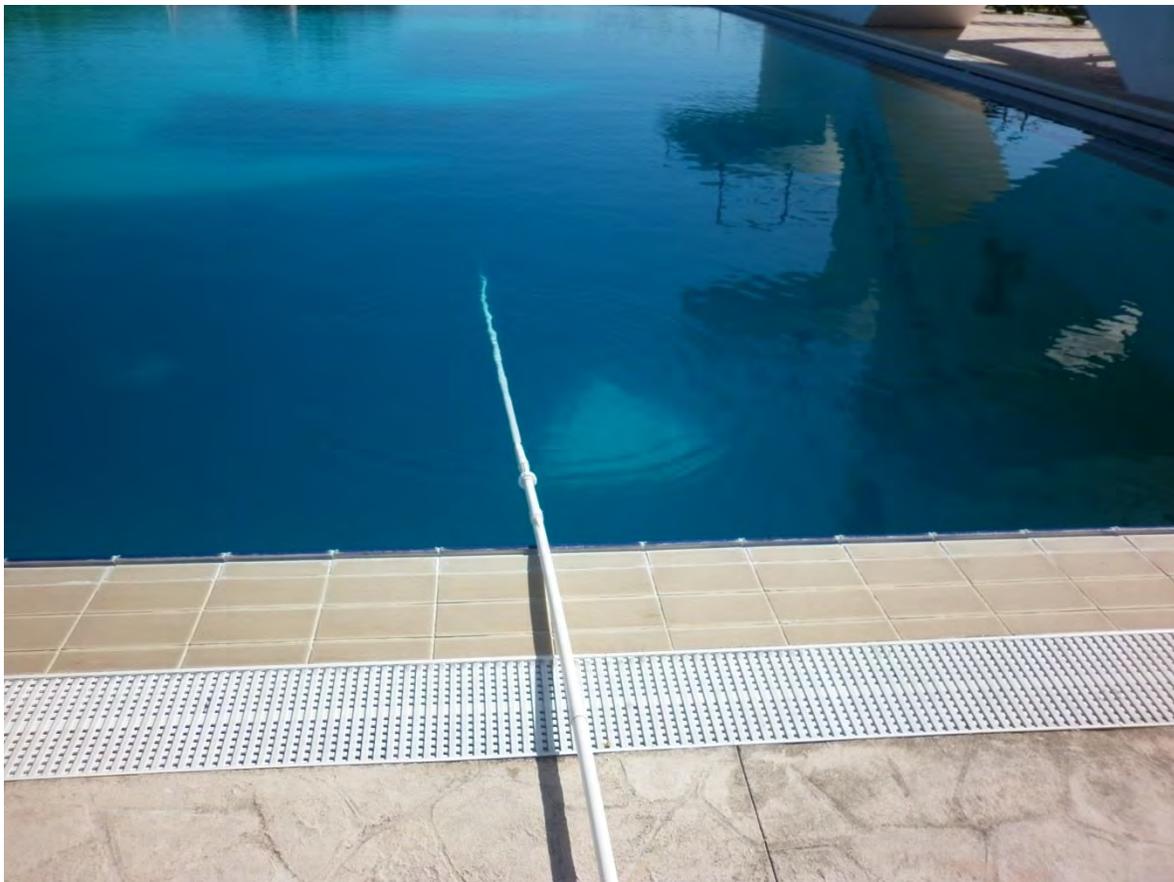
Se procedió a encofrar el termopar en un tubo de PVC de  $\frac{3}{4}$  de diámetro para darle rigidez y mantenerlo fijo para poder manipularlo con facilidad, ya que el cable por sí Solo no se puede mantener en una posición donde se lo requiera. Se sellaron las secciones donde se encuentra la unión de los elementos: termopar y la extensión; como en algunos lugares se requiere hasta 14 metros para hacer el registro y medición se procedió a diseñar y perforar la tubería con la finalidad de que se pudiera sumergir, dando con esto una maniobrabilidad en el momento de realizar el registro y medición de las temperaturas.

Para llevar a cabo la extracción de datos de temperatura de la fosa de clavados y debido a las condiciones de uso, así como los dispositivos y herramientas, se determinaron Solo 6 zonas de medición, con el fin de conocer la temperatura que hay y a diferentes

profundidades. En las zonas de mayor profundidad se hace difícil el manejo del termopar extra largo y se lleva un tiempo considerable en desplazarlo y colocarlo hasta el punto donde se requiera tomar la lectura de forma correcta y estable.

Para la medición también se empleó un multímetro digital esteren modelo: MUL-100.

Los datos recabados sirvieron para determinar la temperatura que puede alcanzar el agua si no se le suministra calor, los puntos de medición se diseñaron para saber cómo se comporta la temperatura con la profundidad y poder determinar en un futuro próximo los puntos ideales para colocar los sensores de calor para saber la temperatura real del agua en los puntos más críticos.



*Figura 16.- Colocación del dispositivo de medición térmica (termopar tipo J) para hacer las mediciones de temperatura que se encuentra dentro de la tubería de PVC. [30]*

### 3.6.- Secciones de muestreo para la medición de temperaturas en la fosa.



*Figura 17.- Áreas del complejo, 1.- Fosa de Clavados, 2.- Cuarto de Máquinas, 3.- Oficinas Administrativas, 4.- Plataforma de Clavados. [31]*



Figura 18.- Perspectiva inferior izquierda de la fosa de clavados, al nivel del piso. [32]

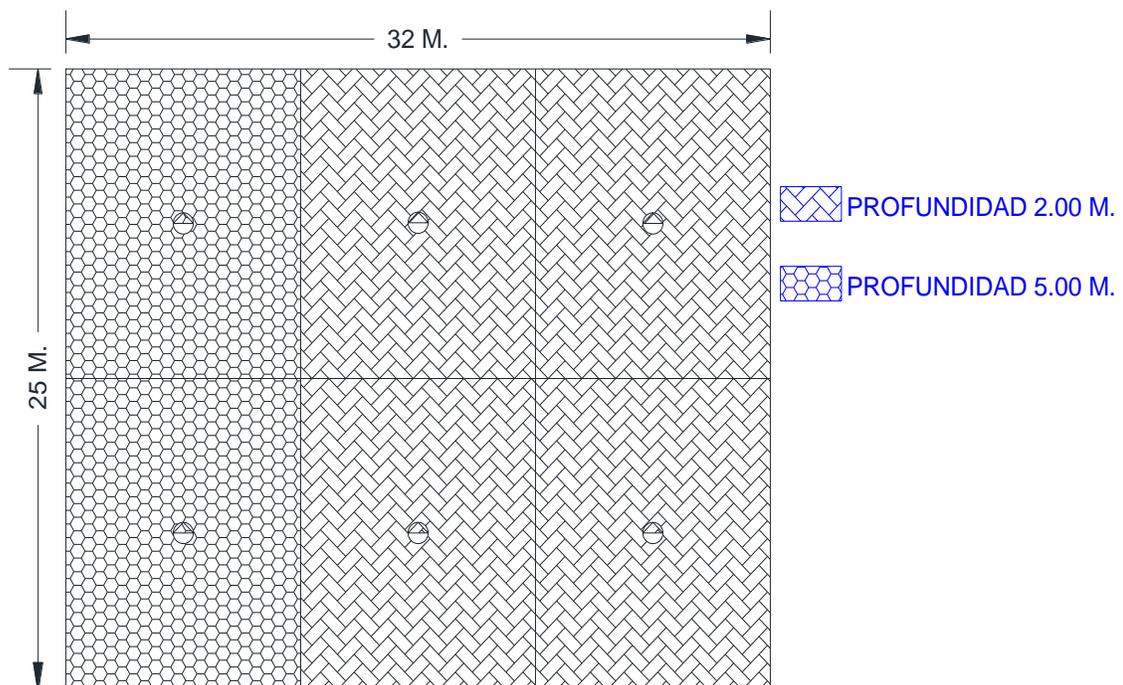


Figura 19.- Distribución de los puntos seleccionadas en donde se realizaran las mediciones de temperatura en la fosa. [33]

### 3.7.-Consideraciones de los datos de temperatura de la fosa.

En las zonas de 2 m se tomaron a un metro de profundidad las lecturas; dos a 2 m y 2 a 4.5 m siendo las 6 lecturas y en la zona de 5 metros se tomaron 2 lecturas más para el análisis de ganancias y pérdidas térmicas por convección forzada.

Para llevar a cabo el registro de los datos de temperatura se determinó hacer las mediciones cada 3 horas durante todo un día a la semana por un periodo de 3 meses; se estableció que se analizara en los meses de menor temperatura para establecer las condiciones críticas y así poder determinar la máxima demanda energética.

Debido a las diferentes profundidades que presenta el perfil del fondo de la fosa la temperatura no es la misma a mayor profundidad por lo cual Su comportamiento en las diferentes zonas la demanda de calor es mayor en las áreas de mayor volumen de agua, por lo que se debe determinar las necesidades de energéticas requeridas de cada zona.

Para el estudio, análisis y observación de las condiciones climáticas (temperatura ambiente, velocidad del aire e irradiación Solar) se tomaron datos del centro meteorológico de la Universidad de Quintana Roo ubicada en el taller de ingenierías.

### 3.8.-Calculo de longitud del termopar.

Tabla 4.- Datos del material utilizado para llevar a cabo las mediciones. [34]

| Simbología | descripción                              | Valor                    |
|------------|--|--------------------------|
| R          | resistencia total del termo par $R_{TK}$ | $1 < 100 \Omega$         |
| D          | distancia                                | $5.984 \Omega/\text{ft}$ |
| 1 ft       | Un feet                                  | 0.30480 m.               |

$$L \text{ max} = R / D = \Omega / \Omega \times D. \quad (3.1)$$

$$L \text{ max} = 100 \Omega / (5.984 \Omega/\text{ft}) = 16.71 \text{ ft}$$

$$L \text{ max} = (16.71 \text{ ft}) (0.3048 \text{ m}/1 \text{ ft}) = \underline{5.09 \text{ m}}$$

Se utilizó una extensión especial del termopar para tener una distancia de 7 metros más y se empalmo con unas conexiones especiales para evitar fallas en las lecturas de datos. La distancia extra de 7 metros se diseñó y considero para poder tomar los datos de temperatura en los lugares distantes de la orilla, el centro de la fosa, así como en la sección más profunda que tiene más de 5 metros.

También se utilizó un lector de termopar que básicamente fue un multímetro digital en el cual se le puede adaptar una entrada donde reconoce y despliega la lectura de medición en el display con un decimal de aproximación.

# Capítulo 4

## Cálculos de consumo de energía y dimensionamiento de los calentadores Solares planos

#### 4.1.-Cálculos para el diseño de los calentadores Solares.

En esta sección estableceremos los parámetros de cálculo para el consumo energético de la fosa, de acuerdo con los parámetros del clima que predominan en la ciudad de Chetumal, así como las ecuaciones que nos brindaran resultados concretos.

##### 4.1.1-Temperatura de equilibrio de Volúmenes de agua.

El volumen de agua necesario para calentar es de 1000 m<sup>3</sup> y mezclarse con los 2000 m<sup>3</sup> restantes para tener una temperatura de 28° C, esta temperatura es importante para fosas de este tipo, los atletas y personas que la usan se agotan menos.

Tenemos el volumen total de la fosa el cual es de 3000 m<sup>3</sup> que serían 3x10<sup>6</sup> litros de agua. El valor del calor específico del agua se puede consultar de una tabla para este caso es: 4180 joules.

Entonces la temperatura de equilibrio está dada por la sig. Ecuación:

$$m_1 \times C_1 \times (T_1 - T_{equi}) = m_2 \times C_2 \times T_{equi} - T_2 \quad (4.1)$$

$$1,000 \text{ m}^3 \times 4180 \times (38^\circ\text{C} - T_{equi}) = 2,000 \text{ m}^3 \times 4180 \times (T_{equi} - 24^\circ\text{C})$$

$$1,000 \text{ m}^3 \times (38^\circ\text{C} - T_{equi}) = 2,000 \text{ m}^3 \times (T_{equi} - 24^\circ\text{C})$$

$$38,000 \text{ m}^3 \cdot ^\circ\text{C} - 1,000 \text{ m}^3 \cdot T_{equi} = 2,000 \text{ m}^3 \cdot T_{equi} - 48,000 \text{ m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$86,000 \text{ m}^3 \cdot ^\circ\text{C} = 3,000 \text{ m}^3 \cdot T_{equi}$$

$$T_{equi} = 84,000 \text{ m}^3 \cdot ^\circ\text{C} / 3,000 \text{ m}^3$$

$$T_{equi} = 28.00 \text{ }^\circ\text{C}.$$

En la siguiente tabla se puede apreciar los diferentes cálculos, si la temperatura 1 (T<sub>1</sub>) cambia con un volumen<sub>1</sub> constante, la T<sub>1</sub> puede variar en función de la temperatura 2 (T<sub>2</sub>) con volumen 2.

Con estos datos podemos determinar: la cantidad de energía en °C del agua en el volumen 1000 m<sup>3</sup> para mezclarse con el agua fría del volumen de 2000 m<sup>3</sup> y obtener una temperatura homogénea de 28 °C.

Tabla 5.- Cálculos de varias temperaturas a volumen y flujo constante.[35]

| Volumen1            | T1 (°C) | Volumen 2 | T2 (°C) | Equilibrio |
|---------------------|---------|-----------|---------|------------|
| 1000 m <sup>3</sup> | 44      | 2000 m3   | 20      | 28         |
| 1000 m <sup>3</sup> | 42      | 2000      | 21      | 28         |
| 1000 m <sup>3</sup> | 40      | 2000      | 22      | 28         |
| 1000 m <sup>3</sup> | 38      | 2000      | 23      | 28         |
| 1000 m <sup>3</sup> | 36      | 2000      | 24      | 28         |
| 1000 m <sup>3</sup> | 34      | 2000      | 25      | 28         |
| 1000 m <sup>3</sup> | 32      | 2000      | 26      | 28         |
| 1000 m <sup>3</sup> | 30      | 2000      | 27      | 28         |

#### 4.1.2- Cálculo de tiempo de circulación.

Se calculará el tiempo de recirculación para determinar el tiempo que se requiere para alcanzar la temperatura de 28 °C. Así como el caudal máximo que puede llevar la tubería de 200 mm. Con una presión de 2.1 kg/cm<sup>2</sup>, esto nos indicará los tiempos de bombeo para mantener la temperatura constante del agua y también los procesos de limpieza y mantenimiento.

El volumen que se necesita para la mezcla es 1000 m<sup>3</sup> en un tiempo de mezclado de una hora, por lo tanto, aplicamos la ecuación de continuidad de Bernoulli obteniendo que el Gasto (Q) es igual al área de la sección (A) por la velocidad del fluido (V).

$$Q = A \times V \tag{4.2}$$

Se divide el volumen entre el tiempo de 3600 s (1 hora), cabe mencionar que el tiempo considerado es el necesario para lograr una mezcla homogénea de la temperatura, dando como resultado un valor de 0.277 m<sup>3</sup>/s

Para el cálculo del área de la sección del tubo, tenemos que el área (A) es igual a  $\pi$  (pi) por el diámetro al cuadrado, el resultado se divide entre cuatro.

$$A = (\pi \times D^2)/4 \tag{4.3}$$

Se calculará el área en metros cuadrados por lo que el dato utilizado es 0.20 metros, dando como resultado *un valor de 0.031416 m<sup>2</sup>*

Calculando la velocidad

$$V = \frac{Q}{A} \quad (4.4)$$

Tenemos que  $V = 0.27777 / (0.03141)$ , dando como resultado que la Velocidad es 8.8436 m/s

Esta velocidad y tiempo es considerada ideal para evitar tener problemas de alta presión que podrían dañar la tubería debido a la sección transversal y material del tubo, pero si se requiere menos tiempo para homogenizar el balance de masas y tener una temperatura rápidamente hay que verificar que la tubería soporte la presurización al aumentar la velocidad de bombeo.

#### 4.1.3.- Consumo energético de la fosa.

Para determinar la energía necesaria para calentar el volumen total de agua usada para la fosa de 24°C hasta la temperatura de 28°C (por el confort), se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = m \times C \times (T_i - T_f) \quad (4.5)$$

Donde:

Q= es la cantidad de calor entregada o recibida por un cuerpo (Kcal)

m= es la masa del cuerpo (Kg)

C= es el calor específico de la sustancia (Kcal/Kg.°C)

T<sub>i</sub>= Es la temperatura inicial del cuerpo (°C)

T<sub>f</sub>= Es la temperatura final del cuerpo (°C)

Considerando que se calentará agua desde 24°C hasta 28 °C, la energía requerida por cada kilogramo de agua es:

$$m = 3 \times 10^6 \text{ litros} = 3 \times 10^6 \text{ Kgm} = 3000 \times 1000 \text{ litros} = 3 \times 10^6 \text{ litros.}$$

$$T_i = 24 \text{ °C}$$

$$T_f = 28 \text{ °C}$$

$$C = 1 \text{ Kcal/kg.°C}$$

$$Q = m.Ce.\Delta T ^{\circ}$$

$$Q = 3 \times 10^6 \text{Kg.} (1 \text{ Kcal/Kg.}^{\circ}\text{C}). (28 ^{\circ}\text{C} - 24 ^{\circ}\text{C})$$

$$Q = 3 \times 10^6 \text{Kg.} (1 \text{ Kcal/Kg.}^{\circ}\text{C}). 4 ^{\circ}\text{C}$$

$$Q = 12,000,000.0 \text{ Kcal ; es el calor sensible agregado.}$$

El resultado anterior se convierte a Watts teniendo como resultado = **13.956 MW-h.**

Este valor corresponde a la energía consumida si se emplearan calentadores eléctricos, pero si se mantiene la temperatura del agua las 12 horas estable y por los 365 días del año se obtendría un consumo anual de aproximadamente:

61,127.28 MW/año.

Del resultado anterior Solo se requiere el 30% de la energía requerida, se recordará que se cuenta con equipos eléctricos instalados y el objetivo es alcanzar una reducción del 30% del consumo total para hacerlo rentable.

Esto es: 61,127.28 MW/año. \* 0.30 =

**18,338.28 MW.** Año (mega watts por año)

Las pérdidas se pueden agrupar en:

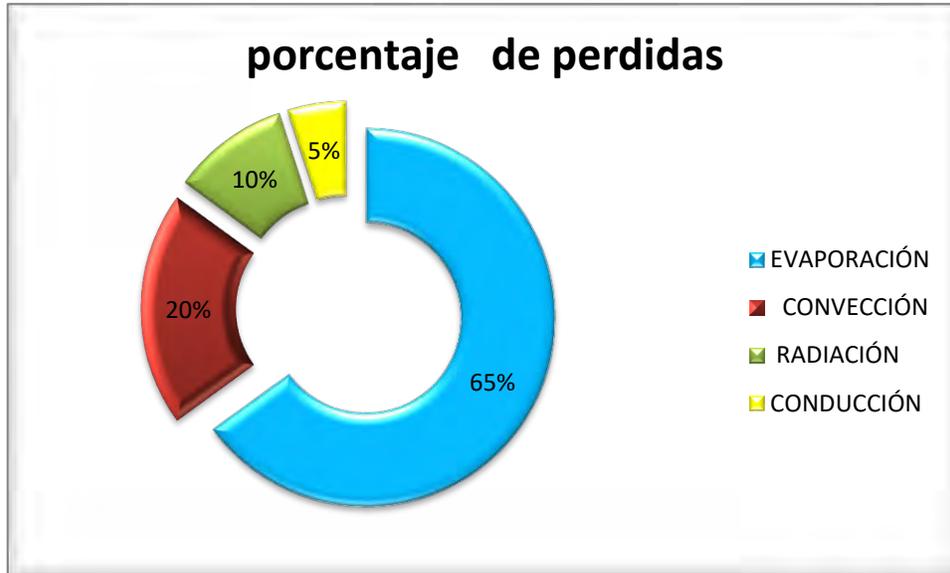
59% al 65% al efecto de EVAPORACIÓN (aumenta con la superficie de la fosa).

15% al 20% por el efecto de CONVECCIÓN (aumenta con el viento exterior).

5% al 10% por efecto de RADIACIÓN (aumenta con el volumen de agua).

1% al 5% por efecto de CONDUCCIÓN (depende de la enterramiento o empotramiento)

Tabla 6.- Tipos y porcentajes de las pérdidas en la fosa.[36]



#### 4.1.4.- Evaporación de agua del vaso

Primero se debe calcular la Masa de agua evaporada (fórmula de Bernier para superficies de agua libres) [37].

$$M_e = 16 * S * (W_e - W_a) \quad (4.6)$$

$$M_e = 16 * 800 * (.024 \text{ Kg(agua/aire)} - 0.0187 \text{ Kg(agua/aire)})$$

$$M_e = 67.84 \text{ Kg/h.}$$

Dónde:

$M_e$  = masa de agua evaporada (kg/h)

$W_e$  = humedad absoluta en saturación a la temperatura del agua de la piscina (kgag/kg)

$W_a$  = humedad absoluta a la temperatura del aire ambiente (kgag/kg)

$S$  = superficie de la lámina de agua (m<sup>2</sup>)

Esta tasa de evaporación se puede considerar prácticamente constante

#### 4.1.5.- Pérdidas de calor por evaporación.

El agua contenida en la superficie del vaso o estanque de la piscina está expuesta a un proceso de evaporación, es decir, existen pérdidas de calor que es una pérdida de energía que debe ser determinada. Las pérdidas de calor por evaporación  $Q_e$  en W/m<sup>2</sup> se calculan de la siguiente forma [37].

$$Q_e = M_e * C_{lat} * 24^* \quad (4.7)$$

$$Q_e = 67.84 \text{ Kg/h} * 676.1111 \text{ Wh/Kg} * 24 \text{ h.}$$

$$Q_e = 1100.82 \text{ KW-dia}$$

Donde:

$M_e$  = masa de agua evaporada (kg/h)

$C_{vap}$ : Es el calor latente de evaporación que para el caso del agua es 676.1111 Wh/Kg

Tabla 7.-Humedad absoluta del aire saturado.[37a]

| T °C | Humedad absoluta:<br>W (Kg AGUA / Kg AIRE) |
|------|--|
| 20   | 0,0147                                     |
| 21   | 0,0155                                     |
| 22   | 0,0165                                     |
| 23   | 0,0177                                     |
| 24   | 0,0187                                     |
| 25   | 0,0200                                     |
| 26   | 0,0213                                     |
| 27   | 0,0225                                     |
| 28   | 0,0240                                     |
| 29   | 0,0255                                     |
| 30   | 0,0270                                     |

#### 4.1.6.- Pérdidas o ganancias de calor por radiación.

Las pérdidas o ganancias de calor por radiación, es la que se gana por influencia del Sol, por estar ubicada la fosa de clavados al aire libre. Para dicho cálculo de las pérdidas que el vaso de la piscina por radiación se utiliza la fórmula de Stefan-Boltzmann. Estas dependen de la diferencia entre la temperatura media del agua y de los cerramientos (superficie de contacto libre con el aire). En verano las perdidas serán negativas. Esta pérdida es denominada  $Q_r$ , sus unidades son en W. Este valor se calcula de la siguiente forma [37].

$$Q_r = S * \sigma * \varepsilon * (T_{ag}^4 - T_s^4) \quad (4.8)$$

$$Q_r = 800 \text{ M}^2 * 5.67 \times 10^{-8} * 0.95 * (301.15 \text{ }^\circ\text{K} - 297.15 \text{ }^\circ\text{K})$$

$$Q_r = 18.458 \text{ MW.}$$

Donde:

$S$ =superficie de la lámina de agua.

$\sigma$  :  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}$  es la constante de Stefan-Boltzman.

$\varepsilon$  : 0,095 es la emisividad del agua.

$T_{ag}$  : La temperatura del agua.

$T_s$  : Es la temperatura de la superficie que forma el cerramiento en °K(temp. Ambiente)

#### 4.1.7.- Pérdidas o ganancias de calor por convección.

Las ganancias de calor por convección ( $Q_c$ ) tienen unidades en  $W/m^2$  y se calcula de la siguiente forma [37].

$$Q_c = h \times S \times (T_a - T_{ag}) \quad (4.9)$$

Donde:

$T_a$ : Es la temperatura del aire.

$T_{ag}$ : Es la temperatura del agua.

$h$ : Es el coeficiente de calor por convección en  $65 W/m^2 \cdot ^\circ K$

$S$ =superficie de la mina de agua.

$$Q_c = 65 W/m^2 \cdot ^\circ K \times 800 m^2 (297.15 ^\circ K - 301.15 ^\circ K)$$

$$Q_c = -208 \text{ KW.}$$

#### 4.1.8.- Pérdidas de calor por conducción.

Las pérdidas de calor por conducción a través de las paredes y muros  $Q_{cond.}$  en  $W/m^2$  se calcularán con la siguiente fórmula:

$$Q_{cond} = \frac{K \times S_p (T_{ag} - T_{ex})}{S} \quad (4.10)$$

$$Q_{cond} = \frac{0.31 \times 1232.23 (300.15 - 297.15)}{800}$$

$$Q_{cond} = 1.43 W/m^2$$

Donde:

$K$ : Es el coeficiente de transmisión de calor de muros en  $W/m^2 \cdot ^\circ K$ ,

$S_p$ : Es la superficie de las paredes del vaso.

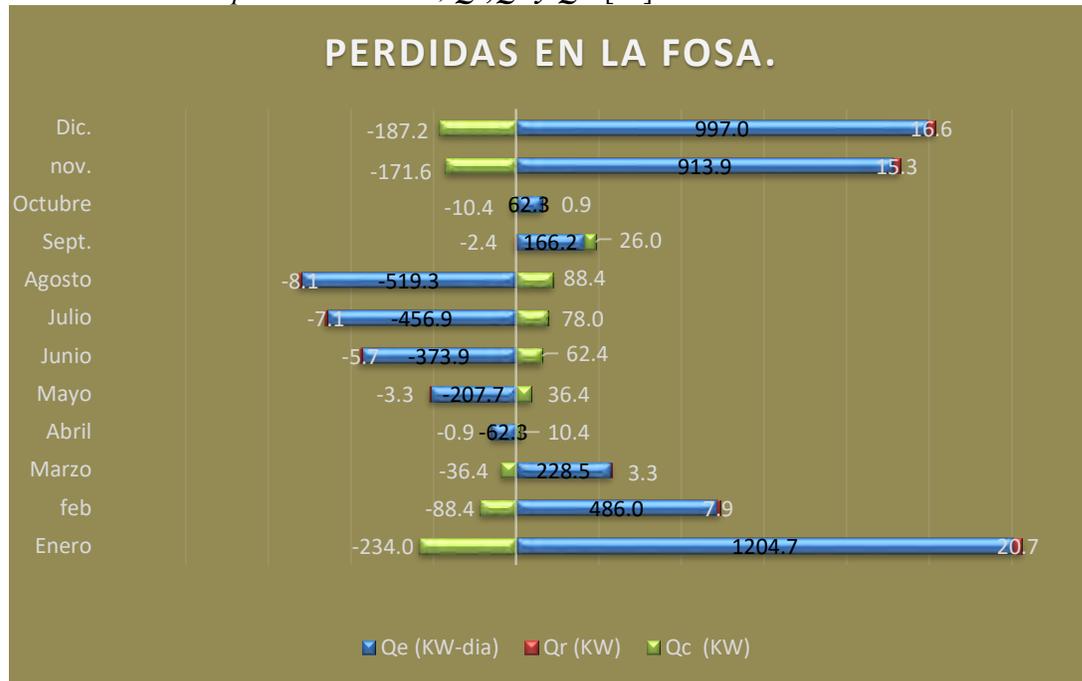
$T_{ex}$ : Es la temperatura exterior a las superficies que forman el vaso en °K

$S$ : Es la superficie descubierta.

Con los datos anteriores es posible determinar el consumo total de la fosa de clavados.

Para mantener la temperatura del agua hay que recuperar el calor que la piscina pierde a largo de la jornada (en especial, durante las horas nocturnas, más frías).

Tabla 8.- Tabla de pérdidas de calor,  $Q_e, Q_c$  y  $Q_r$ . [38]



#### 4.2.-Datos y cálculo para dimensionar los colectores o calentadores Solares planos.

- Altura, 4 m s.n.m. con temperaturas promedio por año de 26.4°C en Chetumal.

- Largo de la piscina: 25 m.

- Ancho de la piscina: 30 m.

- Profundidad promedio: 4 m.

- Posición de la piscina: abierta

- Protección contra el viento: mínima

- Sistema bombeo existente: 2 x 5 HP

- Temperatura del agua de la piscina sin calefacción: 24 °C.- 26°C

- Sistema de calefacción existente: ninguno

- Temperatura deseada: 26° a 28°C

- Radiación Solar por día promedio por año: 4.6 kWh/m<sup>2</sup>

4.2.1.- Estimación de la pérdida de energía calorífica por noche con temperatura del agua de 28°C:

4.2.2.- Demanda energética (De) por día:

Volumen de la piscina:

$$25 \text{ m} \times 30 \text{ m} \times 3.75 \text{ m} = 3000 \text{ m}^3$$

Pero Solo calentaremos un tercio del volumen total esto es 1000 m<sup>3</sup>

$$De = V \times Ft \times Dt \tag{4.11}$$

Donde:

V= volumen

Ft= Factor térmico.

Dt=diferencial de temperatura.

$$De = 1000\text{m}^3 \times 1.163 \times 1.7^\circ\text{K} = 1977.1 \text{ KW/H.}$$

4.2.3.-Determinación de área necesaria de colectores Solares:

Rendimiento sistema Solar (n): 50 %, Área neta por colector: 4.5m<sup>2</sup>

$$A = \frac{De}{RaS \times ReS} \tag{4.12}$$

Donde:

De= Demanda energética

RaS= Radiación Solar

ReS= Rendimiento sistema Solar

$$A = (1977.1 \text{ kwh/día}) / (4.6 \text{ kwh/m}^2 / \text{día} \times 0.5) = 859.609 \text{ m}^2$$

#### 4.2.4.- Número de colectores necesarios:

$$N_c = A \div A_{co} \quad (4.13)$$

Donde:

$N_c$ =número de colectores.

$A$ = superficie necesaria de los colectores.

$A_{co}$ = área del colector

$$N_c = 859.609 \text{ m}^2 / 4.5 \text{ m}^2 = 191.00 \text{ colectores a } 4.5 \text{ m}^2$$

#### 4.2.5.- Circuito Solar de colectores.

Distancia entre colectores y las bombas: 140 m.

#### 4.2.6.-Determinación del diámetro de los tubos principales.

Caudal necesario para 574 colectores:

$$191 \text{ Colectores} \times 18.92 \text{ LPM/Colector} = 3613.72 \text{ LPM}$$

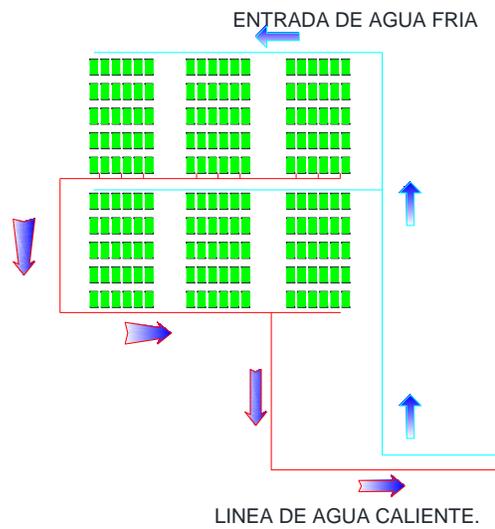
Del cálculo anterior obtenemos que el diámetro de la tubería de PVC será de: 4" SDR 26, en el mercado existen varias marcas y modelos de tuberías para agua, esta es solo un ejemplo.

#### 4.3.- Diseño Del Arreglo Del Panel De Colectores.

Se diseñó el arreglo de 6 columnas por 6 filas de colectores quedando cada panel de 36 colectores (cada cuadro verde) y 6 paneles dando un total de 216 colectores como se muestra en la figura No. 20. El cálculo nos arroja 210 colectores, pero como no podemos descompletar un panel se agrega una fila más de 6 colectores quedando completo el arreglo

Con esto se garantiza que el volumen de agua caliente pueda mezclarse con el volumen de 1000 m<sup>3</sup> de agua fría y obtener una temperatura de confort de 28 °C la cual se recomienda para el uso de las actividades propias de la fosa de clavados.

Para este arreglo y cualquier otro similar utilizando el número de colectores a utilizar se considerará una superficie de 6500 m<sup>2</sup> para tener el arreglo con una distribución adecuada.



*Figura 20.-Distribución del arreglo de 6 x 6 módulos dando 7 paneles de los calentadores Solares planos.[39]*

# Capítulo 5

## Observación Técnica Final De Operación

### 5.1.- Conclusiones técnicas en la operación de los equipos de bombeo.

Tomando en cuenta que las dos bombas de 5 HP están trabajando 20 horas diarias los 6 días de la semana y el domingo 6 horas para mantenimiento. Las bombas actuales quedarían muy por debajo de nivel de servicio.

Si en el proceso de adaptación del sistema que se propone para el ahorro de energía eléctrica, la instalación de los calentadores Solares planos se tendría que instalar equipos de bombeo más eficientes y con el nivel de servicio proporcional al que se le demande el bombeo necesario para hacer el sistema híbrido.

Establecer los tiempos de bombeo de agua caliente para alcanzar la temperatura ideal en la fosa y mantener la temperatura homogénea durante el día cuidando que no descienda más de dos grados la temperatura de acuerdo con la norma que es de 27° C para las piscinas y unidades deportivas acuáticas. Dependiendo del mes y día, así como las condiciones meteorológicas podemos hacer una pequeña referencia para tener un indicador que nos permita determinar el tiempo de mezclado del agua caliente con el agua fría.

Disponer de datos, sensores de temperatura y humedad de las zonas de la fosa. Como se decía anteriormente los equipos funcionan de distinta manera dependiendo de la época del año. Una manera de gestionar la energía de forma eficiente es cambiando las consignas de funcionamiento de los equipos dependiendo de la época del año. Para poder realizar esto se debe conocer la climatología de la zona y de esa manera con unos buenos sistemas de control y sistemas automáticos el equipo funcionará de acuerdo a unas condiciones que de antemano ya se han previsto.

Este tipo de medidas deberían ser el punto de partida de cualquier auditoría energética ya que hay muchas medidas de ahorro que solo se pueden calcular si se sabe el comportamiento real del equipo.

En el tiempo que se recabaron los datos de los equipos instalados se observó lo siguiente: las piezas de los equipos de bombeo se encontraban dañados por la acción corrosiva del cloro el cual daña las partes metálicas y los equipos no aptos para esa exposición se dañan con facilidad, se debería considerar cambiar por otros que puedan resistir el cloro disuelto en el agua.

Con el fin de no depender al 100% del uso de calentadores eléctricos, los cuales consumen una parte de energía eléctrica y la mayor parte se consume por el trabajo de las bombas de recirculación para el mantenimiento y limpieza del agua; y si esa energía se ahorrara se podría invertir en otro rubro.

## 5.2.- Recomendaciones Finales.

La fosa puede ser adaptada para que pueda ser un sistema híbrido Solar-eléctrico de tal forma que pueda promover el uso de la calefacción Solar para otras aplicaciones en las viviendas y que se exijan en las viviendas del área.

Durante la investigación y la obtención de datos se detectaron algunos problemas propios del sistema de bombeo en la recirculación del agua que es parte del mantenimiento de la fosa, el cual consiste en que las bombas que se tienen instaladas son pequeñas para bombear el agua y tarda un periodo de tiempo de dos a tres horas, dependiendo de la temperatura inicial del agua. En el tiempo y proceso de realizar la mezcla homogénea, este puede tener pérdidas mínimas y máximas de energía al llevarse a cabo la mezcla homogénea, hasta alcanzar la temperatura deseada. Todo esto de las pérdidas lo determinara las condiciones del clima predominantes de la zona.

Una de las bombas ya se encuentra dañada por el uso y el cloro disuelto en el agua le daña las partes de metal, debido a que este modelo de equipo no resiste la acción corrosiva del cloro y solo está funcionando un equipo, por lo que se recomienda cambiar los equipos de bombeo. Esto es mucho trabajo que desempeña los motores por lo que se propone unas bombas de capacidad mayor para este caso una de 7.5 hp con variador para lograr la efectividad de desempeño óptimo y con esta propuesta mejorar las condiciones de trabajo del sistema así como aumentar el caudal con el fin de reducir el tiempo de mezclado del agua caliente y agua fría. También es importante tener una bomba en stock para poder cambiarla en el caso de que una de las dos falle o se dañe, ya que las partes de metal se corroen por la acción corrosiva del cloro mezclada en el agua.

Para hacer más efectivo el trabajo de limpieza y mantenimiento, así como para el balance masas y llegar al equilibrio de la temperatura del agua.

Se requiere la instalación de dispositivos como sensores de temperatura, manómetros de presión, manual de operación de las tuberías y periodos de bombeo, para el óptimo rendimiento de y efectividad del sistema. Esto ayudará y garantizará con precisión cuando el agua de la fosa estará a la temperatura ideal de 27° C, elaborar los diagramas de recirculación para efectuar con facilidad el manejo de válvulas y equipos, con esto poder automatizar la limpieza y mantenimiento del agua de la fosa.

Identificar las tuberías de agua de acuerdo a su temperatura con los códigos correspondientes y los diagramas de flujo.

Es importante contar con área para la instalación de los colectores Solares para el desarrollo del mismo sistema.

También se recomienda pintar las tuberías con los colores reglamentarios para identificarlas con mayor facilidad, poner una flecha para saber la dirección de flujo. De igual manera colocar el diagrama de tuberías e instalación eléctrica que debería estar visible para el operador.

# Anexos.

### 6.1.- Reforzamiento académico con software.

Como parte del desarrollo de aprendizaje se requirió del apoyo de un software del **CENSOLAR (Centro de Estudios de la Energía Solar)** es un Centro exclusivamente dedicado a la formación técnica en energía Solar, tanto térmica como fotovoltaica, mediante la enseñanza en presencia y a distancia, utilizando métodos desarrollados expresamente para alcanzar este objetivo. Y se requirió utilizar el software que proporciona dicho instituto. El software se denomina CENSOL VERVION 5.0 © PROGENSA, 2006. [40].



Figura 21.- caratula de inicio Menú Principal Software CenSol 5. [41]

Esta herramienta académica se utilizó como opción para comprobación de los cálculos realizados en el presente trabajo, y se realizaron diferentes escenarios y diferentes escenarios de instalaciones, físicas y climáticas para comprobar las curvas de comportamiento de consumo energético Solar.

## 6.2 Apoyo fotográfico de las instalaciones.



*Figura 22.- Vista del lado derecho las conexiones de los calentadores eléctricos, al fondo del lado izquierdo la caja de regulación de agua y las bombas de agua. Fuente propia*



*Figura 23.- Vista del ángulo del lado izq. Los filtros de arena así como las conexiones que vienen de las bombas, al fondo la caja de regulación. Fuente propia*

### 6.3.- Norma -008-AMBT-2005 del Distrito Federal.

Claudia Sheinbaum Pardo, Secretaria del Medio Ambiente del Distrito Federal, con fundamento en los artículos 1º, 2º, 15 fracción IV, 16 fracciones I, II y IV, 26 fracciones, I, III, IV y IX y X de la Ley Orgánica de la Administración Pública del Distrito Federal; 6 fracción II, 9 fracciones IV, VII, XXVII, XLII, XLVI y XLVII, 36 fracción I, 37, 38, 39, 40, 41, 123 y 151 de la Ley Ambiental del Distrito Federal, ordena la publicación de la Norma Ambiental para el Distrito Federal “que establece las especificaciones técnicas para el aprovechamiento de la energía Solar en el calentamiento de agua en albercas, fosas de clavados, regaderas, lavamanos, usos de cocina, lavandería y tintorería”, la publicación se ordena una vez publicadas en la Gaceta Oficial del Distrito Federal, las respuestas a los comentarios ingresados durante la consulta pública del Proyecto de Norma

PROY-NADF-008-AMBT-2005, publicado el 26 de octubre de 2005, en la Gaceta Oficial del Distrito Federal.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] <http://www.fmn.org.mx/w/esp/reglamentos-deportivos/fmn/reglamento-de-normatividad-tecnico-administrativa-690>
- [2] <http://www.phy6.org/stargaze/Msun7eng.htm>
- [3] [https://es.wikipedia.org/wiki/Constante\\_Solar](https://es.wikipedia.org/wiki/Constante_Solar).
- [4] [http://www.monografias.com/trabajos65/radiacion-Solar/radiacion-Solar\\_image002.jpg](http://www.monografias.com/trabajos65/radiacion-Solar/radiacion-Solar_image002.jpg)
- [5] <https://radiacionSolarblog.wordpress.com/2016/05/17/radiacion-Solar>
- [6] [http://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/energia/img/sol-fuente-basica2.gif](http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/energia/img/sol-fuente-basica2.gif)
- [7] <http://petioncienciasdelatierra.blogspot.mx/2013/06/radiacion-solar-en-el-planeta-tierra.html>
- [8] <http://petioncienciasdelatierra.blogspot.mx/2013/06/radiacion-solar-en-el-planeta-tierra.html>
- [9] <http://www.ambientum.com/enciclopedia/energia/4.01.18.06/4.01.18.06.htm>
- [9A] Yunus A. Cengel (2007), **Transferencia de calor y masa: Un enfoque práctico**. 3<sup>a</sup> Ed. México DF; MC Graw-Hill Interamericana.
- [9B] Virgil Moring Faires (2016), termodinámica. 1<sup>a</sup> edición, México DF; Limusa
- [10] [http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/ap03\\_fuentes\\_de\\_energia.php](http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/ap03_fuentes_de_energia.php)
- [11] [https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente\\_de\\_conductividad\\_t%C3%A9rmica](https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_conductividad_t%C3%A9rmica)
- [12] [https://www.ecured.cu/Cuerpo\\_negro](https://www.ecured.cu/Cuerpo_negro)
- [13] <https://cuentos-cuanticos.com/tag/cuerpo-negro/>
- [14 al 16] [https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente\\_de\\_conductividad\\_t%C3%A9rmica](https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_conductividad_t%C3%A9rmica)
- [17] [https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente\\_de\\_conductividad\\_t%C3%A9rmica](https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_conductividad_t%C3%A9rmica)
- [18] <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=1762>
- [19] [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62954/Prospectiva\\_de\\_Energias\\_Renovables\\_2012-2026.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62954/Prospectiva_de_Energias_Renovables_2012-2026.pdf)
- [20] <http://www.paot.org.mx/centro/normas/NADF-008-AMBT-2005.pdf>;  
<http://www.cdmx.gob.mx/gobierno/gaceta>
- [21] software gloogle earth 2016.
- [22] Fuente propia

- [23] Fuente propia
- [24] Fuente propia
- [25] Fuente propia
- [26] Fuente propia
- [27] Fuente propia
- [28] Fuente propia
- [29] Fuente propia
- [30] Fuente propia
- [31] Fuente propia
- [32] Fuente propia
- [33] Fuente propia
- [34] Fuente propia
- [35] Fuente propia
- [36] <http://www.esconorte.com.uy/pdf/Folleto%20Piscinas.pdf>
- [37] <https://www.soloingenieria.net/foros/viewtopic.php?t=4554>
- [38] aportación propia.
- [39] aportación propia.
- [40 y 41] <http://antuSol.webcindario.com/cenSol.html>
- [libro biblioteca] [http://www.vaxasoftware.com/doc\\_edu/qui/caloresph2o.pdf](http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/qui/caloresph2o.pdf)