

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**CON MENCIÓN EN “DISEÑO DE MÁQUINAS”**

**Tesis previa a la obtención del  
Título de Ingeniería Mecánica con  
Mención en “Diseño de Máquinas”**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DUAL DE CALENTAMIENTO DE AGUA, POR  
MEDIO DE ENERGÍA SOLAR Y GLP Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA  
CUBIERTA PARA LA PISCINA DE LA HOSTERÍA “LOS JUANES” EN EL  
CANTÓN SANTA ISABEL”**

**AUTORES:**

**Criollo Cumbe Adrián Vicente**  
**Pogo Guamán Álvaro Miguel**

**DIRECTOR:**

**Ing. Fausto Castillo**  
**Cuenca, Junio del 2011**

## DECLARACIÓN

Nosotros, Criollo Cumbe Adrián Vicente y Pogo Guamán Álvaro Miguel, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación personal; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen dentro de este documento escrito.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Criollo Cumbe Adrián Vicente

---

Pogo Guamán Álvaro Miguel

## **CERTIFICACIÓN:**

Certifico que bajo mi dirección los señores **Criollo Cumbe Adrián Vicente** y **Pogo Guamán Álvaro Miguel** desarrollaron el proyecto titulado: **Diseño de un sistema dual de calentamiento de agua, por medio de energía solar y GLP y diseño estructural de la cubierta para la piscina de la hostería “Los Juanes” en el cantón Santa Isabel.**

---

**Ingeniero Fausto Castillo**

**DIRECTOR**

## **AGRADECIMIENTO**

Expresamos nuestros agradecimientos al Gemólogo Modesto Palacios por abrirnos las puertas de la Hostería “Los Juanes” y permitirnos estudiar sus instalaciones para poder realizar este trabajo de investigación.

A nuestro Director de Tesis el Ingeniero Fausto Castillo que con paciencia y sabiduría ha sabido encaminar correctamente el desarrollo de este trabajo, además agradecemos a la Ingeniera Olena Neira y el Ingeniero Paúl Álvarez por brindarnos sus conocimientos en algunos temas dentro del proyecto.

Finalmente agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana, por habernos impartido los conocimientos a través de sus docentes y lograr que nos formemos de la mejor manera dentro de sus instalaciones.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo lo dedico a DIOS, por ser tan generoso conmigo regalándome una familia maravillosa y por ser la guía durante toda mi vida, a mis padres Vicente y Marcia por todo su amor, enseñanzas y apoyo incondicional en lo que me he propuesto, siendo un ejemplo de tenacidad y fortaleza para toda la familia, a mis hermanos Sandra, Fredy y Ceci, por estar siempre conmigo, por su ejemplo y cariño durante los momentos difíciles lo que generó en mí la fuerza y carácter necesarios para alcanzar este objetivo en mi vida, a mis cuñad@s y mis sobrin@s por alegrarnos la vida todos los días los quiero mucho, a mi tío Víctor por ser más que un tío un amigo verdadero, que siempre me ha sabido brindar su apoyo y confianza incondicional. Gracias a todos ustedes por ser parte de este logro, el cual no hubiera sido posible sin su valiosa y generosa ayuda.

*Adrián.*

Dedico este trabajo a la memoria de mis padres ya que ellos aprendí a perseverar y esforzarme por conseguir mis metas; a mis hermanos por todo su apoyo, consejos y cariño que me han brindado, a mi tía Martha por regalarme su apoyo y confianza; a mis amigos y compañeros por brindarme su amistad y vivir experiencias inolvidables y finalmente agradezco a DIOS por regalarme la vida a lado de una familia maravillosa que ha sabido saltar todos los obstáculos y poco a poco cumplir nuestros objetivos.

*Álvaro.*

## INDICE

DECLARACION.....	I
CERTIFICACION.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
DEDECATORIA.....	IV

### CAPITULO I

PRINCIPIOS Y FUNDAMENTOS DE LA ENERGÍA SOLAR Y CALENTADORES DE AGUA A GAS.....	1
<b>1.1. ENERGIA SOLAR.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.1. TRANSFORMACIÓN NATURAL DE LA ENERGÍA.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1.2. CAPTACION DIRECTA DE ENERGÍA SOLAR.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1.3. SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR TERMICA.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1.4. TANQUES DE ALMACENAMIENTO.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1.5. APLICACIONES Y VENTAJAS DE LA ENERGIA SOLAR TERMICA.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2. CALENTADORES DE AGUA A GAS.....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.1. Generalidades.....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.2. Calentadores instantáneos o de paso (Calefones).....</b>	<b>18</b>
<b>1.2.3. Elementos constitutivos.....</b>	<b>18</b>
<b>1.2.3.1. El intercambiador de calor.....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.3.2. Sombrero superior.....</b>	<b>20</b>
<b>1.2.3.3. Tubo venturi y cámara de agua.....</b>	<b>21</b>
<b>1.2.4. DIMENSIONES DEL CALENTADOR.....</b>	<b>22</b>
<b>1.2.4.1. Criterios para seleccionar el calentador apropiado.....</b>	<b>23</b>
<b>1.2.5. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....</b>	<b>23</b>
<b>1.2.5.1. Límites Geográficos.....</b>	<b>24</b>
<b>1.2.5.2. Superficie</b> El cantón Santa Isabel tiene 771.41 Km <sup>2</sup> de superficie siendo el 9.63% del total de la provincia del Azuay que tiene una superficie de 8008.45 Km <sup>2</sup> . ....	<b>24</b>
<b>1.2.5.3. Clima.....</b>	<b>24</b>
CAPITULO II	
INGENIERÍA DEL PROYECTO.....	26

<b>2.1</b>	<b>Diseño del sistema de calentamiento de agua con energía solar.</b>	<b>27</b>
2.1.1	Estado actual de las instalaciones de la hostería.	27
2.1.1.1	Piscina.	27
2.1.1.2	Cuarto de Máquinas.	27
2.1.1.3	Sistema de Recirculación.	27
2.1.1.4	Sistema de Filtrado.	28
2.1.1.5	Sistema de Tuberías y Accesorios.	28
2.1.2.	Descripción del Sistema de calentamiento de agua.	29
2.1.3.	Perdidas de Calor y Variación de Temperatura en la Piscina.	30
2.1.3.1.	Pérdidas por evaporación.	30
2.1.3.2.	Pérdidas por radiación.	31
2.1.3.3.	Pérdidas por Convección.	32
2.1.3.4.	Pérdidas por Conducción.	33
2.1.3.5.	Pérdidas por renovación de agua de la piscina.	34
2.1.3.6.	Cálculo de las pérdidas en el vaso de la piscina.	35
2.1.4.	Diseño del calentador de agua con energía solar.	44
2.1.4.1.	Radiación Solar.	44
2.1.4.2.	Velocidad del Viento.	45
2.1.4.3.	Humedad Relativa.	45
2.1.4.4.	Presión atmosférica, temperatura ambiente y de agua.	45
2.1.4.5.	Balance de Energía del Sistema.	46
2.1.4.6.	Diseño del Colector.	47
2.1.4.6.1.	Descripción del colector.	48
2.1.4.6.2.	Análisis de la radiación solar.	48
2.1.4.6.3.	Análisis de Transferencia de Calor y pérdidas de calor en el colector.	51
2.1.4.6.4.	Cálculo de la transferencia de calor en el colector.	53
2.1.5.	Diseño del Intercambiador.	65
2.1.5.1.	Generalidades de los Intercambiadores de Coraza y Tubo.	65
2.1.5.2.	Configuraciones de flujo.	66
2.1.5.3.	Partes constitutivas.	67
2.1.5.4.	Temperatura Media Logarítmica.	68
2.1.5.5.	Balance de Energía.	69

2.1.5.6.	Cálculos del diseño del intercambiador. ....	70
2.1.6.	Número de colectores para el sistema. ....	76
2.1.7.	Tanque acumulador. ....	77
2.1.7.1.	Dimensionamiento del acumulador. ....	77
2.1.7.2.	Cálculo del aislamiento del acumulador. ....	78
2.1.6	Instalación, operación y mantenimiento. ....	80
2.1.6.1	Instalación de los colectores solares. ....	80
2.1.6.2	Operación y Mantenimiento. ....	83
2.2.	Diseño del sistema de calentamiento de agua con GLP. ....	85
2.2.1	Dimensionamiento del sistema auxiliar. ....	85
2.2.2.	Instalación, operación y mantenimiento del sistema auxiliar. ....	86
2.2.2.1.	Instalación. ....	86
2.2.2.2.	Mantenimiento. ....	88
2.3.	Diseño de las líneas de distribución de agua. ....	91
2.3.1.	Sistema de Conducción. ....	91
2.3.1.1.	Identificación de los sistemas de Conducción. ....	91
2.3.1.2.	Diseño del sistema de recirculación de agua por los colectores solares e intercambiador. ....	92
2.3.1.1.	Curva del Sistema de tuberías. ....	96
2.3.1.2.	Pérdidas por fricción en tuberías y accesorios ....	97
2.3.2.	Sistema de Bombeo. ....	101
2.3.2.1.	Curvas de Funcionamiento ....	101
2.3.2.2.	Punto de Funcionamiento. ....	101
CAPITULO III		
DISEÑO DE LA CUBIERTA .....		105
3.1.	ESTUDIO Y ANALISIS DE LOS FUNDAMENTOS TEORICOS DEL CÁLCULO ESTRUCTURAL. ....	106
3.1.1.	Especificaciones Técnicas de diseño y construcción. ....	106
3.1.2.	NORMAS TECNICAS. ....	107
3.1.3.	CARACTERÍSTICAS DEL ACERO ESTRUCTURAL. ....	108
3.1.3.1.	GENERALIDADES. ....	108
3.1.3.2.	LEY DE HOOKE Y COEFICIENTE DE POISSON. ....	108

3.1.3.3.	EL ACERO.....	110
3.1.4.	CARGAS MINIMAS DE DISEÑO .....	111
3.1.4.1.	CARGAS MUERTAS.....	111
3.1.4.2.	CARGA VIVA.....	113
3.1.4.3.	CARGAS ESPECIALES:.....	113
3.2.	DISEÑO Y CALCULO DE LA ESTRUCTURA.....	117
3.2.1.	ANALISIS DE CARGAS EN LA ESTRUCTURA.....	117
3.2.2.	AREA TRIBUTARIA.....	118
3.2.3.	CALCULO DE LAS CARGAS EN LOS PORTICOS.....	119
3.2.4.	Cálculo de las cargas en los nodos 7 y 3.....	119
3.2.4.1.	Área Tributaria.....	120
3.2.4.2.	Determinación de cargas muertas (D).....	122
3.2.4.3.	Análisis de cargas por viento (W).....	124
3.2.4.4.	Determinación de la carga viva por montaje y mantenimiento (Lr).....	127
3.2.4.5.	Determinación de la carga viva por granizo ó lluvia (S).....	127
3.3.	CALCULO Y DISEÑO .....	128
3.3.1.	BARLOVENTO (NODO 3).....	129
3.3.2.	SOTAVENTO (NUDO 7).....	130
3.3.3.	CALCULO DE LOS NODOS RESTANTES EN EL PORTICO.....	132
3.3.4.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA MEDIANTE EL SOFTWARE SAP 2000.....	133
3.4.	SELECCION DEL MATERIAL DE LA CUBIERTA.....	138
3.4.1.	POLICARBONATO.....	139
3.4.2.	SELECCIÓN DE MATERIALES EN CATALOGOS COMERCIALES.....	140
CAPITULO IV		
SIMULACION DE LOS SISTEMAS DISEÑADOS.....		
		141
4.1.	SELECCIÓN DE SOFTWARE A EMPLEAR.....	142
4.2.	SIMULACION DE LA ESTRUCTURA EMPLEANDO EL SOFTWARE SAP2000.	142
4.2.1	SIMULACION DE LA ESTRUCTURA BAJO LA ACCION DE DIFERENTES TIPOS DE CARGAS.....	144
4.2.1.1.	Análisis bajo la acción de las cargas: muerta, viva, viento, sismo y granizo.	144
4.2.1.2.	Análisis bajo la acción de las cargas: muerta, viento, sismo y granizo. .	145

4.2.1.3	Análisis bajo la acción de las cargas: muerta, viva, sismo y granizo.....	146
4.2.1.4	Análisis bajo la acción de las cargas: muerta, viva, viento, y granizo.....	148
4.2.1.5	Análisis bajo la acción de las cargas: muerta, viva, sismo y viento. ....	149
<b>4.3.</b>	<b>SIMULACION DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL INTERCAMBIADOR DE CALOR. ....</b>	<b>151</b>
4.3.1.	Construcción de la Geometría del Dominio Físico.....	152
4.3.2.	Generación de la malla .....	153
4.3.3.	Definición Física .....	154
4.3.3.1.	Condiciones de frontera.....	155
4.3.4.	Solucionador .....	156
4.3.5.	Post-Procesador.....	157
<b>4.4.</b>	<b>SIMULACION DEL SISTEMA DE TUBERIAS MEDIANTE PIPE FLOW EXPERT. ....</b>	<b>158</b>
<b>CAPITULO V</b>		
	<b>ANALISIS ECONÓMICO .....</b>	<b>166</b>
<b>5.1.</b>	<b>Introducción. ....</b>	<b>167</b>
<b>5.2.</b>	<b>Determinación de costos .....</b>	<b>167</b>
5.2.1.	Costos de inversión.....	167
5.2.1.1.	Materiales de la estructura metálica. ....	167
5.2.1.2.	Materiales de los colectores solares planos. ....	168
5.2.1.3.	Materiales del sistema hidráulico. ....	169
5.2.1.4.	Costo de mano de obra .....	170
5.2.2.	Costos de operación .....	171
5.2.2.1.	Costo por consumo de energía. ....	171
5.2.2.2.	Costo por mantenimiento. ....	172
<b>5.3.</b>	<b>Depreciación .....</b>	<b>172</b>
<b>5.4.</b>	<b>Amortización del préstamo. ....</b>	<b>173</b>
<b>5.5.</b>	<b>Análisis financiero.....</b>	<b>173</b>
<b>5.6.</b>	<b>Flujo de caja .....</b>	<b>175</b>
<b>5.7.</b>	<b>EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO.....</b>	<b>176</b>
5.7.1.	El Valor actual neto (V.A.N.).....	176
5.7.2.	La Tasa interna de retorno (T.I.R.).....	177

<b>5.7.3. Relación beneficio costo (B/C)</b> .....	178
CONCLUSIONES .....	179
RECOMENDACIONES .....	181
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	182
ANEXOS .....	184

## **INTRODUCCION**

Este trabajo de tesis está enfocado al análisis del aprovechamiento de la energía solar, la cual es la principal fuente de energía en el planeta, y su uso brinda beneficios como el ahorro de energías no renovables y por ende favorece a la preservación del medio ambiente. Las energías renovables pueden ser: solar, hidroeléctrica, eólica, geotérmica, mareomotriz, las cuales engloban una serie de fuentes inagotables que presentan una alternativa frente a otras energías tradicionales provocando un impacto ambiental mínimo.

La radiación solar se transforma en calor, cuando es interceptada por una superficie sin embargo no toda la energía que llega a la superficie terrestre puede ser aprovechada, debido a que la intensidad de la radiación solar se reduce por varios factores, entre ellos, la absorción de la radiación en intervalos de longitud de onda específicos por los gases de la atmósfera, por la difusión atmosférica provocada por las partículas de polvo, moléculas y gotas de agua, por reflexión de las nubes y por la inclinación del plano que recibe la radiación.

Este proyecto se lo realiza para la Hostería “Los Juanes”, la cual se encuentra ubicada en el Cantón Santa Isabel de la Provincia del Azuay, en la cual se tiene un clima costanero con una temperatura media anual de 19.5°C.

Se evalúa el uso de colectores solares para el calentamiento del agua de una piscina en base a factores técnicos, económicos e impacto ambiental. La climatización de la piscina se realizará utilizando un sistema solar, en el cual la energía es captada por una serie de colectores y transmitida hacia el agua de un sistema de calentamiento el cual a su vez transfiere dicha energía hacia el agua de la piscina mediante un intercambiador de calor de flujo cruzado, el mismo que se ha diseñado en función de las condiciones en la que trabaja el sistema para mantener la temperatura de confort en la piscina; sin embargo en condiciones climáticas desfavorables se garantizará dicha temperatura mediante el uso de un sistema auxiliar de calentamiento (calefones).

El sistema hidráulico de la piscina está dividido en dos secciones, la principal que comprende la red de tuberías para retornos, fondo de la piscina, trampa de pelos hacia la bomba, filtro de arena e intercambiador de calor y el secundario, el cual abarca la red de distribución hacia los colectores solares, bomba de recirculación, tanque acumulador e intercambiador de calor, este diseño se realizó con el propósito de aprovechar la infraestructura existente y para mejorar el sistema de calentamiento de agua mediante un intercambiador de calor.

Se diseña una estructura metálica que soporta una serie de colectores y una cubierta de policarbonato el cual crea un efecto invernadero para el uso de la piscina, manteniendo un ambiente de confort y reduciendo las pérdidas energéticas del agua de la piscina tanto por convección y evaporación

Los diseños realizados tanto del sistema energético, de tuberías y estructura metálica fueron modelados mediante simulaciones realizadas en software tales como ANSYS CFX, PIPE FLOW, y SAP2000, aplicados a cada tema obteniéndose resultados similares a los diseños previamente establecidos.

Por último se realiza el análisis económico del proyecto en función de los indicadores tales como el VAN, TIR y la relación B/C, indicándonos que el tiempo de retorno de la inversión es a mediano plazo y que el proyecto es factible.

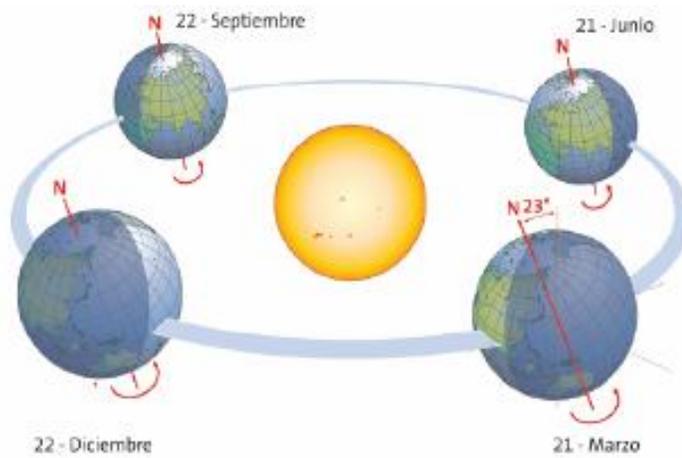
# **CAPITULO I**

**PRINCIPIOS Y FUNDAMENTOS DE LA ENERGÍA  
SOLAR Y CALENTADORES DE AGUA A GAS.**

## 1.1.ENERGIA SOLAR.

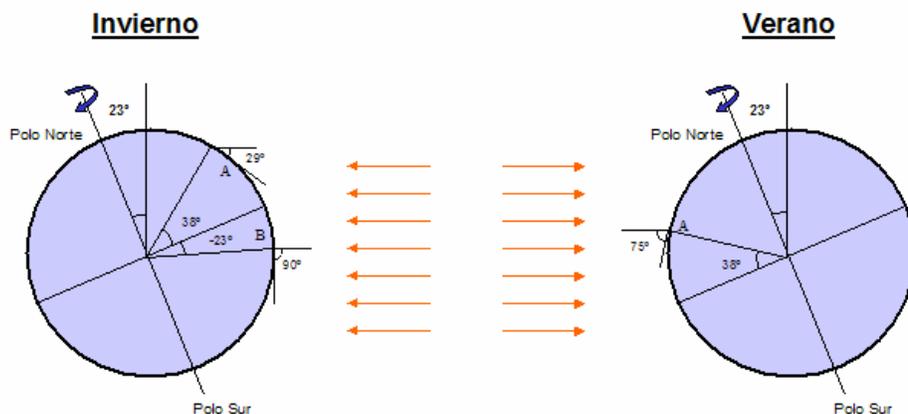
El sol es una fuente de energía no contaminante e inagotable, disponible en diferente medida, en toda la superficie del planeta. Esto significa que la energía se puede generar en el lugar donde se vaya a consumir, sin necesidad de transportarla, reduciendo costos y pérdidas energéticas.

La tierra gira sobre un eje inclinado  $23^\circ$  respecto al plano de giro alrededor del sol. Esto hace que los rayos del sol lleguen a la superficie con ángulo diferente según la latitud y la época del año en la que estemos.



*Fig. 1.1. Trayectoria de la tierra alrededor del sol*

La radiación máxima se produce cuando la superficie sobre la que inciden los rayos, es perpendicular a dichos rayos.



*Fig. 1.2. Ángulo de incidencia de los rayos del sol sobre la superficie terrestre.*

El punto A (latitud 38° Norte), en verano al mediodía solar, recibe los rayos con una inclinación de 75° sobre la superficie, y en invierno con una inclinación de 29°.

El punto B (latitud 23° Sur) recibe en invierno los rayos perpendiculares a la superficie.

El elemento encargado de captar la radiación solar y transformarla en energía útil es el panel solar, pudiendo ser de dos clases: captadores solares térmicos y módulos fotovoltaicos. La energía solar es una de las fuentes de energía que más desarrollo esta experimentado en los últimos años y que más expectativas tiene para el futuro.

El potencial solar de Ecuador está entre los más altos de toda Sudamérica; sin embargo, no podemos olvidar que países como México y Brasil, con menos potencial solar tienen más instalaciones solares en sus edificios y viviendas.

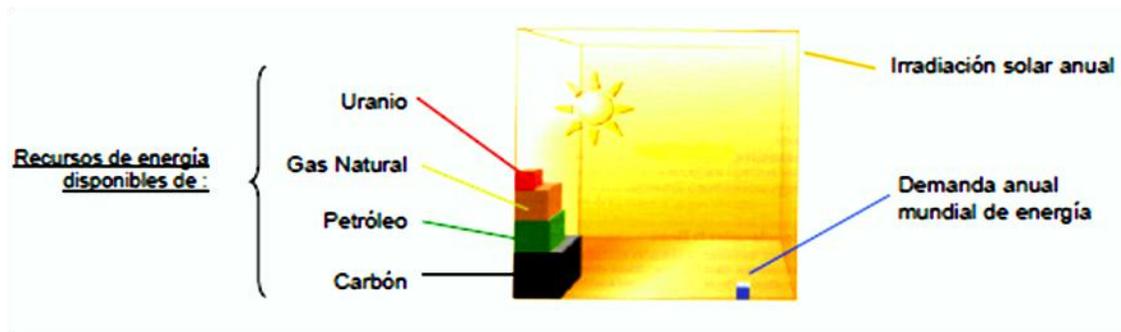
Ahora la energía solar térmica consiste en el aprovechamiento de la energía procedente del Sol para transferirla a un medio portador de calor, generalmente agua o aire. La tecnología actual permite también calentar agua con el calor solar hasta producir vapor y posteriormente obtener energía eléctrica.

Los países más cercanos al Ecuador apuestan por la energía solar, debido a que la radiación del sol en esos países es mucho mayor. El estado de California (EEUU), España, Italia, Grecia, países del Norte de África, Emiratos Árabes Unidos, entre otros, se adentran en proyectos solares fotovoltaicos y termosolares.<sup>13</sup>

La cantidad de energía que el Sol vierte diariamente sobre la Tierra es diez mil veces mayor que la que se consume al día en todo el Planeta, según reporta la empresa española CENSOLAR.

---

<sup>13</sup> [www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/8292385-90.pdf](http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/8292385-90.pdf)



*Fig. 1.3. Irradiación solar anual sobre la superficie terrestre, frente a los recursos de energía disponibles, y demanda de energía anual en el mundo (Fuente: ISES).*

Ecuador está favorecido por su situación geográfica y climatológica para aprovechar este tipo de energía. En particular, en la región Interandina ecuatoriana, la radiación media es del orden de 1,600 Kwh. /m<sup>2</sup> año.<sup>14</sup>

La energía radiante producida en el sol como resultado de reacciones nucleares de fusión, llega a la Tierra a través del espacio en cuantos de energía llamados fotones que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestres.

La intensidad de la radiación solar en el borde exterior de la atmósfera, si se considera que la Tierra está a su distancia promedio del sol, se llama constante solar, y su valor medio es 1367 W/m<sup>2</sup>.

En el Ecuador existen pocos proyectos solares que nos permitan aprovechar la radiación solar, como pequeños sistemas de agua caliente sanitaria (ACS) para hoteles, hosterías, residencias etc.

La temperatura del agua caliente sanitaria que se utiliza es aproximadamente de 45 °C, a la que se puede llegar fácilmente con captadores solares planos que pueden alcanzar una temperatura media de 80 °C. La energía aportada por los captadores debe ser tal que en los meses más favorables aporte el 100 %. El resto de las necesidades que no aportan los captadores se obtiene de un sistema auxiliar, que habitualmente suele ser gasóleo, gas o

<sup>14</sup> [www.codesol.org.ec](http://www.codesol.org.ec)

energía eléctrica. Con este porcentaje de cubrimiento los periodos de amortización son reducidos.

### **1.1.1. TRANSFORMACIÓN NATURAL DE LA ENERGÍA.**

La captación natural de energía solar se produce en la atmósfera, los océanos y las plantas de la Tierra. Aproximadamente el 30% de la energía solar que alcanza el borde exterior de la atmósfera se consume en el ciclo del agua, que produce la lluvia. Debido al proceso de fotosíntesis, la energía solar contribuye al crecimiento de la vida vegetal.

La absorción de energía por los océanos y por las corrientes oceánicas, producen gradientes de temperatura.

La energía solar captada, se puede transformar y aprovechar de diversas maneras:

a) Energía Solar Térmica, la cual consiste en utilizar la radiación del sol para calentar un fluido, que en función de su temperatura, se emplea para producir agua caliente o vapor.

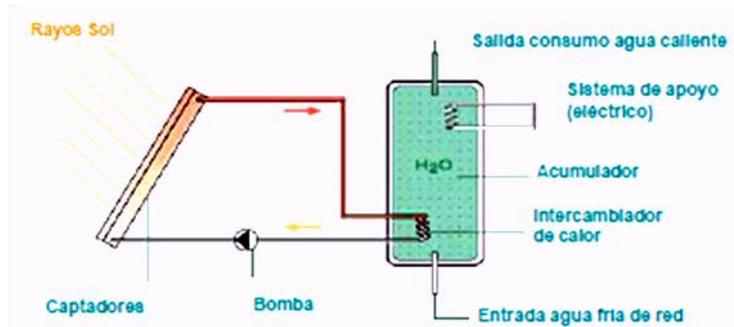
b) Energía Solar Fotovoltaica, se realiza a través de la transformación directa de la energía solar en energía eléctrica mediante el llamado efecto fotovoltaico. Esta transformación se lleva a cabo mediante “células solares” que están fabricadas con materiales semiconductores, que generan electricidad cuando incide sobre ellos la radiación solar.

### **1.1.2. CAPTACION DIRECTA DE ENERGÍA SOLAR**

Los colectores solares térmicos son equipos capaces de captar la radiación solar y transmitírsela a un fluido, para su posterior aprovechamiento. El uso de calentadores solares ayuda a conservar el medio ambiente.

Si bien existen diferentes tipos de calentadores solares, todos se basan en el mismo principio básico de operación: un cuerpo oscuro absorbe la luz solar y pasa el calor absorbido a un líquido (en un tanque de almacenamiento).

El tipo de instalación más común, es la instalación solar térmica para el calentamiento de ACS, por circulación forzada.



*Fig. 1.4. Esquema de una instalación solar térmica.*

Un calentador solar puede emplearse para proveer de agua caliente a un hogar; también se puede utilizar para climatización de piscinas, aplicaciones industriales (procesamiento de agua), para calefacción en lugares de clima frío.

Los colectores solares se dividen en dos grupos:

**1. Los Colectores Solares sin concentración:** Los cuales no superan los 70° C aproximadamente, por lo que son usados en las aplicaciones de la energía solar térmica de baja temperatura. Un ejemplo de aplicación sería la obtención de ACS.

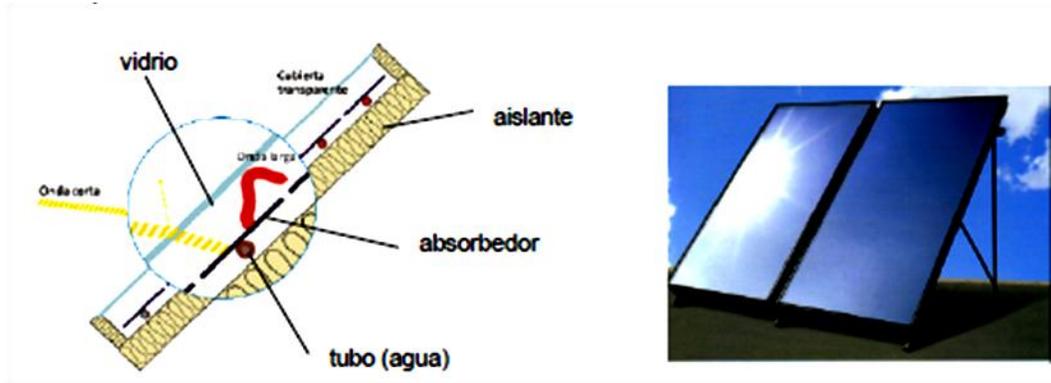
Estos colectores se caracterizan por no poseer métodos de concentración, por lo que la relación entre la superficie del colector y la superficie de absorción es prácticamente la unidad, los cuales se clasifican en:

***a) Colector solar de Placa Plana:***

En general un colector de placa plana actúa como un receptor que recoge la energía procedente del Sol y calienta una placa. La energía almacenada en la placa es transferida al fluido.

Usualmente, estos colectores poseen una cubierta transparente de vidrio o plástico que aprovecha el efecto invernadero, formado por una serie de tubos de cobre, los cuales

expuestos al sol absorben la radiación solar y se la transmiten al fluido que atraviesa su interior. Su aplicación es la obtención de agua caliente sanitaria, climatización de piscinas y calefacción.



**Fig. 1.5 .a)** Sección de un captador solar. **b)** Colector solar plano.

El rendimiento energético del colector, también se le denomina eficiencia del colector, y se define como la relación entre la energía transmitida por el colector al fluido de trabajo en un periodo de tiempo (energía útil transmitida) y la radiación solar (insolación) sobre el área de apertura del colector. El rendimiento está caracterizado por los coeficientes de ganancia y pérdida del colector, siendo respectivamente la capacidad que tiene el colector de absorber la energía que le llega y la capacidad que tiene de perder la energía que absorbe. Su ecuación es:

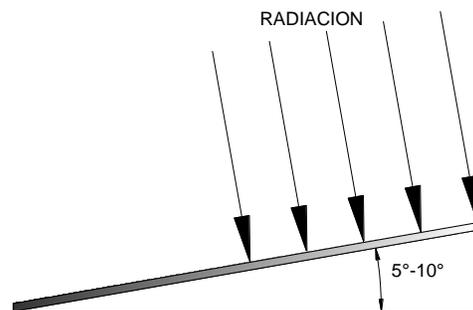
$$\eta = \eta_0 - \alpha \cdot \frac{T_m - T_a}{I} \quad \text{Ec. 1.1}^{15}$$

Los colectores de placa plana tienen una o más placas cobertoras transparentes para minimizar las pérdidas de calor de la placa de absorción y mejorar la eficiencia. Son capaces de calentar fluidos portadores hasta 82 °C y obtener entre el 40 y el 80% de eficiencia.

<sup>15</sup> ORDONEZ, ALFREDO. Manual de energías renovables/ s.ed. Cuenca. 2001. 64 p. Es.

Los colectores de placa plana se han usado de forma eficaz para calentar agua y para calefacción. Los sistemas típicos para casas emplean colectores fijos, montados sobre el tejado. En el hemisferio norte se orientan hacia el Sur y en el hemisferio sur hacia el Norte. El ángulo de inclinación óptimo para montar los colectores depende de la latitud.

En el Ecuador la inclinación del captador no será mayor a diez grados ya que el sol en estas latitudes está casi perpendicular.<sup>3</sup>



*Fig. 1.6. Inclinación ideal del colector solar.*

***b) Colectores de Aire:***

Son colectores de tipo plano cuya principal característica es tener como fluido caloportador el aire. No tienen una temperatura máxima límite (los procesos convectivos tienen una menor influencia en el aire) y trabajan mejor en condiciones de circulación normal, pero en contraposición poseen una baja capacidad calorífica y el proceso de transferencia de calor entre placa y fluido es bajo. Su aplicación principal es la calefacción.

***c) Colectores de Vacío:***

También son llamados de tubo de vacío; van dotados de una doble cubierta envolvente, herméticamente cerrada, aislada del interior y del exterior, y en la cual se ha hecho el vacío, con la finalidad de reducir las pérdidas por convección. Son más costosos y

pueden perder el efecto del vacío con el paso del tiempo. Su aplicación principal es la obtención de agua caliente sanitaria y climatización de piscinas.



*Fig. 1.7. Captadores de vacío.*

**d) Tubos de Calor:**

Poseen una simetría cilíndrica y están formados por una serie de pares de tubos concéntricos; uno exterior de vidrio y uno interior pintado de negro por el cual circula el fluido. Su aplicación principal es la calefacción.

**e) Colectores Cónicos o esféricos:**

Su principal característica es que está constituida por una unidad de captación y de almacenamiento. Su superficie de captación es cónica o esférica con una cubierta de vidrio de la misma geometría. Con esta geometría se consigue que la superficie iluminada a lo largo del día, en ausencia de sombra, sea constante. Su instalación es sencilla, pero presentan problemas de estratificación del agua y la superficie útil de captación es pequeña. Su aplicación principal es la obtención de ACS.

**2. Los Colectores Solares de Concentración:** Se basan en métodos de concentración de la óptica, son capaces de elevar la temperatura de fluido a más de 70° C. Estos se aplican en la energía solar térmica de media y alta temperatura. Podemos encontrar ejemplos de estos en la central solar térmica de Almería (España), en Francia y en California.

Son dispositivos que reflejan y concentran la energía solar incidente sobre una zona receptora pequeña. Como resultado de esta concentración, la intensidad de la energía

solar se incrementa y las temperaturas del receptor (llamado “blanco”) puede alcanzar cientos de grados Celsius.

La principal complicación que presentan es la necesidad de un sistema de seguimiento para conseguir que el colector esté permanentemente orientado en dirección al Sol. Entre los colectores de concentración tenemos:

***a) Concentradores cilíndricos:***

La superficie reflectora es la mitad de un cilindro. Su aplicación principal es la producción de vapor en una central térmica

***b) Concentradores paraboloídes:***

La superficie reflectora presenta una geometría de paraboloide de revolución. Su aplicación principal es la producción de vapor en una central térmica.

***c) Colectores cilindro-parabólicos (CCP):***

Los colectores cilindro- parabólicos son, como su mismo nombre indica, cilindros con forma de parábola y con un tubo absorbedor en su foco, por el que fluye el líquido captador de radiación. Este tipo de tubos absorbedores tienen un recubrimiento de pintura negra para absorber la mayor cantidad de radiación posible, lo que reduce la reflexión. También disponen de un tubo transparente que envuelve el conducto por el que fluyen los aceites, con el fin de minimizar las pérdidas de energía por convección con el aire.

Los CCP sólo siguen un eje polar del Sol. En esta tecnología, las temperaturas que se alcanzan no son tan altas como en las torres solares de concentración, debido a que el fluido que se usa es aceite. Los aceites que se emplean en este tipo de plantas limitan las temperaturas máximas alcanzables porque no pueden superar los 400°C, ya que a mayores temperaturas perderían sus propiedades. Estos aceites, después de haber sido

calentados, se trasladan a intercambiadores térmicos, cuando se requiere producir vapor directamente, con el que se moverá el grupo turbogenerador que producirá la energía eléctrica.



*Fig. 1.8. Captador cilindro parabólico.*

### **1.1.3. SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR TERMICA.**

Toda la energía que incide sobre el captador solar no puede ser considerada como energía útil, ya que al mismo tiempo que se produce el calentamiento del fluido de trabajo, una parte de esta energía se pierde por conducción, convección y radiación, generándose un balance energético entre la energía incidente (en forma de radiación solar) la energía aprovechada y las pérdidas térmicas, obteniendo como resultado el rendimiento del colector solar.

Los sistemas de energía solar térmica para funcionar al máximo rendimiento, se deben diseñar considerando los siguientes parámetros:

- Productividad energética a la temperatura de trabajo y coste
- Durabilidad y calidad
- Posibilidades de integración arquitectónica y
- Fabricación y reciclado no contaminante

Una instalación solar térmica está formada por varios sistemas:

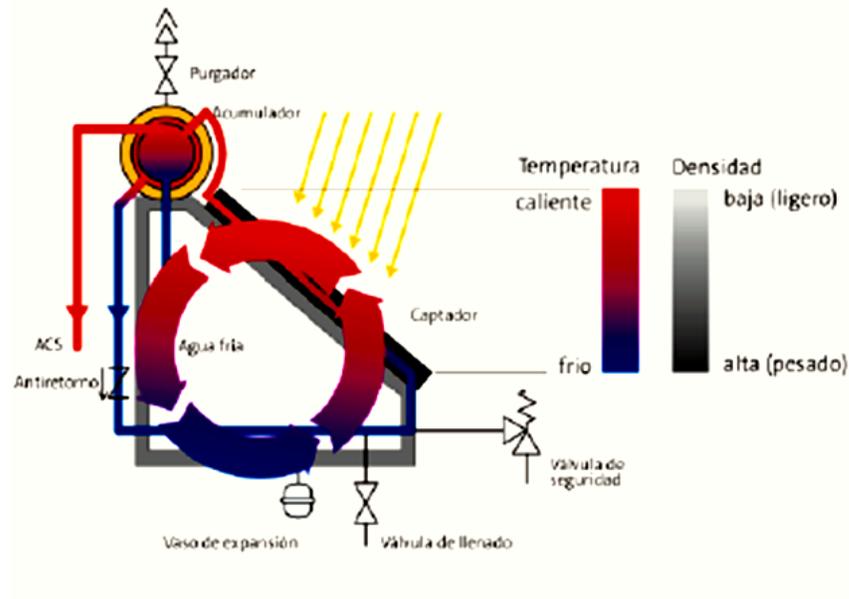
### *a) Sistema de captación*

El sistema está formado por captadores solares conectados entre sí. Su misión es captar la energía solar para transformarla en energía térmica, aumentando la temperatura del fluido que circula por la instalación.

El tipo de captador más empleado es el captador solar plano que consigue aumentos de temperatura de 60 °C a un costo reducido.

Para las aplicaciones de calentamiento de agua de piscinas se pueden emplear los captadores no vidriados. Estos están formados por una gran cantidad de pequeños tubos de metal o de plástico dispuestos en serpentín por los que circula el agua. No necesitan caja, ni cubierta de cristal, por esta razón el aumento de temperatura es bajo, alrededor de 30 °C. Debido a que las pérdidas de calor son grandes se limita su aplicación a otro tipo de instalaciones. Los tubos flexibles toleran el paso de aguas agresivas (como el agua de piscina clorada), también aguantan las tensiones mecánicas que se producen al congelarse el agua. Son más económicos que los captadores solares planos.

Para instalaciones individuales existe otro tipo compacto o termosifón, en la cual el circuito primario carece de bomba. Son instalaciones en las cuales el acumulador debe colocarse por encima del captador. En este caso el fluido cuando se calienta en el captador, disminuye su densidad y tiende a subir, empujando el agua fría hacia abajo, entrando nuevamente en el captador y cerrando el circuito.



*Fig. 1.9. Funcionamiento de un termosifón.*

***b) Sistema de acumulación***

Consiste en almacenar la energía térmica en un depósito de acumulación para su posterior utilización. En aplicaciones de ACS o calefacción la demanda no siempre coincide con el momento en el que hay suficiente radiación, por tanto si se quiere aprovechar al máximo las horas de Sol por lo que será necesario acumular la energía para luego utilizarla cuando se produzca la demanda.

El sistema de acumulación está formado por uno o más depósitos de agua caliente. La dimensión de los depósitos de almacenamiento deberá ser proporcional al consumo estimado y debe cubrir la demanda de agua caliente de uno o dos días.

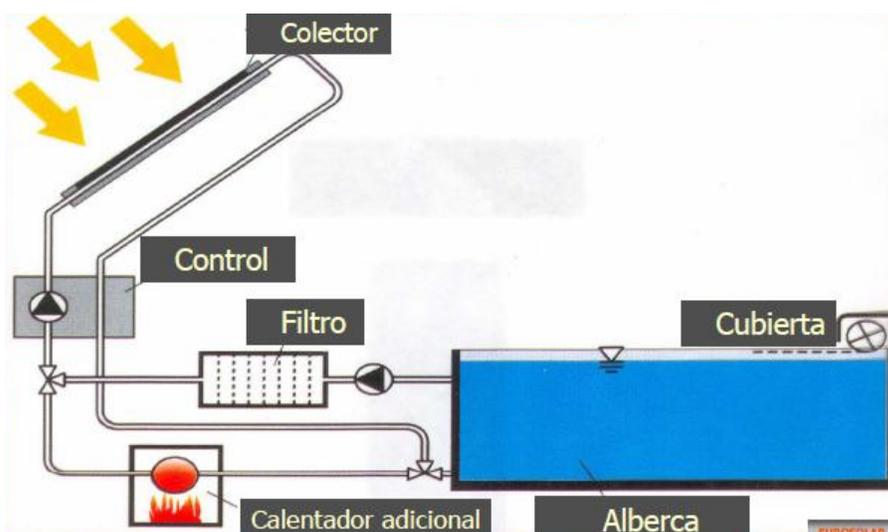
***c) Sistema de distribución.***

En este sistema se engloban todos los elementos destinados a la distribución y acondicionamiento para el consumo como: control, tuberías, juntas de expansión, bombas, purgadores, válvulas, etc. También forma parte de este la distribución de un sistema auxiliar basado en energías convencionales.

#### *d) Sistemas auxiliares.*

Las instalaciones de energía solar térmica necesitan sistemas de apoyo convencional (gasóleo, gas o electricidad) en previsión a la falta de radiación o a un consumo pico. En la mayoría de los casos tanto en instalaciones en viviendas unifamiliares, como en edificios, las instalaciones solares se diseñan para proporcionar a las viviendas entre el 60-80 % del agua caliente demandada, aunque en zonas con gran insolación a lo largo del año, el porcentaje de aporte puede ser superior.

Para la climatización de piscinas y para grandes aplicaciones comerciales, se emplea calentadores solares de grandes dimensiones, que cuentan con un área típica del colector de 30-200 m<sup>2</sup>, el cual es construido en el mismo lugar de aplicación y algunas veces integrado al techo o alineados en el suelo. En la figura 1.10 tenemos el esquema básico de un sistema de energía solar térmica para una piscina con un sistema auxiliar.



*Fig. 1.10. Sistema auxiliar de calentamiento.*

#### **1.1.4. TANQUES DE ALMACENAMIENTO.**

Los más utilizados frecuentemente con colectores de placa plana son los sistemas integrados, donde los tanques de almacenamiento son montados sobre los colectores para aprovechar el efecto de termosifón. Estos sistemas se basan en el principio de

variación de la densidad por la temperatura, por lo que el agua fría circula a través del colector, mientras el agua caliente se extrae del tanque de almacenamiento. Las principales ventajas de los sistemas con tanques de almacenamiento integrados son: el sistema es más económico, de fácil instalación y el agua caliente se suministra directamente a las tuberías para su utilización.

También existen los sistemas de suministro por gravedad, para lo cual el tanque es instalado en una cavidad en el techo y solo el colector de placa plana es expuesto al sol, la posición de este debe ser la adecuada para permitir que se produzca termosifón en forma natural.

#### **1.1.5. APLICACIONES Y VENTAJAS DE LA ENERGIA SOLAR TERMICA.**

Las posibles aplicaciones de la energía solar térmica son diversas, teniendo en cuenta que para este tipo de instalaciones la temperatura máxima alcanzable, con buen rendimiento es de alrededor de 60°. La principal aplicación de la energía solar térmica es la producción de ACS para el sector doméstico y de servicios. Otras aplicaciones son:

##### **• *Calefacción de baja temperatura***

La energía solar térmica puede ser un complemento al sistema de calefacción, sobre todo para sistemas que utilicen agua de aporte a menos de 60 °C. Para calefacción con aporte solar, el sistema de mejor rendimiento es el de suelo radiante (circuito de tuberías por el suelo), ya que la temperatura requerida del fluido que circula a través de este es de 45 °C, fácilmente alcanzable mediante captadores solares.

##### **• *Calentamiento de agua de piscinas***

Otra de las aplicaciones es la del calentamiento del agua de piscinas. El uso de colectores puede permitir el apoyo energético en piscinas al exterior alargando el

periodo de aprovechamiento, mientras que en el invierno, en épocas de poca radiación solar, se requerirá de un sistema auxiliar empleando energía convencional.

• ***Aire acondicionado mediante máquinas de absorción***

Uno de los campos de máximo desarrollo de las instalaciones solares térmicas que se verá en un plazo breve de años será la de colectores de vacío o planos de alto rendimiento que produzcan ACS, calefacción en invierno y mediante máquinas de absorción, que produzcan frío en el verano.

Las aplicaciones de la energía solar térmica se extienden también al sector industrial como: agua caliente y precalentamiento de agua de proceso, calefacción, aire caliente y refrigeración.

Las ventajas del uso de los calentadores solares de agua, se clasifican en dos grupos: económicas y ambientales.

***a) Económicas***

El tiempo de vida útil de los colectores es de más de 25 años, por lo que la inversión inicial de un sistema solar térmico será mayor frente al sistema convencional, mientras que el costo de funcionamiento será irrelevante comparado con el consumo de combustible o energía eléctrica, reparaciones, mantenimiento etc. Por lo que la instalación de energía solar resulta más económica, ya que toda la energía que se obtiene del sol con los captadores solares, se ahorra de producirla (quemando combustible o consumiendo energía eléctrica). De esta forma, una instalación de energía solar es rentable a largo plazo, ya que el ahorro energético que produce se materializa en la reducción de los costos.

En el caso de colocar estas instalaciones en viviendas nuevas, la amortización se puede considerar instantánea, ya que el incremento que representa en el precio total de la vivienda es pequeño.

Para edificios de viviendas suelen instalarse entre 1,5 y 2 m<sup>2</sup> por vivienda dependiendo de la superficie disponible, la zona geográfica etc, la inversión necesaria por cada metro cuadrado de superficie de captación está entre 600 y \$ 900, siendo los costos de operación y mantenimiento bajos. El periodo de amortización depende del tipo de energía convencional que sustituya: 10-12 años en el caso del gas, y 5-6 años en el caso de energía eléctrica.

### ***b) Ambientales***

La generación de energía con sistemas convencionales tiene costos ambientales considerables en relación con los sistemas solares, ya que un m<sup>2</sup> de captador solar térmico evitaría la emisión a la atmósfera de una tonelada de CO<sup>2</sup> por año, disminuyendo los cambios climáticos, lluvia ácida, etc.

## **1.2.CALENTADORES DE AGUA A GAS.**

### **1.2.1. Generalidades**

Los calentadores de agua a gas, están equipados con quemadores capaces de calentar el agua de manera casi instantánea a medida que fluye a través de la unidad. Estos pueden usarse con gas natural, propano o electricidad.

Los primeros quemadores que se fabricaron sin tanque tenían sólo dos opciones encendido y apagado, de manera que la temperatura del agua de salida variaba con el flujo, ahora la mayoría de los modelos son moduladores: es decir, si aumenta el flujo, el quemador produce más calor y el agua se mantendrá a una temperatura constante, la cual puede ajustarse en la máquina o con un controlador remoto instalado en la pared.

Las instalaciones de gas deben ser ejecutadas correctamente y según las normativas, se debe seleccionar los materiales adecuados a emplearse, uniones, válvulas y tener en cuenta que un escape de gas es muy peligroso, puede acarrear pérdidas de vidas humanas, destrucción del recinto y hasta de las construcciones linderas.

Existen tres tipos de calentadores a gas que son:

- Calentadores instantáneos o de paso (Calefones).
- Calentadores acumuladores (Calderas y termo-tanques).
- Caldera de doble servicio (calefacción y agua caliente).

### **1.2.2. Calentadores instantáneos o de paso (Calefones).**

Estos calentadores son los más utilizados en el medio por lo cual será objeto de estudio.

La característica principal de los calefones es calentar el agua a medida que ésta es consumida. Al abrir un grifo se produce una circulación de agua, la cual al ser detectada, enciende el quemador principal calentando el líquido circulante por la serpentina. A estos artefactos se los define por su capacidad en litros, que se refiere al calentamiento del agua en litros por minuto para aumentar la temperatura en 20 °C; comercialmente existen de 8, 12, 14, 18, 20 y 26 litros; por ejemplo al seleccionar el de 14 litros significa que cuando circule un caudal de 14 l/min la diferencia de temperatura del agua entrante y saliente será de 20 °C.<sup>16</sup>

Los modelos a gas alcanzan entre un 80% y un 90% de eficiencia<sup>17</sup>. En este caso la energía no utilizada se libera en forma de aire caliente y CO<sub>2</sub>, por lo que deben instalarse en lugares ventilados o, si se instalan en lugares cerrados se debe dirigir los gases que expelen a través de un ducto de ventilación al exterior.

### **1.2.3. Elementos constitutivos.**

El calefón es un artefacto constituido básicamente por los siguientes elementos, tal como se puede visualizar en la figura 1.11

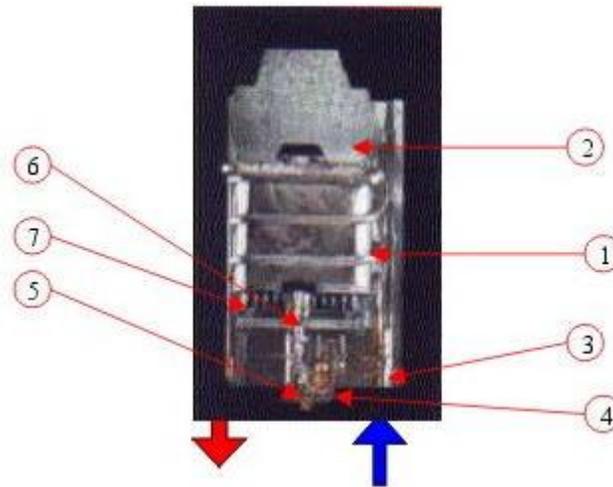
- El intercambiador de calor compuesto por un serpentín, por el cual circula el agua a calentar. (1)
- Sombrero superior. (2)

---

<sup>16</sup> [http://www.ub.edu.ar/investigaciones/tesinas/56\\_del\\_re.PDF](http://www.ub.edu.ar/investigaciones/tesinas/56_del_re.PDF)

<sup>17</sup> [http://www.ub.edu.ar/investigaciones/tesinas/56\\_del\\_re.PDF](http://www.ub.edu.ar/investigaciones/tesinas/56_del_re.PDF)

- Tubo venturi y cámara de agua. (3)
- Válvula agua – gas (*con llama piloto y sin llama piloto*). (4)
- Sistema de seguridad. (5)
- El piloto. (6)
- El quemador principal o mechero. (7)



Salida agua caliente      Entrada agua fría

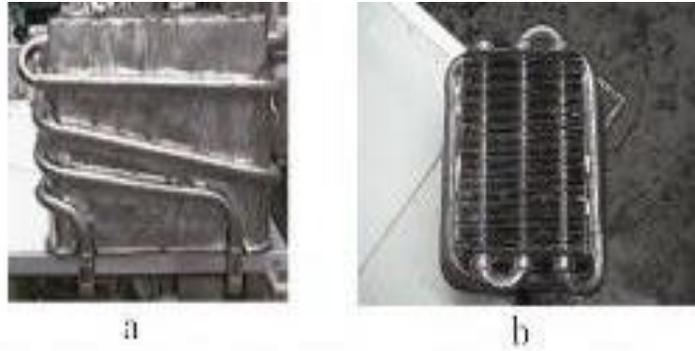
**Fig. 1.11.** *Detalle interno de un calefón.*<sup>18</sup>

### 1.2.3.1. El intercambiador de calor

El intercambiador de calor está compuesto por un serpentín de cobre 100 % estañado, dándole una excelente protección, evitando la oxidación del cobre en zonas de alta temperaturas ya que ésta posee un aspecto verdoso desagradable a la vista. El agua circula por este serpentín siendo ésta una de las pocas desventajas de este artefacto, debido a que suele obstruirse por el sarro, en la actualidad los nuevos procedimientos de soldadura y doblado han reducido este problema.

La figura 1.12 a y b muestran un intercambiador de calor típico de un calefón de 14 L.

<sup>18</sup> [http://www.ub.edu.ar/investigaciones/tesinas/56\\_del\\_re.PDF](http://www.ub.edu.ar/investigaciones/tesinas/56_del_re.PDF)



**Fig. 1.12.** Foto de un intercambiador de calor.

a) Vista frontal.      b) Vista superior./

### 1.2.3.2. Sombrero superior.

Según la evacuación de los gases de la combustión se puede diferenciar tres tipos de artefactos:

- a) Sin tiraje.
- b) Tiraje natural o cámara abierta.
- c) Tiro balanceado o cámara cerrada.

#### a) Artefacto sin tiraje

Son aquellos que toman el aire necesario para la combustión y descargan los gases directamente al local.

#### b) Calefón con tiraje natural

Toman el aire necesario para la combustión del local y descargan los gases al exterior por medio de la campana y un tubo (chimenea) como se indica en la figura 1.13.



**Fig. 1.13.** Calefones tiro natural.

#### c) Calefón de tiro balanceado

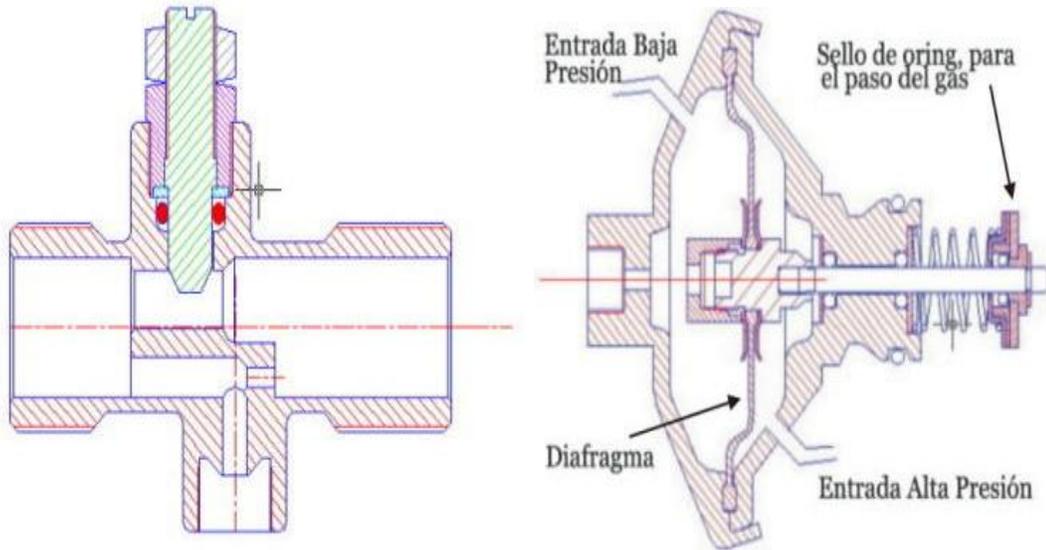
Son aquellos que toman el aire necesario para la combustión del exterior y descargan los gases al mismo. Estos artefactos se diferencian de los anteriores ya que son totalmente herméticos, por lo que no existe posibilidad de que los gases se queden en el local como se indica en la figura 1.14.



*Fig. 1.14. a) Esquema de funcionamiento b) Fotografía*

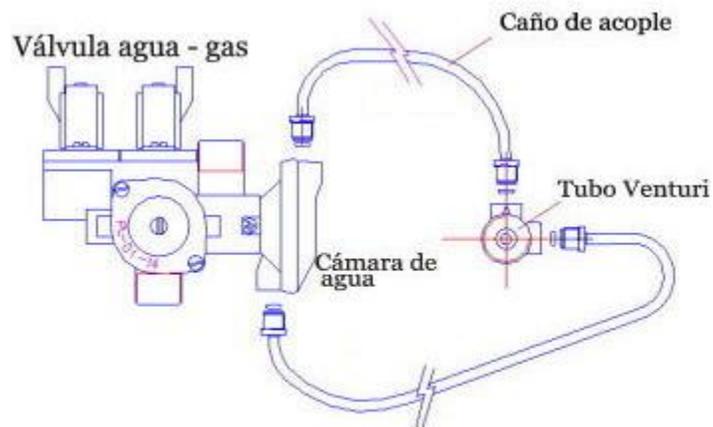
### **1.2.3.3. Tubo venturi y cámara de agua.**

El funcionamiento del calefón es comandado automáticamente, en caso de que algún grifo de agua caliente se abra, ésta comienza a circular pasando por el tubo venturi, (ver figura 1.15), actuando sobre las caras de la cámara, de tal modo que se genera una diferencia de presión sobre estas que origina un movimiento del diafragma, que mediante un mecanismo actúa sobre la válvula de admisión de gas, encendiéndose los calentadores principales; mientras que al cerrar el grifo, un resorte provoca que el diafragma regrese a su posición original cerrando el paso de gas hacia los quemadores, por lo que éstos se apagan. Ver figura 1.16.



*Fig. 1.15. Corte del tubo venturi. Fig. 1.16. Corte de la cámara de agua.*

Una de las principales desventajas del calefón es que necesita una presión de trabajo mínima de 2,5 m.c.a., para que por efecto venturi se genere la diferencia de presión que logre desplazar el diafragma en la cámara de agua. La figura 1.17 describe como se conecta el tubo venturi, la cámara de agua y la válvula agua – gas.



*Fig. 1.17. Conexión entre la cámara de agua, la válvula y el tubo diferencial.<sup>19</sup>*

#### 1.2.4. DIMENSIONES DEL CALENTADOR

Los parámetros que determinan el tamaño apropiado del calentador son: el volumen de la piscina, la temperatura ambiente y la variación de temperatura en relación al

<sup>19</sup> [http://www.ub.edu.ar/investigaciones/tesinas/56\\_del\\_re.PDF](http://www.ub.edu.ar/investigaciones/tesinas/56_del_re.PDF)

ambiente. Una piscina ubicada en un lugar resguardado, con poco o nada de viento, requiere un equipo de menor capacidad que una situada en un lugar fresco y ventoso.

#### **1.2.4.1. Criterios para seleccionar el calentador apropiado**

Para calentar el agua de una piscina se requiere instalar en serie, al circuito de tratamiento de agua y recirculación, un intercambiador de calor por el que fluya el agua proveniente de la bomba.

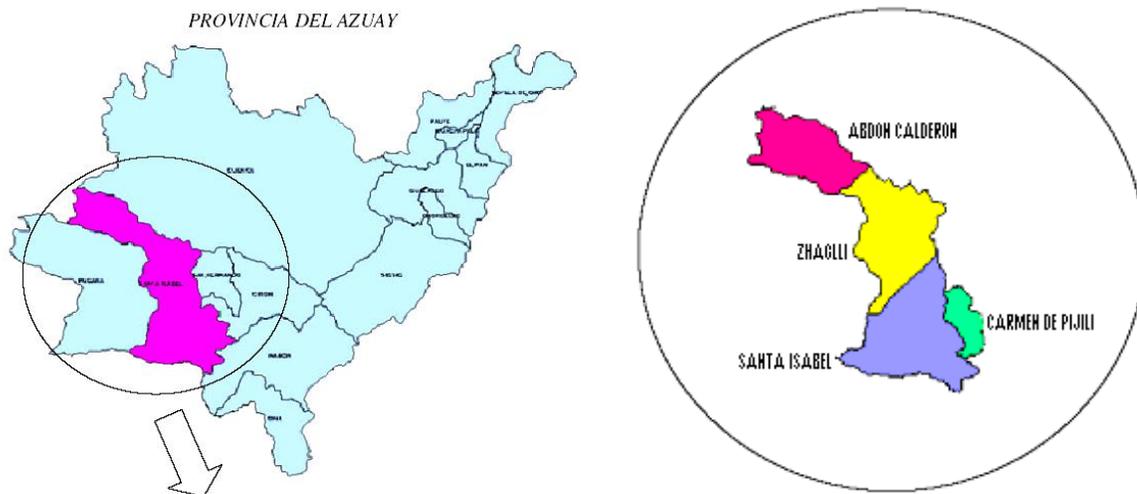
El intercambiador deberá dimensionarse de tal manera que pueda ceder al agua de la piscina una potencia calorífica suficiente para compensar las pérdidas de calor en la misma, calentar la red, y mantener la temperatura de confort del agua de la piscina entre 26°C y 28°C.

El tiempo para alcanzar esta temperatura se estima entre 24 y 48 horas y las pérdidas de calor diarias deben compensarse entre 4 y 6 horas.

#### **1.2.5. UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

El cantón Santa Isabel se encuentra en la cuenca alta y media del río Jubones, al sur de la provincia del Azuay, en este cantón encontramos las parroquias Santa Isabel, Abdón Calderón (La Unión), El Carmen de Pijilí y Shaglli (Figura 1.18). Se localiza en los puntos más extremos 79°34'53"W 2°54'19"S al Norte, 79°16'57"W 3°22'14"S al Sur, 79°13'15"W 3°17'13"S al Este y 79°37'30"W 2°59'30"S al Oeste.

Este cantón se encuentra a una altitud que va desde los 100 hasta los 4000 m.s.n.m. por lo cual presenta una gran variedad de zonas de vida.



*Fig. 1.18. Ubicación Geográfica*

#### **1.2.5.1.Límites Geográficos.**

El Cantón Santa Isabel limita al Norte con el cantón Cuenca de la provincia del Azuay y Balao de la provincia del Guayas; al Sur con el cantón Zaruma de la provincia del Oro, Saraguro de la provincia de Loja y Nabón de la provincia del Azuay; Al Este con los cantones San Fernando, Girón y Nabón de la provincia del Azuay y al Oeste con el cantón Pucará de la provincia de Azuay y Balao de la provincia del Guayas

#### **1.2.5.2. Superficie**

El cantón Santa Isabel tiene 771.41 Km<sup>2</sup> de superficie siendo el 9.63% del total de la provincia del Azuay que tiene una superficie de 8008.45 Km<sup>2</sup>.<sup>20</sup>

#### **1.2.5.3. Clima**

Por la topografía irregular el cantón presenta muchas variaciones climáticas. En Shagli localizado a 2800 a 3200 m.s.n.m. el clima es frío; en el Valle de Yunguilla (Abdón Calderón y Cataviña) subtropical; y cálido en las vegas de los ríos Jubones y Rircay pues sus elevaciones no sobrepasan los 1000 metros de altura

<sup>20</sup> <http://www.santaisabel.gov.ec/ubicacion.htm>

La diferencia de altitud, la variada topografía, la influencia de corrientes frías que se originan en el Nudo del Portete y de corrientes cálidas que ingresan desde la costa a través del cañón del río Jubones contribuyen a la formación de micro y mesoclimas

La temperatura media anual es de 19,5 °C, registrándose máximas de 31 °C, especialmente en el sector de Sulupali Grande, y mínimas de 12 °C en Shagli <sup>21</sup>

Por su ubicación el cantón posee un régimen de precipitaciones similar a los del clima costanero, registrándose promedios de 291 mm. anuales, en la zona baja (sector Jubones) y en la alta 800 mm. anuales. Los meses de Enero a Mayo son los más lluviosos y los secos Junio, Septiembre y Noviembre.

---

<sup>21</sup>[http://www.infotourecuador.com/cta/index.php?option=com\\_content&task=view&id=309&Itemid=19](http://www.infotourecuador.com/cta/index.php?option=com_content&task=view&id=309&Itemid=19)

# **CAPITULO II**

## **INGENIERÍA DEL PROYECTO**

## **2.1 Diseño del sistema de calentamiento de agua con energía solar.**

### **2.1.1 Estado actual de las instalaciones de la hostería.**

En la Hostería Los Juanes, las instalaciones cuentan con diversa infraestructura para la atención a sus clientes, entre las que podemos mencionar: canchas de uso múltiple, salón de recepciones, bar, áreas verdes para esparcimiento, piscina, hidromasaje, etc.

El proyecto está enfocado al diseño de un sistema dual de calentamiento de agua para la piscina, por lo que se detalla las condiciones actuales:

#### **2.1.1.1 Piscina.**

La piscina cuenta con una longitud de 7.5m, un ancho de 4.4m y una profundidad que va desde 1.20m a 1.60m, alcanzando un volumen de agua de  $68 m^3$ , actualmente esta descubierta y la temperatura promedio del agua alcanza los 18 °C, además existe un hidromasaje que tiene una área de  $5 m^2$ , el cual utiliza un calefón de 28 Lit. de capacidad para su calentamiento, la piscina no cuenta con un sistema de calentamiento, pero si con un sistema de recirculación para el filtrado y mantener el agua limpia, a la vez que se utiliza para el hidromasaje.

#### **2.1.1.2 Cuarto de Máquinas.**

Para la implementación y montaje de los equipos utilizados tanto para el sistema de filtrado y recirculación, se ha adecuado un cuarto de máquinas, en la parte posterior de la piscina por debajo del nivel de la misma, el cual es un lugar de fácil acceso tanto para operación y mantenimiento, cuenta con ventoleras y drenajes para prevenir inundaciones en caso de fallas.

#### **2.1.1.3 Sistema de Recirculación.**

El sistema de recirculación, esta adecuado de manera que sea utilizado tanto por la piscina como el hidromasaje, este cuenta con un sistema de control automático que

enciende y apaga la bomba de acuerdo a un programa y se lo podrá modificar en función del uso y aplicación que se hará posteriormente.

Las aguas para recirculación son tomadas en paralelo desde el fondo y skimmer de la piscina y del hidromasaje, para llegar a una tubería madre que será la entrada de la bomba y la salida se conectara al filtro. En este sistema se emplea una bomba de las siguientes características:

Marca: JACUZZI

Serie: Magnum Force.

Voltaje: 115-230V

Amperaje: 7.0/14.0A

RPM: 3450

Potencia: 1 HP

Frecuencia: 60Hz

#### **2.1.1.4 Sistema de Filtrado.**

Se ha instalado en serie con la bomba un filtro láser de arena el mismo que puede filtrar sólidos en suspensión de hasta 0.55mm y puede ajustarse para seis modos de funcionamiento, dependiendo de las necesidades del sistema cuyas características son:

Marca: JACUZZI

Modelo: 225L

Área de filtro:  $2.64 Ft^2$

Altura:  $32.5 in$

Diámetro del tanque:  $22.5 in$

Filtro:  $54 GPM$

Recirculación Min. :  $44 GPM$

Cantidad eficiente de arena de silicio (0.4 a 0.55mm):  $250 Lb$

#### **2.1.1.5 Sistema de Tuberías y Accesorios.**

En éste sistema se utiliza tubería de PVC de 2", los accesorios empleados son del mismo material, válvulas de bola para control y mantenimiento, a continuación se indican los

detalles del skimmer, retornos y drenaje cuyos planos y detalles del sistema se muestran en el anexo 2.1

- a) **Skimmer.-** Está ubicado en la parte central superior de una las paredes largas de la piscina, su función es retener las impurezas flotantes, y también sirve como toma para el agua de recirculación y filtrado.
- b) **Retornos.-**Existen siete retornos a una distancia de 30cm por debajo del nivel del agua alrededor de las paredes de la piscina además están dispuestos de tal manera que dirijan las impurezas hacia la entrada del skimmer y que la recirculación del agua filtrada se distribuya uniformemente en la piscina.
- c) **Drenaje.-**Está instalado en el centro del fondo de la piscina, con el fin de evacuar las impurezas que se precipitan hacia el fondo.
- d) **Clorador.-**Instalado después del filtro en forma directa a la tubería de retorno de agua a la piscina.

### 2.1.2. Descripción del Sistema de calentamiento de agua.

El sistema de calentamiento de agua para la piscina consta de los siguientes elementos:

- **Sistema de captación:** Es el encargado de absorber la energía solar y transferirla al agua obteniendo un incremento de temperatura.
- **Intercambiador de calor:** permite que el fluido que circula por el circuito primario (procedente de los colectores) sea independiente del fluido que circula por el circuito secundario (agua procedente de la parte inferior de la piscina), y además en él se produce el intercambio de calor entre ambos fluidos.
- **Sistema auxiliar de energía:** consiste principalmente en un calefón que permite elevar la temperatura de la piscina cuando el sistema solar no abastece el calor necesario para obtener la temperatura de confort.
- **Sistema de circulación y bombeo:** Por medio de tres bombas el agua circulará a través de las tuberías desde el intercambiador hasta el colector y la piscina e igualmente desde el calefón hacia la piscina

### **2.1.3. Pérdidas de Calor y Variación de Temperatura en la Piscina.**

La temperatura de confort de la piscina es de 30 °C, la misma que se mantendrá desde las 08H00; a partir de la cual se calculan las pérdidas de calor por evaporación, radiación, convección, conducción por las paredes y por renovación del agua de la piscina las que provocarán un descenso de la temperatura la cual se necesita compensar.

#### **2.1.3.1. Pérdidas por evaporación**

Los procesos de evaporación en la atmósfera involucran relaciones entre la transferencia de calor y de masa, la continua evaporación del agua del suelo, océanos, lagos, etc., influyen en las formas de vida y en la variación del clima. Los cambios de masa debido a la evaporación, producen un cambio en la energía total del sistema de la piscina; Dichos procesos están regidos por corrientes atmosféricas convectivas, difíciles de describir analíticamente.

En los procesos de transferencia de masa no interviene la transferencia de calor debido a que estos ocurren isotérmicamente, sin embargo en ciertos casos se da la vaporización de un líquido y la difusión de este vapor hacia el gas circundante en el cual interviene el calor latente de vaporización  $h_{fg}$  para vaporizar el líquido, por lo tanto se da simultáneamente la transferencia de calor y de masa.

En la vaporización del agua de la piscina hacia el aire cuando estos estén a la misma temperatura se pueden dar dos casos:

1. Si el aire está saturado  $HR = 100\%$  no habrá transferencia de calor o de masa en condiciones estables isotérmicas.
2. Si el aire no está saturado  $HR < 100\%$  existe una diferencia de concentración de vapor de agua en la interfase agua-aire y a una distancia por encima de esta.

Esta diferencia de concentración impulsa el agua hacia el aire, provocando la transferencia de masa, el calor requerido para la vaporización proviene del agua superficial, lo cual provoca una disminución de la temperatura del agua cercana a la

superficie debido a la pérdida de calor sensible, produciendo también una disminución en la presión de saturación y en la concentración de vapor en la interfase.

“Si la razón de evaporación es alta, y por ende, la demanda de calor de vaporización es más alta que la cantidad de calor que puede ser suministrado desde las partes más bajas de la masa de agua y de los alrededores, el déficit se compensa a partir del calor sensible del agua en la superficie y, como consecuencia, la temperatura del agua en esta última disminuye mas.”<sup>22</sup>

Esto ocurre hasta que el calor latente de vaporización sea igual a la transferencia de calor hacia el agua en la superficie.

El balance de energía en una capa delgada del líquido en la superficie en condiciones estables de operación y a una temperatura estable puede expresarse como:

$$Q_{sensible,transferido} = Q_{latente\ absorbido} \quad \text{ó} \quad Q = m_v * h_{fg} \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde  $m_v$  es la razón de evaporación y  $h_{fg}$  es el calor latente de vaporización del agua a la temperatura de la superficie.

### **2.1.3.2. Pérdidas por radiación.**

Todos los cuerpos a una temperatura por encima de 0°C emiten radiación térmica, la radiación es un fenómeno volumétrico donde los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o reflejan radiación en diversos grados, la radiación no necesita un medio de transmisión y puede ocurrir en el vacío.

Cuando una área superficial  $A_s$  con emisividad  $\epsilon$  y que se encuentra a una temperatura absoluta  $T_s$ , se encuentra completamente encerrada por una superficie negra que se halla a una temperatura  $T_{aire}$  y separadas por un medio gaseoso (aire) que no interviene en la

---

<sup>22</sup> Yanus A. Cengel, Transferencia de calor, Capítulo 14

radiación, la rapidez de transferencia de calor por radiación entre estas dos superficies se calcula con la fórmula de Stefan-Boltzmann:

$$Q_{radiación} = \varepsilon * \sigma * A_s * T_s^4 - T_{aire}^4 \quad W \quad Ec. 2.2$$

En donde:

$\varepsilon$  = emisividad del agua = 0.95

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

$T_s$  = Temperatura del agua (°K)

$T_{aire}$  = Temperatura del aire ambiental

$A_s$  = Superficie de los vasos de las piscinas.

### 2.1.3.3. Pérdidas por Convección

La convección natural es el desplazamiento de masas de algún líquido o gas, cuando una masa de un fluido sufre un proceso de calentamiento sus moléculas se separan y se dispersan, causando que la masa del fluido llegue a ser menos densa; cuando llega a ser menos denso se desplazará hacia arriba u horizontalmente hacia una región fría, mientras que las masas menos calientes pero más densas del fluido descenderán o se moverán en un sentido opuesto al del movimiento de la masa más caliente. Mediante este mecanismo los volúmenes más calientes transfieren calor a los volúmenes menos calientes de ese fluido.

La velocidad de transferencia de calor por convección se determina a partir de:

$$Q = h * A * T_s - T_a \quad Ec. 2.3$$

Para calcular el coeficiente de transferencia de calor en una placa plana horizontal se utiliza el número de Nusselt.

$$Nu = C * Gr * Pr^m \quad Ec. 2.4$$

---

<sup>23</sup> J.P.Holman, Transferencia de Calor, Capítulo 8.

Los coeficientes  $C$  y  $m$  son específicos para cada caso y dependen de la geometría y del número de Rayleigh que es igual al producto del número de Grashof y Prandtl.

$$Ra = Gr * Pr \quad \text{Ec. 2.5}$$

La dimensión característica se determine a partir de la siguiente relación:

$$L_c = \frac{A}{P} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Para una superficie caliente mirando hacia arriba, como el de la piscina se utilizará las siguientes relaciones para calcular el número de Nusselt:

$$Nu_L = 0.13 Gr_L * Pr^{1/3} \quad \text{para} \quad Gr_L * Pr < 2 * 10^8 \quad \text{Ec. 2.7}$$

$$Nu_L = 0.16 Gr_L * Pr^{1/3} \quad \text{para} \quad 2 * 10^8 < Gr_L * Pr < 10^{11} \quad \text{Ec. 2.8}^{24}$$

#### 2.1.3.4. Pérdidas por Conducción

En un sistema bidimensional en el que se involucran dos temperaturas, se puede definir un factor de forma conductivo  $S$  para calcular la pérdida de calor por conducción.

$$q = k * S * \Delta T \quad \text{Ec. 2.9}^{25}$$

**Donde:**

$k$ = coeficiente de conductividad térmica del material

$S$ = factor de forma conductivo

$\Delta T$  = gradiente de temperatura

Para el caso de la piscina se considerará las paredes como placas planas cuyo factor de forma conductivo es:

$$S_{pared} = \frac{A}{L} \quad \text{Ec. 2.10}$$

<sup>24</sup> J.P.Holman, Transferencia de Calor, Capítulo 7

<sup>25</sup> J.P.Holman, Transferencia de Calor, Capítulo 3

Para las formas redondeadas de las esquinas de la piscina se utilizará un factor de forma para un cuarto de esfera inmerso en un medio, determinado por:

$$S_{esquinas} = \pi * r \quad \text{Ec. 2.11}$$

**Donde:**

$A$  = área de la pared

$L$  = espesor de la pared

$r$  = radio de las esquinas

### 2.1.3.5. Pérdidas por renovación de agua de la piscina.

La interacción entre los bañistas en la piscina, el consumo de agua por purgas para limpieza del fondo y filtros entre otras provocan pérdidas de agua, las mismas que deberán compensarse diariamente provocando pérdidas de calor, las cuales estarán en función de la temperatura del agua de la red y de la temperatura del agua de la piscina, para calcular dichas pérdidas se utiliza la siguiente relación:

$$Q_{RE} = V_{RE} * \delta * C_p * T_{AP} - T_R \quad \text{Ec. 2.12}$$

**Donde:**

$V_{RE}$  = volumen de agua de renovación (m<sup>3</sup>).

$\delta$  = densidad del agua = 1000 kg / m<sup>3</sup>

$C_p$  = calor específico del agua = 4.178  $\frac{kJ}{kg * ^\circ C}$

$T_{AP}$  = temperatura del agua de la piscina (°C)

$T_R$  = temperatura del agua de la red (°C)

Por normativa, debido a razones higiénicas sanitarias, diariamente se recomienda reponer un 5% del volumen total del agua de la piscina.

### 2.1.3.6. Cálculo de las pérdidas en el vaso de la piscina.

- **Pérdidas por evaporación:**

Temperatura de película:  $T_f = \frac{T_a + T_s}{2} = \frac{30 + 19.5}{2} = 24.75^\circ\text{C} = 297.9^\circ\text{K}$

Propiedades:

$$K = 0.02549 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}} \quad Pr = 0.7296 \quad (\text{Independiente de la presión})$$

$$\alpha = \frac{2.137 * 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{0.8766} = 2.4378 * 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$\nu = \frac{1.560 * 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}{0.8766} = 1.7796 * 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{297.9^\circ\text{K}} = 3.356 * 10^{-3} \text{K}^{-1}$$

Las propiedades del agua a 30°C son:

$$h_{fg} = 2431 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \quad P_{v,s} = 4.246 \text{KPa}$$

El aire en la superficie está saturado por lo que se asume que la presión de vapor en esa superficie es igual a la presión de saturación del agua a la temperatura superficial. La presión de vapor del aire lejos de la superficie del agua es:

$$P_{v,\alpha} = \phi * P_{sat@T\alpha} = 0.65 * 2.276 \text{KPa} = 1.4794 \text{KPa}$$

Si se consideran al vapor de agua y al aire como gases ideales, y se observa que la presión atmosférica total es igual a la suma de la presión de vapor y del aire seco se determinan las densidades correspondientes como sigue:

En la superficie:

$$\rho_{vs} = \frac{P_{v,s}}{R_v * T_s} = \frac{4.246 \text{KPa}}{0.4615 \text{KPa} * \text{m}^3 \text{Kg} * ^\circ\text{K} * (303^\circ\text{K})} = 0.0303 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{as} = \frac{P_{a,s}}{R_a * T_s} = \frac{(88.8 - 4.246) \text{KPa}}{0.287 \text{KPa} * \text{m}^3 \text{Kg} * ^\circ\text{K} * (303^\circ\text{K})} = 0.9723 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_s = \rho_{v,s} + \rho_{a,s} = 0.0303 + 0.9723 = 1.0026 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Lejos de la superficie:

$$\rho_{v,\alpha} = \frac{P_{v,\alpha}}{R_v * T_\alpha} = \frac{1.4794 \text{ KPa}}{0.4615 \text{ KPa} * \text{m}^3 \text{ Kg} * ^\circ\text{K} * (292.5^\circ\text{K})} = 0.0109 \text{ Kg} \text{ m}^3$$

$$\rho_{a,\alpha} = \frac{P_{a,\alpha}}{R_a * T_\alpha} = \frac{(88.8 - 1.4794) \text{ KPa}}{0.287 \text{ KPa} * \text{m}^3 \text{ Kg} * ^\circ\text{K} * (292.5^\circ\text{K})} = 1.0401 \text{ Kg} \text{ m}^3$$

$$\rho_\alpha = \rho_{v,\alpha} + \rho_{a,\alpha} = 0.0109 + 1.0401 = 1.0510 \text{ Kg} \text{ m}^3$$

Para determinar la longitud característica se utiliza la relación:

$$L_c = \frac{A}{P} = \frac{52.7 \text{ m}^2}{37.6 \text{ m}} = 1.401 \text{ m}$$

Debido a que la mezcla no es homogénea se utilizan las densidades para calcular el número de Grashof:

$$Gr = \frac{g * \rho_\alpha - \rho_s * L_c^3}{\rho * \nu^2}$$

$$Gr = \frac{9.81 \text{ m} \text{ s}^2 * 1.0510 - 1.0026 * 1.401^3}{1.0510 + 1.0026 \text{ Kg} \text{ m}^3 * 1.7796 * 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}}$$

$$Gr = 2.007 * 10^9$$

$$Gr * Pr = 1.464 * 10^9$$

Calculamos la difusividad de masa del vapor de agua en el aire a la temperatura promedio de 297.9°K

$$D_{AB} = D_{H_2O-AIRE} = 1.87 * 10^{-10} \frac{T^{2.072}}{P} \text{ m}^2 \text{ s}$$

$$D_{AB} = D_{H_2O-AIRE} = 1.87 * 10^{-10} \frac{297.9^\circ\text{K}^{2.072}}{0.8766 \text{ Atm}} = 2.853 * 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}$$

El número de Schmidt es:

$$Sc = \frac{\nu}{D_{AB}} = \frac{1.7796 * 10^{-5} m^2_s}{2.853 * 10^{-5} m^2_s} = 0.623$$

Determinamos el número de Sherwood como;

$$Sh = 0.15 Gr * Sc^{1/3} = 0.15 * 2.007 * 10^9 * 0.623^{1/3}$$

$$Sh = 161.59$$

Podemos calcular el coeficiente de transferencia de masa como:

$$h_{masa} = \frac{Sh * D_{AB}}{L_c}$$

$$h_{masa} = \frac{161.59 * 2.853 * 10^{-5} m^2_s}{1.401m}$$

$$h_{masa} = 3.290 * 10^{-3} m_s$$

La razón de transferencia de masa y la razón de transferencia de calor por evaporación queda como:

$$m_v = h_{masa} * A * \rho_{vs} - \rho_{va}$$

$$m_v = 3.290 * 10^{-3} m_s * 52.7m^2 * 0.0303 - 0.0109 \frac{Kg}{m^3}$$

$$m_v = 3.363 * 10^{-3} Kg_s = 12.109 Kg_h$$

$$Q_{evap} = m_v * h_{fg} = 3.363 * 10^{-3} Kg_s * 2431 \frac{KJ}{Kg} = 8.1754KW$$

- **Pérdidas por radiación:**

Datos:

$$\varepsilon = \text{emisividad del agua} = 0.95$$

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

$$T_s = 303 K$$

$$T_{aire} = 292.5 K$$

$$As = \text{Área de piscina} + \text{Área de hidromasaje} = 47.7m^2 + 5m^2 = 52.7m^2$$

$$Q_{\text{radiación}} = 0.95 * 5.67 \times 10^{-8} W m^2 * K^4 * 52.7 m^2 * 303^4 - 292.5^4 K^4 \quad W$$

$$Q_{\text{radiación}} = 3.148 kW$$

- **Convección natural sobre la superficie de la piscina (Placa horizontal)**

Temperatura de película:  $T_f = \frac{T_\alpha + T_s}{2} = \frac{30 + 19.5}{2} = 24.75^\circ C = 297.9^\circ K$

Propiedades:

$$K = 0.02549 \frac{W}{m^\circ K} \quad Pr = 0.7296 \quad (\text{Independiente de la presión})$$

$$\alpha = \frac{2.137 * 10^{-5} \frac{m^2}{s^2}}{0.8766} = 2.4378 * 10^{-5} \frac{m^2}{s^2}$$

$$\nu = \frac{1.560 * 10^{-5} \frac{m^2}{s}}{0.8766} = 1.7796 * 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{297.9^\circ K} = 3.356 * 10^{-3} K^{-1}$$

$$Ra_L = Gr * Pr = \frac{g * \beta * T_s - T_\alpha * L_c^3}{\nu^2} * Pr$$

$$Ra_L = Gr * Pr = \frac{9.81 \frac{m}{s^2} * 3.356 * 10^{-3} K^{-1} * 303 - 292.5 K * 1.401^3 m^3}{1.7796 * 10^{-5} m^2 s} * 0.7296$$

$$Ra_L = Gr * Pr = 2.189 * 10^9$$

Para lo cual se obtiene la siguiente relación para el número de Nusselt.

$$Nu_L = 0.16 Gr * Pr^{1/3}$$

$$Nu_L = 0.16 * 2.189 * 10^9^{1/3} = 207.7$$

$$h = Nu_L \frac{K}{L}$$

$$h = 207.7 \frac{0.02549 \frac{W}{m^\circ K}}{1.401 m}$$

$$h = 3.779 \frac{W}{m^2^\circ K}$$

$$q = h * A T_p - T_\alpha$$

$$q = 3.779 \text{ W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K} * 52.7 \text{ m}^2 * 303 - 292.5 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$q = 2091 \text{ W} = 2.091 \text{ KW}$$

- **Pérdidas por conducción:**

k= coeficiente de conductividad térmica del material  $1.50 \text{ W} \cdot \text{m} / \text{m} \cdot \text{K}$

Ta=Temperatura del agua de la piscina  $30^\circ\text{C}$

Tex=Temperatura exterior al cerramiento  $17^\circ\text{C}$

Factor de forma conductivo

Para determinar el factor de forma conductivo en el vaso de la piscina principal, de deberá determinar el área de la pared que está en contacto con el fluido

*Piscina principal:*

Área de paredes laterales:  $A_1 = 13.32 \text{ m}^2$

$$S_{pared} = \frac{A}{L} = \frac{13.32 \text{ m}^2}{0.20 \text{ m}} = 66.6 \text{ m}$$

Área de pared frontal y posterior:  $A_2 = 7.844 \text{ m}^2$

$$S_{pared} = \frac{A}{L} = \frac{7.844 \text{ m}^2}{0.20 \text{ m}} = 39.22 \text{ m}$$

Área del piso:  $A_2 = 47.7 \text{ m}^2$

$$S_{pared} = \frac{A}{L} = \frac{47.7 \text{ m}^2}{0.20 \text{ m}} = 238.5 \text{ m}$$

*Esquinas:*

$$S_{esquinas} = \pi * r = \pi * 0.5 = 1.5707 \text{ m}$$

En la piscina tenemos 5 secciones de pared y 4 esquinas, de modo que el factor de forma total será:

$$S = 5 S_{pared} + 4 S_{esquinas}$$

$$S = 2 * 66.6 + 2 * 39.22 + 238.5 + 4 * 1.5707$$

$$S_{piscina} = 456.42 \text{ m}$$

*Hidromasaje:*

Área de paredes laterales:  $A_1 = 2.40m^2$

$$S_{pared} = \frac{A}{L} = \frac{2.40m^2}{0.20m} = 12 m$$

Área de pared frontal y posterior:  $A_2 = 3m^2$

$$S_{pared} = \frac{A}{L} = \frac{3m^2}{0.20m} = 15 m$$

Área del piso:  $A_2 = 5m^2$

$$S_{pared} = \frac{A}{L} = \frac{5}{0.20m} = 25 m$$

Esquinas:

$$S_{esquinas} = \pi * r = \pi * 0.5 = 1.5707m$$

En el hidromasaje tenemos 4 secciones de pared, 8 aristas y 4 esquinas, de modo que el factor de forma total será:

$$\begin{aligned} S &= 5 S_{pared} + 4 S_{esquinas} \\ S &= 2 * 12 + 2 * 15 + 25 + 4 * 1.5707 \\ S_{hidromasaje} &= 85.28 m \end{aligned}$$

Para calcular la pérdida de calor por conducción se deberá tomar en cuenta el factor de forma de la piscina como el del hidromasaje por lo tanto:

$$\begin{aligned} S_{total} &= S_{piscina} + S_{hidromasaje} \\ S_{total} &= 456.42m + 85.28m = 541.7m \end{aligned}$$

Y la pérdida de calor por conducción será:

$$\begin{aligned} q &= K * S * \Delta T \\ q &= 1.50 \frac{W}{m^{\circ}C} * 541.7m * 30^{\circ}C - 17^{\circ}C = 10.56kW \end{aligned}$$

- **Pérdidas por renovación:**

Datos:

$$V_{RE} = 5\% V_{Total} = 3.39 m^3 / día$$

$$\delta = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_p = 4178 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} = 1.16 \frac{W \cdot h}{kg \cdot ^\circ C}$$

$$T_{AP} = 30^\circ C$$

$$T_R = 17^\circ C$$

$$Q_{RE} = V_{RE} \cdot \delta \cdot C_p \cdot T_{AP} - T_R$$

$$Q_{RE} = 3.39 \text{ m}^3/\text{día} \cdot 1000 \frac{kg}{\text{m}^3} \cdot 1.16 \frac{W \cdot h}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 30 - 17 \text{ } ^\circ C$$

$$Q_{RE} = 51.12 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{día}$$

Por lo tanto las pérdidas diarias por renovación serán:

$$Q_{RE} = 51.12 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = 2.131 \text{ kW}$$

- **Variación de Temperatura**

$$T_\infty = 19,5^\circ C$$

$$T_p = 30^\circ C$$

$$m_1 = 67728 \text{ kg}$$

$$u_1 = 125,73 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_T = 26,1 \text{ kW}$$

$$t = 6 \text{ h}$$

$$m_v = 3,363 \times 10^{-3} \text{ Kg}_s$$

$$m_2 = m_1 - m_v \cdot t$$

$$m_2 = 67728 \text{ kg} - 3,363 \times 10^{-3} \text{ Kg}_s \cdot 6 \text{ h} = 67655,35 \text{ kg}$$

$$u_2 = \frac{m_1 u_1 - Q_T \cdot t}{m_2}$$

$$u_2 = \frac{67728 \text{ kg} \cdot 125,73 \frac{kJ}{kg} - 26,1 \text{ kW} \cdot 6 \text{ h}}{67655,35 \text{ kg}} = 117,53 \rightarrow T = 28,04$$

En la tabla 2.1 se resume el cálculo de las pérdidas de calor y variaciones de temperatura en la piscina durante un día y para diferentes períodos de tiempo.

	<i>Temperatura Promedio °C</i>	<i>Periodo Horas</i>	<i>Pérdidas kW</i>	<i>Variación de Temperatura °C</i>
<i>Mañana</i>	19,5	06H00-12H00	26,10	1,96
<i>Medio Día</i>	25	12H00-13H00	19,27	0,22
<i>Tarde</i>	21	13H00-18H00	19,93	1,16
<i>Noche</i>	17	18H00-24H00	20,86	1,57
<i>Madrugada</i>	15	24H00-06H00	19,16	1,44
		<b>TOTAL</b>	102,44	6,36

***Tabla 2.1 Pérdidas de calor y variación de temperatura en la Piscina.***

El calentamiento del agua de reposición se lo hará durante el día a partir de las 08H00 hasta las 20H00, durante este periodo la piscina va a estar a disposición de los usuarios, por lo que se necesita mantener durante estas doce horas la temperatura de confort en el agua, entonces la variación de temperatura en este tiempo para el diseño de los colectores e intercambiador, será de 3,8°C.

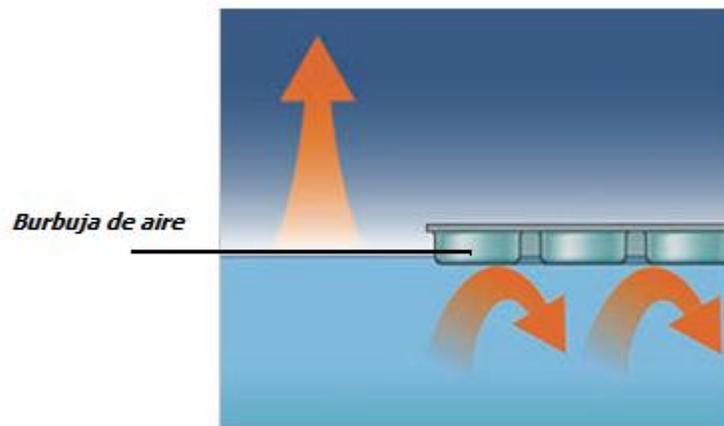
Durante la noche, madrugada y parte de la mañana la piscina no tendrá actividad por lo que se calcula las pérdidas a partir de las 20H00 hasta las 06H00 con la finalidad de poder calcular la temperatura a la que se va a volver a calentar el agua con el calefón y reponer otra parte con el agua del acumulador de los colectores. En la siguiente tabla se encuentran resumidas las pérdidas y variaciones de temperatura.

	<i>Temperatura Promedio</i> °C	<i>Periodo Horas</i>	<i>Pérdidas kW</i>	<i>Variación de Temperatura</i> °C
<i>Noche</i>	17	20H00-24H00	25,71	1,29
<i>Madrugada</i>	15	24H00-06H00	25,96	2,01
		<b>TOTAL</b>	51,76	3,3

***Tabla 2.2 Pérdidas de calor y variación de temperatura en la Piscina.***

Ahora se realiza el mismo cálculo de pérdidas en la noche y madrugada pero esta vez teniendo en cuenta que la piscina a partir de las 20H00 será cubierta con una manta térmica para evitar mayores pérdidas durante estos períodos. En el anexo 2.2 se puede encontrar las propiedades de y características de la manta térmica.

La manta térmica está formada por una película de con burbujas de aire Fig. 2.1, elaborada en polietileno con aditivos especiales que la hacen resistente a los rayos solares y a los químicos. La cubierta de polietileno se instala sobre la piscina con las burbujas de aire en contacto con el agua y permitirá evitar las pérdidas por evaporación y convección principalmente.



***Fig.2.1 Manta térmica en contacto con agua.***

En la siguiente tabla se encuentran calculadas las pérdidas de calor durante los periodos de la noche pero con la manta térmica en la superficie de la piscina:

	<i>Temperatura Promedio °C</i>	<i>Periodo Horas</i>	<i>Pérdidas kW</i>	<i>Variación de Temperatura °C</i>
<i>Noche</i>	17	20H00-24H00	13,94	0,71
<i>Madrugada</i>	15	24H00-06H00	15,24	1,17
		<b>TOTAL</b>	29,18	1,88

***Tabla 2.3 Pérdidas de calor y variación de temperatura en la Piscina con manta térmica.***

A las 06H00 el agua de la piscina se encontrará a una temperatura de 28,12 °C y se tiene que compensar 1,88 °C con el agua del acumulador del colector y con el calefón hasta llegar a la temperatura de confort.

#### **2.1.4. Diseño del calentador de agua con energía solar.**

Uno de los objetivos principales del proyecto es el uso de la energía solar para el recalentamiento del agua de la piscina, por lo que se tiene que analizar las variables físicas que influyen en el balance de energías para poder establecer un diseño eficiente.

##### **2.1.4.1. Radiación Solar**

Los datos de radiación solar para Cuenca sector Santa Isabel son obtenidos de la Base de Datos Internacionales H-WORLD, editada por el Centro de Estudios de Energía Solar (CENSOLAR). El valor de radiación solar media diaria con el que se va a realizar el diseño del sistema es de  $358.3 \text{ W m}^2$ . (Ver Anexo 2.3).

#### 2.1.4.2. Velocidad del Viento

Estos datos se han obtenido a partir del estudio de prefactibilidad del Proyecto Eólico Minas de Huascachaca que lo realiza la empresa ELECAUSTRO, donde se aprovechará el potencial del viento de la zona para la generación de energía eléctrica el cual está ubicado en el cantón Santa Isabel.

De acuerdo a los análisis realizados por Elecaustro la velocidad promedio es de 5,9 m/seg, siendo mayor en los meses de julio, agosto y septiembre como se observa en la figura 2.2.



*Fig.2.2 Distribución mensual del viento<sup>26</sup>*

#### 2.1.4.3. Humedad Relativa

Debido a la falta de un estudio meteorológico de la humedad en la zona, se tomaron datos proporcionados por el departamento de meteorología del Aeropuerto Mariscal Lamar de la ciudad de Cuenca y que relacionándolo con el sector se tiene una humedad relativa de 70%.

#### 2.1.4.4. Presión atmosférica, temperatura ambiente y de agua.

La presión atmosférica en el sector es de 8.88 kPa, la temperatura ambiente y de agua se midieron en forma experimental y se obtuvo una temperatura promedio de 21 y 18°C respectivamente.

<sup>26</sup> Fuente: Estudio de Factibilidad del Proyecto Eólico Minas de Huascachaca. Elecaustro 2010.

### 2.1.4.5. Balance de Energía del Sistema.

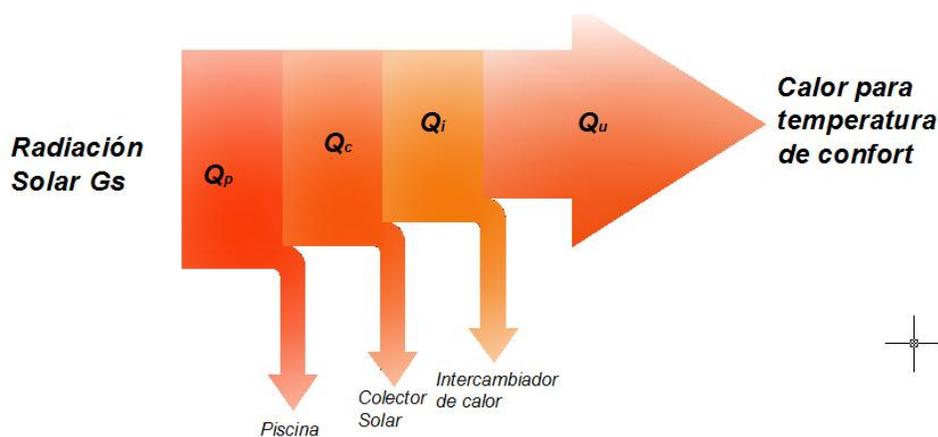
La variación de la energía total del sistema durante un proceso de calentamiento es igual a la diferencia entre la energía que ingresa y la que sale del sistema.

$$E_{ent} - E_{sale} = \Delta E_{sistema} \quad \text{Ec. 2.13}$$

Donde  $E_{ent}$  es la energía que absorbe el colector por la radiación solar;  $E_{sale}$  es la energía que sale del colector y es igual a la energía aprovechada por el agua más las pérdidas al ambiente.

Este balance se plantea con la finalidad de establecer el área de captación de los colectores solares los cuales van a ser diseñados para mantener el agua de la piscina caliente a 30 °C, ésta temperatura inicial se la obtiene al calentar el agua con un sistema auxiliar conformado por un calefón a gas. El objetivo de los colectores es compensar el gradiente de temperatura que se genera en la piscina debido a las pérdidas de calor durante el día y la noche.

En la siguiente figura se muestra un diagrama del balance de energía del sistema, establecido por la radiación solar absorbida, el calor aprovechado por el agua y las pérdidas de energía por transferencia de calor en la piscina, colector e intercambiador.



**Fig.2.3 Balance de energía del sistema.**

La ecuación del balance de energía está dada por:

$$\frac{dEc}{dt} = G_s \cdot A - q_p - q_c - q_i - q_u \quad \text{Ec. 2.14}$$

Donde:

$G_s$ = Radiación solar incidente

$A$ = Área de captación solar

$q_c$ = Pérdidas de calor en el colector.

$q_i$ = Pérdidas en el intercambiador de calor.

$q_p$ = Pérdidas en la piscina

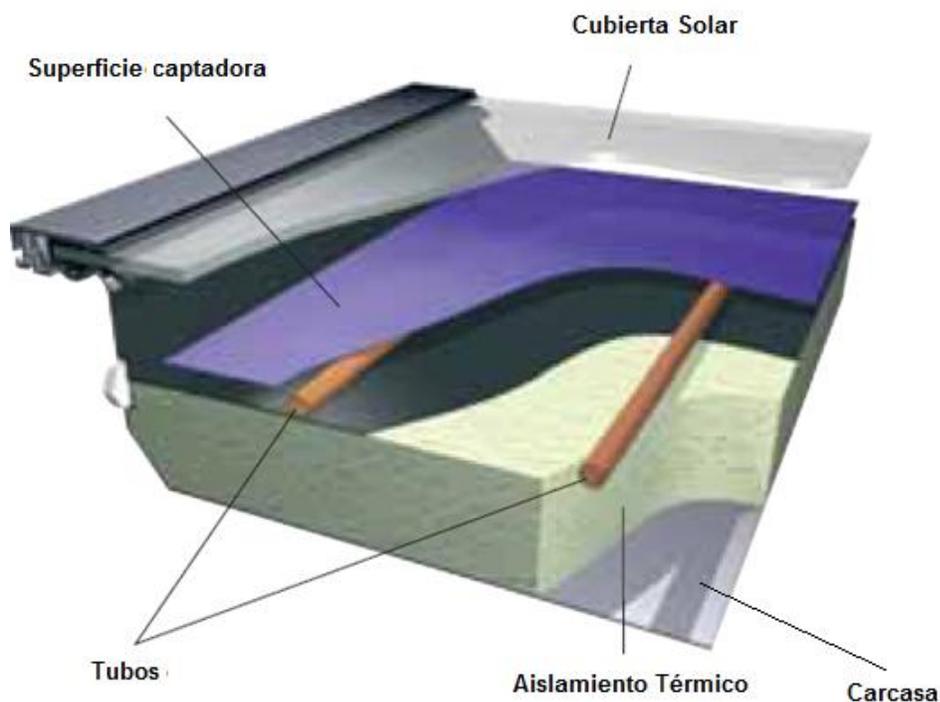
$q_u$ = Calor útil de los colectores

Por medio de este balance se puede establecer la demanda total de calor para mantener la temperatura en la piscina y el diseño de los elementos que conforman el sistema permitirá aprovechar el calor eficientemente.

#### **2.1.4.6. Diseño del Colector**

Para realizar el diseño se analiza las partes que conforman el colector para luego calcular las pérdidas y ganancias de calor, las cuales sirven para establecer un balance de energético.

#### 2.1.4.6.1. Descripción del colector.



*Fig.2.4 Colector solar plano.*

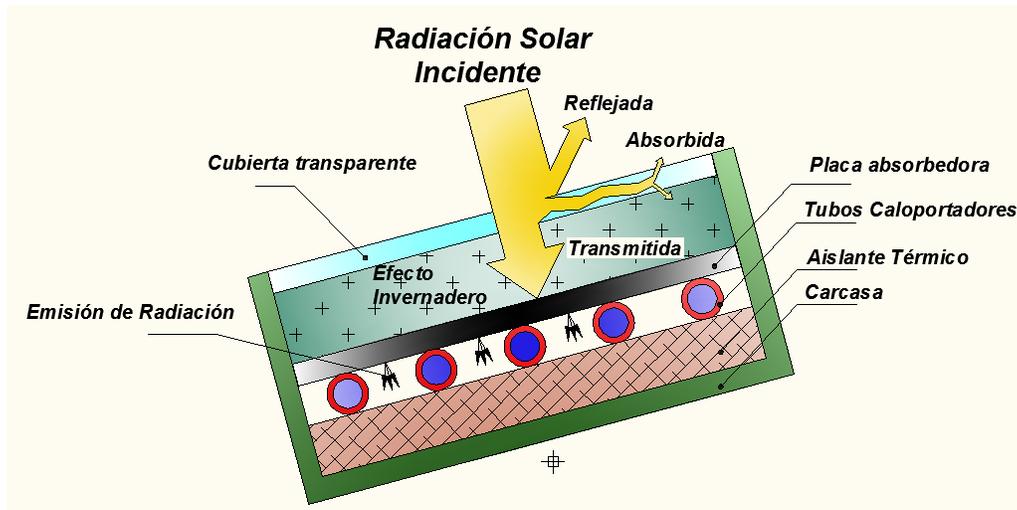
En la figura 2.4 se ilustra la disposición de los componentes que forman el colector, en la parte superior se encuentra la cubierta solar que está destinada a dejar pasar la radiación solar hacia la placa de absorción y a disminuir la pérdida de calor por convección y radiación, creando de esta manera un efecto invernadero que permite aprovechar la energía, por debajo de esta placa se encuentra la superficie captadora, que es una placa de aluminio recubierta con cromo negro, esta superficie es una buena conductora de calor cuya función es absorber la energía solar para transferirla hacia los tubos de cobre y estos a su vez hacia el agua que se encuentra en circulación. En la parte inferior del colector, debajo de los tubos está el aislante térmico para disminuir las pérdidas de calor al ambiente y por último está el gabinete que cubre la base y las paredes del panel.

#### 2.1.4.6.2. Análisis de la radiación solar.

El colector solar plano es el componente principal del sistema de calentamiento de agua, por lo que se debe hacer un análisis de los elementos en los que incide directamente la radiación solar para realizar un diseño efectivo y confiable, estos son:

### a) Cubierta Transparente

Para el análisis térmico del colector se parte de las propiedades de la radiación como la reflectividad, absorptividad y la transmitividad, cuando la radiación solar incide sobre la cubierta, una parte es reflejada al exterior, otra parte es absorbida por el material y el resto es transmitida hacia la placa absorbedora.



**Fig. 2.5 Radiación Incidente**

Por el principio de conservación de la energía se tiene que la suma de las radiaciones solares transmitida, reflejada y absorbida es igual a la radiación solar incidente ( $G_s$ ), figura 2.5, es decir:

$$G\tau_s + G\rho_s + G\alpha_s = G_s \quad \text{Ec. 2.15}$$

Dividiendo cada término para  $G_s$ , se obtiene:

$$\tau_s + \rho_s + \alpha_s = 1 \quad \text{Ec. 2.16}$$

Donde  $\tau_s$  es la transmitividad,  $\rho_s$  es la reflectividad y  $\alpha_s$  es la absorptividad del vidrio para la energía solar.

Al realizar un balance energético de la cubierta transparente, se establece que la suma de la radiación transmitida  $G\tau_s$  y la porción de la absorbida  $G\alpha_s$  que fluye hacia el interior, constituye la nueva radiación incidente o ganancia de calor solar para la placa de absorción mientras que la radiación reflejada  $G\rho_s$ , se considerara como pérdida de energía.

La fracción de la radiación solar incidente que atraviesa la cubierta se llama coeficiente de ganancia de calor solar (CGCS) y se expresa como:

$$\text{CGCS} = \frac{\text{Ganancia de calor solar}}{\text{Radiación solar incidente}} \quad \text{Ec. 2.17}$$

$$\text{CGCS} = \tau_s + f_i\alpha_s \quad 2.6$$

Donde  $f_i$  es la fracción de radiación solar absorbida que fluye hacia el interior del colector.

Una vez obtenida la fracción de CGCS se puede determinar la ganancia total de calor solar a través de la cubierta de la siguiente forma:

$$Q_{\text{solar, ganancia}} = \text{CGCS} \times A_{\text{cubierta}} \times q_{\text{solar, incidente}} \quad W \quad \text{Ec. 2.18}$$

### b) Placa Absorbedora

Las normas técnicas colombianas NTC 4368 y NTC 2461, establecen que la placa de absorción deberá fabricarse en materiales que posean una conductividad térmica mayor a 125 W/m° C y una absorción mayor a 0,9, como el acero, cobre o aluminio, en un espesor mínimo de 0,5 mm, 0,2 mm y 0,4 mm respectivamente. Tomando como referencia esta norma se utilizará una placa de aluminio recubierta con cromo negro en un espesor de 0,4mm.

Para el diseño de la placa absorbadora se calcula la energía absorbida, donde  $q_{\text{solar, ganancia}}$  pasa a ser la nueva radiación incidente para la placa, determinada por:

$$E_{\text{absorbida}} = \alpha \sigma T^4 = \alpha \cdot q_{\text{solar, ganancia}} \quad \frac{W}{m^2} \quad \text{Ec. 2.19}$$

Donde  $\sigma = 5.670 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$  es la constante de *Stefan-Boltzmann*

### 2.1.4.6.3. Análisis de Transferencia de Calor y pérdidas de calor en el colector

El análisis de transferencia de calor se lo realiza en base a un balance energético entre las entradas y salidas de energía.

Los procesos de transferencia de calor involucrados en este cálculo se basan en un régimen no estacionario, con el objetivo de calcular las pérdidas de calor en el colector.

Estos procesos están divididos en tres partes que son:

#### a) Parte Superior:

- Radiación existente entre la cubierta de cristal y el cielo
- Convección forzada externa sobre el cristal de los colectores.
- Conducción en la cubierta.
- Convección natural en la capa de aire interna entre la cubierta y la placa absorbidora.
- Radiación entre la placa absorbidora y cubierta debido a la diferencia de temperatura.
- Conducción en la placa absorbidora.

#### b) Parte Media:

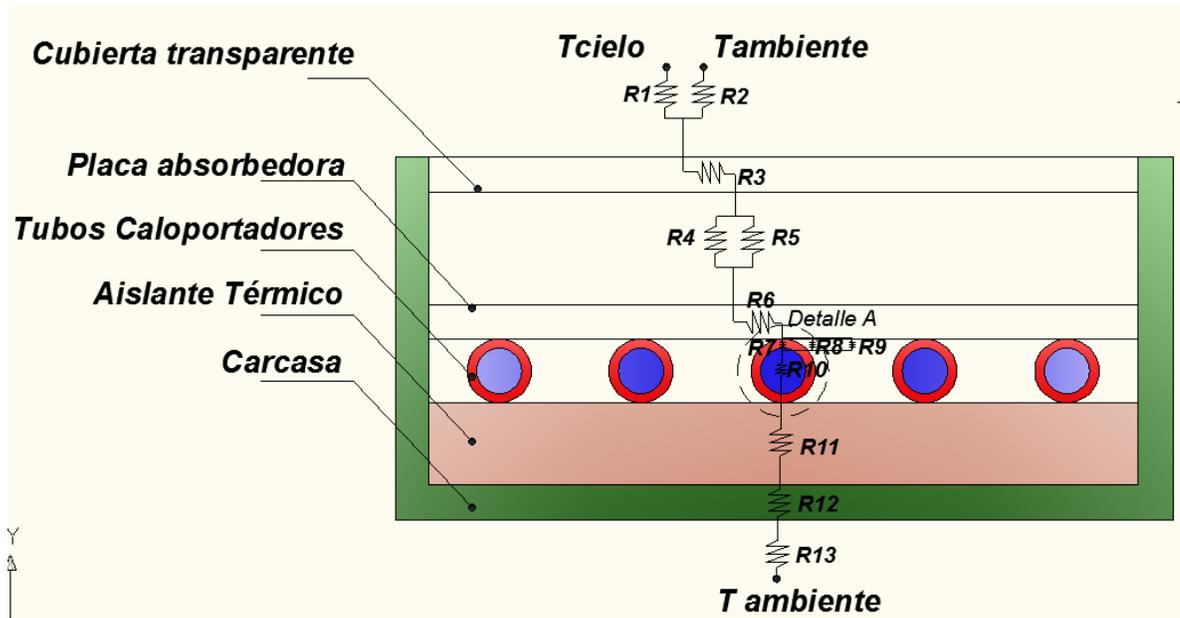
- Conducción en los tubos.
- Radiación interna de la placa hacia los tubos.
- Convección natural en la capa de aire interna entre la placa absorbidora y el aislante térmico.
- Convección en el fluido caloportador.

#### c) Parte Inferior:

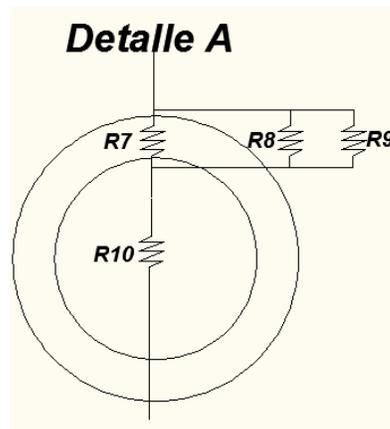
- Conducción en el aislante.

- Conducción en la caja.
- Convección forzada externa sobre la parte inferior del colector

En la figura 2.6 se describe el esquema de resistencias electricas para el análisis de las ganancias y pérdidas de calor en el colector.



a). Analogía eléctrica de la transferencia de calor en el colector.



b).Detalle del tubo caloportador.

**Fig. 2.6 Resistencias Térmicas del colector**

Las pérdidas de calor  $q_c$  por:

$$q = \frac{\Delta T_{Total}}{R_{Tér.}} \quad \text{Ec. 2.20}$$

Con la sumatoria de las pérdidas en estas tres partes se obtiene el  $q_c$ , es decir las perdidas por transferencia de calor en el colector y establecer el balance de energía planteado.

#### 2.1.4.6.4. Cálculo de la transferencia de calor en el colector.

- **Análisis de la radiación Solar Térmica**

La cubierta consta de un vidrio transparente normal de 3mm de espesor que transmite 86%, refleja 8% y absorbe 6% de la radiación que incide sobre él.

Entonces:

$$\text{Radiación total } G_s = 537,5 \text{ W m}^2$$

$$\text{Radiación Transmitida } G_{tr} = 462,25 \text{ W m}^2$$

$$\text{Radiación absorbida } G_{abs} = 32,25 \text{ W m}^2$$

$$\text{Radiación reflejada } G_{ref} = 43 \text{ W m}^2$$

- **Coefficiente de ganancia de calor solar (SHGC)**

$$SHGC = \frac{\text{Ganancia de calor solar}}{\text{Radiación solar incidente}}$$

$$SHGC = \tau_s + f_i \alpha_s = \frac{q_{solar, ganancia}}{q_{solar, incidente}}$$

$SHGC = 0,87$  para el vidrio transparente.

$$0,87 = \frac{q_{solar, ganancia}}{q_{solar, incidente}}$$

$$q_{solar, ganancia} = 0,87 \times 537,5$$

$$q_{solar, ganancia} = 467,6 \text{ W m}^2$$

- **Ganancia de calor solar a través de la cubierta**

$$Q_{solar, ganancia} = A_{cubierta} \times q_{solar, ganancia} \quad W$$

Imponemos un área de  $2 \text{ m}^2$

$$Q_{solar, ganancia} = 2 \times 467,6 = 935,25 \text{ W}$$

- **Radiación absorbida por la placa:**

La placa absorber

$$E_{absorbida} = \alpha \cdot q_{solar, ganancia} \quad \frac{W}{m^2}$$

Los valores de absorptividad y emisividad son de  $\alpha = 0,87$  y  $\varepsilon = 0,09$

$$E_{absorbida} = 0,87 \times 311,72 = 406,8 \frac{W}{m^2}$$

### Parte Superior:

- **Radiación existente entre la cubierta de cristal y ambiente exterior:**

Radiación de la atmosfera a la superficie

$$G_s = \sigma T_c^4$$

$T_c$  = Temperatura efectiva del cielo

$$T_c = \sqrt[4]{\frac{537,5}{5,67 \times 10^{-8}}} = 312,03^\circ K$$

Radiación en la cubierta

$$G_s = \sigma T_{s1}^4 - T_c^4$$

$T_{s1}$  = Temperatura de la superficie de la cubierta

$$T_{s1} = 371,06^\circ K \rightarrow 97,9^\circ C$$

Resistencia por radiación en la cubierta:

$$R1 = \frac{1}{\varepsilon \cdot A \cdot \sigma \cdot T_{s1} + T_c \cdot T_{s1}^2 + T_c^2}$$

El valor de  $\varepsilon = 0,9$

$$R1 = \frac{1}{0,9 \times 2 \times 5,67 \times 10^{-8} \cdot 371,06 + 312,03 \cdot 371,06^2 + 312,03^2}$$

$$R1 = 0,082 \frac{K}{W}$$

- *Convección forzada externa sobre el cristal de los colectores.*

**Datos:**

$$V = 5.9 \text{ m/s}$$

$$T_{\infty} = 18^{\circ}\text{C}$$

$$T_{s1} = 371,06^{\circ}\text{K} \rightarrow 97,9^{\circ}\text{C}$$

$$P_{atm} = 88.8 \text{ kPa} \rightarrow 0,876 \text{ atm}$$

**Propiedades del aire:**

$$T_p = \frac{97,9 + 18}{2} = 57,95^{\circ}\text{C}$$

$$k = 0,02662 \text{ W m}^{\circ}\text{K}$$

$$\mu = 1,918 \times 10^{-5} \text{ kg m.s}$$

$$c_p = 1,007 \text{ J kg.K}$$

$$Pr = 0,7255$$

$$\nu = \frac{\nu_{@1atm}}{P} = \frac{1,702 \times 10^{-5}}{0,876} = 1,943 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}$$

El área de la cubierta es de  $2 \text{ m}^2$  por lo que sus lados son de 2m y 1m

El flujo de aire es paralelo al lado de 1m

$$Re_L = \frac{V \cdot L}{\nu}$$

$$Re_L = \frac{5,9 \times 1}{1,943 \times 10^{-5}}$$

$$Re_L = 3,036 \times 10^5$$

$$Re_L < 5 \times 10^5$$

$$Nu = \frac{h \cdot L}{k} = 0.664 Re_L^{0.5} Pr^{\frac{1}{3}} = 0,664 \times 3,036 \times 10^5^{0.5} \times 0,7255^{\frac{1}{3}} = 328,74$$

El coeficiente de transferencia de calor por convección se determina de la siguiente manera:

$$h_{conv1} = \frac{k}{L} \cdot Nu$$

$$h_{conv1} = \frac{0,02662}{1} \cdot 328,74 = 8,75 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Resistencia por convección:

$$R2 = \frac{1}{8,75 \times 2} = 0,057 \frac{K}{W}$$

Para la resistencia equivalente 1 tenemos:

$$\frac{1}{R_{eq1}} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2}$$

$$R_{eq1} = 0.0336 \frac{K}{W}$$

- **Conducción en la cubierta.**

Resistencia por conducción en la cubierta:

$$R3 = \frac{L1}{k1 \cdot A}$$

$$L1 = 3mm \rightarrow 0,003m$$

$$k1 = 0,7 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$A = 2m^2.$$

$$R3 = \frac{0,003}{0,7 \times 2} = 2,14 \times 10^{-3} \frac{K}{W}$$

- **Convección natural en la capa de aire interna entre la cubierta y la placa absorbadora.**

#### Temperaturas de placa

$T_{s2}$  y  $T_{s3}$  son las temperaturas superficiales entre la cubierta y la placa absorbadora.

$T_{s2}$  y  $T_{s3}$ , por medio de la transferencia de calor por conducción y radiación entre placas paralelas.

$T_{s2}$  se calcula a partir del calor solar perdido a través de la cubierta y la resistencia por conducción:

$$q_{solar\ perdido} = q_{solar,incidente} - q_{solar,ganancia}$$

$$q_{solar\ perdid} = 537,5 - 467,6 = 69,9 \text{ W m}^2$$

$$Q_{solar,perdid} = 2 \times 69,9 = \mathbf{139,8 \text{ W}}$$

$$Q_{solar,perdid} = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{R3}$$

$$T_{s2} = 371,06 - 139,8 \times 2,14 \times 10^{-3}$$

$$T_{s2} = \mathbf{370,76 \text{ K} \rightarrow 97,61 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$T_{s3}$  se calcula a partir de la transferencia de calor entre la cubierta y la placa absorbadora.

$$q_{solar, ganancia} = 467,6 \text{ W m}^2$$

$$q_{solar, ganancia} = \frac{\sigma T_{s3}^4 - T_{s2}^4}{\frac{1}{\epsilon_{s2}} + \frac{1}{\epsilon_{s3}} - 1}$$

$$467,6 \text{ W m}^2 = \frac{5,67 \times 10^{-8} T_{s3}^4 - 370,76^4}{\frac{1}{0,9} + \frac{1}{0,09} - 1}$$

$$T_{s3} = \mathbf{577,78 \text{ K} \rightarrow 304,6 \text{ }^\circ\text{C}}$$

### Propiedades del aire

$$T_p = \frac{97,61 + 304,6}{2} = \mathbf{201,12 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$k = 0,03566 \text{ W m K}$$

$$Pr = 0,7004$$

$$\nu = \frac{\nu_{@1atm}}{P} = \frac{3,073 \times 10^{-5}}{0,876} = 3,507 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}$$

$$\beta = \frac{1}{T_p} = 2,265 \times 10^{-3}$$

Al tratarse de un caso de convección natural, es preciso calcular el número de Rayleigh, que se define a continuación:

$$Ra_L = \frac{g\beta T_1 - T_2 L_c^3}{\nu^2} \cdot Pr$$

$$Ra_L = \frac{9,81 \cdot 2,265 \times 10^{-3} \cdot 527,78 - 355,08 \cdot 0,02^3}{3,507 \times 10^{-5} \cdot 2} \cdot 0,7004$$

$$Ra_L = 17482,12$$

Para  $Ra_L < 10^5$ ,  $0 < \theta < 70^\circ$ , y  $H/L \geq 12$

$$Nu = 1 + 1,44 \left[ 1 - \frac{1708}{17482,12 \cos 15} \right]^+ + \left[ 1 - \frac{1708 \cdot \sin 1,8 \cdot 15}{17482,12 \cos 15} \right]^{1,6} + \frac{17482,12 \cos 15^{1/3}}{18} - 1$$

$$Nu = 1,4361$$

$$h_{conv2} = \frac{0,03566}{0,02} \cdot 1,4361 = 2,5607 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Ahora la resistencia por convección:

$$R4 = \frac{1}{2,5607 \times 2}$$

$$R4 = 0,195 \frac{K}{W}$$

- *Radiación entre la placa absorbidora y cubierta debido a la diferencia de temperaturas entre ambos.*

Para calcular el coeficiente de transferencia de calor por radiación se utiliza la Ec. 15:

$$h_{rad2} = \frac{\sigma \cdot T_{s2} + T_{s3} \cdot T_{s2}^2 + T_{s3}^2}{\frac{1}{\varepsilon_{s2}} + \frac{1}{\varepsilon_{s3}} - 1}$$

$$h_{rad2} = \frac{5,67 \times 10^{-8} \cdot 355,08 + 527,78 \cdot 355,08^2 + 527,78^2}{\frac{1}{0,9} + \frac{1}{0,09} - 1} = 1,804 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

De igual manera se utiliza la Ec. 16 para encontrar la resistencia por radiación

$$R5 = \frac{1}{1,804 \times 2}$$

$$R5 = 0,2770 \frac{^{\circ}K}{W}$$

Como las resistencias 4 y 5 se encuentran en paralelo se calcula una  $R_{eq2}$

$$\frac{1}{R_{eq2}} = \frac{1}{R4} + \frac{1}{R5}$$

$$R_{eq2} = 0,114 \frac{^{\circ}K}{W}$$

- *Conducción en la placa absorbadora.*

$$R6 = \frac{L2}{k2 \cdot A}$$

$$L2 = 0,005m$$

$$k2 = 237 \frac{W}{m \cdot ^{\circ}K}$$

$$R6 = \frac{0,005}{237 \times 2}$$

$$R6 = 1,054 \times 10^{-5} \frac{^{\circ}K}{W}$$

### Parte Media:

- *Conducción en los tubos.*

La resistencia térmica de la capa cilíndrica se puede expresar como:

$$R7 = \frac{\ln \frac{r_e}{r_i}}{2\pi L k N}$$

$$de = 15,87mm \rightarrow \frac{5}{8}''$$

$$dn = 12,7mm \rightarrow \frac{1}{2}''$$

$$e = 0.711mm$$

$$di = 14.448mm$$

$$L = 1,968m$$

$$N = 10$$

$$k = 401 \frac{W}{m \cdot ^{\circ}K}$$

$$R7 = \frac{\ln \frac{0.007935}{0.007224}}{2\pi \times 1,968 \times 401 \times 10}$$

$$R7 = 1,893 \times 10^{-6} \frac{K}{W}$$

- **Radiación interna de la placa hacia los tubos.**

$$R8 = \frac{1 - \varepsilon_{s4}}{A \cdot \varepsilon_{s4}}$$

$$R8 = \frac{1 - 0,09}{2 \cdot 0,09}$$

$$R8 = 5,05 \frac{1}{m^2}$$

- **Convección natural en la capa de aire interna entre la placa absorbadora y el aislante térmico.**

Con la temperatura de emisión de la placa absorbadora se evaluarán las propiedades del aire, ya que al tratarse de un recinto pequeño se lo puede considerar como un sistema isotérmico. Entonces por la ley de Kirchhoff tenemos que la radiación emitida por un cuerpo debe ser igual a la absorbida:

$$A \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 = A \cdot \alpha \cdot \sigma \cdot T^4$$

$$E_{absorbida} = 406,8 \frac{W}{m^2}$$

$$406,8 \frac{W}{m^2} = 0,09 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \cdot T_{s4}^4$$

$$T_{s4} = 531,3 K \rightarrow 294,2^\circ C$$

El valor de la resistencia por convección en este recinto se lo puede calcular de la siguiente manera:

$$\frac{q}{A} = \frac{k_e \cdot \Delta T}{\delta} = \frac{\Delta T}{R9}$$

Donde:

$\delta$  = Ancho del recinto

$k_e$  = Conductividad Térmica efectiva.

De modo que

$$R_9 = \frac{\delta}{k_e}$$

Para recintos cerrados la convección es análoga a la conducción de calor de uno a otro lado de una capa de fluido en ese recinto, siempre que la conductividad térmica se reemplace por  $k \cdot Nu$ . Por lo que:

$$k_e = k \cdot Nu.$$

Para el caso especial de  $Nu=1$  la conductividad térmica efectiva del recinto se vuelve igual a la conductividad.

Entonces:

$$T_p = 294,2^\circ\text{C}$$

$$k = 0,0382 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\delta = 0,01587m$$

Ahora la resistencia por convección:

$$R_9 = \frac{0,01585}{0,0382}$$

$$R_9 = 0,415 \frac{K \cdot m^2}{W}$$

- **Convección en el fluido caloportador.**

Las propiedades del agua se evalúan a la temperatura de confort de la piscina de  $30^\circ\text{C}$ .

$$T_p = 30^\circ\text{C}$$

$$k = 0,0189 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\mu = 0,798 \times 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$Pr = 5,42$$

$$C_p = 4178 \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$\rho = 996 \frac{kg}{m^3}$$

Por medio del número de Reynolds determinamos el tipo de flujo

$$Re = \frac{\rho \cdot V_{prom} \cdot D}{\mu}$$

$$Re = \frac{996 \cdot 0,2 \cdot 0,0127}{0,798 \times 10^{-3}} = 3275,9$$

$$Nu = 0,023 \cdot 3275,9^{0,8} \cdot 5,42^{1/3} = 26,22$$

Ahora el coeficiente de convección quedaría de la siguiente forma:

$$h_{conv4} = \frac{k}{D} Nu$$

$$h_{conv4} = \frac{0,0189}{0,01127} \cdot 26,22 = 39,09 \frac{W}{m^2 K}$$

La resistencia queda expresada como sigue:

$$R_{10} = \frac{1}{39,09 \cdot \pi \cdot 0,0127 \cdot 1,968 \cdot 10}$$

$$R_{10} = 0,032 \frac{K}{W}$$

#### Parte Inferior:

- *Conducción en el aislante.*

$$L3 = 0,0254m$$

$$k3 = 0,03461 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}$$

$$A = 2m^2$$

$$R_{11} = \frac{0,0254}{0,03461 \times 2}$$

$$R_{11} = 0,367 \frac{^\circ K}{W}$$

- *Conducción en la caja.*

$$L4 = 0,003m$$

$$k4 = 237 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}$$

$$A = 2m^2$$

$$R_{12} = \frac{0,003}{237 \times 2}$$

$$R_{12} = 6,33 \times 10^{-6} \frac{^\circ K}{W}$$

- **Convección forzada externa sobre la parte inferior del colector**

**Datos:**

$$V = 5.9 \text{ m/s}$$

$$T_{\infty} = 18^{\circ}\text{C}$$

$$P_{atm} = 88.8 \text{ kPa} \rightarrow 0.876 \text{ atm}$$

**Propiedades del aire:**

$$k = 0.024988 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{K}}$$

$$\mu = 1.8158 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$c_p = 1.007 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$Pr = 0.73146$$

$$\nu = \frac{\nu_{@1atm}}{P} = \frac{1.4976 \times 10^{-5}}{0.876} = 1.7095 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

El área de la cubierta es de  $2 \text{ m}^2$  y sus lados son de 2m y 1m

El flujo de aire es paralelo al lado de 1m

$$Re_L = \frac{V \cdot L}{\nu}$$

$$Re_L = \frac{5.9 \times 1}{1.7095 \times 10^{-5}}$$

$$\mathbf{Re_L = 3,451 \times 10^5}$$

$$Re_L < 5 \times 10^5$$

$$\mathbf{Nu} = \frac{h \cdot L}{k} = 0.664 Re_L^{0.5} Pr^{\frac{1}{3}} = 0.664 \times 3,451 \times 10^5^{0.5} \times 0.73146^{\frac{1}{3}} = \mathbf{351,46}$$

El coeficiente de transferencia de calor por convección se determina de la siguiente manera:

$$h_{conv5} = \frac{k}{L} \cdot Nu$$

$$h_{conv5} = \frac{0.024988}{1} \cdot 328,74 = \mathbf{8,78} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

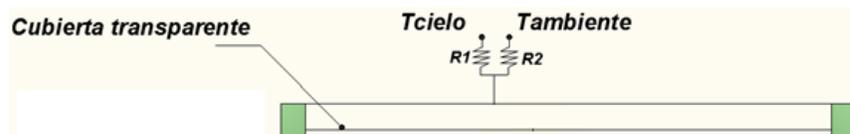
Resistencia por convección:

$$R_{13} = \frac{1}{8,75 \times 2} = 0,0569 \frac{^{\circ}K}{W}$$

- Pérdidas por Transferencia de calor en el Colector. ( $q_c$ )

Parte Superior:

Exterior de la cubierta del colector.



$$q = \frac{\Delta_{Total}}{R_{eq1}}$$

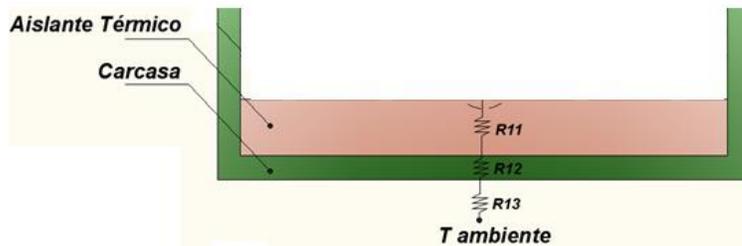
$$q = 1313,39 W$$

Interior de la cubierta.



$$q = 1247,78 W$$

Parte Inferior:



$$q = \frac{\Delta T}{R_{11} + R_{12} + R_{13}}$$

$$q = 413,27 W$$

- **Resumen de Pérdidas**

<i>Parte</i>	<i>Pérdida [kW]</i>
Superior	2,561
Inferior	0,413
<b>Total (<math>q_c</math>)</b>	<b>2,974</b>

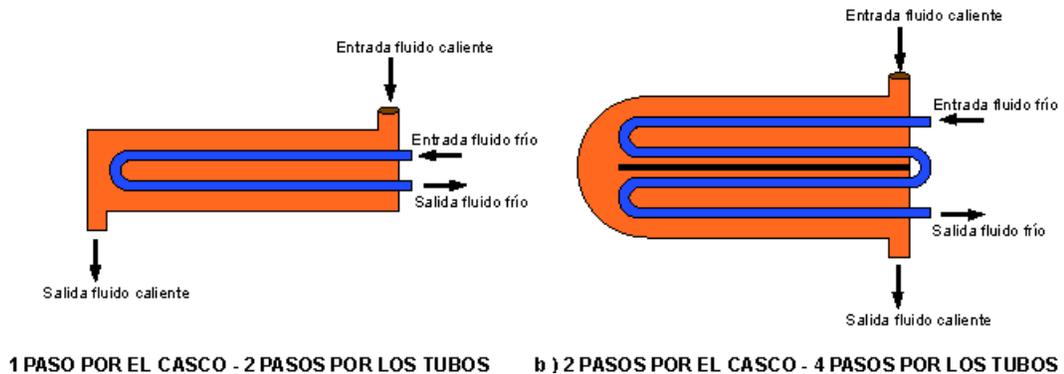
### 2.1.5. Diseño del Intercambiador.

Para el diseño de este componente del sistema de calentamiento de agua se realiza un estudio de las generalidades de los intercambiadores de coraza y tubos, luego se analiza las configuraciones de flujo, partes constitutivas y por último se analiza el intercambiador mediante un balance de energía.

#### 2.1.5.1. Generalidades de los Intercambiadores de Coraza y Tubo.

El intercambiador consiste en una estructura de tubos pequeños colocados en el interior de un casco de mayor diámetro. Este tipo de intercambiador es el más aplicado en la industria.

La transferencia de calor tiene lugar a medida que uno de los fluidos se mueve por el interior de los tubos mientras que el otro se mueve por fuera de éstos. Este tipo de intercambiadores se clasifican por el número de pasos por el casco y por el número de pasos por los tubos, fig.2.7.



*Fig. 2.7 Configuración del intercambiador.*

### 2.1.5.2. Configuraciones de flujo

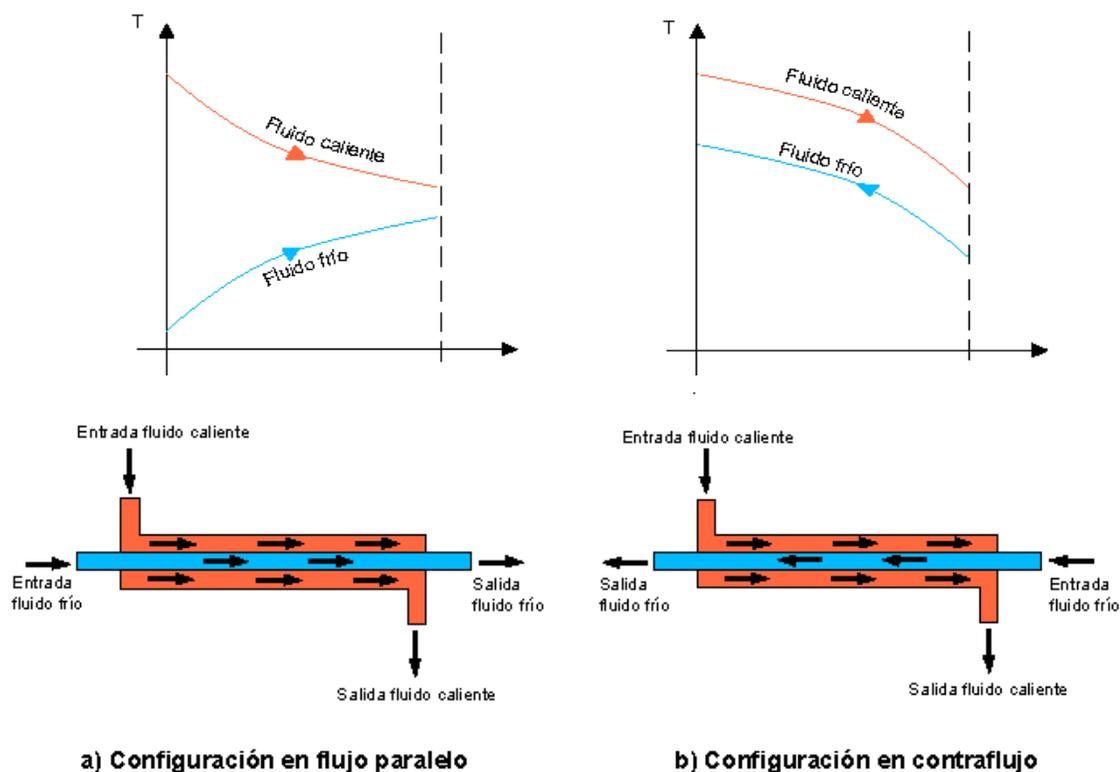
Según el sentido de flujo de los fluidos los intercambiadores se clasifican por:

#### a) Flujo Paralelo

Los dos fluidos entran por el mismo extremo y fluyen en igual sentido, además la temperatura de salida del fluido frío nunca puede ser superior a la temperatura de salida del fluido caliente.

#### b) Contraflujo

Los fluidos entran por los extremos opuestos para fluir en sentidos contrarios y la temperatura de salida del fluido frío puede ser superior a la temperatura de salida del fluido caliente. El caso límite se tiene cuando la temperatura de salida del fluido frío es igual a la temperatura de entrada del fluido caliente y la temperatura de salida del fluido frío nunca puede ser superior a la temperatura de entrada del fluido caliente. Fig. 2.8

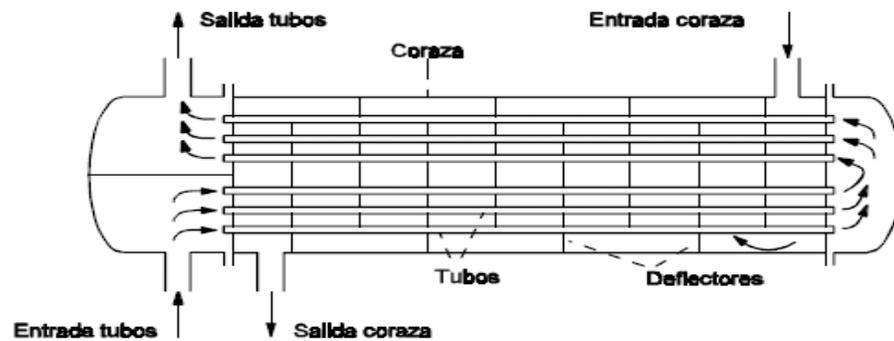


*Fig. 2.8. Tipos de configuraciones de flujo*

### 2.1.5.3. Partes constitutivas.

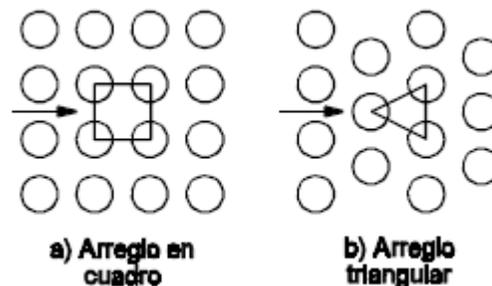
Las distintas aplicaciones de la transferencia de calor requieren diferentes tipos de accesorios y configuraciones del equipo para dicha transferencia de calor, los mismos que varían de acuerdo a las necesidades y algunas restricciones, lo que ha conducido a numerosos diseños de intercambiadores.

El intercambiador de coraza y tubos está compuesto por un casco de un paso, tubos de doble paso con canal y cubierta desmontable, cabezal flotante con dispositivo de apoyo, desviadores transversales y placas de apoyo.



*Fig. 2.9 Partes principales del intercambiador.*

Los tubos para intercambiador de calor son de construcción especial y los hay en varios metales como acero, cobre, latón, 70-30 cobre-níquel, aluminio-bronce, aluminio y aceros inoxidable entre otros. Los tubos se colocan en arreglos triangulares o cuadrados, como se puede apreciar en la figura 2.10:



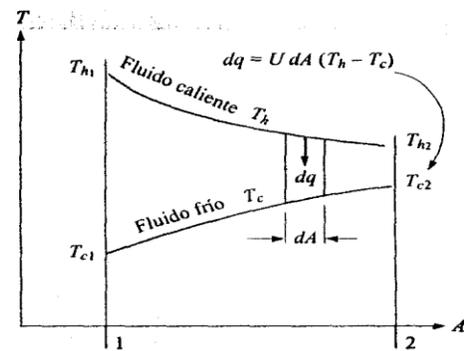
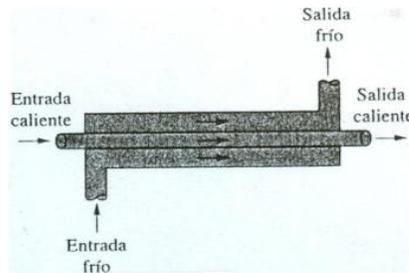
*Fig. 2.10. Tipos de arreglos de tubos*

La ventaja del arreglo en cuadro es que los tubos son accesibles para limpieza externa y tienen pequeña caída de presión cuando el flujo va en la dirección indicada en la figura 2.13. Cuando el líquido se mantiene en estado de turbulencia se logran coeficientes de transferencia de calor más altos. Para lograr turbulencia fuera de los tubos, se emplean deflectores que hacen que el líquido fluya a través de la coraza a ángulos rectos con el eje de los tubos como se puede apreciar en la figura 2.9.

#### 2.1.5.4. Temperatura Media Logarítmica

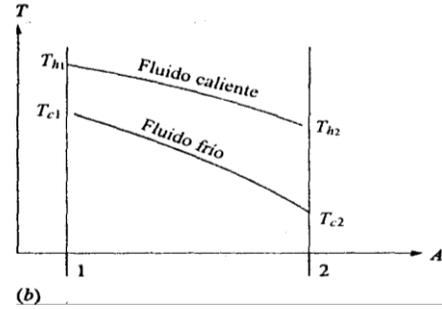
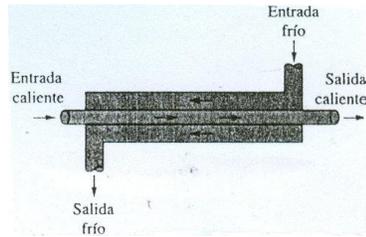
La velocidad de la transferencia de calor entre los dos fluidos en un lugar dado a un intercambiador depende de la magnitud de la diferencia de temperatura local, la cual varía a lo largo de dicho intercambiador, ésta diferencia de temperaturas recibe el nombre de *diferencia de temperaturas media logarítmica* (LMTD). En las siguientes figuras se muestran los perfiles de temperaturas para intercambiadores.

##### a) Corrientes paralelas



$$\Delta T_m = \frac{T_{h2} - T_{c2} - T_{h1} - T_{c1}}{\ln \frac{T_{h2} - T_{c2}}{T_{h1} - T_{c1}}} \quad \text{Ec. 2.21}$$

b) *A contracorriente*

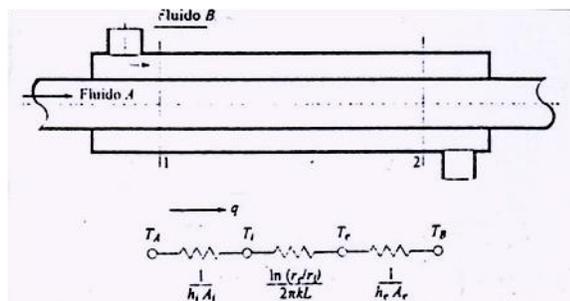


$$\Delta T_m = \frac{Th_1 - Tc_2 - Th_2 - Tc_1}{\ln \frac{Th_1 - Tc_2}{Th_2 - Tc_1}} \quad \text{Ec. 2.22}$$

**Fig. 2.11** *Perfiles de temperaturas en cambiadores de calor*

**2.1.5.5. Balance de Energía.**

En un intercambiador la transferencia de calor suele comprender convección en cada fluido y conducción a través de la pared que los separa. En el análisis de los intercambiadores de calor resulta conveniente trabajar con un coeficiente de transferencia de calor total U, que toma en cuenta la contribución de todos estos efectos sobre dicha transferencia.



**Fig. 2.12** *Transferencia de calor en el Intercambiador*

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_{global} \quad \text{Ec. 2.23}$$

$$q = \frac{T_A - T_B}{\frac{1}{h_i \cdot A_i} + \frac{\ln \frac{r_e}{r_i}}{2\pi k L} + \frac{1}{h_e \cdot A_e}} \quad \text{Ec. 2.24}$$

Este análisis debe ser complementado con el balance térmico del equipo:

$$Q_{cedido} = Q_{absorve} + \Delta Q_{perdido(ambiente)} \quad \text{Ec. 2.25}$$

Para intercambiadores de calor de baja temperatura el  $\Delta Q_{perdido(ambiente)}$  es de un 5% del calor necesario para la transferencia de calor.

#### 2.1.5.6. Cálculos del diseño del intercambiador.

Para el diseño del intercambiador se tomara los siguientes datos:

Fluido caliente: Agua proveniente de los colectores solares

$$T_{h1} = 36^{\circ}\text{C}$$

$$T_{h2} = 28^{\circ}\text{C}$$

$$Q = 50 \text{ l }_{min}$$

$$m_h = 0,8316 \text{ kg }_s$$

Fluido frio: Agua proveniente de la piscina

$$T_{c1} = 26,14^{\circ}\text{C}$$

$$T_{c2} = 30^{\circ}\text{C}$$

Calculamos en el flujo másico del agua caliente de los colectores, para esto es necesario conocer los calores específicos de los dos fluidos:

$$T_{fh} = \frac{T_{h2} + T_{h1}}{2} = \frac{36 + 28}{2} = 32^{\circ}\text{C} = 305.15\text{K}$$

De las tablas del libro de Holman se obtiene que:

$$Cp_h = 4,174 \text{ KJ }_{Kg^{\circ}\text{C}}$$

$$T_{fc} = \frac{T_{c2} + T_{c1}}{2} = \frac{30 + 26,14}{2} = 28,07^{\circ}\text{C} = 301,22 \text{ K}$$

De las tablas del libro de Holman de calor se obtiene:

$$Cp_c = 4,178 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}$$

- **Balace de energía**

Por medio de un balace de energía se calcula el flujo másico para los intercambiadores.

$$q = m_h \cdot Cp_h \cdot Th_1 - Th_2 = m_c \cdot Cp_c \cdot Tc_2 - Tc_1$$

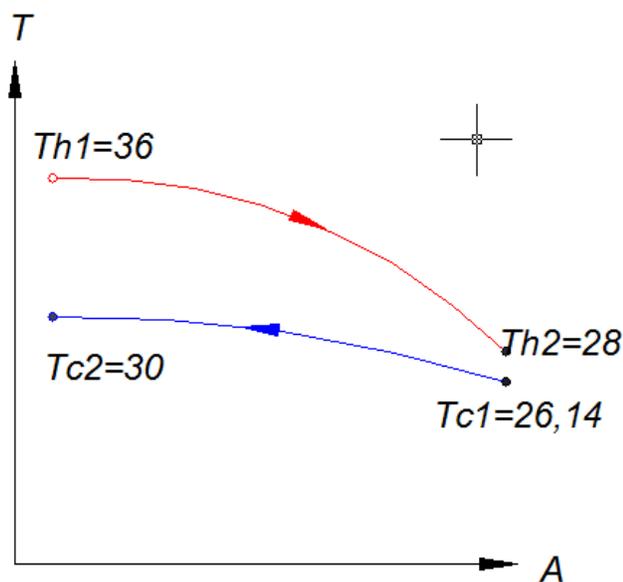
$$0,8316 \cdot 4,174 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} \cdot 36 - 28 = m_c \cdot 4,178 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} \cdot 30 - 26,14 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$m_c = 1.721 \text{ kg}_s$$

$$Q = 103.3 \text{ l}_{min}$$

- **Temperatura Media Logaritmica.**

El intercambiador es a contracorriente por lo que se temperatura media logarítmica es:



$$\Delta T_m = \frac{Th_1 - T_{c2} - Th_2 - T_{c1}}{\ln \frac{Th_1 - T_{c2}}{Th_2 - T_{c1}}}$$

$$\Delta T_m = \frac{36 - 30 - 28 - 26,14}{\ln \frac{36 - 30}{28 - 26,14}} = 3.534^\circ\text{C}$$

- **Flujo de calor en el Sistema.**

$$\Delta T_m = 3.534^\circ\text{C} \rightarrow C_p = 4,211 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$$

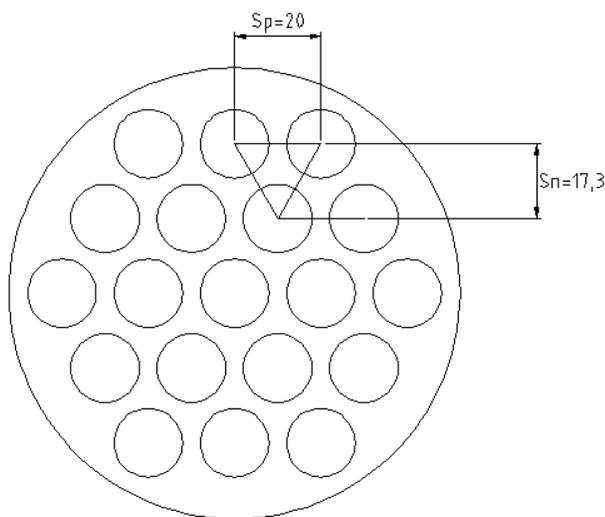
$$q = m_c \cdot C_{p_c} \cdot T_{c2} - T_{c1}$$

$$q = 1.721 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4,211 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \cdot 30 - 26,14 = 27.97 \text{ kW}$$

Las pérdidas de calor del intercambiador al ambiente por lo general se toman el 5% del flujo de calor en el sistema, lo que corresponde a un valor de 1,39kW.

- **Arreglo de Tubos.**

La configuración de los tubos es triangular rotado a  $60^\circ$  como se indica en la figura.



Como recomendación para el diseño debemos hacer la primera aproximación con datos de materiales existentes en nuestro medio por lo que se va a calcular con tubos de cobre de  $\frac{3}{4}$  in.

- **Coefficiente de Global de Transferencia de Calor.**

**Coefficiente de Transferencia de Calor  $h_h$**

**Propiedades del fluido:**

$$T_{f_h} = \frac{T_{h_2} + T_{h_1}}{2} = \frac{36 + 28}{2} = 32^\circ\text{C} = 305.15\text{K}$$

$$k = 0,622 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\mu = 7,68 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$Pr = 5.14$$

$$C_p = 4,174 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\rho = 994,9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Por medio del número de Reynolds determinamos el tipo de flujo

$$u_\infty = \frac{m}{\rho \cdot A} = \frac{0,8316 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{994,9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\pi \cdot (0,01905\text{m})^2}{4}} = 2,93 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re = \frac{\rho \cdot V_{prom} \cdot D}{\mu}$$

$$Re = \frac{994,9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2,93 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,01905\text{m}}{7,68 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}} = 72307.07$$

$$Nu = 0,023 Re^{0,87} Pr^{0,4} = 747.48$$

Ahora el coeficiente de convección quedaría de la siguiente forma:

$$h_h = \frac{k}{D} Nu$$

$$h_h = \frac{0,622 \text{ W}}{0,01905 \text{ m}} \cdot 747,48 = 24405,95 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

- **Coefficiente de Transferencia de Calor  $h_c$**

**Propiedades del fluido:**

$$T_{fc} = \frac{T_{c_2} + T_{c_1}}{2} = \frac{30 + 26,14}{2} = 28,07^\circ\text{C} = 301,22 \text{ K}$$

$$k = 0,616 \text{ W m } ^\circ\text{C}$$

$$\mu = 8,360 \times 10^{-4} \text{ kg m.s}$$

$$Pr = 5,66$$

$$Cp = 4,177 \text{ kJ kg } ^\circ\text{C}$$

$$\rho = 995,57 \text{ kg m}^3$$

$$u_\infty = \frac{m}{\rho \cdot A} = \frac{2,15 \text{ kg s}}{995,57 \text{ kg m}^3 \cdot \frac{\pi \cdot 0,022^2}{4}} = 5,68 \text{ m s}$$

$$Re = \frac{u_\infty \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{5,68 \text{ m s} \cdot 0,022225 \text{ m} \cdot 995,57 \text{ kg m}^3}{8,360 \times 10^{-4} \text{ kg m.s}} = 148839,9$$

$$Nud = 0,021 \cdot Re^{0,8} - 100 \cdot Pr^{0,4}$$

$$Nud = 0,021 \cdot 148839,9^{0,8} - 100 \cdot 5,66^{0,4} = 537,25$$

$$h_c = \frac{Nud \cdot k}{d} = \frac{537,25 \cdot 0,616 \text{ W m } ^\circ\text{C}}{0,022225} = 16051,24 \text{ W m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Los tubos serán de un material con un  $k = 386 \text{ W m}^\circ\text{C}$

Calculo del coeficiente global de transferencia de calor

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_h} + \ln \frac{d_2}{d_1} \frac{1}{k} + \frac{1}{h_c}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{24405.95} + \ln \left( \frac{0.022}{0.01905} \right) \frac{1}{386} + \frac{1}{16051.24}} = 2099.66 \text{ W m}^2\text{C}$$

Calculo del área de transferencia de calor

$$A = \frac{q}{U \cdot \Delta T_m}$$

$$A = \frac{27970 \text{ W}}{2099.66 \text{ W m}^2\text{C} * 3.53^\circ\text{C}} = 3.77 \text{ m}^2$$

Debido al espacio físico disponible, la longitud del intercambiador no debe exceder los 2m, por lo que utilizará una longitud de 1 m para calcular el número total de tubos.

$$A = L \cdot \pi \cdot d \cdot n$$

$$n = \frac{A}{L \cdot \pi \cdot d} = \frac{3.77}{\pi * 0.01905 * 1} = 63.05 \approx 63 \text{ tubos}$$

Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

<i>Descripción</i>	<i>Resultado</i>
<i>Fluido caliente</i>	<b>Agua de los colectores</b>
<b>Temperatura de entrada.</b>	36 °C
<b>Temperatura de salida</b>	28°C

<b>Flujo másico</b>	0,8316 $kg_s$
<b>Caudal</b>	50 $l_{min}$
<b>Fluido frio</b>	<b>Agua de la piscina</b>
<b>Temperatura de entrada.</b>	26,14 °C
<b>Temperatura de salida</b>	30°C
<b>Flujo másico</b>	1,72 $kg_s$
<b>Caudal</b>	103,3 $l_{min}$
<b>Temperatura media logarítmica</b>	3,53°C
<b>Calor necesario</b>	27,97 kW
<b>Numero de pasos</b>	1
<b>Numero de tubos</b>	63
<b>Diámetro de los tubos</b>	3/4"

**Tabla 2.3 Características del intercambiador.**

### 2.1.6. Número de colectores para el sistema.

Una vez diseñados los colectores e intercambiador y obtenido las pérdidas de cada uno por medio del balance de energía establecido en el ítem 2.1.4.5 se puede calcular el número de colectores necesarios para el sistema de la siguiente manera:

$$\frac{dEc}{dt} = G_s \cdot A - q_p - q_c - q_i - q_u$$

$$0 = 537,5 \frac{W}{m^2} \cdot A - 13068,5W - 2970W - 1398W - 5676W$$

$$A = 42,98m^2$$

Con el área total de captación solar ( $A_t$ ) y el área unitaria de cada colector ( $A_u$ ) se puede obtener el número de colectores necesarios para el sistema de la siguiente manera:

$$n = \frac{At}{Au} \quad \text{Ec. 2.26}$$

$$n = \frac{42,98m^2}{2m^2} = 21,5 \approx 22 \text{ colectores}$$

### 2.1.7. Tanque acumulador.

El elemento principal del sistema de acumulación es el tanque de almacenamiento, cuyo objetivo es almacenar energía térmica en forma de agua caliente, evitando en lo posible las pérdidas de calor. El tanque se localiza entre la salida del circuito de los colectores solares y el intercambiador de calor.

#### 2.1.7.1. Dimensionamiento del acumulador.

Para el dimensionamiento del acumulador se utiliza el valor de pérdida por evaporación más alto, es decir donde se pierde la mayor cantidad de masa de agua, estos valores son:

$$m_1 = 67728 \text{ kg}$$

$$m_2 = 67655,35 \text{ kg}$$

La diferencia de estos valores nos da como resultado 117,86 kg y con este valor calculamos el volumen de la siguiente manera:

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho}$$

$$\Delta V = \frac{117,86 \text{ kg}}{996,3 \frac{\text{kg}}{m^3}}$$

$$\Delta V = 0,119 m^3 \rightarrow 119 \text{ lt}$$

En el comercio no existe un tanque de 119 lt por lo que su inmediato es de 250 lt.

### 2.1.7.2. Cálculo del aislamiento del acumulador.

El aislamiento permite disminuir la transferencia de calor y entre más grueso sea este disminuye la razón de transferencia de calor. El objetivo de colocar el aislante al tanque es para disminuir las pérdidas de calor por conducción y mantener al agua a los 36°C que proviene del sistema de colectores solares.

Lo que se necesita es disminuir en un 5% la transferencia calor desde el interior del tanque hacia el exterior, lo que se calcula como sigue:

Sin aislante:

#### Propiedades del aire:

$$k = 0,024988 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}$$

$$Pr = 0,73146$$

$$v = \frac{v_{@1atm}}{P} = \frac{1,4976 \times 10^{-5}}{0,876} = 1,7095 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

$$Re_L = \frac{V \cdot D}{v}$$

$$Re_L = \frac{5,9 \times 1,2}{1,7095 \times 10^{-5}}$$

$$Re_L = 3,641 \times 10^5$$

$$Re_L < 5 \times 10^5$$

$$Nu = \frac{h \cdot L}{k} = 0,664 Re_L^{0,5} Pr^{\frac{1}{3}} = 0,664 \times 3,641 \times 10^5^{0,5} \times 0,73146^{\frac{1}{3}} = 360,15$$

El coeficiente de transferencia de calor por convección se determina de la siguiente manera:

$$h = \frac{k}{D} \cdot Nu$$

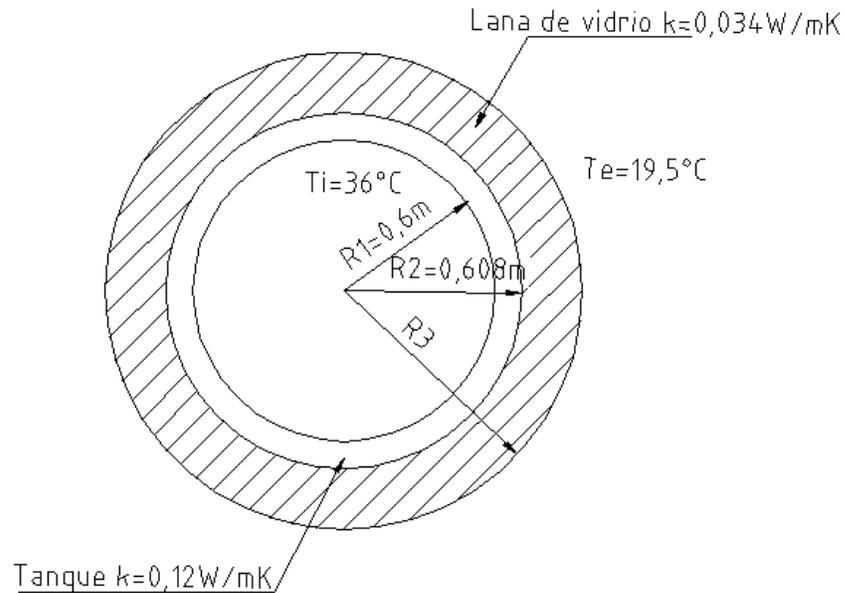
$$h = \frac{0,024988}{1,2} \cdot 360,15 = 7,98 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

$$q = hAL(Ti - Te)$$

$$\frac{q}{L} = 7,98 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 2\pi \cdot 0,6 \cdot (309 - 292,5) = 7,98 \frac{W}{m}$$

$$5\% \frac{q}{L} = 24,89 \frac{W}{m}$$

Con la ayuda del siguiente esquema se calcula el radio de aislamiento:



$$q = \frac{\Delta T}{\Sigma R}$$

$$\frac{q}{L} = \frac{2\pi(T_i - T_e)}{\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{k_1} + \frac{\ln \frac{r_e}{r_2}}{k_2} + \frac{1}{r_e \cdot h}}$$

$$24,89 = \frac{2\pi(309 - 292,5)}{\frac{\ln \frac{0,608}{0,6}}{0,12} + \frac{\ln \frac{r_e}{0,608}}{0,034} + \frac{1}{r_e \cdot 7,98}}$$

$$r_e = 0,7m$$

Como resultado se tiene que el espesor del aislante es de 92mm pero se utiliza el de 1pulgada debido a que en el comercio existe desde este valor.

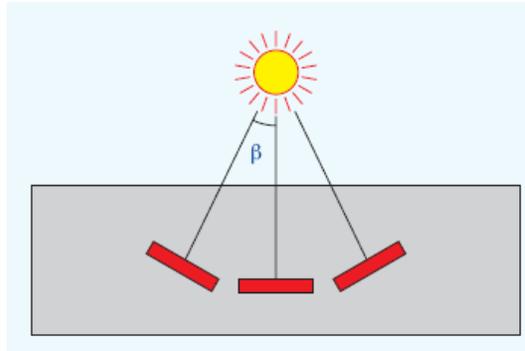
## **2.1.6 Instalación, operación y mantenimiento.**

La instalación correcta del sistema permitirá el adecuado funcionamiento del mismo, por lo que se debe tener en cuenta la ubicación, el modo de operación y el mantenimiento que se dé a los elementos que componen el sistema.

### **2.1.6.1 Instalación de los colectores solares.**

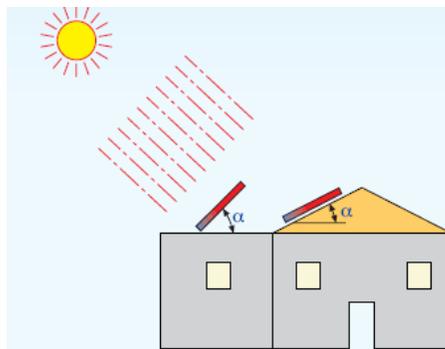
Los colectores solares se deben instalar en superficies que aseguren una buena irradiación, un anclaje seguro y la posibilidad de realizar un mantenimiento accesible. Para conseguir una buena irradiación hay que tener en cuenta tres factores que son: a) la formación de posibles zonas de sombra, b) el ángulo de orientación de los paneles y c) el ángulo de inclinación de éstos respecto al plano horizontal.

- a) **Zonas de sombra.-** Los elementos circundantes pueden proyectar sombras sobre los paneles y disminuir su rendimiento, por lo que antes se debe decidir dónde se instalarán los paneles, si es necesario evitar algún obstáculo que impida o limite la irradiación directa, como por ejemplo edificios, colinas, árboles altos etc. En el caso que no se pueda evitar se debe considerar que la sombra creada por dichos obstáculos debe ser muy reducida y de corta duración para no perjudicar el rendimiento de los paneles.
  
- b) **Angulo de orientación.-** Este debe estar dirigido hacia la trayectoria del sol (Fig. 2.13), en el hemisferio sur, la orientación ideal de los colectores es mirando al norte, esto con el fin de aprovechar la trayectoria del sol durante todo el día y tener una mayor irradiación en los colectores.



**Fig. 2.13 Orientación de los colectores hacia el norte.**

- c) **Angulo de inclinación respecto a la horizontal.**- La radiación máxima se produce cuando la superficie sobre la que inciden los rayos es perpendicular, y la ubicación depende de la latitud donde se encuentre ubicado el panel. Para el caso de este proyecto se utilizará un ángulo de  $15^\circ$ . Fig. 2.14

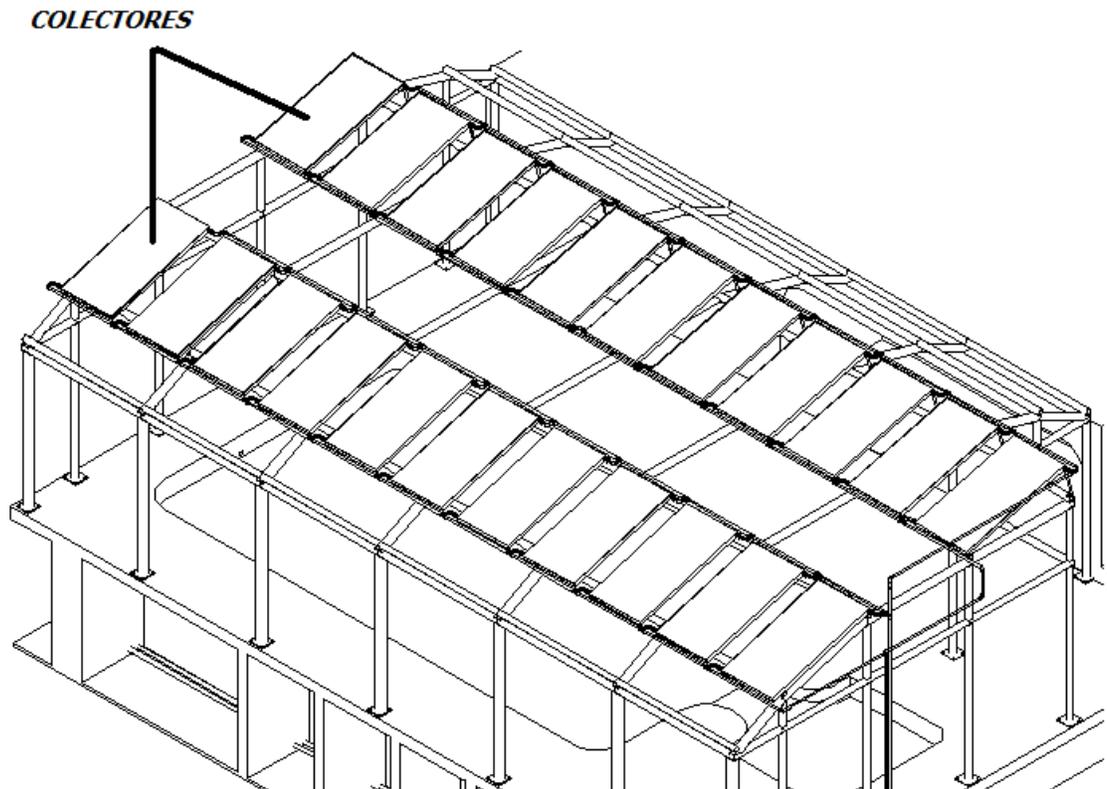


**Fig. 2.14 Angulo de inclinación de los colectores.**

La eficiencia de una serie de colectores está directamente vinculada a la forma como ellos se asocian. La asociación entre baterías es uno de los pasos más importantes de una instalación de calentamiento solar, pues a ella está relacionada la temperatura que se pretende conseguir, el caudal de operación del sistema y el dimensionado de las tuberías y demás accesorios, esta asociación puede ser en serie, en paralelo o mixta; siendo esta ultima la más utilizada por permitir mayor número de configuraciones.

Para este proyecto se asociará los colectores en paralelo debido al espacio disponible, donde el aumento de temperatura proporcionado al fluido circulante es el mismo en

todos los colectores, motivo por el cual la temperatura de salida del fluido de la batería 1 ( $T_1$ ) es igual a la temperatura de salida del fluido de la batería 2 ( $T_2$ ). Fig 2.15. Este tipo de instalación proporciona mayor rendimiento, funcionamientos similares en todos los colectores, pero se incrementa la longitud de tuberías y el diámetro debido al aumento de caudal.



*Fig. 2.15 Conexión de colectores en paralelo.*

### **2.1.6.2 Operación y Mantenimiento.**

El sistema diseñado debe cumplir ciertas exigencias con el fin de asegurar su buen funcionamiento a lo largo de su vida útil. A continuación se indican algunas recomendaciones para mantener el funcionamiento del sistema:

- a) La instalación necesita contar con un plan de control energético, que permita evaluar periódicamente el consumo de agua caliente y la contribución solar, de manera que se cumplan los valores operacionales de la instalación
- b) Implementar un programa de mantenimiento preventivo y correctivo en los equipos y accesorios que conforman el sistema de calentamiento.
- c) Se recomienda tener una persona calificada para la realización de la operación y mantenimiento de los sistemas, el cual también deberá realizar las inspecciones y registrar los correspondientes trabajos de mantenimiento para tener un historial del sistema.
- d) Las principales tareas de operación y mantenimiento del sistema de calentamiento de agua que se deben realizar son:
  - Llenado de agua del sistema.
  - Cebado de las bombas
  - Control de la presión del sistema y bombas.
  - Purgado aire de las partes del sistema de agua caliente.
  - Control de los sensores de temperatura.
  - Comprobación del funcionamiento automático de las bombas.
  - Inspección visual de colectores, tanques, aislamientos, válvulas y tuberías.
  - Limpieza de las cubiertas de los colectores.
- e) Todas estas actividades deben ser reforzadas con un plan de mantenimiento para asegurar el buen funcionamiento, aumentar la fiabilidad y prolongar la duración del sistema. En la tabla 2.4 se muestra un plan para el mantenimiento de los colectores solares.

<i>Sistema</i>	<i>Partes</i>	<i>Descripción</i>	<i>Acción</i>	<i>Responsable</i>	<i>Requerimiento</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Frecuencia</i>
<b>Colector Solar</b>	<i>Cubierta Transparente</i>	<i>Verificar trizaduras y limpieza de vidrio</i>	<i>y Limpiar la superficie del vidrio o cambio del mismo</i>	<i>Auxiliar de limpieza.</i>	<i>de Productos para limpieza. Inspección visual</i>	<i>60 min</i>	<i>Mensual</i>
	<i>Placa Absorbadora</i>	<i>Verificar corrosión y deformaciones</i>	<i>y Reparación y limpieza de placa.</i>	<i>Tec. Mantenimiento</i>	<i>de Herramientas manuales. Inspección visual</i>	<i>60 min</i>	<i>Semestral</i>
	<i>Tubos Internos</i>	<i>Verificar degradación y puntos de corrosión.</i>	<i>y Limpieza de tubos o reparación</i>	<i>Tec. Mantenimiento</i>	<i>de Herramientas manuales. Inspección visual</i>	<i>60 min</i>	<i>Semestral</i>
	<i>Accesorios de Conexiones.</i>	<i>Verificar estado de acoples, uniones y fugas</i>	<i>de Reparación y cambio de accesorios</i>	<i>Tec. Mantenimiento</i>	<i>de Herramientas manuales. Inspección visual</i>	<i>40 min</i>	<i>Seimestral</i>
	<i>Estructura</i>	<i>Verificar degradación y puntos de corrosión.</i>	<i>y Remoción de corrosión y pintado.</i>	<i>Tec. Mantenimiento</i>	<i>de Herramientas manuales. Inspección visual</i>	<i>30 min</i>	<i>Semestral.</i>

***Tabla 2.4 Plan de mantenimiento para el colector Solar.***

## 2.2. Diseño del sistema de calentamiento de agua con GLP.

Se necesita un sistema auxiliar de energía que servirá de apoyo para este proyecto, su función es garantizar que se pueda cubrir la demanda energética, cuando la radiación no sea suficiente por las condiciones climáticas o ante una posible avería del sistema de calentamiento solar. El elemento principal de este sistema es el calefón cuya función es elevar la temperatura del agua de la piscina hasta los 30°C.

### 2.1.1 Dimensionamiento del sistema auxiliar.

Consiste en seleccionar un conjunto de calefones que estén conectados en paralelo al sistema de calentamiento de agua por energía solar, que servirá para el calentamiento inicial de la piscina y para cubrir la demanda de energía térmica cuando la temperatura del agua de la piscina no alcance el nivel de confort con el sistema solar.

Para la selección del calefón primeramente se debe conocer la energía necesaria para calentar el volumen de agua de la piscina como sigue:

$$P \cdot t = Cp \cdot m \cdot \Delta T \quad \text{Ec. 2.27}$$

Donde:

$P$ = Potencia del calefón.

$t$ = Tiempo de calentamiento del agua.

$Cp$ = Calor específico del agua a temperatura promedio entre la de suministro (18°C) y la de confort (30°C).

$m$ = Masa total de agua que corresponde a un volumen de 68 m<sup>3</sup>.

$\Delta T$ = Variación de temperatura entre la de suministro y confort.

Sustituyendo los valores se obtiene la cantidad de energía:

$$P \cdot t = 4,179 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} \cdot 67746,43kg \cdot (30 - 18)^{\circ}C = 3397347,97 kJ$$

Como se puede apreciar el valor de la energía necesaria es alto, por lo que el tiempo de calentamiento de la piscina es decisivo para la elección del calefón. En base a esto se establece un periodo de calentamiento de 9 horas, por lo que la potencia del calefón sería:

$$P = \frac{3397347,97 \text{ kJ}}{9 \times 3600 \text{ s}} = 104,85 \text{ kW}$$

Del anexo 2.4 se escoge el calefón marca BOSCH GWH16 el mismo que cuenta con una potencia útil de 28kW y para cubrir la potencia necesaria se debe instalar cuatro calefones en paralelo. Otra alternativa sería la elección de un calderin de esa potencia.

Por lo tanto los cuatro calefones trabajarán en el calentamiento inicial de la piscina, para los siguientes días se tiene que hacer el recalentamiento del agua en menor tiempo debido a que se produce una pérdida de aproximada de 2°C por día, por lo tanto el tiempo de funcionamiento de los calefones despejando de la ecuación 2.17 sería:

$$t = \frac{Cp \cdot m \cdot \Delta T}{P}$$

$$t = \frac{4,176 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 67746,43 \text{ kg} \cdot (30 - 28,12)^\circ\text{C}}{112 \text{ kW}} = 1,31 \text{ horas}$$

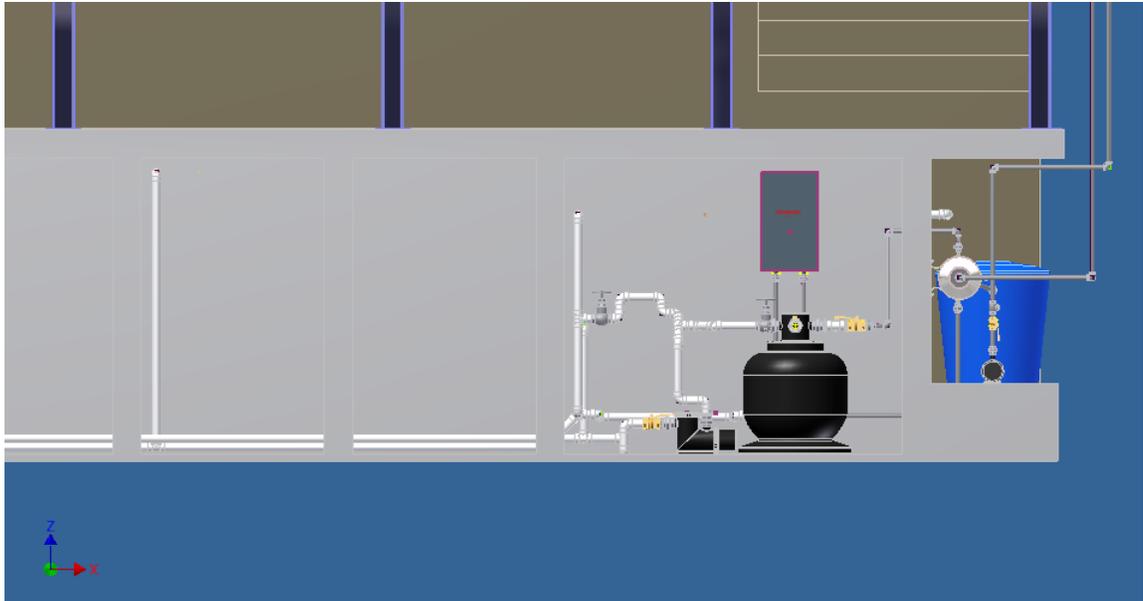
Es decir que para que la temperatura del agua de la piscina alcance los 30°C para su uso diario, se requiere encender el sistema con una hora y media de anticipación.

## **2.2.2. Instalación, operación y mantenimiento del sistema auxiliar.**

Para el montaje de los calefones se debe seguir el manual de instalación y operación del fabricante para garantizar la seguridad y el buen funcionamiento del sistema.

### **2.2.2.1. Instalación.**

La instalación de los calefones se lo hará en paralelo al sistema de recirculación del agua de la piscina como se muestra en la fig. 2.16:

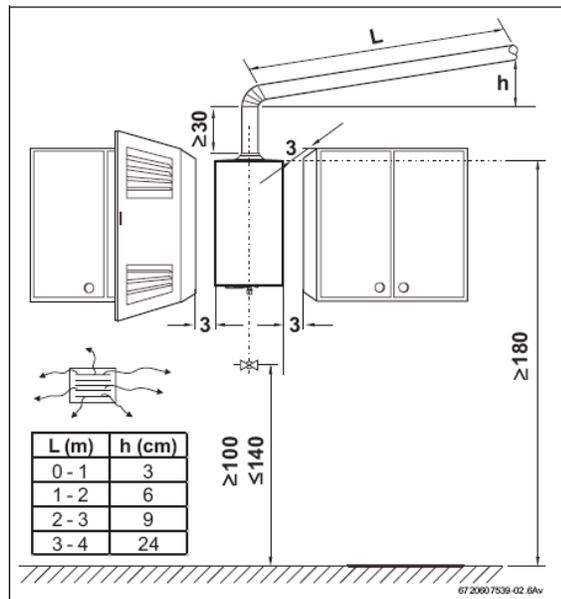


**Fig. 2.16** *Instalación de los calefones.*

Para que los calefones funcionen correctamente deben cumplir los siguientes requisitos de instalación:

- Para la instalación del gas, la conexión de los ductos de evacuación de los gases de combustión, y la puesta en funcionamiento, se recomienda realizarla por personal calificado.
- Antes de realizar la instalación, consultar a la compañía de gas, las normativas sobre el manejo de equipos a gas y la ventilación industrial.
- Instalar una válvula de paso de gas lo más cercana posible al calefón.
- Luego de la instalación de la red de gas, se debe limpiar cuidadosamente y someterse a una prueba de estanqueidad.
- Verificar que el caudal y la presión que el reductor instalado proporciona es el adecuado a las necesidades del equipo.
- Se debe proteger a los equipos de agentes como la lluvia, polvo y viento, para evitar la corrosión y el deterioro.
- Montar los calefones en un lugar ventilado, con un ducto de evacuación para los gases quemados.

- Asegurar la accesibilidad para los trabajos de mantenimiento, respetando la separación mínima entre calefones indicada en la Fig. 2.17.



**Fig. 2.17 Distancia del calefón con otros elementos.**

- A la salida del agua caliente de los calefones se debe instalar una válvula de alivio calibrada a lo que especifique el fabricante del equipo.
- La presión de alimentación de gas debe estar regulada de acuerdo al tipo de combustible que se utilice: Gas L.P. a 28/37 mbar y Gas natural a 20 mbar.

#### **2.2.2.2. Mantenimiento.**

Los calefones operaran al máximo de su capacidad para lo cual se necesitan tener un adecuado mantenimiento.

El mantenimiento se deberá realizar por un técnico capacitado y se aconseja realizar una revisión general cada año, mientras tanto se debe realizar un mantenimiento preventivo en las parte más críticas del equipo entre lo cual tenemos:

**a) Cámara de combustión**

- Mantener limpia la cámara de combustión y en caso de estar sucia se debe:
  - Desmontar la cámara de combustión y retirar el regulador.
  - Limpiar la cámara aplicando un chorro fuerte de agua.
- Si la suciedad es persistente se debe sumergir las láminas en agua caliente con detergente, y limpiarla detenidamente.
- Montar la cámara de combustión empleando juntas nuevas.

**b) Quemador**

- Inspeccionar anualmente el quemador y limpiarlo si es necesario.
- En caso de estar muy sucio (grasa, hollín) desmontar el quemador y sumergirlo en agua caliente con detergente, y limpiarlo detenidamente.

**c) Filtro de agua**

- Limpiar el filtro instalado a la entrada del agua cada seis meses o sustituirlo si fuera necesario.

**d) Quemador e inyector de piloto**

- Retirar y limpiar el quemador e inyector piloto.

En la siguiente tabla se establece una hoja con un plan de mantenimiento preventivo para el sistema auxiliar de calentamiento de agua.

<i>Sistema</i>	<i>Partes</i>	<i>Descripción</i>	<i>Acción</i>	<i>Responsable</i>	<i>Requerimiento</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Frecuencia</i>
<b>Calefones</b>	<i>Sistema encendido</i>	<i>de Verificación de baterías Verificar piloto.</i>	<i>Cambio de baterías.</i>	<i>Tec. de Mantenimiento</i>	<i>de Baterías. Inspección visual</i>	<i>10 min</i>	<i>Mensual</i>
	<i>Sistema control</i>	<i>de Verificación de sensores de temperatura. Calibración de perillas de control.</i>	<i>Reparación o cambio de sensores</i>	<i>Tec. de Mantenimiento</i>	<i>de Llaves Allen. Inspección visual</i>	<i>20 min</i>	<i>Quincenal</i>
	<i>Cámara combustión</i>	<i>de Verificar obstrucciones dentro del intercambiador. Revisión de juntas.</i>	<i>Limpieza de obstrucciones y cambio de juntas.</i>	<i>Tec. de Mantenimiento</i>	<i>de Inspección visual</i>	<i>40 min</i>	<i>Semestral</i>
	<i>Quemador</i>	<i>Chequear bujía Verificar el inyector</i>	<i>Comprobación de estado de bujía o cambio.</i>	<i>Tec. de Mantenimiento</i>	<i>de Llave boca-corona. Inspección visual</i>	<i>20 min</i>	<i>Trimestral</i>
	<i>Sistema Filtrado</i>	<i>de Verificar limpieza de filtros</i>	<i>Limpieza y cambio de filtros</i>	<i>Tec. de Mantenimiento</i>	<i>de Llave boca-corona. Inspección visual</i>	<i>30 min</i>	<i>Trimestral</i>
	<i>Conexiones Tuberías.</i>	<i>y Verificar estado de cañerías. Verificar fugas. Verificación de válvulas de agua y gas</i>	<i>Reparación de cañerías y reparación o cambio de válvulas.</i>	<i>Tec. de Mantenimiento</i>	<i>de Llaves boca-corona. Inspección visual</i>	<i>20 min</i>	<i>Trimestral.</i>

**Tabla 2.5 Plan de mantenimiento para los calefones.**

### **2.3. Diseño de las líneas de distribución de agua.**

La mayor eficiencia de las instalaciones solares se obtiene cuando se consigue una buena capacidad de evacuación de la energía térmica del conjunto de colectores, que está relacionada con el caudal de circulación en el sistema de tuberías.

Para este proyecto se diseña una instalación de circulación forzada, por lo que se requieren de bombas para la distribución de los fluidos en la red de tuberías del sistema de calentamiento y de recirculación.

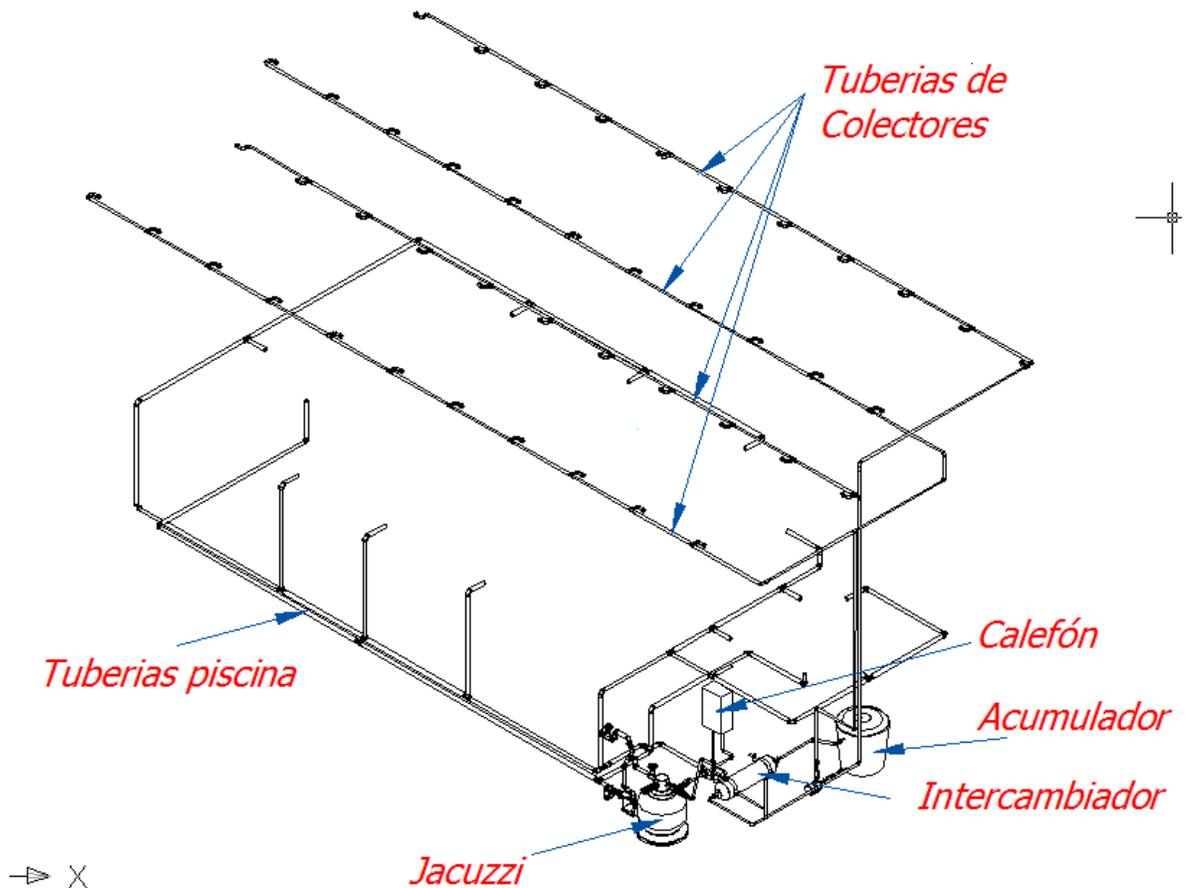
#### **2.3.1. Sistema de Conducción.**

Las tuberías, válvulas y demás accesorios son los principales componentes del sistema de conducción, los materiales deben ser resistentes a la temperatura, corrosión, etc. Se debe evitar fugas, derivaciones innecesarias que generen pérdidas mecánicas en la red de distribución.

##### **2.3.1.1. Identificación de los sistemas de Conducción.**

En la figura 2.18 se indica los sistemas de tuberías a diseñarse, divididos de la siguiente manera:

- a) Sistema de recirculación del agua por los colectores solares e intercambiador.
- b) Sistema para la recirculación del agua de la piscina por los filtros.
- c) Sistema de circulación de agua por los calefones.



*Fig. 2.18 Sistema de tuberías de la instalación.*

### **2.3.1.2. Diseño del sistema de recirculación de agua por los colectores solares e intercambiador.**

Para la dimensionamiento del sistema de tuberías se considerará como una red mallada aplicando el método de Hardy-Cross. En este tipo de red la primera indeterminación es el desconocimiento de los caudales que circulan por cada ramal para lo cual es preciso establecer una metodología de aproximación, que cumpla las leyes de la hidráulica, y mediante un proceso iterativo llegar a determinarlo.

El método de Hardy Cross, está basado en el cumplimiento de las dos leyes de Kirchof:

- a) Ley de continuidad de masa en los nudos: "La suma algebraica de los caudales en un nudo debe ser igual a cero"

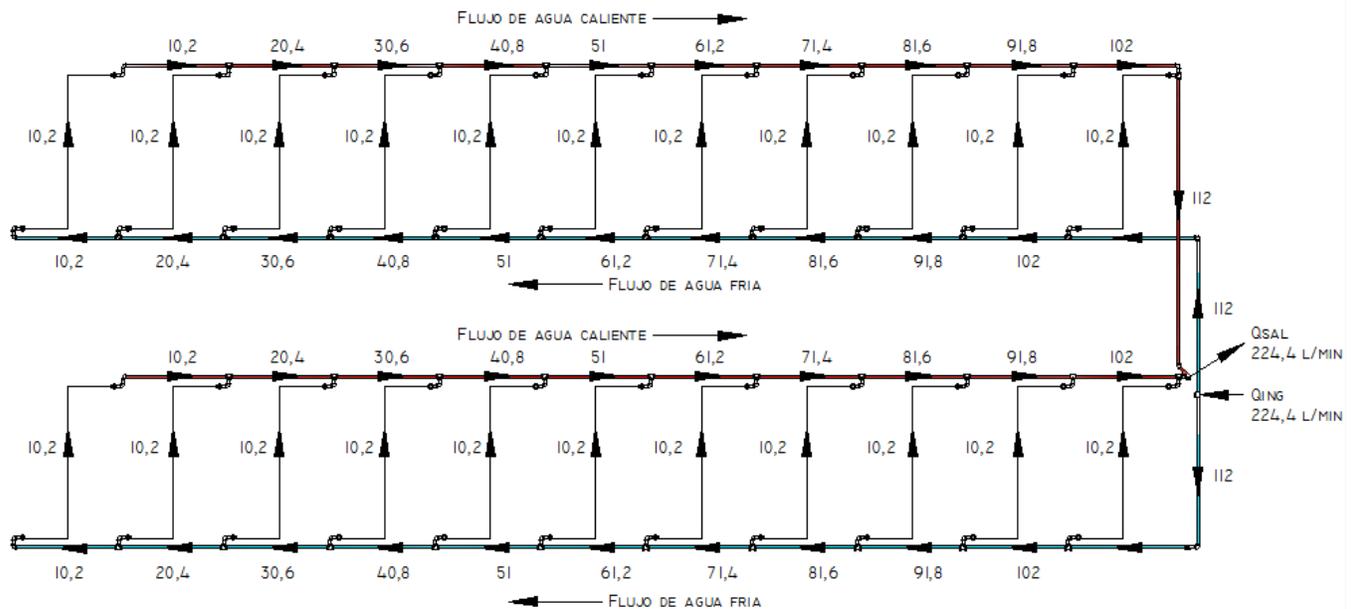
$$Q_n = 0$$

- b) Ley de Conservación de la energía en los circuitos: "La suma algebraica de las pérdidas de energía o de carga en la malla debe ser igual a cero".

$$hf = 0$$

*M*

Hardy Cross es un método iterativo que parte de la suposición de los caudales iniciales en los tramos, cumpliendo con la Ley de Continuidad de Masa en los nudos. En la figura 2.19 se muestra la distribución de caudales en la red de los colectores solares.



**Fig. 2.19** Distribución de caudales en los colectores solares.

Como se puede observar en la figura anterior para cada colector se necesita un caudal de 10,2 L/min y las longitudes de todas las mallas son en la parte superior e inferior. Por

esta razón se analizará la tubería de ingreso al sistema de colectores debido a que este diámetro será el que prevalezca para el resto de mallas.

Una vez impuestos los caudales en los tramos de la malla también se debe asumir una velocidad de flujo de agua por la tubería (Tabla 2.6) para poder iterar y obtener los valores del diámetro (D) y caudal (Q) corregidos, ello implica calcular los valores de Reynolds y fricción de todos los tramos de tuberías de la red, para lo cual se realiza un programa en Excel.

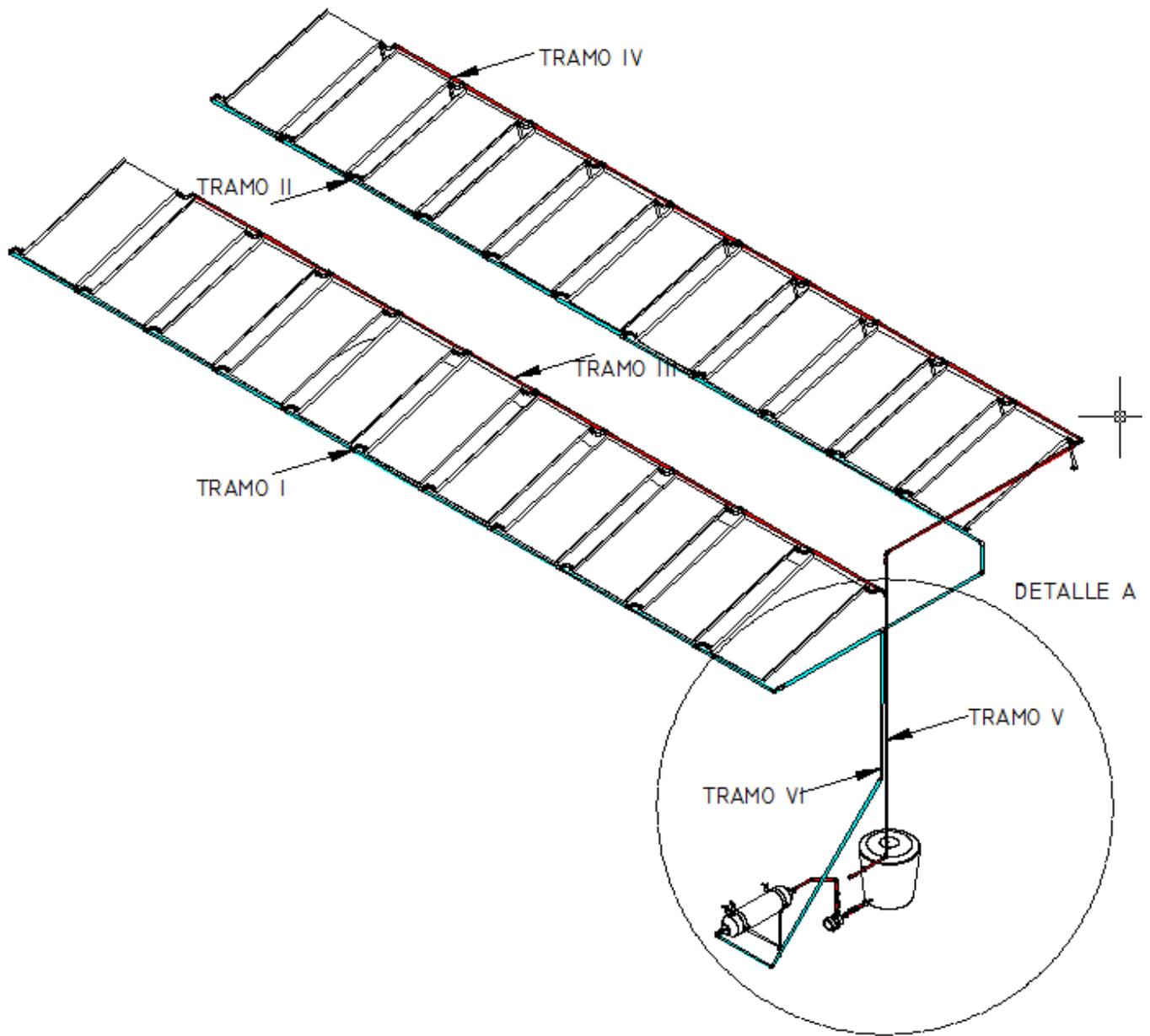
<i>Tipo de Tubería</i>	<i>Velocidad máxima (m/s)</i>
<b><i>Concreto simple hasta 45cm de diámetro</i></b>	3.0
<b><i>Concreto reforzado de 60cm de diámetro o mayores</i></b>	3.5
<b><i>Asbesto-Cemento</i></b>	5.0
<b><i>Hierro Galvanizado</i></b>	5.0
<b><i>Acero</i></b>	5.0
<b><i>PVC</i></b>	5.0
<b><i>Polietileno de alta densidad</i></b>	5.0

***Tabla 2.6 Velocidades máximas para tuberías comerciales.<sup>27</sup>***

En la figura 2,20 se indican los diferentes tramos de tubería del sistema de recirculación del agua por los colectores solares e intercambiador y en la tabla 2,7 se resume los resultados de los diámetros de las tuberías calculados.

---

<sup>27</sup> Fuente: CNA 1992



*Fig. 2.20 Identificación de tramos del sistema de recirculación del agua por los colectores solares e intercambiador.*

<b>DATOS DE ENTRADA</b>					
<b>Líquido</b>	Agua Caliente				
<b>Material Tubería</b>	PVC				
<b>V inicial [m/s]</b>	2,5				
<b>Viscosidad <math>\nu</math></b>	8,068E-07				
<b>Densidad (<math>\rho</math>)</b>	995,26				
<b>Rugosidad <math>\epsilon</math> [m]</b>	0,0000015				
<b>f inicial</b>	0,025				
# Tramo	Caudal Q [m <sup>3</sup> /s]	Caudal Q [Gal/min]	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Diámetro Comercial [mm]
<b>I</b>	0,00187	29,6400984	33,28	30,86070608	31,74
<b>II</b>	0,00187	29,6400984	33,76	30,86070608	31,74
<b>III</b>	0,00187	29,6400984	12,9	30,86070608	31,74
<b>IV</b>	0,00187	29,6400984	17,08	30,86070608	31,74
<b>V</b>	0,00374	59,2801968	7,13	43,64362908	50,8
<b>VI</b>	0,00374	59,2801968	5,72	43,64362908	50,8

**Tabla 2.7 Cálculo de diámetros de tramos de tuberías.**

### 2.3.1.1. Curva del Sistema de tuberías.

La presencia de bombas en sistemas de tuberías afecta las líneas de energía total y de gradiente hidráulico del flujo, ya que las bombas son máquinas hidráulicas cuyo objetivo es convertir energía mecánica de rotación en energía cinética o potencial del fluido dentro del sistema. Por lo tanto, la bomba debe vencer la cabeza estática (*H<sub>est</sub>*) más las pérdidas por accesorios y por fricción en las tuberías, por lo que la cabeza dinámica total (*TDH*) se calcula por:

$$TDH = H_{est} + f \cdot \frac{L}{D} + K \frac{Q^2}{2gA^2} \quad \text{Ec. 2.28}$$

Donde:

*H<sub>est</sub>*= Altura estática

*f*=Factor de fricción de tubería.

*K*= Factor de pérdidas por accesorios.

*Q*= Caudal

*A*=Area de la tubería.

*g*=Gravedad

*D*= Diámetro de la tubería.

*L*= Longitud de la tubería.

### 2.3.1.2. Pérdidas por fricción en tuberías y accesorios

El flujo de fluido en tuberías siempre provoca el rozamiento de las partículas del fluido con las paredes interiores de la tubería, produciendo caídas de presión en el sentido del flujo.

La ecuación que se utiliza para el cálculo de las pérdidas de carga en las tuberías y conductos es válida para flujo laminar como flujo turbulento de cualquier líquido.

$$hf = f \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ec. 2.29}$$

El valor del factor de fricción para condiciones de flujo laminar ( $Re < 2000$ ) es función del número de Reynolds y se determina por:

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{Ec. 2.30}$$

La zona crítica, es cuando el número de Reynolds está entre 2000 a 4000, en esta región el flujo puede ser tanto laminar como turbulento, dependiendo de varios factores como: cambios de la sección, dirección del flujo y obstrucciones por válvulas corriente arriba de la zona considerada. El factor de fricción en esta región es indeterminado, el valor es bajo si el flujo es laminar y alto si el flujo es turbulento.

Para flujo turbulento ( $Re > 4000$ ) las condiciones de flujo vuelven a ser estables y pueden establecerse factores de rozamiento definitivos. Esto permite determinar las características del flujo de cualquier fluido que se mueva por una tubería, conociendo su viscosidad y densidad. En el flujo turbulento el factor de fricción no solo depende del número de Reynolds, sino también de la rugosidad relativa de las paredes  $\epsilon$  comparadas con el diámetro de la tubería ( $D$ ) y se obtiene por:

$$\frac{1}{f} = -2 \ln \left( \frac{\epsilon}{D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad \text{Ec. 2.31}$$

En la tabla 2.8 se indican los coeficientes de fricción  $f$ , número de Reynolds y las pérdidas de carga calculados en cada tramo.

**DATOS DE ENTRADA**

Líquido	Agua Caliente
Material Tubería	PVC
V inicial [m/s]	2,5
Viscosidad $\nu$	8,068E-07
Densidad ( $\rho$ )	995,26
Rugosidad $\epsilon$ [m]	0,0000015
f inicial	0,025

# Tramo	Caudal Q [m <sup>3</sup> /s]	Caudal Q [Gal/min]	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Diámetro Comercial [mm]	Reynolds	f	f.(L/D)	hf
I	0,00187	29,6400984	33,28	30,86070608	31,74	98351,5121	0,01769273	18,5511676	5,2796705
II	0,00187	29,6400984	33,76	30,86070608	31,74	98351,5121	0,01769273	18,8187325	5,35581959
III	0,00187	29,6400984	12,9	30,86070608	31,74	98351,5121	0,01769273	7,19080714	2,04650689
IV	0,00187	29,6400984	17,08	30,86070608	31,74	98351,5121	0,01769273	9,52085162	2,70963858
V	0,00374	59,2801968	7,13	43,64362908	50,8	157411,998	0,01591604	2,23388557	0,38755141
VI	0,00374	59,2801968	5,72	43,64362908	50,8	157411,998	0,01591604	1,79212139	0,31091081
								58,1075658	16,0900978

**Tabla 2.8 Cálculo pérdidas de tramos de tuberías.**

La presencia de válvulas de paso, codos, uniones, tees, reducciones y ampliaciones de las tuberías etc. introduce pérdidas de carga suplementarias en toda instalación, por alterar la dirección del flujo o modificar la velocidad lineal de desplazamiento del fluido. Para el cálculo de las pérdidas por accesorios se utiliza la fórmula de Darcy-Weisbach:

$$hf = K \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ec. 2.32}$$

K= Factor de pérdida por accesorios, depende del tipo y del material a emplearse.

En la tabla 2,9 se indica los accesorios de PVC y el factor de pérdida el sistema de recirculación del agua por los colectores solares e intercambiador.

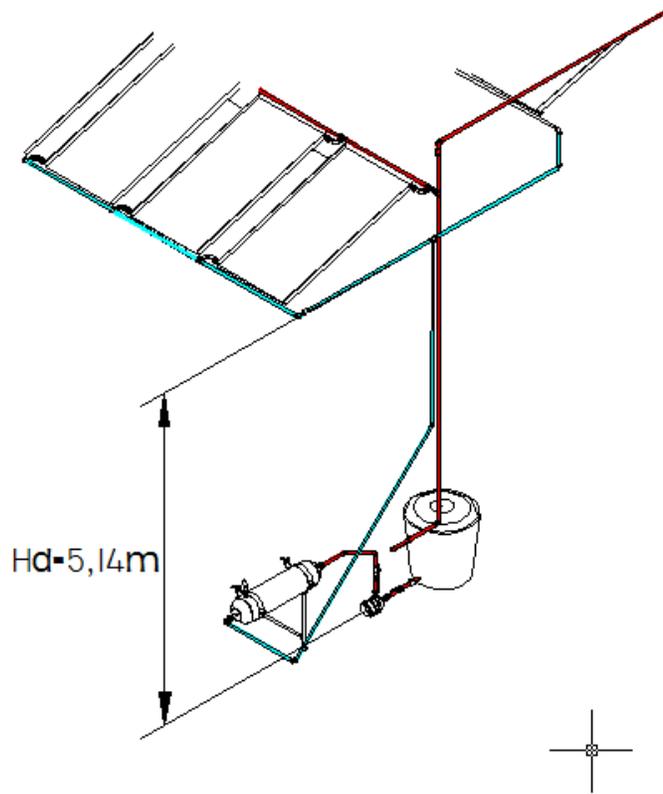
<i>Accesorio</i>	<i>Cantidad</i>	<i>K</i>	<i>K Total</i>
<i>Codo 90° 2"</i>	4	0,38	1,52
<i>Codo 45° 2"</i>	2	0,2	0,4
<i>Codo 90° 1 1/4"</i>	50	0,41	20,5
<i>Codo 45° 1 1/4"</i>	2	0,22	0,44
<i>Tee 2" - 1 1/4"</i>	2	0,2	0,4
<i>Tee 1 1/4"</i>	20	0,25	5
<i>Unión Universal 2"</i>	10	0,045	0,45
<i>Unión Universal 1 1/4"</i>	44	0,04	1,76
<i>Válvula de compuerta 2"</i>	4	0,34	1,36
<i>Válvula de compuerta 1 1/4"</i>	4	0,3	1,2
<i>Válvula check 2"</i>	2	2,5	5
<i>Válvula check 1 1/4"</i>	2	0,65	1,3
<i>Válvula de bola 2"</i>	2	6,5	13
<i>Unión 1 1/4"</i>	44	0,045	1,98
<i>Bushing 1 1/4" - 1/2"</i>	44	1,5	66
<i>Conector de cobre 1/2"</i>	44	1	44
		<b>TOTAL</b>	<b>164,31</b>

**Tabla 2. Factores de pérdida en los accesorios del sistema.**

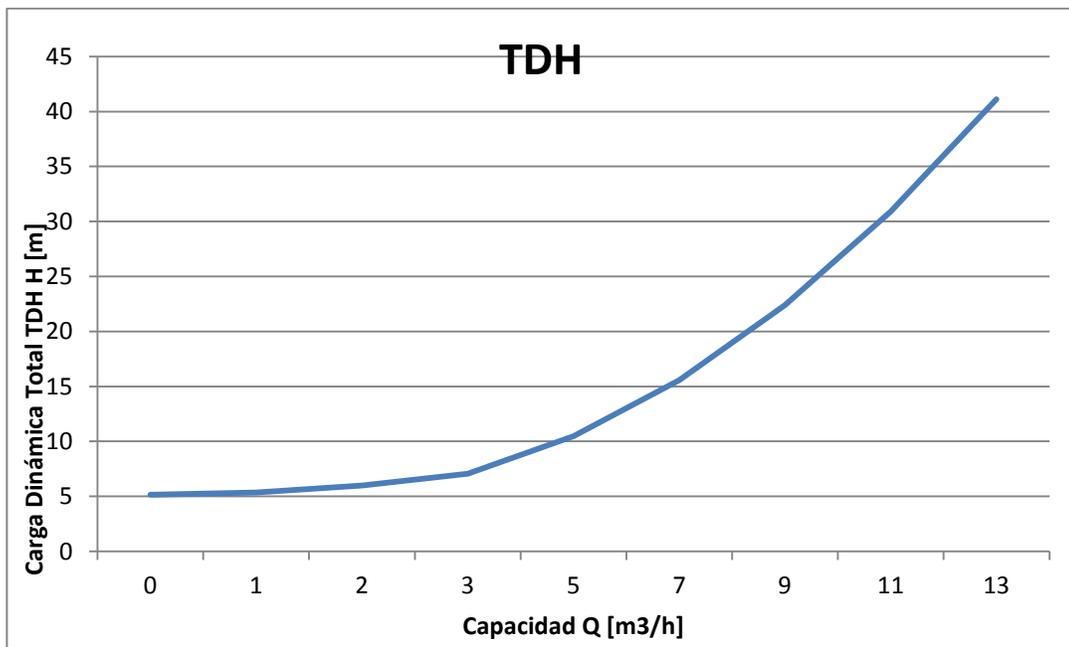
En la figura 2.21 se indica la altura estática de descarga (*Hest*), y una vez obtenidas las pérdidas de carga por tuberías y accesorios del sistema, se puede determinar el TDH y la curva del sistema (Fig 2.22).

$$TDH = 5,14 + 58,1 + 164,31 \frac{Q^2}{2gA^2}$$

$$TDH = 5,14 + 2759438,34Q^2$$



*Fig. 2.21 Altura de descarga del sistema.*



*Fig. 2.22 Curva del Sistema.*

### **2.3.2. Sistema de Bombeo.**

El sistema de bombeo puede definirse como la adición de energía a un fluido para moverse o trasladarse de un punto a otro cuyo elemento principal es la bomba que es impulsada por un motor eléctrico para transformar la energía mecánica en energía hidráulica.

El elemento rotativo de una bomba centrífuga se denomina impulsor, cuya geometría puede forzar al agua a salir en un plano perpendicular a su eje (flujo radial); puede dar al agua una velocidad tanto axial como radial (flujo mixto) o puede inducir un flujo en espiral en cilindros coaxiales según la dirección del eje (flujo axial).

Las máquinas con flujo radial o mixto se las denomina bombas centrífugas, mientras a las de flujo axial se las llama bombas axiales o de hélice. Los impulsores de las bombas radiales y mixtas pueden ser abiertos que consisten en un eje al cual están unidos los álabes, y cerrados que tienen láminas o cubiertas a los lados de los álabes.

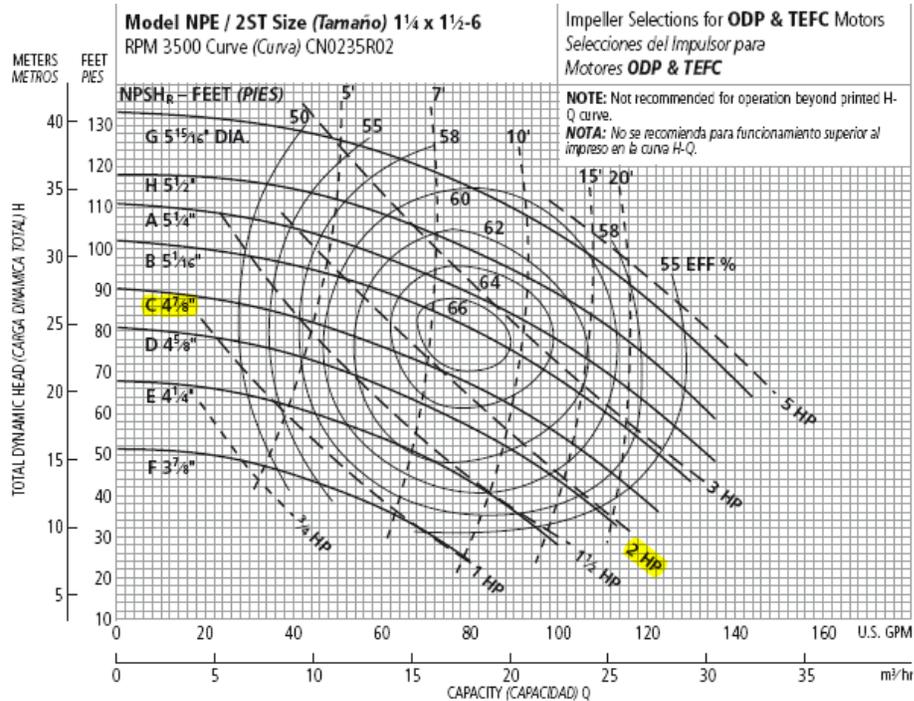
#### **2.3.2.1. Curvas de Funcionamiento**

El rendimiento de la bomba varía considerablemente dependiendo de las condiciones bajo las cuales esté operando. Para la selección de la bomba se debe contar con información del funcionamiento de la misma. El fabricante de bombas (Goulds Pumps) tiene información basada en ensayos de laboratorio, sobre su catálogo de bombas estándar.

#### **2.3.2.2. Punto de Funcionamiento.**

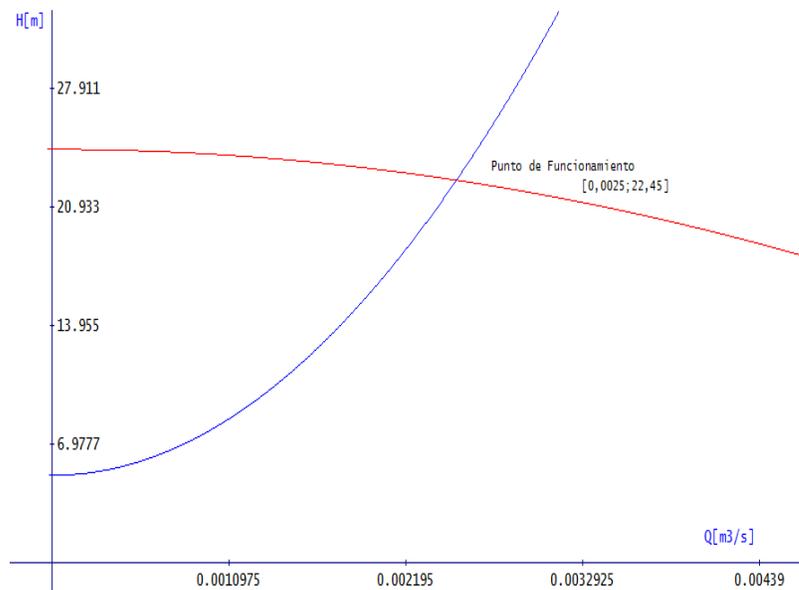
Las características de funcionamiento de una bomba se muestran en la figura 2.26 para una velocidad de operación dada. El punto de funcionamiento de la bomba real es decir la altura y caudal se encuentran en la intersección de la curva de la bomba y del sistema. Los valores de  $h$  y  $Q$  determinados por esta intersección pueden ser o no en el máximo rendimiento. Si el rendimiento es bajo significa que la bomba no es la adecuada.

La bomba seleccionada es el modelo NPE / 2ST Tamaño 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub> x 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub>-6, velocidad 3500 rpm y una potencia de 2HP. En el anexo 2.5 se encuentran las demás características de la bomba seleccionada.



**Fig. 2.23 Características de funcionamiento de la bomba.**

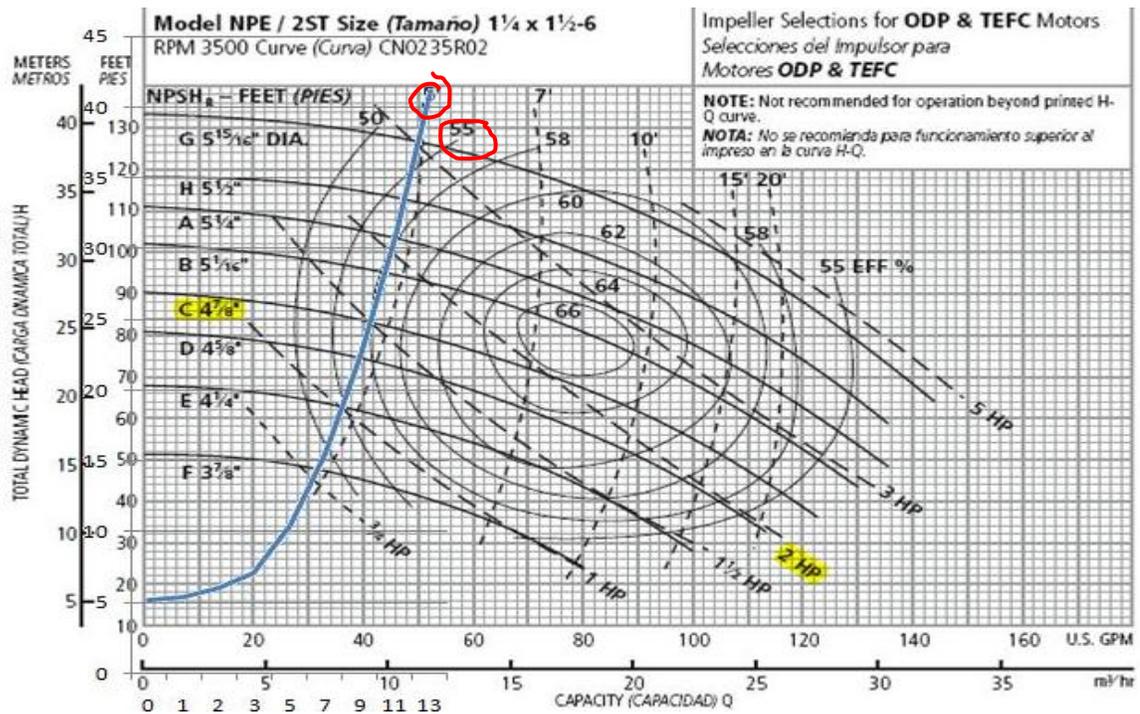
El punto de funcionamiento se encuentra a partir de la siguiente grafica:



**Fig. 2.24 Punto de funcionamiento del sistema de bombeo.**

El punto de funcionamiento se encuentra en el punto 0,0025 m<sup>3</sup>/s [39,75gpm] y 22,45m

El rendimiento y el NPSH<sub>r</sub> se encuentran a partir de la siguiente grafica:



**Fig. 2.25 Curvas para rendimiento y NPSH<sub>r</sub>.**

Por la grafica se puede observar que el sistema trabaja en un 55% de rendimiento y el NPSH<sub>R</sub> es de 5pies (1,524m).

Para determinar si la bomba no se encuentra cavitando se calcula el NPSH<sub>D</sub>, con la siguiente ecuación:

$$NPSH_D = \frac{P_o - P_{sat}}{\gamma} - H_s - H_{r_{asp}} \quad \text{Ec. 2.33}$$

Donde:

$P_o$ = Presión atmosférica

$P_{sat}$ =Presión de saturación del agua

$\gamma$ =Peso especifico del agua.

$H_s$ =Altura de aspiración

$H_{r_{asp}}$ =Perdidas en el tramo de aspiración.

Sustituyendo los valores en la ec 2.23 se obtiene

$$NPSH_D = \frac{8880 - 6682,7}{1000} = 2,19m$$

$$NPSH_D \geq NPSH_R$$

$$2,19m \geq 1,52m$$

El sistema cumple con la condición para que la bomba no Cavite, entonces el sistema está bien instalado.

# **CAPITULO III**

## **DISEÑO DE LA CUBIERTA**

### **3.1. ESTUDIO Y ANALISIS DE LOS FUNDAMENTOS TEORICOS DEL CÁLCULO ESTRUCTURAL.**

La finalidad que se persigue con el cálculo estructural es el diseño de estructuras estables y resistentes a las condiciones de carga que estas soportan, ya sean las fuerzas internas o esfuerzos, las deformaciones, han de permanecer bajo límites establecidos, generalmente bajo el límite de fluencia del material.

El diseñador cuenta con varias posibilidades para seleccionar los materiales estructurales entre los cuales se pueden anotar: acero, concreto, madera, aluminio, etc., las condiciones tanto de uso y la situación de emplazamiento de la estructura son importantes a la hora de seleccionar entre uno y otro material, en este capítulo nos centraremos en el diseño de la estructura para la piscina, la misma se realizará utilizando un software de cálculo estructural.

Una cubierta metálica está constituida por diferentes miembros, según las condiciones del área a cubrir y el diseño que imponga el ingeniero, anteriormente se consideraban las cerchas como sistemas articulados, suponiendo que todas las uniones entre nudos están sujetas por un pasador común con el fin de facilitar el diseño al ingeniero, en muchos casos esta suposición no conlleva mayor error, pero en ciertas formas variadas se presentan grandes esfuerzos de flexión, que pueden ocasionar el colapso del sistema, actualmente se han desarrollado softwares que facilitan notablemente los cálculos estructurales, mediante los cuales se puede determinar: esfuerzos normales, cortantes, torsión y flexión en dos direcciones, parámetros fundamentales a la hora de realizar un eficiente diseño, en nuestro medio es recomendable modelar las estructuras con uniones rígidas, debido a que en la práctica se utiliza la unión soldada la cual tiende a formar nudos rígidos en los cuales las barras giran en conjunto, desarrollando en muchos casos grandes esfuerzos de flexión en las aristas del marco resistente o en los empotramientos.

#### **3.1.1. Especificaciones Técnicas de diseño y construcción.**

Estas especificaciones proveen las pautas necesarias para realizar un buen diseño y prescriben los criterios básicos para trabajos en estructuras de acero, estos deben ejecutarse utilizando prácticas aceptadas de ingeniería con atención a las

especificaciones y metodologías, debiendo cumplirse con los códigos, normas y regulaciones aplicables en los diseños.

La normalización es una actividad que pretende establecer un proceso por el cual se unifican criterios respecto a determinadas materias y posibilita la utilización común en un campo de actividad concreto, en los procesos de fabricación, construcción y montaje de estructuras de acero, siempre se deberá cumplir con las normas establecidas, sobre todo aquellas referentes a seguridad industrial, protección de los trabajadores y protección del medioambiente.

### **3.1.2. NORMAS TECNICAS.**

Las especificaciones técnicas, cálculos, dibujos y normas que se emplean para el diseño y construcción de estructuras metálicas se basan en:

- a) El Sistema Internacional de Unidades (SI)
- b) Todas las dimensiones se mostraran en milímetros pero no se anotarán las unidades. los niveles podrán indicarse en metros (m).
- c) Las normas básicas de diseño, detalles de las estructuras de acero y las conexiones de juntas se los hará en base a la AISC.
- d) Los cálculos de diseño para estructuras de acero se realizarán mediante los Métodos de Diseño por Esfuerzo Permisible o Diseño por Factores de Carga y Resistencia indicados en el AISC-Manual of Steel Construction,
- e) Para el diseño de los miembros de acero conformado en frío se deberá seguir lo establecido en la norma *AISI SG 673* y en las *Especificaciones para el Diseño de Miembros Estructurales de Acero Conformado en Frío AISI, 1996*.
- f) Los planos de taller y de montaje se elaboraran de acuerdo a las normas del Código de Dibujo Técnico Mecánico del INEN.
- g) Los materiales a utilizarse deberán contar con certificados de origen y/o de los proveedores sobre el cumplimiento de normas y demás características del material.

- h) Deberá considerarse un adecuado sistema de trazabilidad para los materiales utilizados, el mismo que deberá estar adecuadamente documentado.
- i) Se contará con los Procedimientos Operativos necesarios para los diferentes procesos de diseño, fabricación, construcción y montaje. Estos procedimientos tratarán sobre los procesos de diseño, corte, armado, soldadura en taller, preparación de superficies, recubrimientos, montaje, soldadura en obra.

### **3.1.3. CARACTERÍSTICAS DEL ACERO ESTRUCTURAL.**

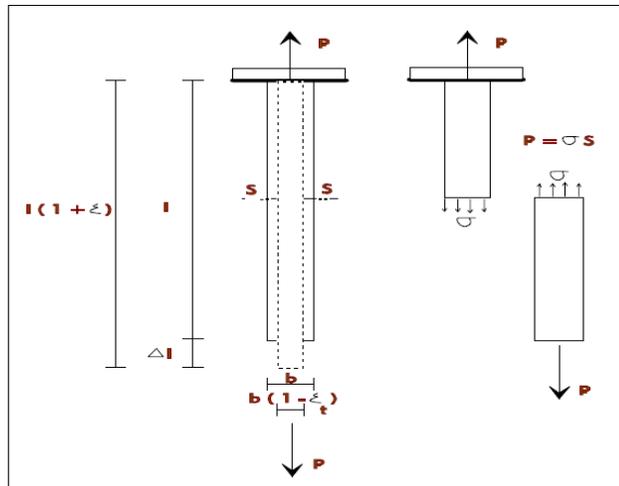
#### **3.1.3.1. GENERALIDADES.**

Para determinar mediante el cálculo numérico las tensiones y deformaciones de los cuerpos es necesario idealizar sus características físicas, la exactitud de los resultados dependerá de la mayor o menor aproximación de la hipótesis; dentro de ciertos límites, se admite, que los cuerpos son perfectamente elásticos, es decir recuperan su forma primitiva tras la desaparición de las causas que lo deforman, esta propiedad se llama Elasticidad.

Así mismo, se admitirá que los cuerpos son isótropos (presentan las mismas propiedades elásticas en todas las direcciones). Esto no se cumple exactamente en materiales fibrosos como la madera, en las rocas estratificadas, ó en materiales formados por laminación, etc. A pesar de ello, los resultados que se obtienen con esta hipótesis son satisfactorios en la mayoría de los casos.

#### **3.1.3.2. LEY DE HOOKE Y COEFICIENTE DE POISSON.**

Si una barra elástica como la que se muestra en la figura 3.1 se somete a una fuerza de tracción  $P$  la cual provoca proporcionalidad entre las tensiones y alargamientos, siempre que éstos sean pequeños, según la **Ley de Hooke**, dice que en ciertos límites, el alargamiento de la barra es proporcional a la fuerza tensora.



**Fig. 3.1 Esfuerzo y deformación en una barra**

**Donde:**

$P$  = fuerza extensora.

$l$  = longitud de la barra.

$S$  = Sección de la barra.

$\epsilon$  =alargamiento unitario

$\sigma$  = tensión normal.

$E$  = módulo de elasticidad.

Simultáneamente al alargamiento de la barra se presenta una contracción transversal que también es proporcional a las tensiones como se indica en la figura 3.1; A la relación entre el coeficiente de contracción transversal unitaria  $\epsilon_t$  y el alargamiento longitudinal ( $\epsilon$ ) se denomina coeficiente de Poisson ( $\nu$ ).

La relación entre  $F/A$  se denomina esfuerzo y se denota con la letra  $\sigma$ , sus unidades son las mismas que las de presión  $Pa$  ( $\frac{N}{m^2}$ ), el esfuerzo también se puede escribir en

función del módulo de elasticidad  $E$  y el cociente  $\Delta L/L_0$  al mismo que se lo denomina *deformación unitaria* y se la denota con la letra  $\epsilon$ , de la siguiente forma:

$$\sigma = E * \epsilon \quad \text{Ec. 3.1}$$

### 3.1.3.3. EL ACERO.

El acero estructural A36, es el más utilizado en construcciones de edificios, puentes, cubiertas, etc. Fabricadas bajo la especificación ASTM A36, incluyendo los perfiles moldeados en acero al carbono, placas y barras de calidad estructural.

El acero A36 tiene un esfuerzo de fluencia de 36ksi, un esfuerzo último de tensión de 58ksi a 80 ksi; para efectos de cálculos de diseño se utiliza el menor valor, además el contenido máximo de carbono varía entre 0.25% y 0.29%, dependiendo del espesor. Según la norma de la ASTM A36, la composición química del acero según su forma es:

PRODUCTO	VIGAS*	PLACAS**					BARRAS			
		A 3/4	De 3/4 a 1 1/2	De 1 1/2 a 2 1/2	De 2 1/2 a 4	Sobre 4 in	A 3/4	De 3/4 a 1 1/2	De 1 1/2 a 4	Sobre 4 in
ESPESOR, IN,	TODAS									
(MM)		Hasta 20mm	20mm a 40mm	De 40mm a 65mm	De 65mm a 100mm	Sobre 100mm	Hasta 20mm	20mm a 40mm	De 40mm a 100mm	Sobre 100mm
CARBON, Max%	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
MANGANESIO %	...	...	...	0.80-1.20	0.80-1.20	0.85-1.20	...	0.60-0.90	0.60-0.90	0.60-0.90
FOSFORO, MAX%	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
SULFURO, Max %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
SILICIO, %	0.40 Max	0.40 Max	0.40 Max	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40	0.40 Max	0.40 Max	0.40 Max	0.40 Max
COBRE, Min% cuando el cobre es especificado en el acero	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

\*El contenido de manganeso de 0.85 a 1.35%, y el contenido de silicio de 0.15 a 0.40% es requerido en vigas por encima de 426lb/ft o 634kg/m. \*\* por cada reducción de 0,01% por debajo del máximo de carbono especificado, un aumento del 0,06% de manganeso por encima del máximo especificado se permitirá hasta un máximo de 1,35%

**Tabla 3.1 Composición química del acero A36<sup>16</sup>**

<sup>16</sup> [http://almacencarazo.com/productos/carbono/carbono\\_estructural\\_ASTM\\_A36.php](http://almacencarazo.com/productos/carbono/carbono_estructural_ASTM_A36.php)<sup>16</sup>

### 3.1.4. CARGAS MINIMAS DE DISEÑO

Las estructuras se calculan para soportar las cargas en los nodos, así predominará el esfuerzo a compresión y tracción, no es recomendable transmitir las cargas en los vanos de los elementos ya que predominarían esfuerzos de flexión, una estructura siempre estará sometida a cargas y no siempre del modo con que fue diseñada, por lo que la selección de cargas se vuelve un problema de probabilidad y estadística.

En este proyecto, los cálculos de diseño para estructuras de acero se harán bajo el Método de Diseño por Esfuerzo Permisible (ASD), en el cual los miembros se seleccionan de tal manera que sus propiedades transversales como área y momento de inercia sean suficientemente mayores para evitar que el esfuerzo máximo supere un esfuerzo permisible, el mismo que estará en la zona elástica del material y será menor que el límite de fluencia  $s_y$

1. Para la determinación y análisis de las cargas de diseño, se requiere hacer una clasificación entre estas:
  - Carga muerta
  - Carga viva
  - Cargas especiales dependiendo de la aplicación.

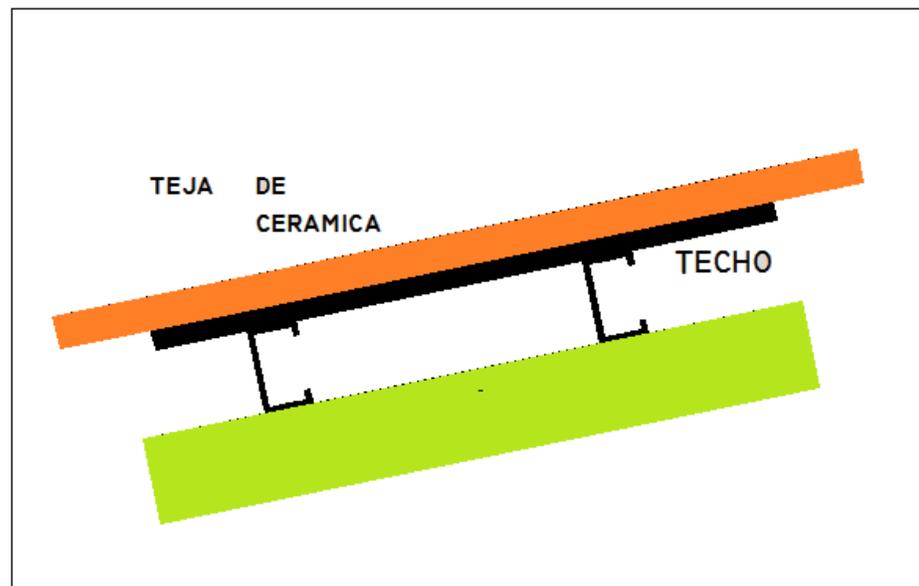
#### 3.1.4.1. CARGAS MUERTAS

Por carga muerta se entiende a todas las cargas de magnitudes constantes y estáticas, para el caso de las cubiertas se clasifican en:

- a) **Peso propio de la estructura:** se debe determinar en forma real el peso propio de la estructura y estimar la cantidad de esfuerzo que transmite a los nodos, en base la sumatoria de todos los pesos de los elementos que concurren a dicho nodo.
- b) **Peso de las correas:** las correas son los elementos que transmiten las cargas de los vanos hacia los nodos, en la cual predomina el esfuerzo de flexión.

- c) **Peso de los tensores:** los tensores son elementos secundarios que tienen la finalidad de rigidizar la estructura principal, evitando el ladeo excesivo y torsionamiento en la dirección menos rígida de la estructura, el esfuerzo que predomina en ellos, es el de tracción o compresión.
- d) **Peso de la cubierta:** La cubierta constituye, el conjunto de láminas, ya sean de placa aluminizada, policarbonato o mixto, cuya sumatoria de pesos es transmitida hacia las correas y de éstas a los nodos de las estructuras principales.

Un ejemplo típico de combinación utilizado en nuestro medio en cubiertas es como se muestra a continuación:



*Fig. 3.2 Vigueta de una cubierta*

- e) **Instalaciones eléctricas:** se refiere al sistema de cableado y accesorios utilizados en las instalaciones eléctricas, pero de manera especial a los sistemas de iluminación, cuyos pesos son representativos cuando se utilizan varios reflectores

o lámparas, dentro de los accesorios, se incluyen ventiladores o sistemas de aire acondicionado.

#### 3.1.4.2. CARGA VIVA

El tipo de carga viva, es fundamental dentro del cálculo de una cubierta, ya que se toman en consideración factores importantes como la lluvia, granizo, carga viva de mantenimiento y montaje, etc.

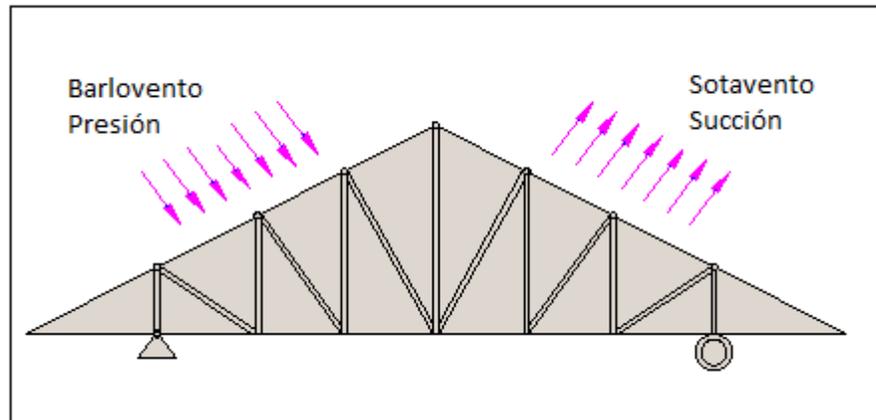
- a) **Acción del granizo y lluvia:** debido al ángulo pronunciado, que tienen las cubiertas, no se puede estimar con precisión el peso del agua lluvia, pero es importante considerar el peso del granizo, el mismo que al acumularse, puede causar la obstrucción de las canaletas de desagüe, y por lo tanto la falla del sistema estructural, iniciando por los elementos más débiles. Se recomienda considerar para el granizo una carga aproximada de  $10 \text{ a } 20 \frac{kg}{m^2}$
- b) **Acción de personal por mantenimiento y montaje:** esta carga es muy importante, ya que se refiere al montaje inicial de la estructura en la cual se debe considerar, equipo y mano de obra; además esta carga puede repetirse, cuando se realice el mantenimiento o cambio de las hojas de la cubierta. Estas cargas se recomienda asumir entre  $55 \text{ a } 75 \frac{kg}{m^2}$ .

#### 3.1.4.3. CARGAS ESPECIALES:

Se denominan así debido al tratamiento diferente que se les da en relación a las cargas anteriores, y estas son:

- a) **Cargas por acción del viento:** la carga producida por la acción del viento, está en relación directa con el tipo de construcción, pudiendo ser cerrada o abierta.

El viento produce dos acciones, a Barlovento o presión positiva (+) y a Sotavento que produce succión (-). En la figura 3.3 se observa la acción del viento.



**Fig. 3.3 Cargas de viento**

Existen varias fórmulas para expresar la presión dinámica causada por el viento, una de las más utilizadas es:

$$P_o = \frac{V^2}{16} \quad \text{Ec. 3.2}$$

**Donde:**

$$P_o = \text{Presión en } \frac{kg}{m^2}$$

$$V = \text{Velocidad del viento en m/seg}$$

Para clasificar el tipo de viento y su velocidad, nos guiaremos en la siguiente tabla:

<i>Clase de Viento</i>	<i>Velocidad</i>
	<i>m/seg</i>
<i>Regular</i>	9
<i>Fuerte</i>	13
<i>Muy Fuerte</i>	15
<i>Temporal</i>	18
<i>Temporal Fuerte</i>	21
<i>Temporal Muy Fuerte</i>	29
<i>Tempestad</i>	32
<i>Tempestad Violenta</i>	35
<i>Huracán</i>	38
<i>Huracán Violento</i>	43

**Tabla 3.2 Fuente: Manual Técnico TUGALT**

La sobrecarga en dirección normal a la cubierta, viene dado por la siguiente expresión:

$$P = C_t * P_o \quad \mathbf{Ec\ 3.3}$$

**Donde:**

*P<sub>o</sub>* = Presión dinámica

*C<sub>t</sub>* = Coeficiente eólico total

*P* = Presión del viento

El coeficiente eólico, es la sumatoria de la acción de presión mas la de succión, el cálculo se lo realiza tomando en consideración las condiciones más desfavorables, para la determinación de los coeficientes eólicos se utiliza la siguiente tabla:

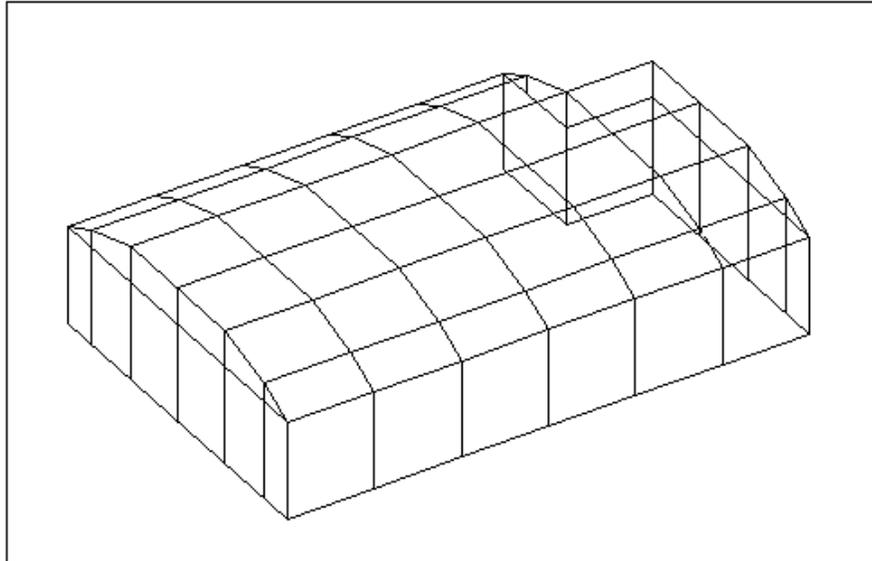
<i>Angulo de incidencia</i>	<i>Coeficiente eólico Ct</i>	
	<i>Del viento</i>	
	<i>BARLOVENTO</i>	<i>SOTAVENTO</i>
90°	0.8	-0.4
80°	0.8	-0.4
70°	0.8	-0.4
60°	0.8	-0.4
50°	0.8	-0.4
40°	0.8	-0.4
30°	0.8	-0.4
20°	0	-0.4
10°	-0.2	-0.4
0°	-0.4	-0.4

**Tabla 3.3 Fuente: Manual Técnico TUGALT**

### 3.2.DISEÑO Y CALCULO DE LA ESTRUCTURA.

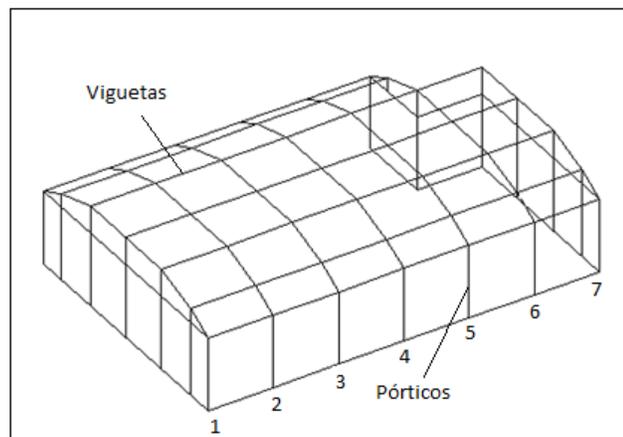
#### 3.2.1. ANALISIS DE CARGAS EN LA ESTRUCTURA

La estructura planteada para nuestro proyecto, se muestra en la figura 3.4 a partir de la cual vamos a definir las cargas de diseño y el cálculo correspondiente:



*Fig. 3.4 Diseño de la estructura*

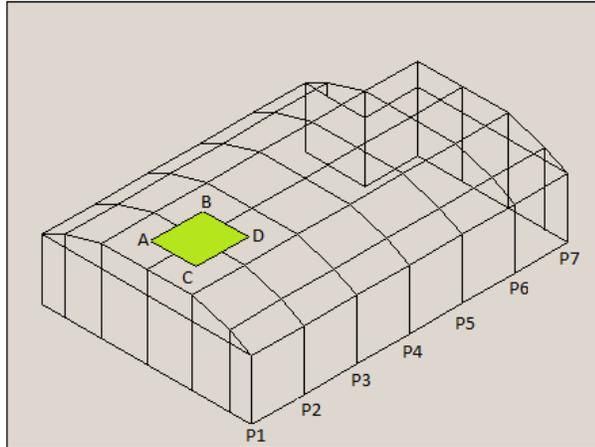
La estructura que servirá para cubrir la piscina, estará conformada por 7 pórticos unidos mediante viguetas secundarias, las cargas que se localicen en las viguetas se las transportará hacia los nodos en los pórticos para diseñar cada uno de ellos.



*Fig. 3.5 Diseño de la estructura*

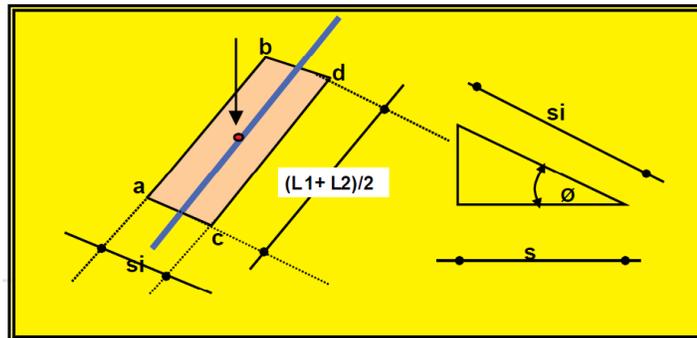
### 3.2.2. AREA TRIBUTARIA

Se define como área tributaria, al área afectada por todas las cargas muertas, cargas vivas y cargas de viento, que inciden directamente en un nodo.



*Fig. 3.6 Detalle Área Tributaria y Numeración de Pórticos*

*Fuente: Elaboración Propia*



*Fig. 3.7 Área Tributaria. Fuente: Manual Técnico Tugalt*

**Donde:**

**L1**= Separación entre pórticos

**L2** = Separación entre pórticos

**Si** = Separación inclinada entre correas

**S** = Separación horizontal entre correas

$\varphi$  = Angulo de elevación de la cubierta

La separación inclinada entre correas es:

$$Si = \frac{S}{\cos(\varphi)} \quad \text{Ec. 3.4}$$

El área tributaria inclinada es:

$$Ai = Si * \frac{(L1 + L2)}{2} \quad \text{Ec. 3.5}$$

El área tributaria horizontal es:

$$Ah = S * \frac{(L1 + L2)}{2} \quad \text{Ec. 3.6}$$

El área tributaria horizontal se utiliza para estimar la carga viva por montaje y mantenimiento.

### **3.2.3. CALCULO DE LAS CARGAS EN LOS PORTICOS**

La estructura de la cubierta es poligonal, la misma que está constituida por tramos rectos, lo cual conlleva a tener dos ángulos de inclinación, es decir el área tributaria será variable para cada nodo, al igual que las cargas aplicadas en los mismos.

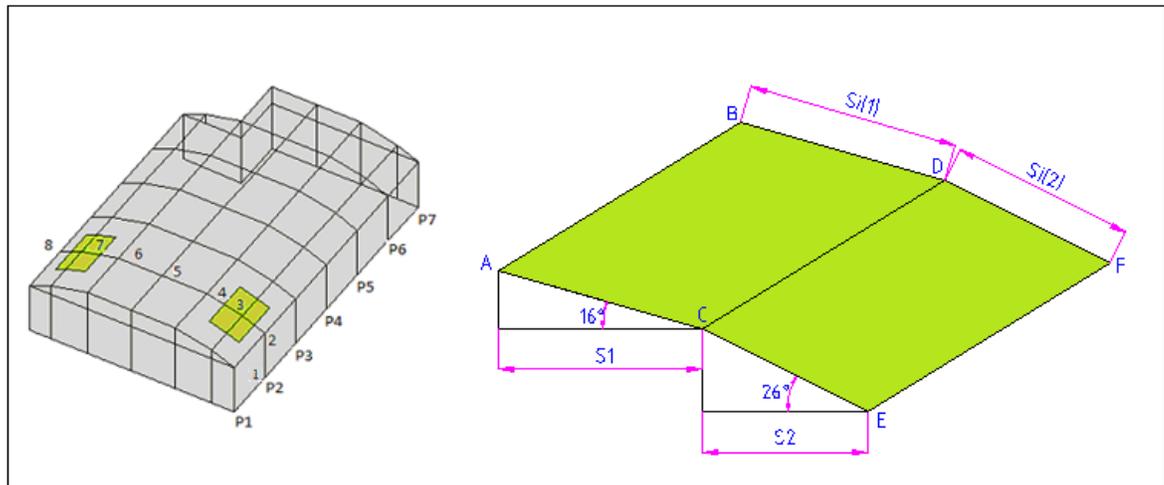
Los pórticos tienen una altura máxima de 3,650 m, la separación entre ellos es de 2,333 m, y el largo total de la estructura es de 14 m.

### **3.2.4. Cálculo de las cargas en los nodos 7 y 3**

Se va a calcular las fuerzas que actúan en los nodos 7 y 3 en el pórtico 2, debido a que éste es simétrico, se deberá tomar en cuenta que la carga de viento es diferente para cada lado.

### 3.2.4.1. Área Tributaria

El área tributaria para los nodos 3 y 7 se muestra en la figura 3.9 en donde se observa que la estructura está diseñada por pequeños tramos rectos de inclinación variable, por lo que la determinación del área tributaria es diferente para cada par de nodos.



**Fig. 3.9** Área tributaria para los nudos 3 y 7 del pórtico 2.

**Donde:**

**L1**= Separación entre el pórtico 1 y 2

**L2**= Separación entre el pórtico 2 y 3

**Si** = Separación inclinada entre correas

**S** = Separación horizontal entre correas

**$\theta$**  = Ángulo de elevación de la cubierta

**Datos:**

El boceto de la estructura fue realizado en Autocad a una escala 1:1, facilitando la obtención de datos tales como longitudes, ángulos de inclinación, etc.

L1 = 2,333 m

$$L2 = 2,333 \text{ m}$$

$$Si(1) = 1,724 \text{ m}$$

$$Si(2) = 1,118 \text{ m}$$

$$S1 = 1,650 \text{ m}$$

$$S2 = 1,000 \text{ m}$$

**a) Cálculo del ángulo de inclinación:**

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{S}{Si}\right) \quad \text{Ec. 3.7}$$

$$\theta_1 = \cos^{-1}\left(\frac{S1}{Si(1)}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{1,650}{1,724}\right) = 16.84^\circ$$

$$\theta_2 = \cos^{-1}\left(\frac{S2}{Si(2)}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{1,000}{1,118}\right) = 26.56^\circ$$

**b) Cálculo del área tributaria inclinada (Ai)**

Según el Manual Técnico Tugalt, el área tributaria inclinada para un ángulo de elevación constante de la cubierta se calcula mediante:

$$Ai = Si * \frac{(L1 + L2)}{2} \quad \text{Ec. 3.8}$$

Sin embargo en el diseño se tiene que en un nodo convergen dos ángulos de elevación distintos, por lo que el área tributaria total se calculará de la siguiente manera:

$$Ai = (Si(1) + Si(2)) * \frac{(L1 + L2)}{4} \quad \text{Ec. 3.9}$$

$$A_i = (724 + 1,118) * \frac{(3,333 + 2,333)}{4} = 3.315 m^2$$

**c) Cálculo del área tributaria horizontal  $A_h$  :**

En el caso del área tributaria horizontal se calculará de la siguiente forma:

$$A_h = (S_1 + S_2) * \frac{(L_1 + L_2)}{4} \quad \text{Ec. 3. 10}$$

$$A_h = (1,650 + 1,000) * \frac{(3,333 + 2,333)}{4} = 3,091 m^2$$

**3.2.4.2. Determinación de cargas muertas (D)**

En este apartado se analizarán las cargas muertas, debidas al peso de la cubierta, el peso de las correas, el peso por instalaciones eléctricas y además se deberá considerar el peso de los colectores solares que van a ser instalados sobre la estructura.

**a) Peso de la cubierta:**

En la cubierta se va a utilizar planchas de policarbonato cuyo peso es  $1,2 \frac{kg}{m^2}$ .

$$P_{cb} = A_i * W_c \quad \text{Ec. 3. 11}$$

**Donde:**

**$P_{cb}$**  = Carga puntual que se transmite al nodo en Kg

**$A_i$**  = Área inclinada en  $m^2$

**$W_c$**  = Peso de la cubierta en  $kg/m^2$ -

$$P_{cb} = 3.315 \text{ m}^2 * 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 3.978 \text{ kg}$$

**b) Peso de la correa**

El peso propio de la estructura lo calcula el programa de acuerdo a las iteraciones, por lo que no se calculará este valor.

**c) Peso de instalaciones eléctricas**

Para estimar un peso promedio de las instalaciones eléctricas, se utiliza el área tributaria horizontal Ah.

$$P_{ins} = Ah * Wins \quad \text{Ec. 3. 13}$$

**Donde:**

**Pins** = Peso de las instalaciones eléctricas transmitidas a un nudo en Kg.

**Ah** = Área tributaria horizontal en  $\text{m}^2$

**Wins** = Peso del material eléctrico en  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$ .

$$P_{ins} = 3.091\text{m}^2 * \frac{2\text{Kg}}{\text{m}^2} = 6.182\text{Kg}.$$

**d) Peso de los colectores solares (B)**

El peso de los colectores se estima teniendo en cuenta que en el capítulo anterior se determinó que se necesitaban 3 colectores con un área de  $2 \text{ m}^2$  y un peso aproximado de  $92 \text{ Kg}$  cada uno, es decir se tomará un valor de  $46 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$ .

Este valor se deberá multiplicar por el área inclinada, para determinar la carga puntual que actuará en el nodo:

$$P_{col} = 46 \frac{kg}{m^2} * 3.315 m^2 = 152.49 Kg$$

### 3.2.4.3. Análisis de cargas por viento (W)

Una de las cargas accidentales más críticas, es la acción del viento, la determinación de ésta se basa en el coeficiente eólico total, tanto en el ala de barlovento como de sotavento; la velocidad del viento en la zona del proyecto es de 5,9 m/s.<sup>17</sup>

La presión dinámica se calcula mediante:

$$P_o = \frac{V^2}{16} \quad \text{Ec. 3.14}$$

**Donde:**

$$P_o = \text{Presión en } \frac{kg}{m^2}$$

$$V = \text{Velocidad del viento en m/seg}$$

Luego se calcula la presión del viento **P** en un  $m^2$  utilizando la siguiente ecuación:

$$P = C_t * P_o \quad \text{Ec. 3.15}$$

**Donde:**

$$P_o = \text{Presión dinámica}$$

$$C_t = \text{Coeficiente eólico total}$$

Según la tabla 3.3 el coeficiente eólico total de acuerdo al ángulo de incidencia es de 0.8

#### a) Barlovento nodo (3)

---

<sup>17</sup> <http://www.elecaastro.com.ec/index.php?seccion=OzOWODn&codigo=dPUPEEo6nm>

$$P_o = \frac{5.9^2}{16} = 2.175 \text{ kg m}^2$$

$$P = 0.8 * 2.175 \text{ kg m}^2 = 1.74 \text{ kg m}^2$$

Esta presión del viento P se deberá multiplicar por el área de aportación, para obtener la carga puntual que llega al nodo en el ala de barlovento.

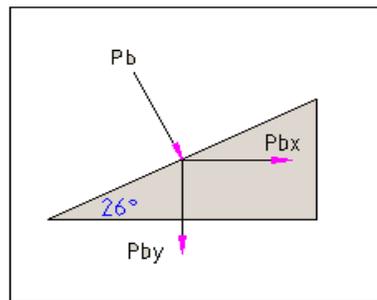
$$P_b = P * A_i \text{ Ec. 3.16}$$

**Donde:**

**P<sub>b</sub>** = Carga total concentrada en el nudo Kg.

$$P_b = 1.74 \text{ kg m}^2 * 3.315 \text{ m}^2 = 5.7681 \text{ Kg.}$$

La carga total P<sub>b</sub> actúa en dirección perpendicular a la cubierta, por lo que será necesario descomponerla, según al ángulo de inclinación.



**Fig. 3.10 Componentes de cargas de barlovento**

$$P_{bx} = \text{sen}\theta * P_b$$

$$P_{by} = \text{cos}\theta * P_b$$

Donde  $P_{bx}$  y  $P_{by}$ , representan las componentes horizontal y vertical respectivamente en el nodo, expresadas en Kg.,

$$P_{bx} = \text{sen}26.56 * 5.7681 \text{ Kg} = 2.5791 \text{ Kg}$$

$$P_{by} = \text{cos}26.56 * 5.7681 \text{ Kg} = 5.1593 \text{ Kg}$$

**b) Sotavento nudo (7)**

$$P_o = \frac{5.9^2}{16} = 2.175 \text{ kg m}^2$$

$$P = -0.4 * 2.175 \text{ kg m}^2 = -0.87 \text{ kg m}^2$$

Esta presión del viento P se deberá multiplicar por el área de aportación, para obtener la carga puntual que llega al nodo en el ala de sotavento.

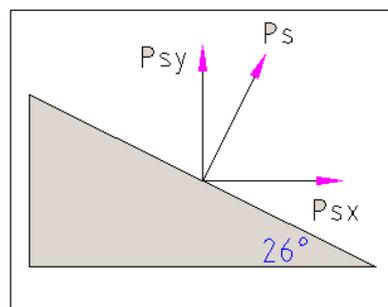
$$P_s = P * A_i \text{ Ec. 3.17}$$

**Donde:**

$P_s$  = Carga total concentrada en el nodo Kg.

$$P_s = -0.87 \text{ kg m}^2 * 3.315 \text{ m}^2 = -2.88 \text{ Kg.}$$

La carga total  $P_s$  actúa en dirección perpendicular a la cubierta, por lo que será necesario descomponerla, según al ángulo de inclinación de la misma.



**Fig. 3.11 Componentes de cargas de sotavento**

$$P_{sx} = \text{sen}\theta * P_b$$

$$P_{sy} = \text{cos}\theta * P_b$$

Donde  $P_{sx}$  y  $P_{sy}$ , representan las componentes horizontal y vertical respectivamente en el nodo, expresadas en Kg.,

$$P_{sx} = \text{sen } 26.56 * -2.88 \text{ Kg} = -1.287 \text{ Kg}$$

$$P_{sy} = \text{cos } 26.56 * -2.88 \text{ Kg} = -2.576 \text{ Kg}$$

#### **3.2.4.4. Determinación de la carga viva por montaje y mantenimiento (Lr).**

Esta carga es importante y su determinación depende en gran medida de la experiencia del diseñador, se recomienda asumir un valor promedio de  $60 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$ .

La carga viva transmitida al nudo, se determina a partir de:

$$P_v = C_v * A_h \quad \text{Ec. 3.18 t}$$

$$P_v = 60 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 3.091 \text{m}^2 = 185.46 \text{Kg}$$

**Donde:**

$$C_v = \text{carga viva en } \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$P_v = \text{Carga viva transmitida al nudo en Kg.}$

#### **3.2.4.5. Determinación de la carga viva por granizo ó lluvia (S)**

Esta carga es muy eventual, sin embargo se la debe tener muy en cuenta a la hora del diseño y cálculo de los elementos, de acuerdo al manual técnico Tugalt, ésta se determina a partir de:

$$P_g = A_i * h_g * W_g * F_r \quad \text{Ec. 3.19}$$

$$Pg = 3.315 \text{ m}^2 * 0.03 \text{ m} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.6 = 59.67 \text{ Kg}$$

**En donde:**

*Ai = Área inclinada*

*hg= Altura promedio de la capa de granizo.*

*Wg= Densidad promedio del granizo.*

*Fr= Factor de reducción de la densidad de agua, según el porcentaje de poros, se determina en forma práctica luego de la precipitación y se establece un factor promedio Fr, para cada zona.*

### **3.3. CALCULO Y DISEÑO**

Establecidas las cargas reales que actúan sobre los nodos, se determina el método de cálculo a utilizar, en este caso sería el método por esfuerzo admisible ASD o llamado método elástico, en el cual se han desarrollado las fórmulas para la combinación de cargas, a fin de determinar las condiciones más críticas de diseño, las cuales se enumeran a continuación:

- 1) D
- 2) D + L + (Lr ó S ó R)
- 3) 0.75 \* [D + L + (Lr ó S ó R) + T]
- 4) D + A
- 5) 0.75 \* [D + (W ó E) ]
- 6) 0.75 \* [D + (W ó E) + T]
- 7) D + A + [S ó (0.5\*W) ó E]
- 8) 0.75 \* [D + L + (Lr ó S ó R)+ W]
- 9) 0.75 \* [D + L + W + (0.5\*S)]
- 10) 0.75 \* [D + L + (0.5\*W ó S)]
- 11) 0.66 \* [D + L + (Lr ó S ó R) + (W ó E) + T]

**Donde:**

$D = \text{Carga permanente ó muerta}$

$L = \text{Carga viva de piso, incluyendo impacto.}$

$Lr = \text{Carga viva de techo.}$

$A = \text{Carga proveniente de grúas ó sistemas de manejo de materiales.}$

$S = \text{Carga de nieve o granizo.}$

$W = \text{Carga de viento}$

$E = \text{Carga sísmica.}$

$T = \text{Cargas especiales.}$

Una vez calculadas todas las combinaciones de cargas, se elige la carga mayor tanto en el ala de barlovento y de sotavento, para el diseño de la estructura.

### **3.3.1. BARLOVENTO (NODO 3)**

***Carga muerta total (D)***

$$D = P_{cb} + P_{cor} + P_{ins} + P_{col}$$

$$D = 3.978 + 0 + 6.182 + 152.49 = 162.65 \text{ Kg}$$

***Carga viva de piso (L)***

$L = 0$  la estructura es de una sola planta.

***Carga viva de techo (Lr)***

$$Lr = P_v = 185.46 \text{ Kg}$$

***Carga de granizo o lluvia (S)***

$$S = P_g = 59.67 \text{ Kg}$$

***Carga de viento (W) Barlovento***

$$W_b = P_{by} = 5.1593 \text{ Kg}$$

### ***Carga sísmica (E)***

*Se considerará el 10% de la carga muerta total*

$$E = 16.265 \text{ Kg}$$

Desarrollando las combinaciones obtenemos:

- 1)  $D = 162.65 \text{ Kg}$
- 2)  $D + L + (Lr \text{ ó } S \text{ ó } R) = 162.65 + 0 + 185.46 = 348$
- 3)  $0.75 * [D + L + (Lr \text{ ó } S \text{ ó } R) + T] = 0.75 [162.65 + 0 + 185.46 + 0] = 261.08 \text{ Kg}$
- 4)  $D + A = 162.65 + 0 = 162.65 \text{ Kg}$
- 5)  $0.75 * [D + (W \text{ ó } E)] = 0.75 * [162.65 + 16.265] = 134.18 \text{ Kg}$
- 6)  $0.75 * [D + (W \text{ ó } E) + T] = 0.75 * [162.65 + 16.265 + 0] = 134.18 \text{ Kg}$
- 7)  $D + A + [S \text{ ó } (0.5 * W) \text{ ó } E] = 162.65 + 0 + [59.67] = 222.32 \text{ Kg}$
- 8)  $0.75 * [D + L + (Lr \text{ ó } S \text{ ó } R) + W] = 0.75 * [162.65 + 0 + 185.46 + 5.1593] = 264.95 \text{ Kg}$
- 9)  $0.75 * [D + L + W + (0.5 * S)] = 0.75 * [162.65 + 0 + 5.1593 + (0.5 * 59.67)] = 148.23 \text{ Kg}$
- 10)  $0.75 * [D + L + (0.5 * W \text{ ó } S)] = 0.75 * [162.65 + 0 + (0.5 * 59.67)] = 144.36 \text{ Kg}$
- 11)  $0.66 * [D + L + (Lr \text{ ó } S \text{ ó } R) + (W \text{ ó } E) + T] = 0.66 * [162.65 + 0 + 185.46 + 16.265] = 240 \text{ Kg}$

La carga que actuará sobre el eje y del nodo 3 será la mayor de las ecuaciones antes evaluadas es decir 348 Kg, sobre el mismo nodo pero en dirección x actuará la componente Pbx de la carga de viento Pb.

### **3.3.2. SOTAVENTO (NUDO 7)**

#### ***Carga muerta total (D)***

$$D = P_{cb} + P_{cor} + P_{ins} + P_{col}$$

$$D = 3.978 + 0 + 6.182 + 152.49 = 162.65 \text{ Kg}$$

#### ***Carga viva de piso (L)***

$L = 0$  la estructura es de una sola planta.

**Carga viva de techo ( $L_r$ )**

$$L_r = P_v = 185.46 \text{ Kg}$$

**Carga de granizo o lluvia ( $S$ )**

$$S = P_g = 59.67 \text{ Kg}$$

**Carga de viento ( $W$ ) Sotavento**

$$W_s = P_{sy} = -2.576 \text{ Kg}$$

**Carga sísmica ( $E$ )**

Se considerará el 10% de la carga muerta total

$$E = 16.265 \text{ Kg}$$

Desarrollando las combinaciones obtenemos:

- 1)  $D = 162.65 \text{ Kg}$
- 2)  $D + L + (L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) = 162.65 + 0 + 185.46 = 348 \text{ Kg}$
- 3)  $0.75 * [D + L + (L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) + T] = 0.75 [162.65 + 0 + 185.46 + 0] = 261.08 \text{ Kg}$
  
- 4)  $D + A = 162.65 + 0 = 162.65 \text{ Kg}$
- 5)  $0.75 * [D + (W \text{ ó } E)] = 0.75 * [162.65 + 16.265] = 134.18 \text{ Kg}$
- 6)  $0.75 * [D + (W \text{ ó } E) + T] = 0.75 * [162.65 + 16.265 + 0] = 134.18 \text{ Kg}$
- 7)  $D + A + [S \text{ ó } (0.5 * W) \text{ ó } E] = 162.65 + 0 + [59.67] = 222.32 \text{ Kg}$
- 8)  $0.75 * [D + L + (L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) + W] = 0.75 * [162.65 + 0 + 185.46 - 2.576] = 259.15 \text{ Kg}$
- 9)  $0.75 * [D + L + W + (0.5 * S)] = 0.75 * [162.65 + 0 - 2.576 + (0.5 * 59.67)] = 142.43 \text{ Kg}$
- 10)  $0.75 * [D + L + (0.5 * W \text{ ó } S)] = 0.75 * [162.65 + 0 + (59.67)] = 166.74 \text{ Kg}$
- 11)  $0.66 * [D + L + (L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) + (W \text{ ó } E) + T] = 0.66 * [162.65 + 0 + 185.46 + 16.265] = 240 \text{ Kg}$

La carga que actuará sobre el eje y del nudo 7 será la mayor de las ecuaciones antes evaluadas es decir 348 Kg, sobre el mismo nudo pero en dirección x actuará la componente Psx de la carga de viento Pb.

### 3.3.3. CALCULO DE LOS NODOS RESTANTES EN EL PORTICO.

Los cálculos de los nodos restantes del pórtico se lo realizará siguiendo la misma metodología, a continuación se presenta una tabla en donde se resumen las cargas calculadas para los diferentes nodos en los pórticos.

<i>NODO</i>	<i>CARGA</i>	
	<i>DIRECCION X</i>	<i>DIRECCION Y</i>
2	2.028 Kg	-268 Kg
3	2.579 Kg	-348 Kg
4	-0.253 Kg	-454 Kg
5	0 Kg	-510Kg
6	-0.506 Kg	-454 Kg
7	-1.287 Kg	-348 Kg
8	-1.014 Kg	-268 Kg

***Tabla 3.5 Cargas en los nodos***

Se debe mencionar que debido a que los pórticos son iguales solo se calcularon las cargas en uno de ellos y se asumió estos valores de cargas para los demás nodos de los pórticos en la estructura.

### 3.3.4. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA MEDIANTE EL SOFTWARE SAP 2000.

El programa SAP2000 permite diseñar estructuras metálicas, utilizando normas técnicas de diseño las mismas que se pueden configurar de acuerdo a las necesidades, en este caso como se mencionó anteriormente se utilizara el método AISC-ASD, como se muestra en la figura 3.13.

Para definir la geometría de la estructura se tendrá que establecer el sistema de unidades en el que se va a trabajar, en la parte inferior derecha de la pantalla aparece una lista desplegable de la cual se escogerá la opción Kgf, mm, °C, luego se procede a crear la geometría a partir de las plantillas existentes.

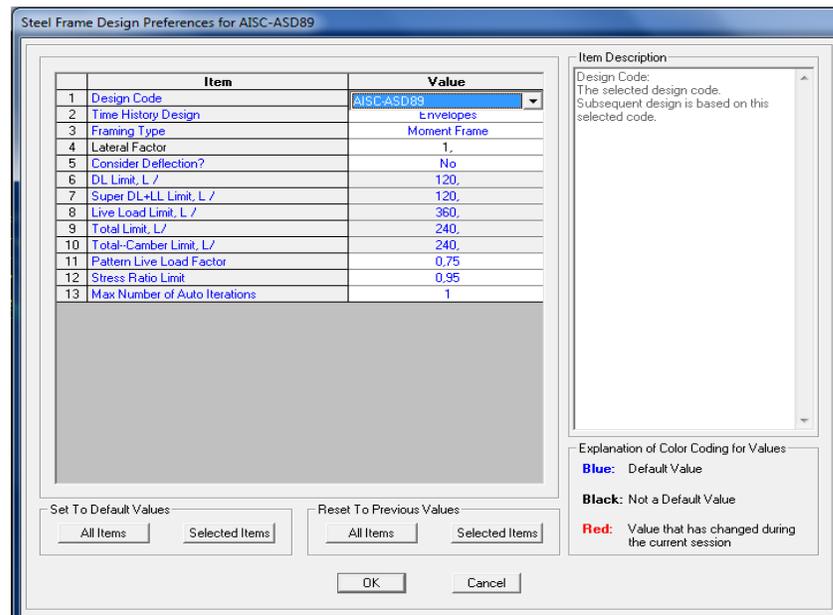
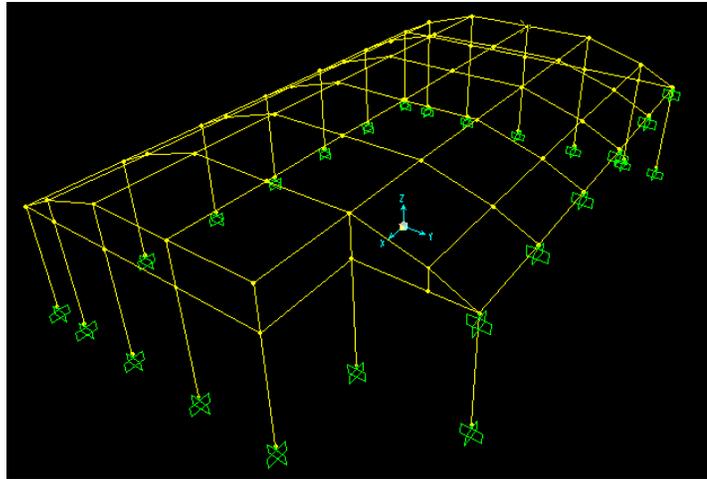


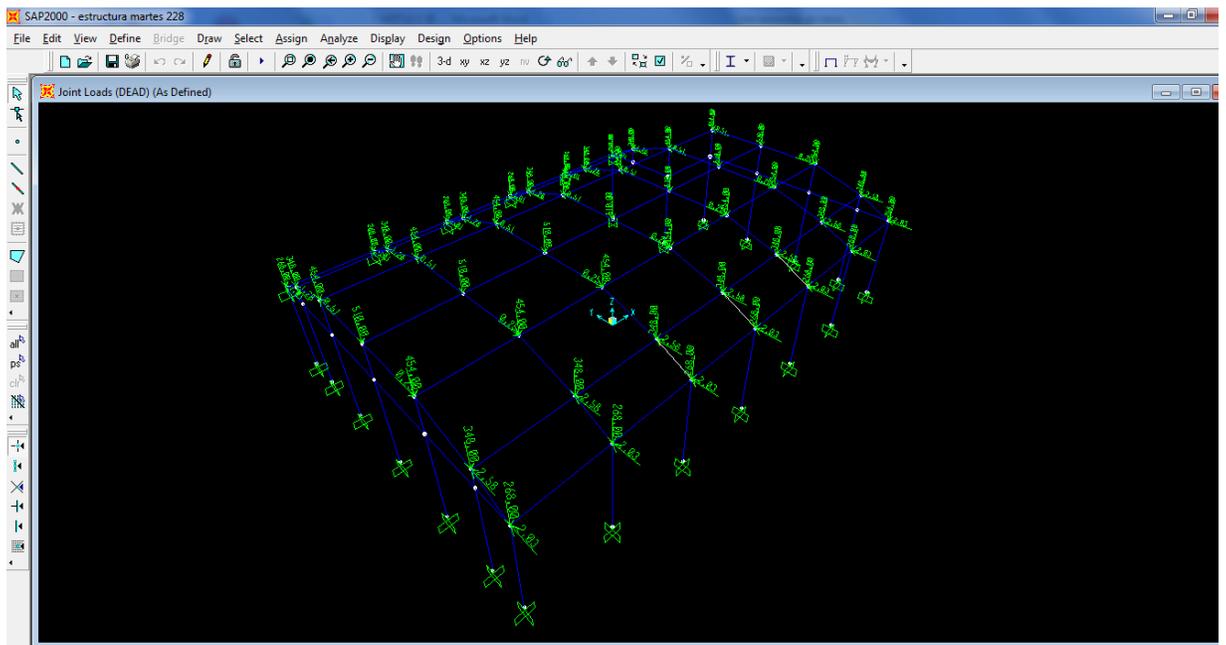
Fig. 3.13 Configuración del método de diseño

Una vez realizada la geometría, se establecen las condiciones de diseño tales como empotramientos, los mismos que se deberán asignar desde el menú *Assign – Joint - Restraints*, que en este caso se modelan como uniones rígidas sin grados de libertad como se muestra en la figura 3.14.



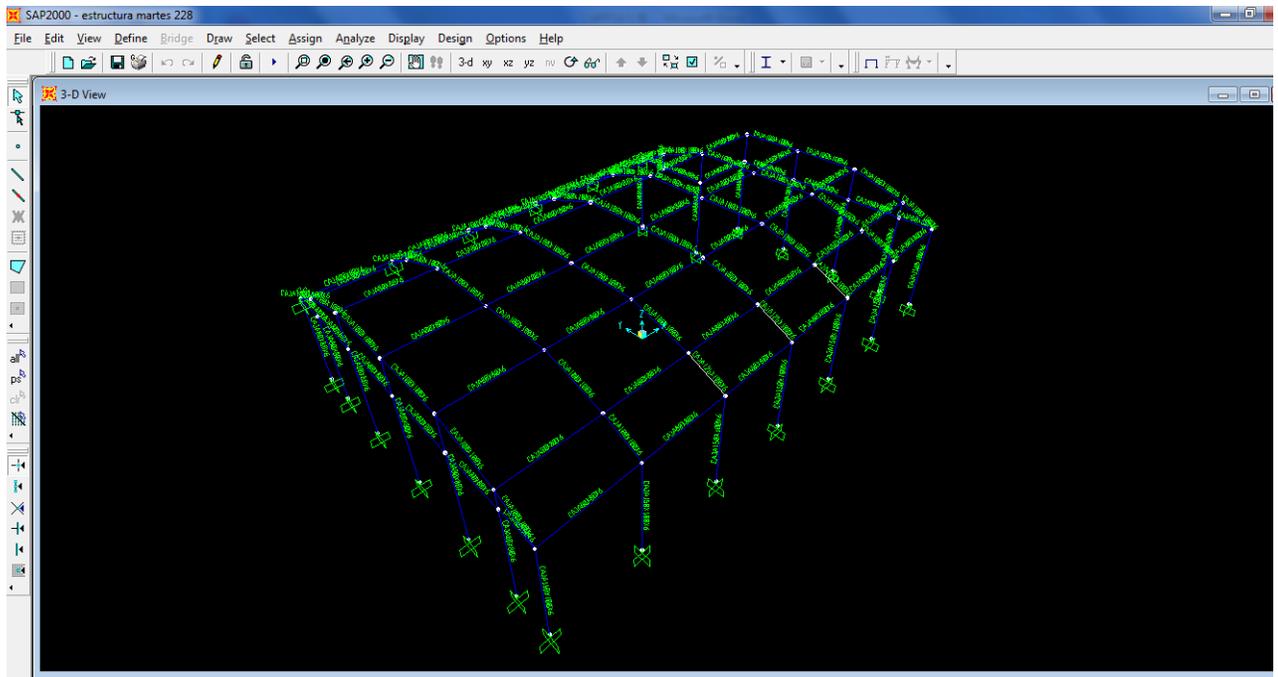
*Fig. 3.14 Configuración de empotramientos*

Luego se procede a colocar las cargas que actuarán en cada nodo, desde el menú *Assign – Joint load – Forces* en este capítulo se realizará el diseño estructural utilizando la carga resultante calculada mediante las combinaciones descritas anteriormente, ya que el programa da la posibilidad de colocar las cargas individuales y calcular las combinaciones por sí mismo, lo cual se visualizará en la simulación del diseño que se realizará en el capítulo cuatro.



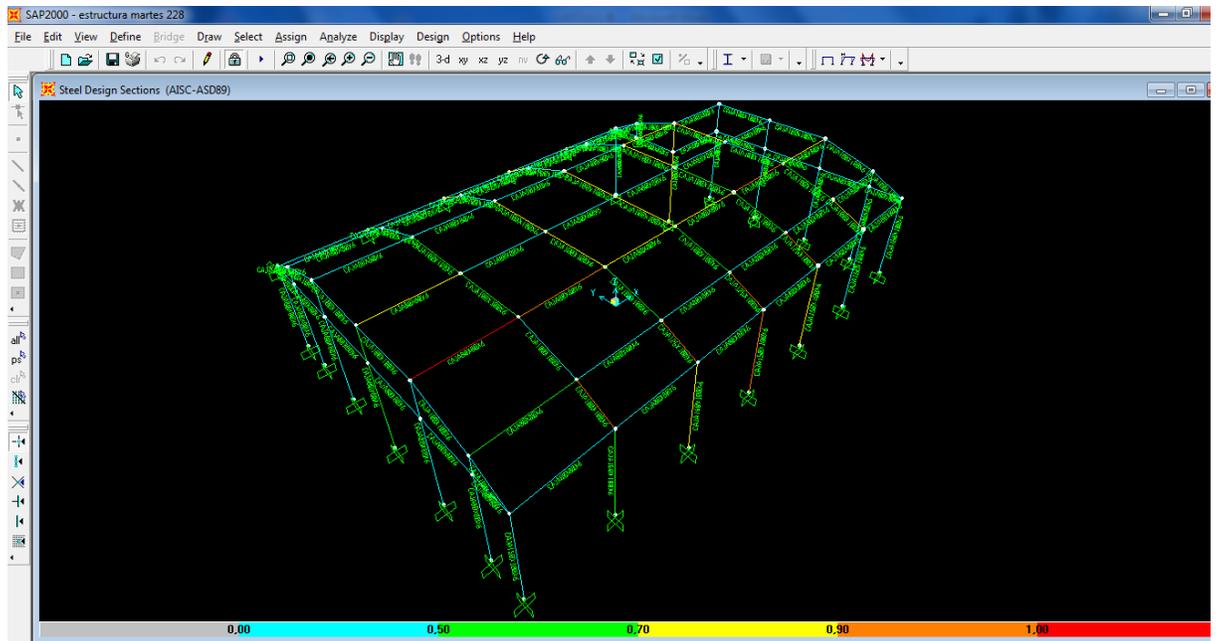
*Fig. 3.15 Cargas actuantes en los nodos.*

Para poder realizar el diseño se deben asignar las posibles secciones de los miembros de la estructura desde el menú *Assign – Frame/Cable/Tendon - Frame Sections* y obtener una primera aproximación mediante la simulación en el software, figura 3.16



*Fig. 3.16 Secciones de los miembros de la estructura*

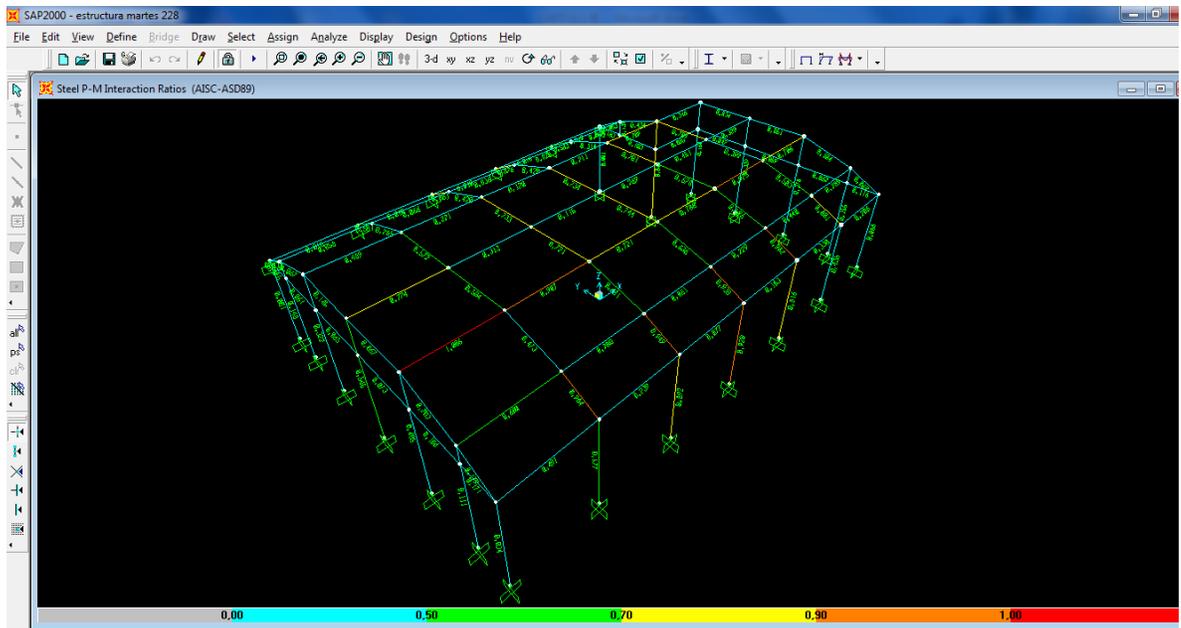
Luego de correr el programa, desde el menú *Analyze – Run Analysis* el software brinda la posibilidad de diseñar uno a uno los elementos de la estructura, en función de un parámetro conocido como ratio, el mismo que se podrá visualizar en cada elemento desde el menú *Design – Steel Frame Design – Display Design Inform*; y que representa la relación demanda-capacidad del esfuerzo en el elemento de la estructura, y que debe ser siempre igual o menor que uno, es decir la demanda de esfuerzo en un elemento no superará a la capacidad del mismo, garantizando de esta manera el diseño.



*Fig. 3.17 Diseño de secciones de los miembros de la estructura*

El programa proporciona varias herramientas de ayuda para el diseño, una de ellas consiste en la comprobación visual del ratio mediante una codificación de colores, como se observa en la figura 3.17, de acuerdo a la relación demanda-capacidad, cada miembro de la estructura aparece con un color, por lo tanto un diseño sería eficiente si todos o la mayoría de sus elementos aparecieran en color naranja, que representa una eficiencia entre 0.9 y 1.

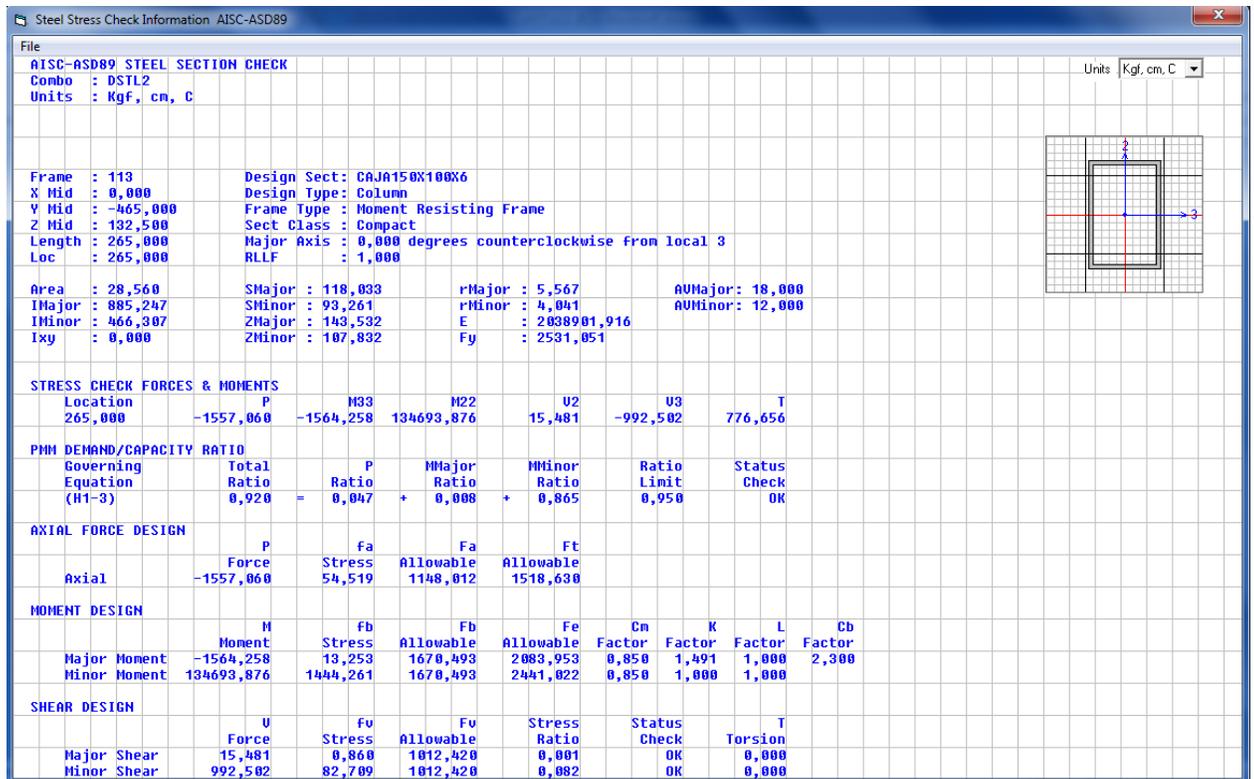
En la figura 3.18 se observa el valor del ratio en cada elemento de la estructura, en la cual se puede apreciar que todos los elementos cumplen con la condición de  $ratio \leq 1$ , existen elementos que aparecen en color celeste, es decir su demanda de esfuerzo es inferior a su capacidad, sin embargo esto se da debido a que por estética y facilidad de construcción se ha de tratar de homogenizar los perfiles a utilizar.



**Fig. 3.18 Relación Demanda-Capacidad en cada elemento.**

El programa brinda la facilidad de obtener datos acerca de cualquier elemento, luego de haber corrido el programa se puede verificar el comportamiento de cualquier elemento dando doble click sobre éste.

En la figura 3.19 se muestra la información de la columna 1 del pórtico 4, en la parte superior izquierda se observa la norma técnica empleada, la combinación de carga crítica, que en este caso por defecto toma DSTL2 y las unidades empleadas; además se presentan datos como: número de elemento, longitud, tipo de sección, etc. En cuanto al diseño esta herramienta es útil para verificar los esfuerzos y momentos en todas las direcciones, la capacidad de ratio del elemento, cuyo valor va a determinar la resistencia o no del mismo, también se indican las fuerzas axiales y el esfuerzo a cortante del elemento



*Fig. 3.19 Datos de la columna 1 del pórtico 4.*

Luego de varias iteraciones, se determina el diseño final de la estructura, en la cual se utilizan 4 tipos de secciones, las mismas que se consiguen al unir dos perfiles tipo canal para formar una caja de acuerdo a las dimensiones especificadas.

### 3.4. SELECCION DEL MATERIAL DE LA CUBIERTA

El material que se utilizará para la cubierta de la piscina, debe cumplir con ciertas características, tales como facilidad de ensamblaje, moldeabilidad, alta resistencia, buenas propiedades ópticas que contribuyan al ahorro de energía y un mejor control de temperatura en el recinto.

Por estas razones se empleará láminas de policarbonato alveolar para la cubierta, ya que también presenta una buena estética a la estructura y reduce el impacto visual en el paisaje de la zona.

### 3.4.1. POLICARBONATO.

El policarbonato es un grupo de termoplásticos utilizados principalmente en la manufactura moderna para techos, su nombre es debido a que se basa en polímeros que presentan grupos funcionales unidos por carbonatos en una larga cadena molecular.

Las principales características del policarbonato son:

- Gran resistencia al impacto
- Puede ser curvado en frío
- Resistente a la interperie
- Resistente a los rayos U.V.
- Excelente transmisión de luz
- Resistente a altas temperaturas
- Ligero y versátil

Las planchas de policarbonato vienen recubiertas por una película protectora de polietileno, una de las caras trae una protección especial contra los rayos ultravioletas del sol y se distingue por las indicaciones gráficas que vienen en ella.

Como condición indispensable para asegurar que la plancha alcance un rendimiento óptimo a lo largo de toda su vida útil, se recomienda que ésta se limpie periódicamente utilizando agentes de limpieza domésticos como detergentes suaves, no se debe fregar nunca la lámina con cepillos o instrumentos afilados, además de evitar que la superficie protegida contra la luz ultravioleta entre en contacto con algún tipo de disolvente.

En el mercado se puede encontrar una variedad de productos de policarbonato, dentro de las siguientes categorías:

- *Lámina de policarbonato alveolar*
- *Plancha de policarbonato ondas*
- *Perfiles de policarbonato trapezoidales y de unión*

- *Lámina de policarbonato monolítico*
- *Accesorios para las planchas de policarbonato*

### **3.4.2. SELECCIÓN DE MATERIALES EN CATALOGOS COMERCIALES.**

Una vez realizado el diseño de la estructura y establecidos cuales son los materiales a utilizarse, se procede a seleccionar de los catálogos de proveedores, los materiales adecuados tanto para los perfiles de la estructura, como las planchas de policarbonato.

#### **a) Perfiles de la estructura.**

En el medio existen algunos proveedores de perfiles de acero para estructuras tales como: IPAC, DIPAC, NOVACERO, etc. Los cuales ofrecen productos que cumplen con la norma INEN, es decir son estandarizados y pueden ser utilizados por los constructores. La selección del material dependerá de la experiencia y confiabilidad que tenga cada constructor y del stock que se disponga en el medio, en este caso se utilizará perfiles tipo canal comercializados por IPAC, cuyas características se muestran en la anexo 3.1

#### **b) Planchas de Policarbonato:**

Las planchas de policarbonato a utilizarse en la cubierta y los accesorios necesarios para el montaje, se pueden encontrar con varios proveedores locales, en la anexo 3.2, se especifican características técnicas, dimensiones y precios del material.

Los planos de la estructura se los puede visualizar en el anexo 3.3, ó en el archivo digital en SAP 2000.

# **CAPITULO IV**

## **SIMULACION DE LOS SISTEMAS DISEÑADOS**

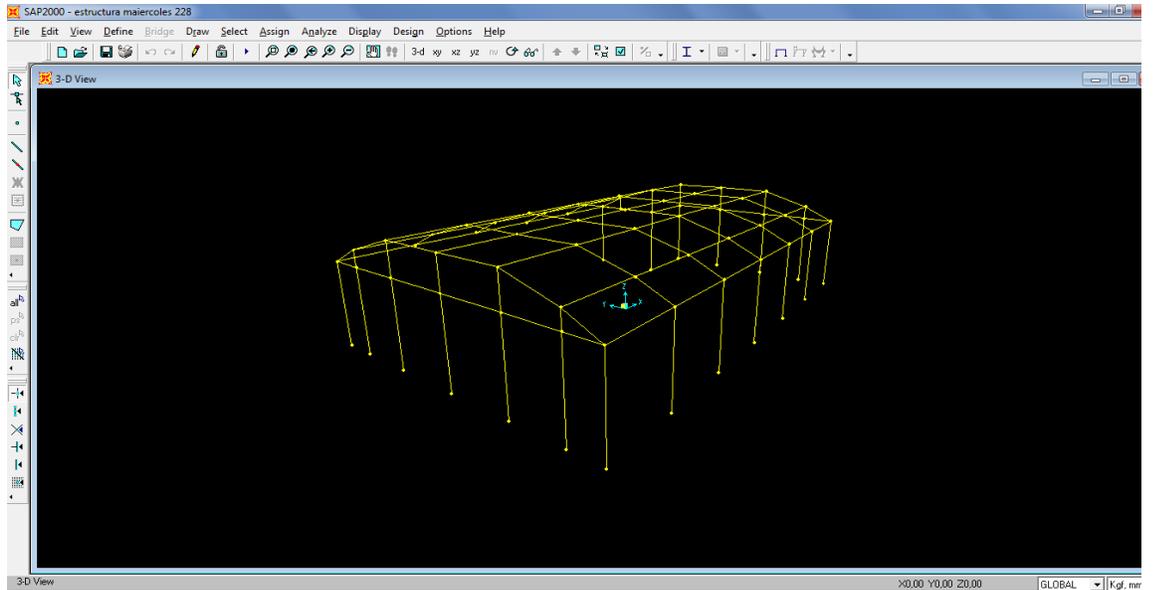
#### **4.1. SELECCIÓN DE SOFTWARE A EMPLEAR.**

En este capítulo se realizarán las simulaciones de los sistemas diseñados, para tal fin se ha de seleccionar los diferentes software aplicables a cada uno de los casos, para la simulación de la estructura se utilizará el software SAP2000 el cual se utilizó para el diseño de la misma en el capítulo 3, para el sistema de tuberías se decidió utilizar el programa PIPE FLOW EXPERT, el cual es un software que permite analizar y resolver un amplio rango de problemas donde el caudal y la pérdida de presión que pasa a través de un tubo puede ser determinado, este programa permite dibujar sistemas de tuberías y analizar las operaciones del sistema cuando el flujo este ocurriendo, el software calcula el balance en condiciones de caudal y presión constante, para el tema de transferencia de calor se utiliza el Programa ANSYS, el cual es un paquete de elementos finitos que proporciona las herramientas necesarias para el análisis de transferencia de calor.

#### **4.2. SIMULACION DE LA ESTRUCTURA EMPLEANDO EL SOFTWARE SAP2000.**

El programa SAP2000 permite diseñar y simular estructuras tanto metálicas, concreto, madera u otros, utilizando normas técnicas de diseño las mismas que se pueden configurar de acuerdo a cada aplicación, para realizar el modelamiento del problema se debe seleccionar el sistema de unidades en el que se va a trabajar, en la parte inferior derecha de la pantalla se tiene una lista desplegable con los diferentes sistemas de unidades que se pueden emplear, para este caso se utilizará ***Kgf, mm, °C***, luego se tiene que crear el archivo de trabajo, mediante la opción ***File:/New Model***, se accede a un menú de plantillas, pudiendo escoger la que más se asemeje al proyecto en estudio, enseguida se crea la geometría de la estructura, ingresando datos tales como: número de plantas, número de vanos, separación entre pórticos, etc. Tras generar esta malla con los datos generales de la estructura, se procede a adaptar ésta a la geometría real del proyecto, vale recalcar que las líneas de malla son líneas auxiliares de apoyo y no tienen sentido estructural alguno.

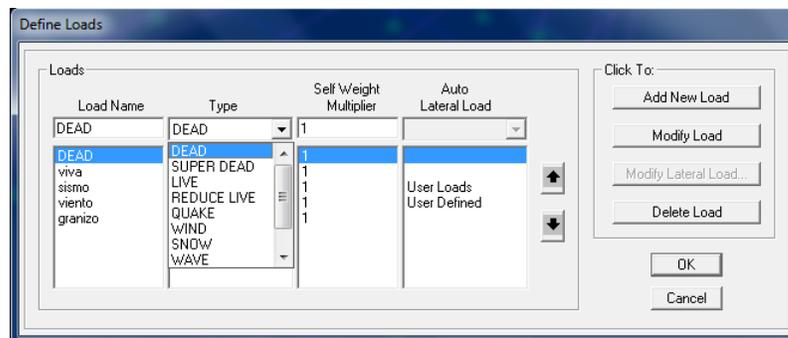
En la figura 4.1 se muestra le geometría de la estructura generada.



**Fig. 4.1 Geometría de la estructura.**

Se deberá definir los materiales de la estructura mediante la opción, *Define/Materials/Steel/Modify/Show*, se puede ingresar el tipo de acero y sus características de análisis y de diseño, luego se procede a establecer las secciones de cada elemento y definir los empotramientos que para este caso se manejan como nodos restringidos.

En este capítulo se ingresarán los datos de las cargas de manera independiente de acuerdo al tipo, fig. 4.2, y se recalculara la estructura mediante las combinaciones de carga que el programa realice



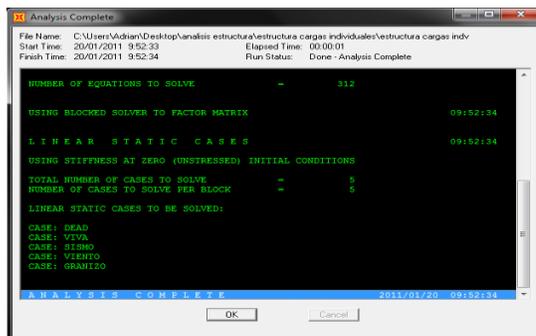
**Fig. 4.2 Definición del tipo de cargas.**

Utilizando la opción *Analyze/Run Analysis/Run Now*, se manda a correr el programa, a continuación nos aparecerá una cuadro de dialogo que nos permite configurar las cargas con las que se realizará el análisis, pudiendo habilitar o deshabilitar cada una de ellas para observar el comportamiento de la estructura en diferentes condiciones.

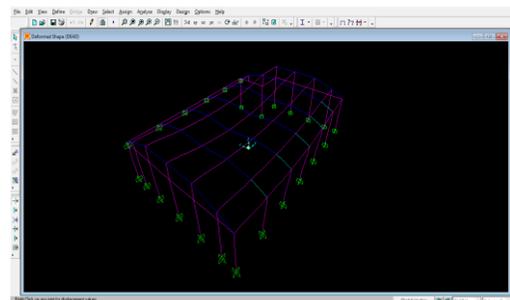
## 4.2.1 SIMULACION DE LA ESTRUCTURA BAJO LA ACCION DE DIFERENTES TIPOS DE CARGAS.

### 4.2.1.1. Análisis bajo la acción de las cargas: muerta, viva, viento, sismo y granizo.

En este punto se desarrollará la simulación tomando en consideración todas las cargas, es decir el programa realizará las combinaciones con todas las cargas activas, una vez que el análisis ha sido completado, se muestra el número de ecuaciones que se han resuelto y el tipo de casos de cargas que se han utilizado, fig. 4.4, al pulsar ok se visualizará la estructura en modo de falla, fig. 4.5.

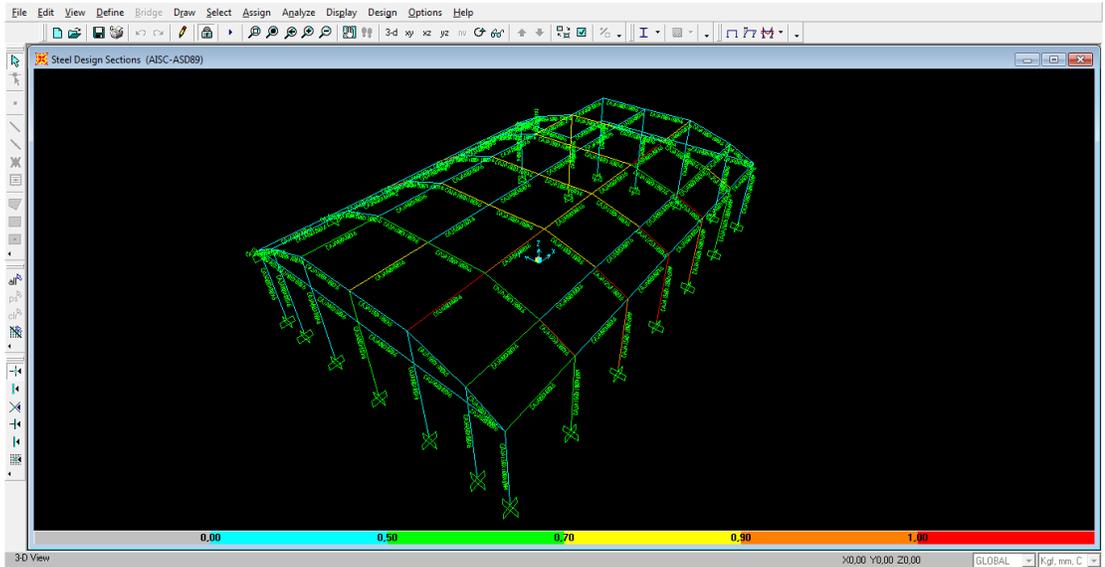


*Fig. 4.4 Cargas consideradas para la simulación*



*Fig. 4.5 Modo de deformación de la estructura*

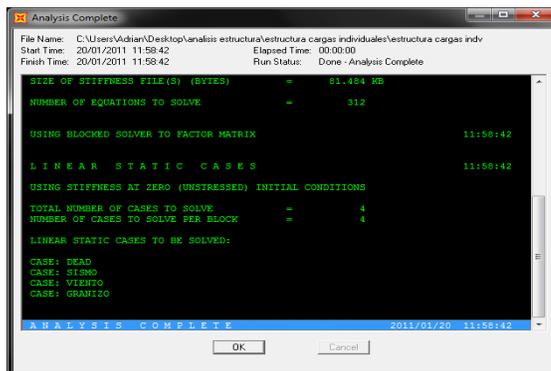
En la fig. 4.6, se reafirma el comportamiento de la estructura bajo la acción de estas cargas tal como en el diseño realizado en el Capítulo 3, es decir se mantienen los mismos esfuerzos para las secciones diseñadas en cada elemento



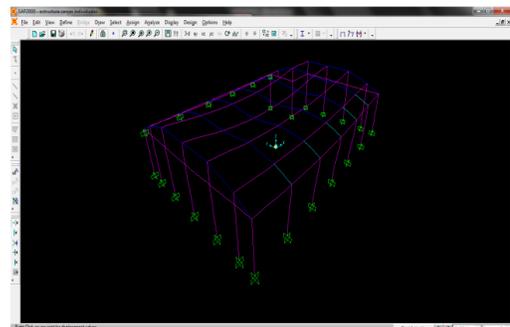
*Fig. 4.6 Diseño de Secciones en la Estructura.*

**4.2.1.2. Análisis bajo la acción de las cargas: muerta, viento, sismo y granizo.**

En este punto se desarrollará la simulación sin considerar la carga viva, es decir el programa realizará las combinaciones pero el valor de la carga viva se anulará, una vez que el análisis ha sido completado, se muestra el número de ecuaciones que se han resuelto y el tipo de casos de cargas que se han utilizado, fig. 4.7, al pulsar ok se visualizará la estructura en modo de falla, fig. 4.8

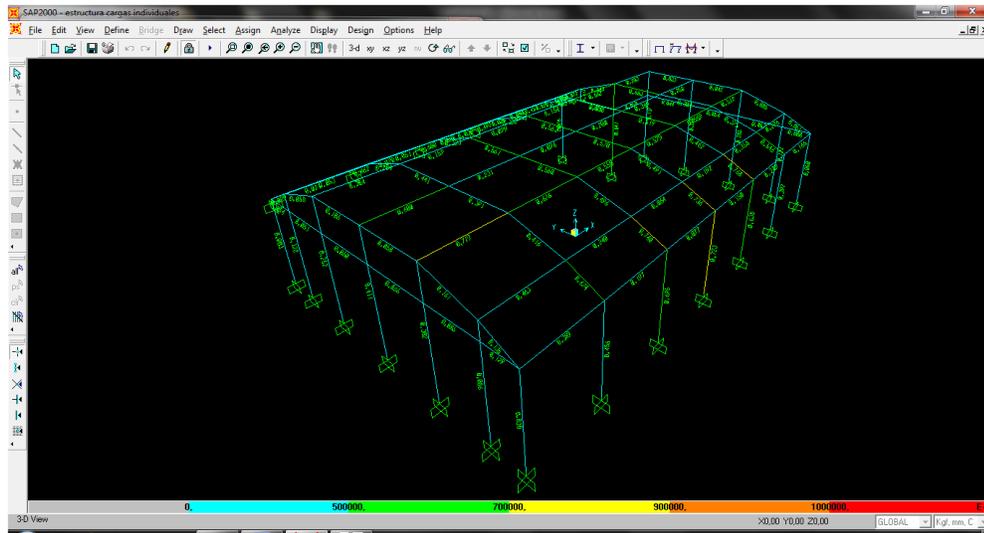


*Fig. 4.7 Cargas consideradas para la simulación*



*Fig. 4.8 Modo de deformación de la estructura*

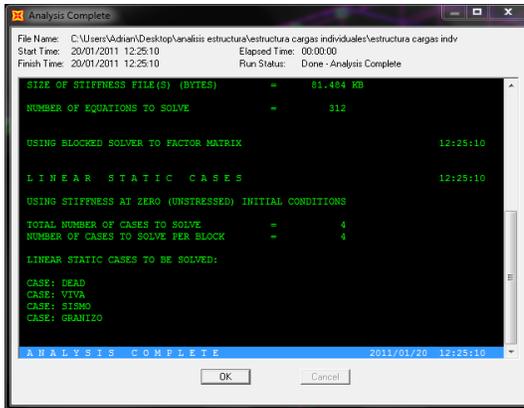
En la figura 4.9 se visualiza los esfuerzos a los que está sometida la estructura cuando la carga viva no está actuando, como se puede apreciar los mayores esfuerzos no superan el 75% de esfuerzo permisible, sin embargo al momento de realizar el montaje y mantenimiento tanto de la estructura como de los colectores ésta carga es importante ya que puede causar la falla de la estructura.



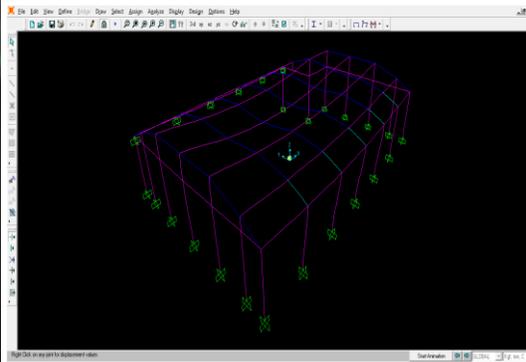
*Fig. 4.9 Esfuerzos en los elementos de la estructura*

#### **4.2.1.3 Análisis bajo la acción de las cargas: muerta, viva, sismo y granizo.**

En este punto se desarrollará la simulación sin considerar la carga de viento, es decir el programa realizará las combinaciones pero el valor de la carga de viento se anulará, una vez que el análisis ha sido completado, se muestra el número de ecuaciones que se han resuelto y el tipo de casos de cargas que se han utilizado, fig. 4.10, al pulsar ok se visualizará la estructura en modo de falla, fig. 4.11

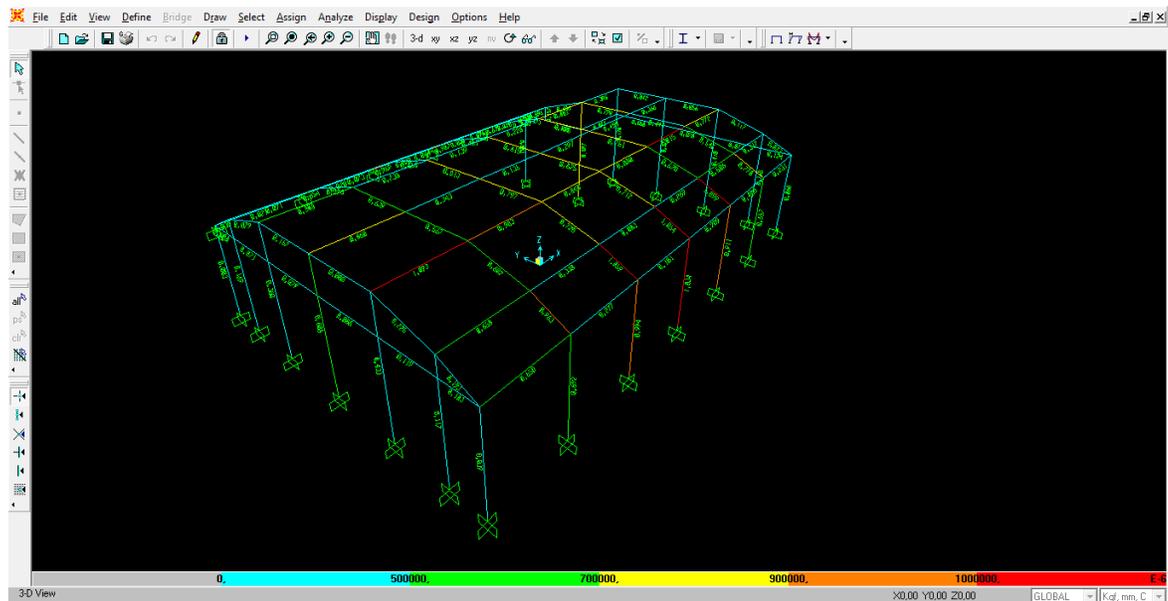


**Fig. 4.10 Cargas consideradas para la simulación**



**Fig. 4.11 Modo de deformación de la estructura**

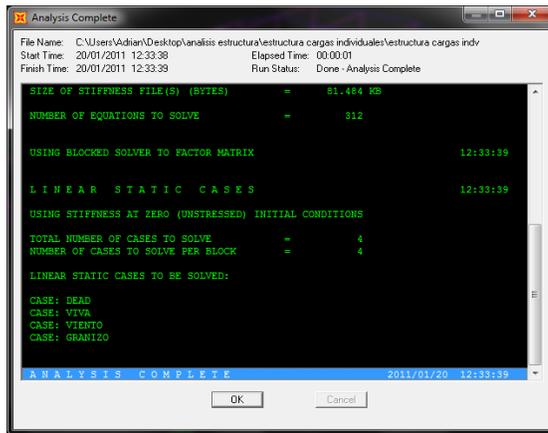
En la figura 4.12 se visualiza los esfuerzos a los que está sometida la estructura cuando la carga de viento no está actuando, como se puede apreciar los ratios en los elementos no varían en relación al análisis realizado cuando actúan todas las cargas, esto se da debido a que la velocidad del viento considerada en la zona es baja y por lo tanto la carga de viento no representa un valor considerable en el diseño.



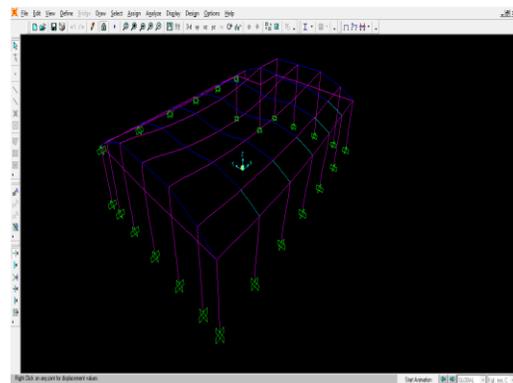
**Fig. 4.12 Esfuerzos en los elementos de la estructura.**

#### 4.2.1.4 Análisis bajo la acción de las cargas: muerta, viva, viento, y granizo.

En este punto se desarrollará la simulación sin considerar la carga de sismo, es decir el programa realizará las combinaciones pero el valor de la carga de sismo se anulará, una vez que el análisis ha sido completado, se muestra el número de ecuaciones que se han resuelto y el tipo de casos de cargas que se han utilizado, fig. 4.13, al pulsar ok se visualizará la estructura en modo de falla, fig. 4.14

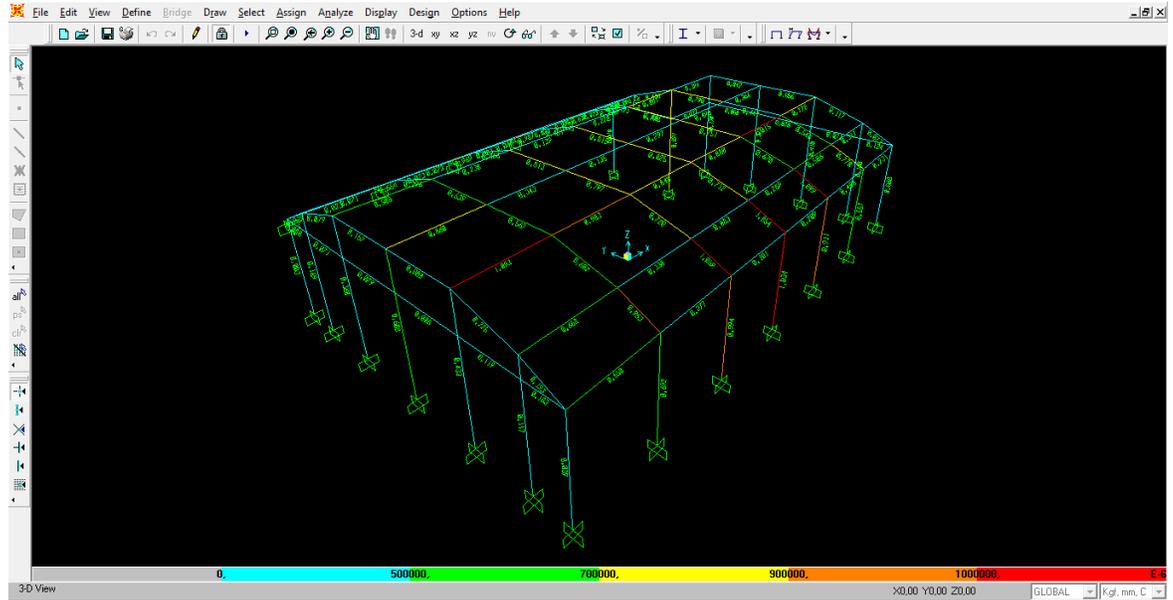


*Fig. 4.13 Cargas consideradas para la simulación*



*Fig. 4.14 Modo de deformación de la estructura*

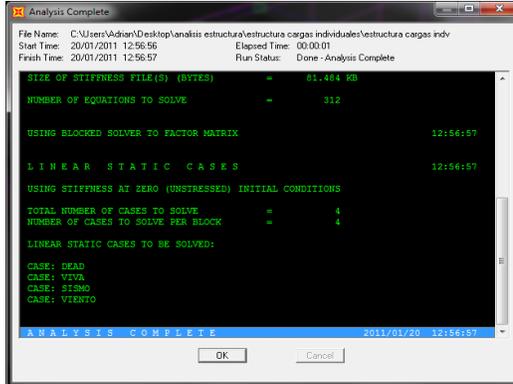
En la figura 4.15 se visualiza los esfuerzos a los que está sometida la estructura cuando no se considera la carga de sismo, los mismos que no cambian en relación a cuando esta carga está actuando, esto nos indica que en las combinaciones que realiza el programa se tomo alguna carga superior a la de granizo y esto conlleva a asegurar que la estructura resiste ante esta carga eventual.



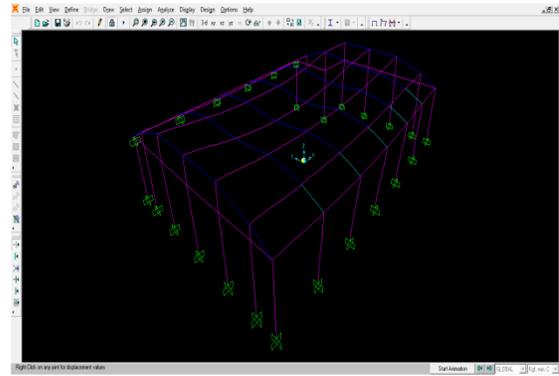
*Fig. 4.15 Esfuerzos en los elementos de la estructura.*

#### **4.2.1.5 Análisis bajo la acción de las cargas: muerta, viva, sismo y viento.**

En este punto se desarrollará la simulación sin considerar la carga de granizo, es decir el programa realizará las combinaciones pero el valor de la carga de granizo se anulará, una vez que el análisis ha sido completado, se muestra el número de ecuaciones que se han resuelto y el tipo de casos de cargas que se han utilizado, fig. 4.16, al pulsar ok se visualizará la estructura en modo de falla, fig. 4.17

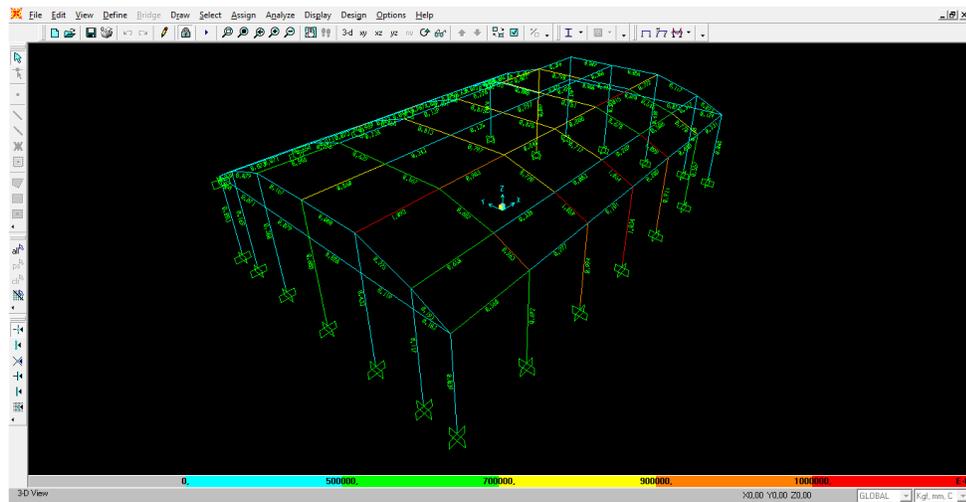


*Fig. 4.16 Cargas consideradas para la simulación.*



*Fig. 4.17 Modo de deformación de la estructura*

En la figura 4.18 se visualiza los esfuerzos a los que está sometida la estructura cuando no se considera la carga de granizo, los mismos que no varían en relación a cuando esta carga está actuando, al igual que en el caso anterior según las combinaciones realizadas estas cargas están consideradas dentro de una combinación mayor o igual y esto asegura el dimensionamiento de la estructura.



*Fig. 4.15 Esfuerzos en los elementos de la estructura.*

En el anexo 4.1 se encuentra los pórticos con las secciones y ratio más críticos.

#### **4.3. SIMULACION DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL INTERCAMBIADOR DE CALOR.**

En este apartado se realizará la simulación de la transferencia de calor en el intercambiador de calor utilizando ANSYS CFX el cual es un software desarrollado mediante elementos finitos cuyo desarrollo metodológico consiste en subdividir un sistema complejo en elementos de un tamaño pequeño seleccionado por el usuario, el software implementa ecuaciones diferenciales que gobiernan los fenómenos de transporte, el comportamiento de los elementos y los soluciona simultáneamente, dando una explicación comprensible de como el sistema actúa como un todo. Los resultados obtenidos pueden presentarse de manera tabular, gráfica o animada, este tipo de análisis se utiliza principalmente para el diseño y optimización de sistemas cuyo nivel de complejidad es alto.

Para solucionar cualquier problema matemático de ecuaciones diferenciales sean estas ordinarias o parciales, mediante ANSYS CFX se requiere definir:

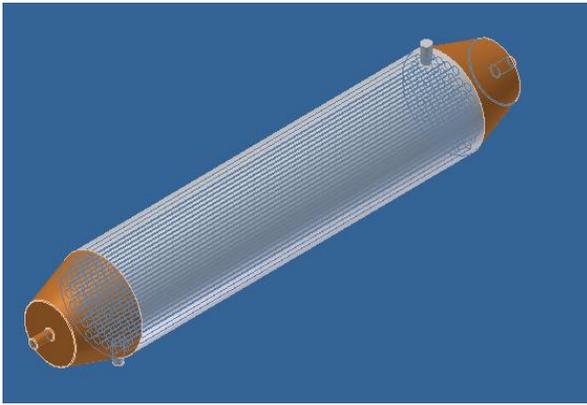
- a) Un dominio para la solución
- b) Un modelo físico
- c) Condiciones iniciales y de frontera
- d) Propiedades físico-químicas y mecánicas de los materiales

En la solución del modelo matemático, este método numérico de elementos finitos requiere un paso denominado la generación de la malla, esta etapa es la que divide el modelo en pequeños elementos que son solucionados mediante diversos métodos numéricos.

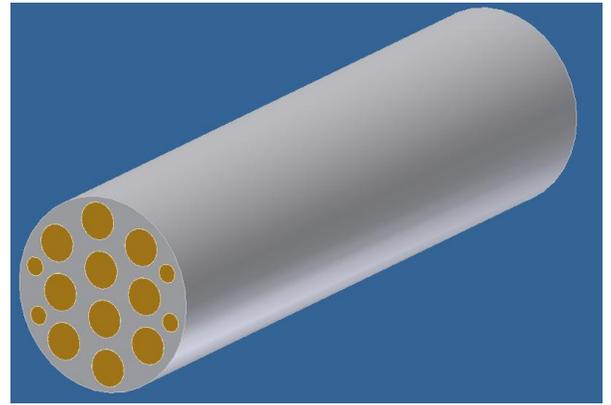
Para el análisis del intercambiador, se utilizarán los datos obtenidos en el diseño realizado en el capítulo 3 el mismo que establece que el área de transferencia de calor será de  $3.92 \text{ m}^2$ , utilizando 66 tubos de cobre de  $\text{Ø}3/4$  con una distribución triangular y una longitud de 1 m.

### 4.3.1. Construcción de la Geometría del Dominio Físico

La creación de la geometría del dominio físico se la realizó en Inventor, tal como se muestra en la fig. 4.16 en la cual se observa la distribución original de tubos en la coraza, sin embargo debido a restricciones de memoria en ANSYS CFX, se tuvo que simplificar dicho modelo en forma proporcional a un sistema de tubos equivalentes, en el que se considera 10 tubos de diámetro 46.66 mm que equivalen al área de transferencia de 60 tubos de  $\text{Ø}19.05\text{mm}$  y 4 tubos de diámetro 23.33 mm que equivalen al área de transferencia de 6 tubos del mismo diámetro para mantener la simetría y distribución en el sistema fig. 4.17



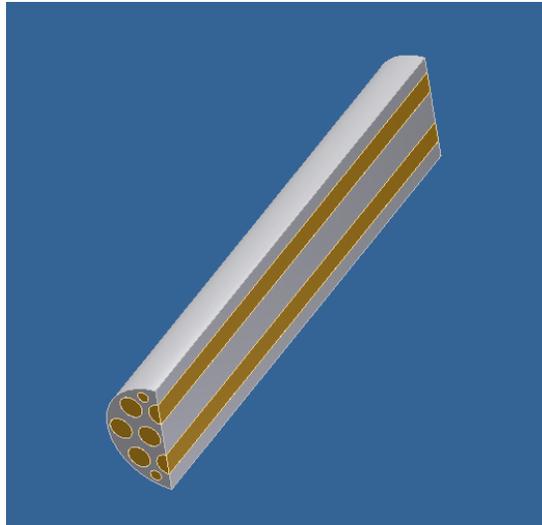
*original*



*Fig. 4.16 Intercambiador*

*Fig. 4.17 Intercambiador equivalente*

ANSYS CFX brinda la posibilidad de utilizar herramientas de simetría las cuales nos permitirá agilizar los recursos del procesador, permitiendo una aproximación a una solución más real del sistema, por lo que la geometría a analizarse será la que se muestra en la fig. 4.18



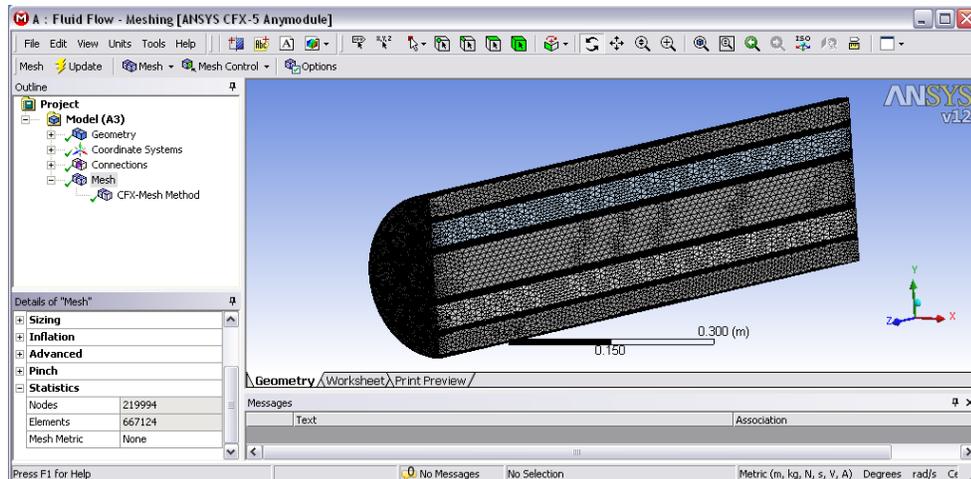
*Fig. 4.18 Intercambiador simétrico*

#### **4.3.2. Generación de la malla**

En la primera etapa del pre-procesamiento, para la generación de la malla se requiere de una geometría, para lo cual se requiere básicamente:

1. Definir la geometría de la región de interés.
2. Crear regiones del flujo de fluido, regiones sólidas y superficies de borde tales como entradas, salidas y planos de simetría.
3. Fijar las propiedades del mallado, tales como espaciamientos máximos y mínimos tanto para la superficie y el volumen de la geometría, además para optimizar el proceso es necesario definir un mallado más fino en las entradas y salidas del sistema.

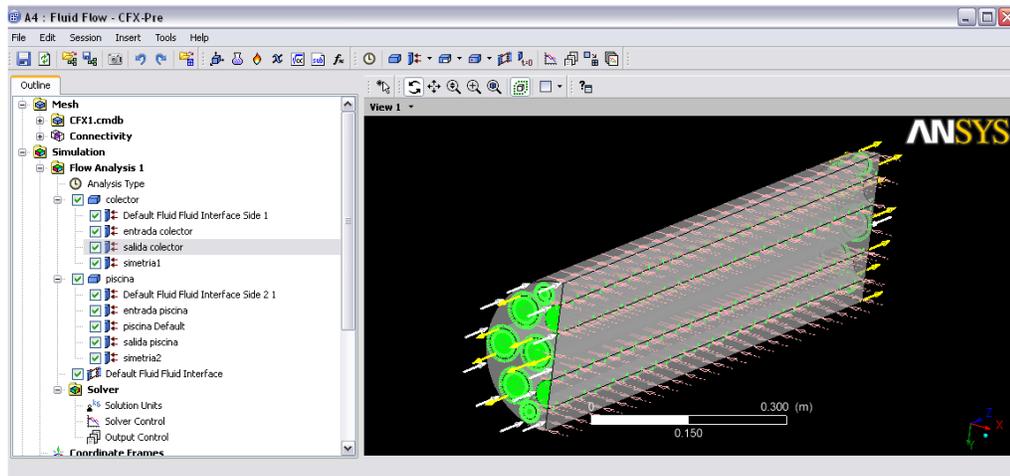
El mallado se realiza mediante un proceso iterativo en el cual influyen aspectos tales como tamaño y complejidad de la geometría además de la capacidad del procesador, el mallado generado para este caso se muestra en la fig. 4.19, en donde se observa que el número de elementos es 667124, además se han establecido regiones de entrada y salida tanto para el agua de la piscina y el intercambiador para generar un mallado más fino que permita un mejor análisis en estas regiones de interés, también se utilizó una inflación en la superficie exterior del agua de la piscina y un estrechamiento en el eje z para optimizar la malla.



*Fig. 4.19 Geometría mallada.*

### 4.3.3. Definición Física

Esta es la segunda etapa del pre-procesamiento y consiste en generar las entradas requeridas por el solucionador, en este caso se definieron dos dominios que interactúan entre sí, provocando la transferencia de calor entre el agua de la piscina y el agua de los colectores, a los mismos que se les asignará sus respectivas propiedades y condiciones de frontera necesarias para la solución.

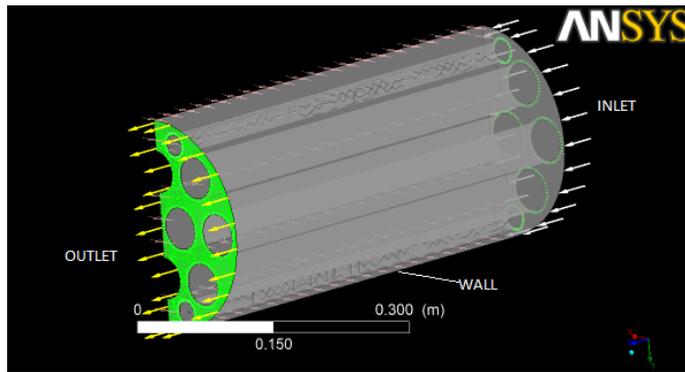


*Fig. 4.20 Condiciones de contorno*

#### 4.3.3.1. Condiciones de frontera.

##### a) Condiciones de frontera para el agua de la piscina.

En la figura... se muestra la geometría del dominio del agua de la piscina y se señalan las condiciones de frontera de entrada, salida y pared.



*Fig. 4.21 Condiciones de frontera para agua de la piscina.*

#### **DOMINIO:**

Agua cuyas propiedades se encuentran predeterminadas por la biblioteca de CFX,  
con un modelo de calor con energía térmica y un modelo de turbulencia k-epsilon.

#### **INLET:**

Flujo másico de agua de 1.722 kg/s a una temperatura de 26.14°C

#### **OUTLET:**

Presión de salida 0 kPa.

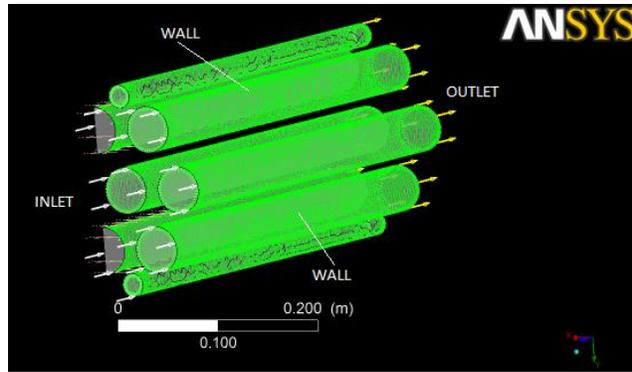
#### **WALL:**

Coefficiente de transferencia de calor  $h = 43 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Temperatura de los alrededores 25°C.

##### b) Condiciones de contorno para el agua de los colectores

En la fig. 4.22 se muestra la geometría del dominio del agua de los colectores y se señalan las condiciones de frontera de entrada, salida y pared.



*Fig. 4.22 Condiciones de frontera para el agua de los colectores.*

**DOMINIO:**

Agua cuyas propiedades se encuentran predeterminadas por la biblioteca de CFX,

con un modelo de calor con energía térmica y un modelo de turbulencia k-epsilon.

**INLET:**

Flujo másico de agua de 0.8316 kg/s a una temperatura de 36°C

**OUTLET:**

Presión de salida 0 kPa.

**WALL:**

Flujo de calor de  $8855 \frac{W}{m^2}$ .

**4.3.4. Solucionador**

El solucionador de CFX, produce los resultados requeridos en un proceso iterativo los mismos que se basan en el siguiente procedimiento:

- a) Se equivale a aplicar una ley básica de la conservación a cada volumen de control. integran las ecuaciones diferenciales parciales sobre todos los volúmenes de control del dominio, esto
- b) Las ecuaciones integrales se convierten en un sistema de ecuaciones algebraicas por generación de un sistema de aproximaciones para los términos en las integrales.

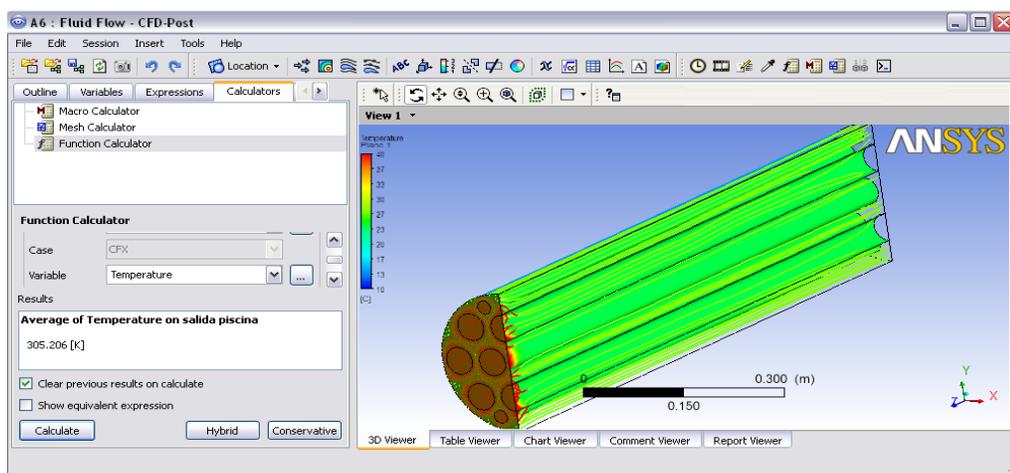
c) Las ecuaciones algebraicas son resueltas iterativamente.

Un procedimiento iterativo es requerido debido a la naturaleza no lineal de las ecuaciones, y cuando la respuesta se acerca a la solución exacta, se dice que ésta converge, ya que el resultado final es una aproximación a la solución exacta, ésta depende de factores como: tamaño y forma de los volúmenes de control y el tamaño de los residuales finales.

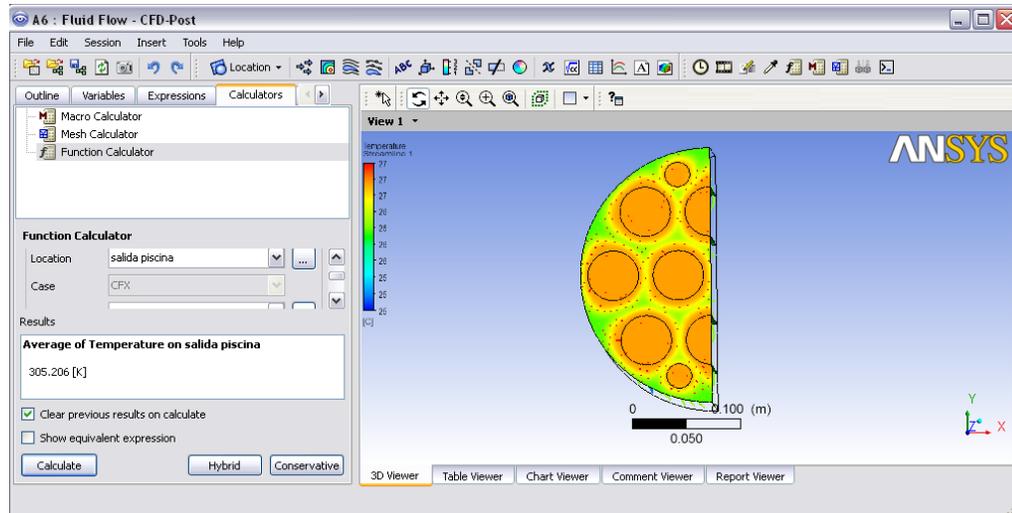
El proceso de la solución no requiere ninguna interacción del usuario, y permite calcular residuos normalizados para calificar la convergencia de los problemas simulados, el residuo normalizado es empleado por el solucionador para detener automáticamente una ejecución cuando ha sido alcanzado un nivel de residual especificado, finalmente el archivo de resultados se transfiere al post-procesador.

#### 4.3.5. Post-Procesador

El post-procesador es el componente usado para analizar, visualizar y presentar los resultados de la simulación que ratifica el diseño teórico realizado anteriormente, ya que la temperatura promedio que se alcanza a la salida del intercambiador y que va a la piscina es 305.206 K (32°C), lo cual se indica en la fig. 4.22 (a y b), En cambio a la salida del intercambiador que va a los colectores se observa una temperatura promedio de 300 K (27°C), Ya que se ha llegado a un equilibrio térmico con el agua que ingresa desde la piscina y el que viene del colector.



*Fig. 4.22a Intercambio de calor*



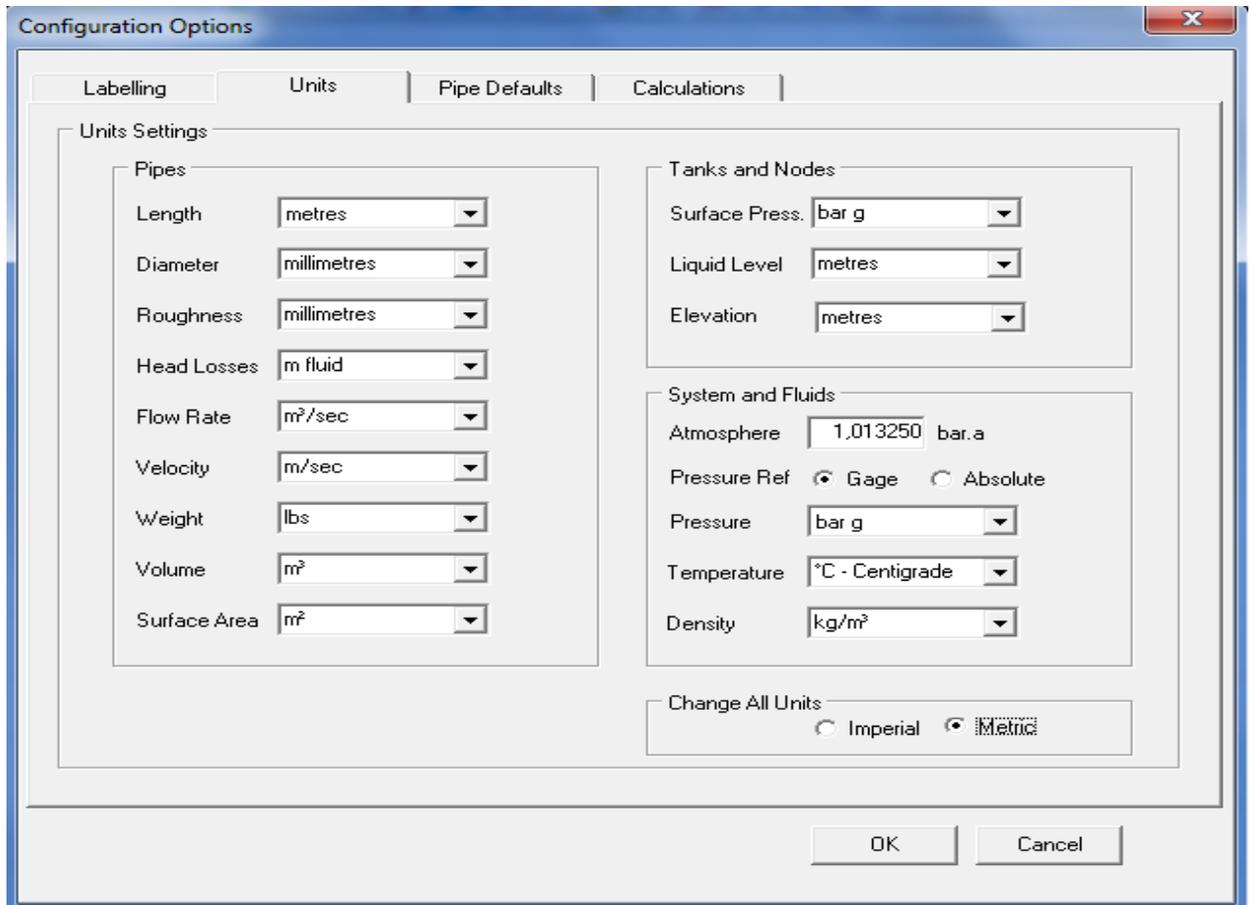
*Fig. 4.22b Intercambio de calor.*

De esta manera se cumple que el intercambiador de calor diseñado anteriormente satisface las demandas del sistema, logrando un intercambio de calor efectivo para las condiciones de diseño establecidas.

#### **4.4.SIMULACION DEL SISTEMA DE TUBERIAS MEDIANTE PIPE FLOW EXPERT.**

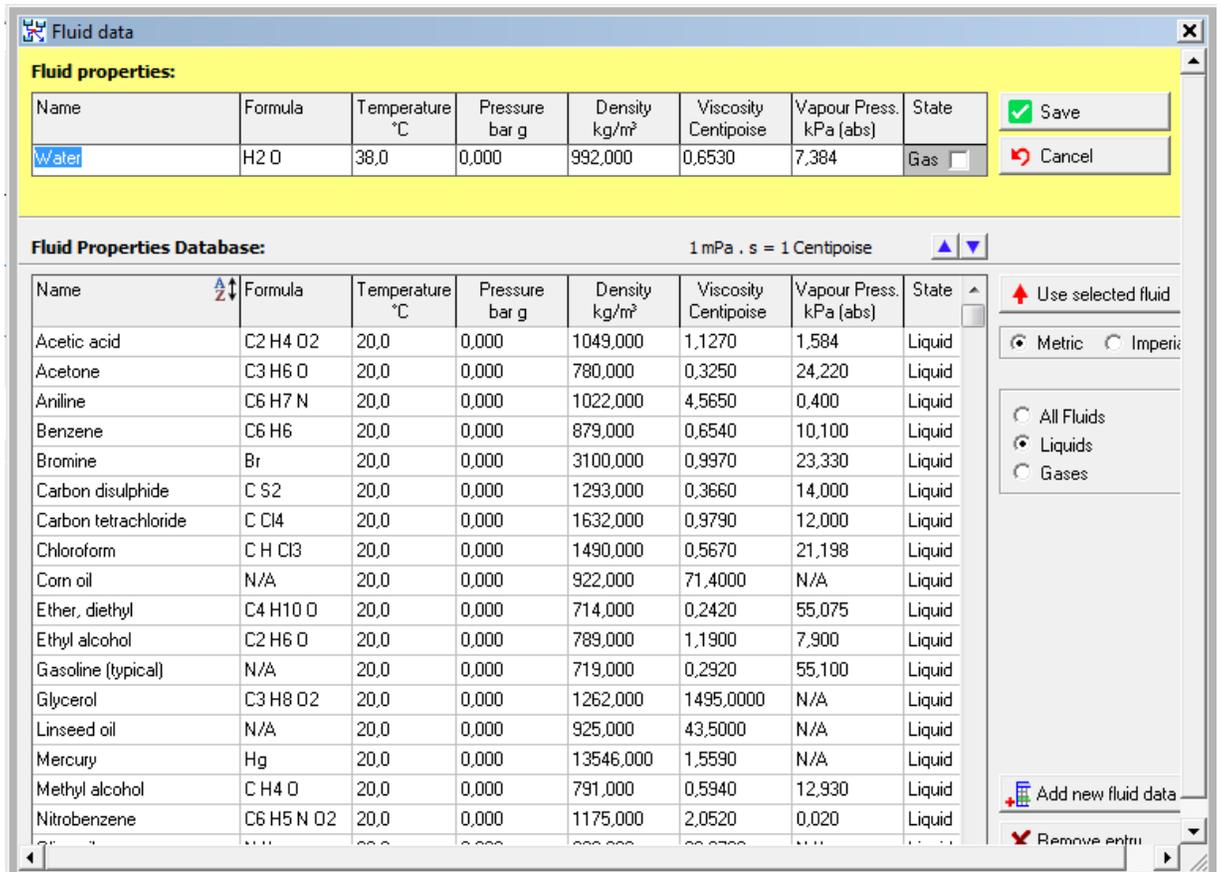
Pipe Flow Expert, es un software que permite analizar y resolver sistemas de tuberías, en donde variables como caudal y presión pueden ser determinados en función de los parámetros específicos de cada sistema, tanto el ingreso de datos como la información del sistema y tablas de resultados se pueden especificar en unidades métricas o inglesas, para comodidad del usuario el programa permite configurar un sistema de unidades para cada ítem de forma individual a continuación se enlista el procedimiento a seguir para realizar la simulación:

- a) **Definir el sistema de unidades:** se debe seleccionar el sistema de unidades en el que se va a trabajar ya sea métrico o imperial, fig.4.14, además se tiene la posibilidad de escoger un sistema de unidades específico para cada ítem si es necesario.



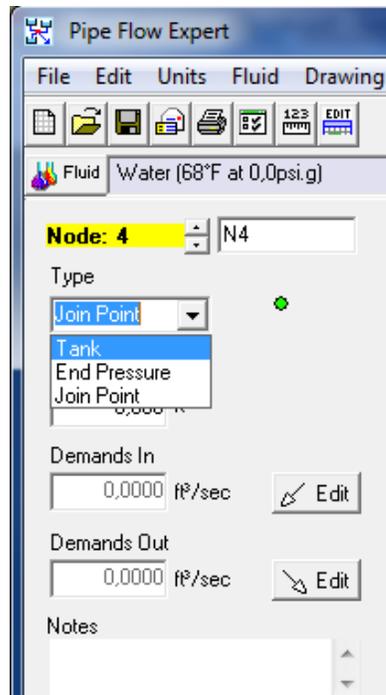
*Fig. 4.14 Selección del Sistema de Unidades.*

**b) Definir el fluido y sus propiedades:** se deberá escoger el tipo de fluido con el que el sistema va a trabajar y sus propiedades, esto se lo podrá realizar desde el menú *Fluid/Change Fluid*, en donde aparecerá un cuadro de dialogo en el cual se puede seleccionar el tipo de fluido y modificar las propiedades que por defecto vienen cargadas en el programa en el caso de ser necesario, tal como se muestra en la fig. 4.15



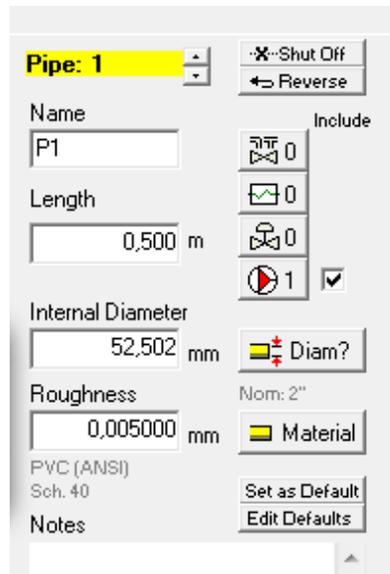
*Fig. 4.14 Selección del Sistema de Unidades.*

- c) **Agregar los nodos:** Un nodo puede ser un punto, un tanque o una demanda de presión definida como una presión última en un punto, el tipo de nodo seleccionado se muestra en el campo de tipo, y éste puede cambiarse seleccionando las opciones mostradas en la lista desplegable, los nodos se ubican en los extremos y empalmes de los tubos en un sistema, fig. 4.15



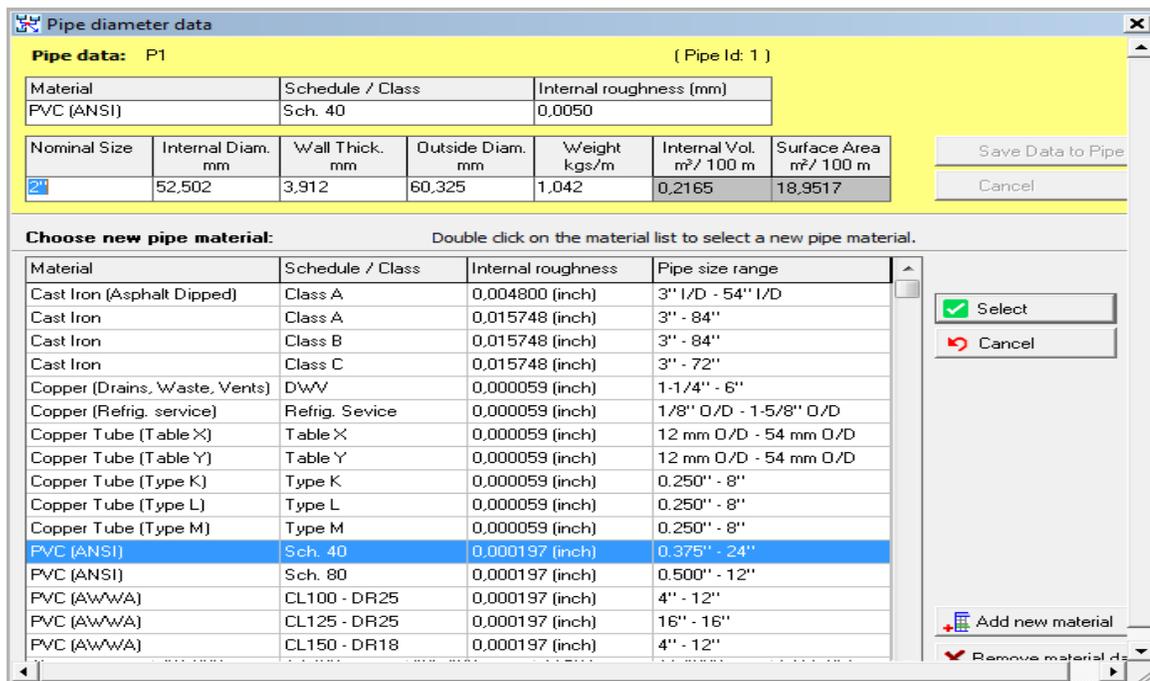
*Fig. 4.15 Agregar los nodos al sistema.*

**d) Agregar las tuberías adecuadas para el sistema:** el sistema de tuberías es modelado dibujando las juntas y las conexiones de los tubos en la pantalla, se pueden usar líneas horizontales, verticales, inclinadas para conectar un nodo con otro, los datos físicos que describen completamente al sistema son ingresados por el usuario y generalmente incluyen: el diámetro interno, rugosidad, longitud de los tubos y el diferencial de altura entre los nodos, fig. 4.16. Las pérdidas de presión dentro del sistema son calculadas usando factores de fricción obtenidos mediante la ecuación de Colebrook,



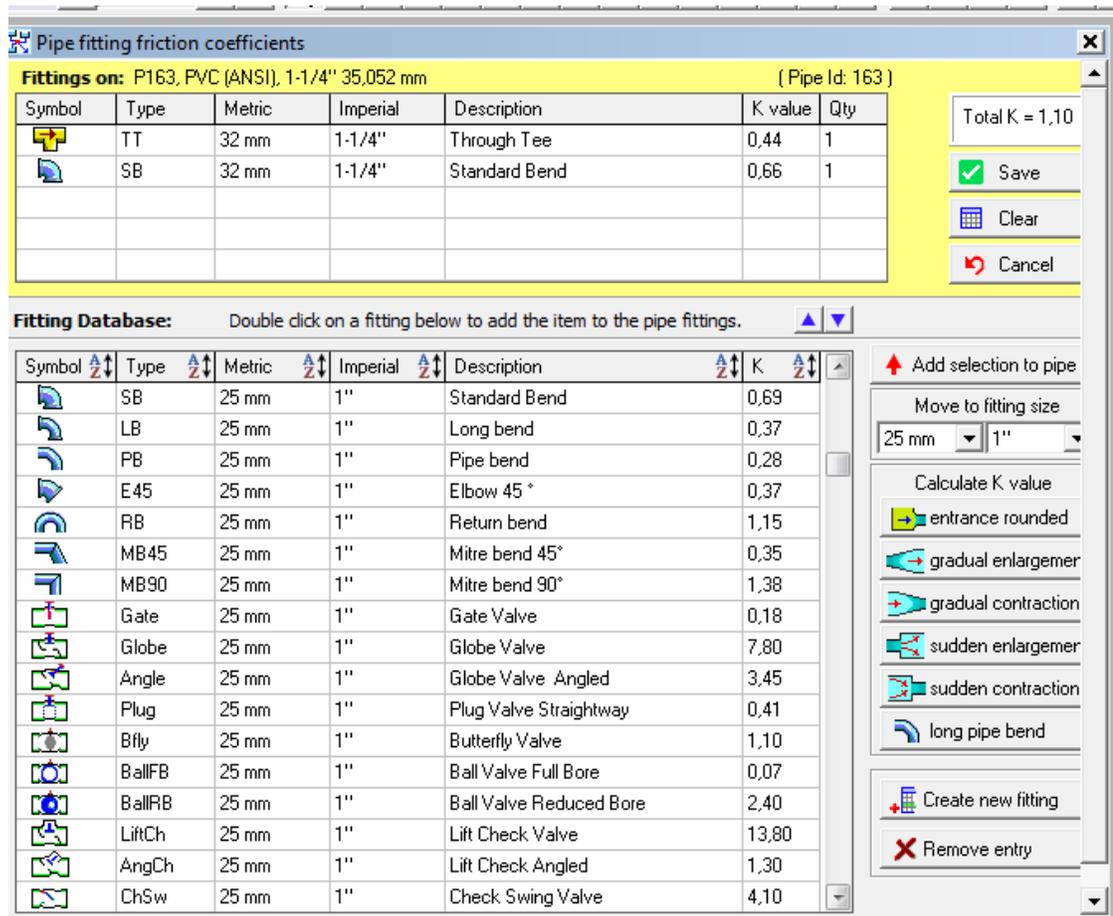
**Fig. 4.16 Configuración de tuberías en el sistema.**

Luego de establecidas las condiciones geométricas de la tubería se designa el material de las mismas, desde el panel de tuberías accedemos a una librería en donde podemos seleccionar el tipo de material, además se podrán ingresar nuevos materiales con características propias si es necesario, fig. 4.17.



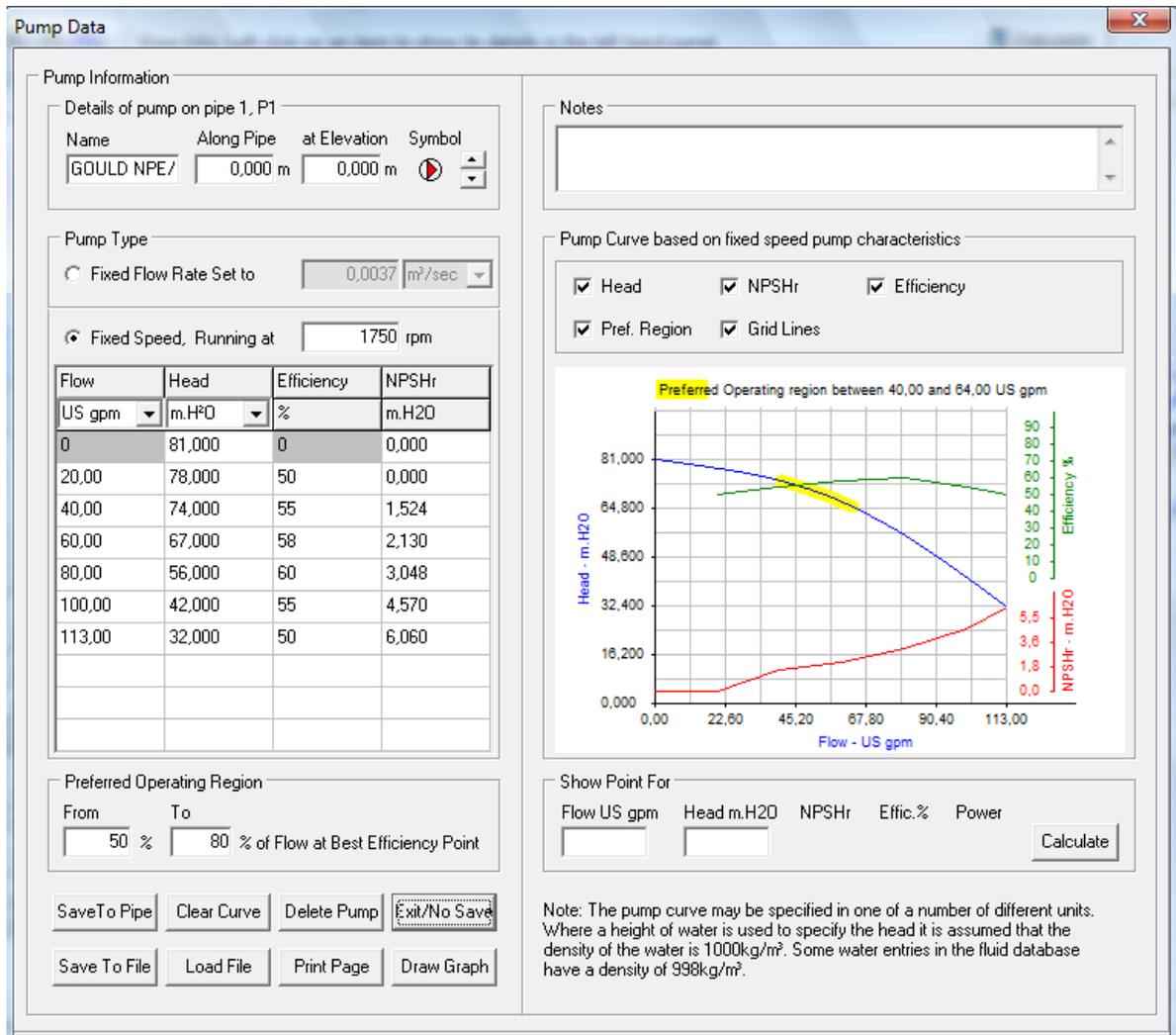
**Fig. 4.16 Asignación del tipo de material en las tuberías.**

- e) **Agregar los accesorios al sistema:** los accesorios tales como codos, uniones, reducciones, etc. Se los puede agregar en cualquier parte de una tubería, sus características pueden ser configurados desde el ícono **Add Fittings**, luego del cual nos aparecerá un símbolo en el punto del mouse y tras seleccionar la tubería en donde se asignará el accesorio se mostrará un cuadro de diálogo en donde se puede seleccionar el mismo de acuerdo al tipo y tamaño, fig. 4.17.



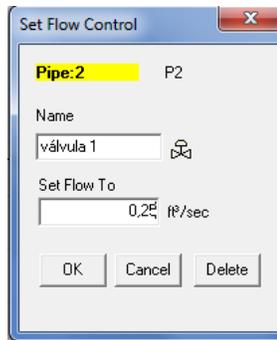
*Fig. 4.17 Asignación de accesorios en las tuberías.*

- f) **Agregar las bombas al sistema:** Mediante el ícono **Add Pump**, y seleccionando la tubería en la cual se va a agregar la bomba se ingresa al cuadro de diálogo, desde el cual se deberán configurar las características de la misma, tales como su ubicación, velocidad, datos de presión y caudal para graficar la curva de la bomba, etc.



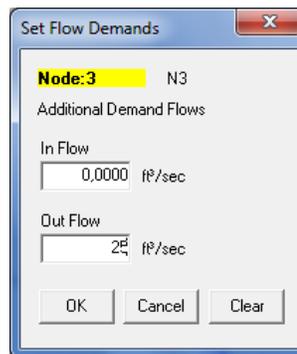
**Fig. 4.18 Ingreso de datos de la bomba**

**g) Agregar las válvulas de control al sistema:** las válvulas son colocadas en el sistema para controlar caudal en varios puntos, éstas solo podrán ser colocadas una por cada tubería, y se podrán establecer las condiciones de operación de las mismas accediendo al cuadro de diálogo mediante el ícono **Add Flow Control** y seleccionando la tubería en donde va a ser colocada la válvula, fig .4.19.



*Fig. 4.19 Configuración de las válvulas de control.*

**h) Establecer las demandas de caudal en el sistema:** Una demanda de entrada o salida de caudal se puede establecer para cada nodo en el sistema o a la salida de un solo tubo si el fluido está saliendo por completo solo por este punto, en un nodo también se puede establecer una demanda de presión sin embargo un mismo nodo no podrá tener las dos demandas a la vez, fig. 4.20.



*Fig. 4.20 Configuración de las demandas de caudal en un nodo.*

**i) Calcular y resolver el sistema de tuberías:** una vez establecidos todos los parámetros anteriores se procede a resolver el sistema, utilizando el ícono **Calculate**, el programa realiza iteraciones y como resultado muestra valores del comportamiento del fluido en el sistema, los mismos que se podrán visualizar en tablas para su posterior análisis y conclusión.

Siguiendo todos estos pasos se llega al diseño que se muestra en la anexo 4.2 y los resultados de la simulación de todos los elementos diseñados en este programa se encuentran en el anexo 4.3

# **CAPITULO V**

## **ANALISIS ECONÓMICO**

## **5.1. Introducción.**

Actualmente se observa una tendencia al aumento en las necesidades de consumo energético, y los costos asociados a este también han sufrido alzas considerables, además por la contaminación generada por las fuentes de energía tradicionales son factores que han causado un mayor interés en el uso de energías renovables y tecnologías limpias, que brinden beneficios económicos y ambientales

En el presente capítulo se desarrolla el estudio económico del proyecto para la implementación del sistema de calentamiento solar lo cual nos va a permitir definir la viabilidad del mismo en función de los indicadores económicos como el TIR, VAN y la relación Costo/ Beneficio; teniendo presente que primero se debe realizar el presupuesto y el flujo de caja.

## **5.2.Determinación de costos**

En este punto se detallan los valores correspondientes a la implementación del sistema de climatización de la piscina, tales como sistema de calentamiento solar, estructura y sistema de tuberías, los cuales se indican a continuación subdivididos en costos de materiales y mano de obra.

### **5.2.1. Costos de inversión**

Son los costos iniciales del proyecto, generalmente consisten en desembolsos para la adquisición de activos fijos, los cuales comprenden valores que permanecerán de una manera durable en la empresa los cuales son:

#### **5.2.1.1.Materiales de la estructura metálica.**

De acuerdo al diseño estructural realizado en el capítulo 3, en la siguiente tabla se presentan los costos de los materiales que se emplearían para la construcción.

<i>ESTRUCTURA METALICA Y CUBIERTA</i>				
<i>ITEM</i>	<i>DETALLE</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>V. UNIT.</i>	<i>V. TOTAL</i>
1	Perfil Estructural PN 150 x 100 x 6	6	152,36	914,16
2	Perfil Estructural PN 100 x 100 x 6	21	104,31	2190,51
3	Perfil Estructural PN 125 x 100 x 6	1	131,86	131,86
4	Perfil Estructural PN 80 x 80 x 6	31	79,72	2471,32
5	Angulo 1 1/4 x 1 1/4	6	8,4	50,4
6	Placa plancha	1	178	178
7	Anticorrosivo blanco	2	14,83	29,66
8	Disco de corte	30	3,48	104,4
9	Planchas policarbonato 2,10 x 11,8 x 0,006 m	9	211,2	1900,8
10	Cajas de electrodos	2	48	96
11	Hierro quintales	6	38,3	229,8
			<b>SUBTOTAL</b>	8.296,91
			<b>IVA 12%</b>	995,6292
			<b>TOTAL</b>	\$ 9.292,54

**Tabla 5.1 Fuente: IPAC 2011**

### 5.2.1.2. Materiales de los colectores solares planos.

Los materiales se establecieron en función del diseño realizado en el capítulo dos y los costos de estos se presentan a continuación:

<i>COLECTORES SOLARES PLANOS</i>				
<i>ITEM</i>	<i>DETALLE</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>VALOR C/U</i>	<i>TOTAL</i>
1	Vidrio templado claro 3mm 2 x 1 m	22	40	880
2	Tubo de cobre M 1/2" 6 m	81	28	2268
3	lana de vidrio 1" 2 x 1m	22	30	660
4	Plancha de Aluminio Liso 0,5 mm 2X1 m	22	42,45	933,9
5	Plancha 122x244x3.0	22	68,94	1516,68
6	Angulo 1/2" x 3/16"x 6m	22	4,15	91,3
6	Angulo 3/8" x 3/16"x 6m	1	2,9	2,9
8	Antioxidante Mate negro 1GL	2	12	24
9	Electrodos 6011 AGA 1/8 (lb)	10	1,16	11,6
10	Perno allen 3/16" x 1/2"	1	0,08	0,08
11	Perno allen 3/16" x 3/4"	990	0,1	99
12	Sikasil E Transparente 300 ml	15	2,95	44,25

13	Thiñer Laca cóndor 4 LT	40	1,15	46
			Subtotal	6.577,71
			IVA 12%	789,3252
			Total	7.367,0352

**Tabla 5.2 Tabla 5.1 Fuente: Boletín Informativo Técnico Cámara de construcción de Cuenca Año 2010 #2.**

### 5.2.1.3. Materiales del sistema hidráulico.

Los costos de los equipos, materiales y accesorios del sistema hidráulico se indican en la siguiente tabla:

<i>SISTEMA HIDRAULICO</i>			
<i>DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>V. UNIT.</i>	<i>V. TOTAL</i>
PVC Codo 90° 2"	4	2,45	9,8
PVC Codo 45° 2"	2	2,15	4,3
PVC Codo 90° 1 1/4"	50	1,95	97,5
PVC Codo 45° 1 1/4"	2	1,9	3,8
PVC Tee 2" - 1 1/4	2	1,1435	2,287
PVC Tee 1 1/4"	20	2,23	44,6
Union Universal 2"	10	2,15	21,5
Union Universal 1 1/4"	44	1,25	55
Válvula de compuerta 2"	4	28,5	114
Válvula de compuerta 1 1/4"	4	17,36	69,44
Válvula check 2"	2	32,49	64,98
Válvula check 1 1/4"	2	19,5	39
Válvula de bola 2"	2	25,48	50,96
Union 1 1/4"	44	1,68	73,92
Bushing 1 1/4" - 1/2"	44	2,58	113,52
Conector de cobre 1/2"	44	3,58	157,52
Tuberia PVC agua caliente 1 1/4" (6m)	17	10,14	172,38
Tuberia PVC agua caliente 2" (6m)	3	12,58	37,74
Tanque de agua cónico 250 Lt	1	33,36	33,36
Bomba Gould 2HP	1	850	850
Calefon Bosch	4	360	1440
Válvula de bola 1"	10	4,98	49,8
Electroválvula 2"	2	385,56	771,12
Termostato	2	84,5	169
Válvula de bola para gas 1"	4	15,84	63,36

<b>Cañería para gas (m)</b>	2	6,85	13,7
<b>teflon</b>	10	0,25	2,5
<b>Silicon</b>	20	3,95	79
<b>Polipega (Gal)</b>	1	15,82	15,82
<b>Lija</b>	4	0,4	1,6
		SUBTOTAL	4621,507
		IVA 12%	554,58084
		TOTAL	5176,08784

**Tabla 5.3 Tabla 5.1 Fuente: Boletín Informativo Técnico Cámara de construcción de Cuenca Año 2010 #2.**

#### **5.2.1.4. Costo de mano de obra**

Entre los costos de mano de obra se incluyen los costos directos e indirectos, indicados a continuación:

<i>ITEM</i>	<i>DETALLE</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>VALOR C/U</i>	<i>TOTAL</i>
<b>1</b>	Construcción estructura	1	2.500	2.500
<b>2</b>	Construcción obra civil	1	600	600
<b>3</b>	Construcción de colectores	1	2.000	2.000
<b>4</b>	Instalación hidráulica	1	300	400
<b>5</b>	Instalación eléctrica	1	150	150
			<b>Total</b>	5.650

**Tabla 5.4 Tabla 5.1 Fuente: Boletín Informativo Técnico Cámara de construcción de Cuenca Año 2010 #2.**

La inversión necesaria para implementar el sistema de acuerdo a estos precios es de \$ 27.485,66 USD.

### 5.2.2. Costos de operación

Los costos de operación son aquellos que se incurren para la puesta en marcha y funcionamiento del sistema, y estos son:

#### 5.2.2.1. Costo por consumo de energía.

Los costos relacionados al consumo de energía utilizado en el sistema auxiliar de calentamiento se dividen en:

##### a) Consumo de gas por calefones:

- Para el calentamiento debido a las pérdidas diarias, el sistema auxiliar está compuesto por cuatro calefones, cuyo consumo de gas es  $m = 2,6 \frac{kg}{h}$ , teniendo en cuenta que el tiempo estimado para el calentamiento diario es de 1,31 horas con lo que se tiene un consumo de:

$$C = m \cdot t \cdot n$$

$$C = 2,6 \frac{kg}{h} \cdot 1,31h \cdot 4 = 13,6 kg$$

**Donde:**

C = consumo de gas

m = flujo másico de gas

t = tiempo de calentamiento

n = número de calefones

Lo que representará un consumo mensual y anual para el calentamiento de 408,7 kg y 4905 kg respectivamente, equivalente a 326 cilindros de 15 kg.

Para el calentamiento inicial por el cambio de toda el agua de la piscina que se realizará anualmente se estima un tiempo aproximado de 9 horas, por lo tanto el consumo de gas anual para este fin será de 93,6 kg

De acuerdo a este análisis el consumo anual en peso de kg de gas del sistema auxiliar será de 4999 Kg. equivalente a 333 cilindros de gas de 15 kg.

#### **b) Consumo de energía eléctrica:**

Para el consumo de la Energía Eléctrica se considera el utilizado por la bomba y las luminarias para la noche, la potencia de la bomba es de 1.5 kw (2HP), el funcionamiento promedio diario será de 8 horas, que durante el mes será de 240 horas aproximadamente, analizado estos valores se consumirán unos 360 Kw/h, el precio del kw/h es de 0.0868 ctvs.<sup>18</sup> Mas los recargos por conceptos de planilla de luz, cuerpo de bomberos, tasa de recolección de basura se obtiene un costo aproximado de \$ 40 dólares al mes y \$ 480 dólares al año

#### **5.2.2.2. Costo por mantenimiento.**

##### **5.2.2.3.**

El costo del mantenimiento incluye la limpieza semanal de los colectores solares, revisión y corrección de fugas en el circuito hidráulico, limpieza de la bomba y filtros, además, el mantenimiento del agua de la piscina como: limpieza del fondo de la piscina, retiro de sólidos en suspensión en la superficie y la aplicación periódica de químicos que mantienen regulado el pH y el cloro presente en el agua de la piscina, estableciéndose un valor de \$ 160 dólares al mes y \$ 1920 al año.

#### **5.3. Depreciación**

La depreciación es un reconocimiento racional y sistemático del costo de los bienes, distribuido durante su vida útil estimada, con el fin de obtener los recursos necesarios para la reposición de los mismos, de manera que se conserve la capacidad operativa o

---

<sup>18</sup> <http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/nuevas-tarifas-electricas-en-vigencia-301524-301524.html>

productiva del proyecto, su distribución debe hacerse empleando los criterios de tiempo y productividad. El método utilizado en este análisis es de la línea recta en el cuál el monto de la depreciación es igual en cada año.

El período de vida útil promedio esperado en el sistema de calentamiento solar es de 20 años y el valor que se pretende recuperar al disponerse de los equipos al fin de su vida útil es de 8.000 USD.

### ***DEPRECIACION***

METODO	Línea Recta
Inversión	25658
Vida Útil (años)	20
Valor residual	8000
<b>Gasto por año de depreciación</b>	<b>882,9</b>

*Tabla 5.5 Depreciación. Fuente: Los autores*

#### **5.4. Amortización del préstamo.**

Para la realización del proyecto los propietarios pretenden realizar un préstamo en una entidad financiera cuyo monto será de \$10000 USD a una tasa de interés actual de 16.5% la misma que se establece de acuerdo a la actividad durante 5 años y se irá amortizando gradualmente por medio de pagos mensuales, que servirán para pagar los intereses y reducir el importe de la misma.

El monto de la cuota mensual (R) que se ha de hacer durante el número de cuotas (np), para liquidar el préstamo (p), recibido a una tasa de interés (ip), se define como:

$$R = p \frac{i_p (1+i_p)^{np}}{(1+i_p)^n - 1} \quad \text{Ec. 5.1}$$

La tabla de amortización se encuentra en el anexo 5.1.

#### **5.5. Análisis financiero**

El análisis financiero, tiene como objetivo brindar información acerca de los resultados de operaciones y flujos de efectivo, los cuales serán útiles a la hora de definir la viabilidad del proyecto, los estados financieros también presentan el resultado de las operaciones del proyecto, tales como; activos, pasivos y capital contable al finalizar el periodo proyectado.

El objetivo del proyecto, es brindar confort a los usuarios de la piscina durante todos los días del año, aprovechando principalmente la energía solar, sin embargo en condiciones climáticas desfavorables para este fin se utilizará el sistema auxiliar, así como también para elevar la temperatura cuando se realice el llenado o cambio de agua de la piscina. La viabilidad del proyecto se fundamenta en el ahorro de consumo de combustible (GLP), utilizado por los calefones, debido a la utilización de la energía renovable en los colectores solares, lo cual contribuye a la preservación del medio ambiente fortaleciendo el criterio de conservación de recursos en base a energías limpias.

Se estima que la eficiencia de los calefones está alrededor del 70%, lo cual involucra condiciones tales como aire necesario para la combustión, que en este caso no es muy favorable debido a la altura del lugar donde se encuentra, además se debe tomar en cuenta que existe una cantidad residual de GLP, que no puede ser aprovechada, debido a que se produce una descompresión del tanque y esto evita el consumo del total de combustible, el cual es difícil de cuantificar, sin embargo se estima que existe un desperdicio del 5% del peso de gas.

El precio oficial de gas de uso comercial o industrial según Petrocomercial para abril del 2011 es de 0.82950 USD por Kilogramo de GLP, añadiéndose un rubro correspondiente por transporte e impuestos de 0.16 USD/Kg, dando un valor total de 0.9895 USD/Kg. GLP.

Para definir cuál es el ahorro que genera la utilización del sistema de calentamiento solar y la cubierta, se calcula el consumo de gas necesario para compensar las pérdidas de calor durante el día, las mismas que se realizan en dos intervalos diarios de acuerdo al análisis de la demanda energética que necesita la piscina para mantener su temperatura de confort. El tiempo de funcionamiento diario de los calefones es de 2.33 horas

equivalentes a un consumo de gas de 24.26 kg y de 728 kg al mes que equivalen a 48 cilindros de 15kg, además se deberá tomar en cuenta la eficiencia de la combustión en los calefones y el desperdicio de gas lo cual se muestra a continuación:

<i>DENOMINACION</i>	<i>CANTIDAD (Kg.)</i>	<i>COSTO</i>
CONSUMO MENSUAL GLP	728	720,356
INEFICIENCIA DE COMBUSTION 30%	218,4	216,1068
SUBTOTAL	946,4	936,4628
DESPERDICIO 5%	47,32	46,82314
TOTAL MENSUAL	993,72	983,28594
TOTAL ANUAL	11924,64	11799,43128

*Tabla 5.6 Consumo de gas. Fuente: Los autores*

Este sería el consumo de gas necesario para mantener la piscina a 30°C, sin considerar el aporte de energía del sistema de calentamiento solar, al implementarse éste sistema también se utilizará el sistema auxiliar cuyo consumo anual calculado anteriormente es de 4999 kg, se debe considerar también la eficiencia de los calefones y el desperdicio residual del 5%, por lo tanto el consumo real del sistema auxiliar será de 6777 kg de GLP, obteniéndose un ahorro de consumo de GLP anual de 5148 kg equivalente a 5094 USD.

## **5.6. Flujo de caja**

Constituye uno de los elementos importantes del estudio de un proyecto, debido a los resultados obtenidos en el flujo de caja se evaluará la conveniencia o no de la realización mismo, la información básica para la construcción de un flujo de caja proviene de los estudios de mercado, técnicos, organizacional y también de los cálculos de los beneficios, es necesario, incorporar a la información anterior, datos adicionales relacionados, con los efectos de la depreciación, amortización, valor residual, utilidades y pérdidas.

Según estadísticas proporcionadas por los propietarios de la Hostería “Los Juanes”, para la cual se ha realizado el diseño del proyecto, el número de personas que utilizan la piscina, es un promedio de 40 personas distribuidas en 15 adultos y 25 niños cada semana.

El valor de la entrada para adultos será de \$ 2,5 USD y \$ 1.50 para los niños, en promedio se tendrá un ingreso de \$. 75 USD cada semana, dando un valor anual de \$ 1950 USD. En el anexo 5.2 se encuentra la tabla de flujo de efectivo.

## **5.7. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO.**

La evaluación económica del proyecto nos indicará la rentabilidad del mismo, por cual permitirá tomar una decisión sobre si se ejecuta o no, su análisis tiene que basarse en una comparación establecida entre la cantidad que el dinero a invertirse habría podido llegar a producir con otra alternativa, es decir hay que evaluar la rentabilidad de la inversión al costo de sacrificar las oportunidades de utilizar el dinero para llevar a cabo otras inversiones.

Los criterios a utilizar para la toma de decisiones son:

- Valor actual neto.
- Tasa interna de retorno.
- La relación Beneficio/Costo.

### **5.7.1. El Valor actual neto (V.A.N.).**

Es un método que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual mediante una tasa de interés, todos los flujos de caja futuros del proyecto, a este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que la cantidad obtenida es el valor actual neto del proyecto.

Para este tipo de proyectos se utiliza la tasa de inflación del Banco Central del Ecuador que corresponde a 3.88 %<sup>19</sup>. Por lo tanto, su cálculo se realiza mediante:

$$V.A.N. = \frac{Fn}{(1+i)^n}$$

Donde: **Fn**, es el flujo de caja en un periodo (n)

**i** es la tasa de inflación actual.

En la siguiente tabla se muestra el VAN calculado para un periodo de 10 años:

<i>PERIODO</i>	<i>VAN</i>
<b>AÑO 1</b>	4452,590
<b>AÑO 2</b>	4286,282
<b>AÑO 3</b>	4126,186
<b>AÑO 4</b>	3972,069
<b>AÑO 5</b>	3823,710
<b>AÑO 6</b>	6028,589
<b>AÑO 7</b>	5803,416
<b>AÑO 8</b>	5586,654
<b>AÑO 9</b>	5377,988
<b>AÑO 10</b>	5177,116
<b>∑ INGRESOS A VP</b>	48634,598
<b>FLUJO AÑO 0</b>	-27485,66224
<b>Interés del B.C.E.</b>	4%
<b>VALOR ACTUAL NETO</b>	<b>\$ 21.148,94</b>

*Tabla 5.7 Valor Actual Neto. Fuente: Los autores*

Cuando el VAN > 0 se dice que el proyecto es rentable, por lo tanto se recomienda la ejecución del mismo.

### **5.7.2. La Tasa interna de retorno (T.I.R.)**

<sup>19</sup>

[http://finanzas.gob.ec/pls/portal/docs/PAGE/MINISTERIO\\_ECONOMIA\\_FINANZAS\\_ECUADOR/SUBSECRETARIAS/SUBSECRETARIA\\_CREDITO\\_PUBLICO/DIRECCION\\_DE\\_OPERACIONES\\_FINANCIERAS/INDICADORE\\_S\\_2007/INDICADORES\\_13\\_05\\_11\\_1.PDF](http://finanzas.gob.ec/pls/portal/docs/PAGE/MINISTERIO_ECONOMIA_FINANZAS_ECUADOR/SUBSECRETARIAS/SUBSECRETARIA_CREDITO_PUBLICO/DIRECCION_DE_OPERACIONES_FINANCIERAS/INDICADORE_S_2007/INDICADORES_13_05_11_1.PDF)

Indica la tasa de interés para la cual el proyecto será aceptable, por lo tanto mide la rentabilidad del dinero mantenido dentro del proyecto

Para el cálculo del TIR se ha determinado la inversión inicial del proyecto y los flujos de efectivo para cada uno de los periodos que dura el proyecto. Por lo tanto la tasa de interés de oportunidad ( $i_o$ ), se obtiene despejando de la siguiente ecuación:

$$V.A.N. = 0 = \frac{Fn}{(1+i_o)^n}$$

Para este proyecto se obtiene un TIR del 16%, que es mayor a la tasa de de inflación indicando que el proyecto es viable.

### 5.7.3. Relación beneficio costo (B/C)

Es un método cuantitativo cuyo objetivo es determinar si los beneficios obtenidos superan sus costos y en qué cantidad. La razón B/C es el indicador que se obtiene dividiendo el valor actual de los beneficios brutos y el valor actual de los costos, teniéndose para el proyecto una relación B/C de:

<i>PERIODO</i>	<i>B/C</i>
<b>AÑO 1</b>	1,3740
<b>AÑO 2</b>	1,3740
<b>AÑO 3</b>	1,3740
<b>AÑO 4</b>	1,3740
<b>AÑO 5</b>	1,3740
<b>AÑO 6</b>	1,9484
<b>AÑO 7</b>	1,9484
<b>AÑO 8</b>	1,9484
<b>AÑO 9</b>	1,9484
<b>AÑO 10</b>	1,9484
<b>B/C</b>	1,6613

**Tabla 5.8 Relación Beneficio/Costo. Fuente: Los Autores.**

Cuando la relación B/C (1, 6613) > 1 el Proyecto es rentable.

De acuerdo a los indicadores anteriores se establece que el proyecto es rentable.

## CONCLUSIONES

Para realizar el diseño del sistema dual de calentamiento, ha sido necesario adecuarse a la infraestructura, equipos e instalaciones existentes sin que esto implique alterar de alguna manera el normal funcionamiento del sistema, la estética del lugar, y las medidas de seguridad necesarias.

Se determinó que la pérdida por evaporación es la más significativa en la piscina, mediante el balance de energía se estableció que la demanda energética del sistema es de 23,1 kW las pérdidas de calor diarias representan una disminución de la temperatura en el vaso de 3,8°C, las mismas que serán compensadas intermitentemente de acuerdo al potencial disponible en el sistema solar, además se empleará el sistema auxiliar de calefones en dos intervalos diarios con un tiempo de funcionamiento de 1.33 horas necesarios para mantener la temperatura de confort y en condiciones climáticas desfavorables para el sistema solar.

El sistema de distribución de agua a través de los colectores se resolvió a través de un mallado para poder establecer correctamente los diámetros de las tuberías, siendo estas muy importantes debido a que el flujo para los colectores debe ser aproximado al establecido en el diseño.

En el capítulo 3 se realizó el diseño de la estructura metálica, en la cual tanto las cargas de diseño y las combinaciones de cargas se calcularon tomando referencias de la norma AISC ASD 089, dando como resultados las secciones de los perfiles anotados en el anexo 3.2, los cuales son perfiles estructurales disponibles en el mercado, distribuidos por proveedores calificados y que cumplen con la norma INEN.

La simulación de la estructura diseñada se la realizó en el software SAP 2000, en el cual se desarrollaron todas las combinaciones de carga y se analizó el respectivo comportamiento de cada miembro de la estructura mediante el ratio, el cual

representa la relación demanda – capacidad de esfuerzo, el mismo que no debe ser mayor a 1 y se cumple en todos los elementos tal como se muestra en el anexo 4.1.

El diseño del intercambiador se verificó mediante la simulación de transferencia de calor que se da en entre el agua de la piscina y el agua de los colectores, para lo cual se definieron los dominios, flujos máscicos correspondientes, y se asignó las temperaturas del agua de los colectores en ANSYS CFX, para poder corroborar las temperaturas de entrada y salida del agua de la piscina hacia el intercambiador, las mismas que son 26 y 30 °C respectivamente.

Con el PIPE FLOW EXPERT se pudo verificar los diámetros de las tuberías, los caudales del sistema, además se modeló el funcionamiento de la bomba introduciendo datos reales y se ingresó datos de los accesorios del sistema para poder obtener un modelo real del mismo y cuando se obtuvo los resultados de la simulación se verificó el análisis realizado.

El análisis financiero revela que la inversión total necesaria para la implementación del proyecto es de 27485.66 USD, el tiempo de retorno de la inversión es de 5 años a una tasa interna de retorno del 16% y una relación Beneficio/Costo de 1.66, los cuales son indicadores positivos para el desempeño económico del proyecto por lo que se concluye en la aceptación del mismo.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda el diseño e implementación de sistemas solares para agua caliente sanitaria, debido al ahorro de energía no renovable y la contribución con el medio ambiente.

La utilización de un software para el modelado de un sistema es una herramienta muy importante y es recomendable utilizar en los trabajos de diseño ya que al no poder construirse se puede tener resultados bastante aproximados a los reales.

En el sistema de calentamiento tanto primario y secundario se recomienda realizar un control automático mediante un PLC, el cual permitirá aprovechar de mejor manera la energía del sistema y controlar eficazmente las variables del mismo.

Para la climatización de piscinas se recomienda utilizar sistemas de calentamiento de agua por medio de colectores solares, pero se debe tener en cuenta que para la inversión de un sistema de estos es alta al igual que su tasa de retorno pero sus beneficios están en su durabilidad, su facilidad de mantenimiento y su impacto ambiental.

Actualmente las energías renovables se han constituido en un tema de interés y una herramienta para nuestras labores, por lo que se recomienda realizar más investigaciones relacionadas a este campo para poder utilizar de mejor manera los recursos naturales disponibles en la naturaleza en la generación de energías limpias.

Se debería incentivar el desarrollo e implementación de este tipo de proyectos mediante el financiamiento por parte del estado debido al alto costo de inversión que representa el mismo, lo cual generaría mayor interés por parte de los usuarios y a su vez una disminución considerable del consumo de energía no renovable.

## BIBLIOGRAFÍA.

- F.KREITH, W.Z.BLACK. *La transmisión del calor, principios fundamentales*.
- CENGEL, Yunus a.; Boles, Michael a. *Termodinámica*. McGraw-Hill. México. 4a. ed. 2002.
- CENGEL, Yunus a. *Transferencia de calor*. Editorial McGraw Hill. México. 2a. ed. 2004.
- HOLMAN, J. P. *Transferencia de calor*. McGraw-Hill. Madrid. Traducción de 8a. ed. 1998.
- MATAIX, Claudio. *Turbomáquinas Hidráulicas*. Edit. ICAI. Madrid. 1975.
- LUIS JUTGLAR. *Energía Solar, Energías alternativas y medio ambiente*.
- MARKS. *Manual del ingeniero mecánico*. Vol II.
- FLORIDA SOLAR ENERGY CENTER. *Solar wáter & pool heating installation & operation*. 2nda edición.
- INCROPERA, F y DE WITT, D. *Fundamentos de Transferencia de Calor*. Traducido del inglés por Ricardo Cruz. 4ta ed. México, Prentice Hall.
- MOTT, R. *Mecánica de Fluidos Aplicada*. Traducido del inglés por Carlos Cordero. 4ta ed. México, Prentice Hall, 569 p.
- ING. JOSE GUASUMBA, *Energías alternativas para el desarrollo sustentable; Solar térmica, fotovoltaica, eólica*; ed.2006.
- PET-REV, *Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura (normas españolas)*;ed. 2002
- GORDON J. VAN WYLEN, RICHARD E. SONNTAG, *Fundamentos de termodinámica*.
- CORDERO CLAVIJO, Juan Alfredo. *Proyecto de reducción de pérdidas de energía térmica en la piscina de la Academia OR. Durán Durán*. Tesis UPS Facultad de Ingenierías. Carrera de Ingeniería Mecánica. Cuenca. 2007.

## DIRECCIONES DE INTERNET

- <http://solardat.uregon.edu/SunChartProgram.html>, Sun chart program, programa online para determinar las cartas solares.
- [www.ciatesa.es/data/documentos\\_tecnicos/public/2005-11-28\\_Climatizacion\\_piscinas\\_cubiertas.pdf](http://www.ciatesa.es/data/documentos_tecnicos/public/2005-11-28_Climatizacion_piscinas_cubiertas.pdf)
- [www.schneider-electric.com.mx/opencms/opencms/SchneiderElectric/modules/DisplayProductosTMF.jsp?FileName=4Telemecanique](http://www.schneider-electric.com.mx/opencms/opencms/SchneiderElectric/modules/DisplayProductosTMF.jsp?FileName=4Telemecanique)
- [www.us.telemecanique.com/](http://www.us.telemecanique.com/)
- [www.olade.org/](http://www.olade.org/)
- [www.censolar.es/](http://www.censolar.es/)
- [www.nrel.gov/docs/fy00osti/28038.pdf](http://www.nrel.gov/docs/fy00osti/28038.pdf)
- [www.construaprende.com/](http://www.construaprende.com/)
- [www.epsea.org/esp/pdf2/Capit01a.pdf](http://www.epsea.org/esp/pdf2/Capit01a.pdf)
- [www.cepis.org.pe/bvsacd/cosude/xix.pdf](http://www.cepis.org.pe/bvsacd/cosude/xix.pdf)
- [www.schueco.com/web/es/particulares/productos/sistemas\\_solares/informacion\\_descargas/folletos](http://www.schueco.com/web/es/particulares/productos/sistemas_solares/informacion_descargas/folletos)
- [www.agenciaandaluzadelaenergia.es/agenciadelaenergia/portal/com/bin/contenidos/incentivos/DocumentacionTecnicaInstSolar/Doc\\_tec\\_OrderIncentivos/1177928872687\\_guxa\\_ist\\_para\\_piscinas.pdf](http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/agenciadelaenergia/portal/com/bin/contenidos/incentivos/DocumentacionTecnicaInstSolar/Doc_tec_OrderIncentivos/1177928872687_guxa_ist_para_piscinas.pdf)
- <http://cer.uni.edu.pe/publicaciones/Textos/CALENTAMIENTO%20DE%20AGUA%20Y%20NORMALIZACION%20TECNICA.pdf>
- [www.circuloverde.com.mx/es/cont/recursos\\_construccion/Manual\\_de\\_Instalaciones\\_para\\_el\\_Calentamiento\\_de\\_Agua\\_mediante\\_el\\_Aprovechamiento\\_de\\_la\\_Energia\\_a\\_Solar.shtml#](http://www.circuloverde.com.mx/es/cont/recursos_construccion/Manual_de_Instalaciones_para_el_Calentamiento_de_Agua_mediante_el_Aprovechamiento_de_la_Energia_a_Solar.shtml#)
- [www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/8292385-90.pdf](http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/8292385-90.pdf)
- <http://www.pdf-search-engine.com/dise%C3%B1o-de-colectores-solares-pdf.html>
- [http://www.procobre.org/procobre/pdf/02\\_energia\\_solar\\_03.pdf](http://www.procobre.org/procobre/pdf/02_energia_solar_03.pdf)
- <http://www.tecnologiasapropiadas.com/biblioteca/CeutaEnergiaSolarParte3.pdf>

# **ANEXOS**

## 2.2. DETALLES DE MANTA TERMICA.



### CUBIERTAS ISOTÉRMICAS FLOTANTES

EVITAN PERDIDA DE CALOR, EVAPORACIÓN DE AGUA Y CLORO.  
 REDUCE LA HUMEDAD, CONDENSACIÓN Y CONSUMO DE PRODUCTOS QUÍMICOS.  
 MANTIENEN LIMPIA LA PISCINA,  
 ES MATERIAL IMPRESCINDIBLE EN UNA PISCINA CLIMATIZADA.

Disponemos del material necesario para realizar cualquier cubierta con la forma y medidas necesarias.  
 No dude en consultarnos, somos profesionales y le aconsejaremos la mejor opción para su piscina.



#### Ventajas de nuestra instalación:

- Las cubiertas Isotérmicas flotantes ahorran notablemente energía(50%), garantizan el aislamiento térmico de la piscina, y no se deforman con el paso del tiempo, no arrastran agua, y resultan muy ligeras al enrollarlas.
- En piscinas de interior y cubiertas, ahorran en gran parte los gastos requeridos para calentar el agua. Reduce la humedad ambiental, el goteo de agua fría y el desagradable olor a productos químicos.
- Evitan en gran medida la corrosión del entorno y del equipamiento.
- En piscinas de exterior, evitan la caída de suciedad en el agua, disminuye la evaporación del agua, y reducen la pérdida de calor nocturno.
- Nos permite prolongar la temporada de baño en primavera y otoño.



FABRICAMOS A MEDIDA LAS CUBIERTAS PARA SPAS DE OBRA

Mantendrá su Spa siempre limpio y conservara su temperatura ideal.  
 Si lo cubre con nuestra cubierta Ultra-Cover de 8 mm, ahorrara en consumo y productos químicos.

DIMENSIONES DE LAS  
 CUBIERTAS ENROLLADAS

ESPECIFICACIONES CUBIERTAS ISOTÉRMICAS PREMIUM Y ULTRA-COVER

Long. (m)	Diam. (mm)			<u>Premium 5 mm</u>		<u>Ultra-Cover 8mm</u>			
		Urdime	Trama						
6	260	Resistencia a la tracción	Urdime	25KN/M	+ -5	18 KN/M	+ -3	ISO 5081	
			Trama	25KN/M	+ -5	14 KN/M	+ -3	ISO 5081	
8	300	Resistencia a la rotura	Urdime	200 N	+ -40	450 N	+ -75	ASTM D4533	
			Trama	230 N	+ -45	400 N	+ -60	ASTM D4533	
10	330	Estiramiento	Urdime	20%	+ -5	20%	+ -5	ISO 5081	
			Trama	20%	+ -5	20%	+ -5	ISO 5081	
12	360	Peso del compuesto	Espuma	5 mm	470 g/m2	+ -50	930 gsm	+ -80	DIN 53854
			Espuma	7 mm			990 gsm	+ -80	DIN 53854
14	380	Conductividad Termal		0,038 W/mK		0,038 W/mK		DIN 52612	
		Absorción de agua (28 días)		<1% volumen		<1% volumen		DIN 53428	
		Resistencia térmica		-20° a +38C°		-20° a +40C°			

### 2.3. BASE DE DATOS DE RADIACION SOLAR EN ECUADOR.

ALEMANIA	FINLANDIA	MOZAMBIQUE	MACAS (-02.3°)
ANGOLA	FRANCIA	NAMIBIA	MACHALA (-03.2°)
ANTÁRTIDA	GHANA	NICARAGUA	MALCHINGUI (+00.0°)
ARGELIA	GRAN CAIMÁN	NIGERIA	MANTA (-00.9°)
ARGENTINA	GRANADA	NUEVA ZELANDA	MILAGRO (-02.1°)
ÁRTICO	GRECIA	PAKISTÁN	MUTILE (+00.0°)
AUSTRALIA	GUATEMALA	PANAMÁ	NAPO-SAN VICENTE (-00.5°)
AUSTRIA	GUINEA	PARAGUAY	NUEVO ROCAFUERTE (-00.9°)
AZORES	GUINEA PORTUGUESA	PERÚ	OLMEDO (+00.1°)
BARBADOS	GUYANA	PORTUGAL	OLMEDO MANABI (-01.3°)
BÉLGICA	HAITÍ	REPÚBLICA DOMINICANA	PASAJE (-03.3°)
BELIZE	HONDURAS	REUNIÓN	PEDERNALES (+00.0°)
BIRMANIA	HUNGRIA	RUMANÍA	PICHILINGUE (-01.1°)
BOLIVIA	INDIA	RUSIA	PISAYAMBO (-01.0°)
BOTSWANA	IRAQ	SANTA LUCÍA	PORTOVIEJO (-01.0°)
BRASIL	IRÁN	SANTO TOMÉ Y PRÍNCIPE	PUERTO BAQUERIZO (-00.9°)
BULGARIA	IRLANDA	SENEGAL	PUERTO BOLIVAR (-03.2°)
CABO VERDE. ISLAS	ISLANDIA	SINGAPUR	PUERTO ILA (-00.4°)
CANADÁ	ISRAEL	SOMOA AMERICANA	PUERTO LOPEZ (-01.5°)
CHAD	ITALIA	SRI LANKA	QUININDE (-00.3°)
CHEQUIA / ESLOVAQUIA	JAMAICA	SUDÁFRICA	QUITO-NAQUITO (-00.1°)
CHILE	JAPÓN	SUDÁN	RIOBAMBA (-01.6°)
CHINA	JORDANIA	SURINAM	RUMIPAMBA (-01.0°)
COLOMBIA	KENIA	TAILANDIA	SALINAS (-02.1°)
CONGO	KUWAIT	TAIWÁN	SALINAS-LA PUNTILLA (-02.2°)
COREA	LÍBANO	TANZANIA	SAN CARLOS (-02.2°)
COSTA RICA	MACAO	TRINIDAD-TOBAGO	SAN CRISTOBAL (-00.9°)
CUBA	MADAGASCAR	TÚNEZ	SAN JUAN-LA MANA (-00.9°)
DOMINICA	MADEIRA. ISLAS	TURQUÍA	SAN LORENZO (+01.2°)
ECUADOR	MALASIA	UGANDA	SAN SIMON (-01.6°)
EGIPTO	MALTA	URUGUAY	SANTA ISABEL (-03.3°)
EL SALVADOR	MALVINAS. ISLAS	VENEZUELA	SANTA ROSA (-03.4°)
ESPAÑA	MARRUECOS	VÍRGENES. ISLAS	SANTO DOMINGO (-00.2°)
ESTADOS UNIDOS	MARTINICA	ZAIRE	TABACUNDO (+00.0°)
ETIOPÍA	MAURITANIA	ZAMBIA	TAURA (-02.3°)
FIJI. ISLAS	MÉXICO	ZIMBAWE	TIPUTINI (-00.7°)
FILIPINAS	MONGOLIA		TULCAN (-00.8°)

© CENSOLAR													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
MJ/m <sup>2</sup> :	14.1	14.1	14.6	14.0	14.4	14.6	16.5	16.7	16.1	17.2	17.6	16.2	15.5
kW·h/m <sup>2</sup> :	3.9	3.9	4.1	3.9	4.0	4.1	4.6	4.6	4.5	4.8	4.9	4.5	4.3

## 2.4. CALEFON BOSCH.

### 2.10 Datos técnicos

Datos técnicos	Símbolo	Unidades	GWH10...	GWH13...	GWH16...
<b>Potencia y caudal</b>					
Potencia útil nominal	Pn	kW	17,4	22,6	27,9
Potencia útil mínima	Pmin	kW	7,9	7,9	7,9
Potencia útil (margen de regulacion)		kW	7,9 - 17,4	7,9 - 22,6	7,9 - 27,9
Consumo calorífico nominal	Qn	kW	20,0	26,3	32,1
Consumo calorífico mínimo	Qmin	kW	10,4	10,7	9,1
<b>Datos referentes al gas*</b>					
<b>Presión de conexión</b>					
Gas natural H	G20	mbar	20	20	20
G.L.P. (Butano/Propano)	G30/G31	mbar	28/37	28/37	28/37
<b>Consumo</b>					
Gas natural H	G20	m <sup>3</sup> /h	2,18	2,8	3,5
G.L.P. (Butano/Propano)	G30/G31	kg/h	1,6	2,1	2,6
Número de inyectores			12	14	18
<b>Datos relativos a parte de agua</b>					
Presión máxima admisible**	pw	bar	12	12	12
<b>Selector de temperatura todo girado en el sentido de las agujas del reloj</b>					
Elevación de temperatura		°C	50	50	50
Margen de caudales		l/min	2 - 5,1	2 - 7	2 - 8,6
Presión mínima de funcionamiento	pwmin	bar	0,1	0,1	0,2
Presión mínima para caudal máximo		bar	0,25	0,35	0,5
<b>Selector de temperatura todo girado en el sentido contrario</b>					
Elevación de temperatura		°C	25	25	25
Margen de caudales		l/min	4 - 11	4 - 14	4 - 17
Presión mínima de funcionamiento		bar	0,2	0,2	0,2
Presión mínima para caudal máximo		bar	0,6	1	1,3
<b>Valores de los gases quemados***</b>					
Caudal		g/s	13	17	22
Temperatura		°C	160	170	180

Tab. 4

\* Hi 15°C - 1013 mbar - seco: Gas natural 34.2 MJ/m<sup>3</sup> (9.5 kWh/m<sup>3</sup>)

GLP: Butano 45.72 MJ/kg (12.7 kWh/kg) - Propano 46.44 MJ/kg (12.9 kWh/kg)

\*\* Considerando el efecto de la dilatación del agua, no debe sobrepasarse este valor.

\*\*\* Para potencia calorífica nominal

## 2.5. CARACTERISTICAS DE LA BOMBA GOULD.

### Dimensions and Weights

#### Dimensiones y Pesos

Dimensions and Weights – Determined by Pump,  
Dimensiones y Pesos – Determinados por la Bomba

Pump, Bomba	Suct. NPT, Succión NPT	Disch. NPT, Descarga NPT	CP	L	W	X	Y	Wt., Peso	Frame, Armazón		
									56	140	180
1ST	1¼	1	12 <sup>15</sup> / <sub>16</sub>	6 <sup>7</sup> / <sub>16</sub>	3 <sup>5</sup> / <sub>16</sub>	4 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	2	22½	4 <sup>3</sup> / <sub>16</sub>	6 <sup>7</sup> / <sub>16</sub>	
2ST	1½	1¼	13½	7	3¾	4½	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	23	5½	7	
3ST	2	1½				4 <sup>5</sup> / <sub>8</sub>					

Dim. "HL" Determined  
by Pump and Motor,  
Dim. "HL"  
Determinadas por la  
Bomba y el Motor

Available Motor and Bedplate Dimensions and Weights,  
Pesos y Dimensiones Disponibles de la Fundación y del Motor

Motor Frame, Armazón del Motor	HA	HB	HD	HE	HF	HG	HP	Wt. Max., Peso Máx	Shims, Deflec- tor
56 143T 145T	8	26	6 <sup>7</sup> / <sub>8</sub>	3 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	22 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	2 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	1	30	1"
182T 184T	10	26	7¼	3¾	24	2¾	¾	43	—

Frame Size, Tamaño del Armazón	Horsepower, Fuerza				C Max.	Wt. Max., Peso Máx.
	3500 RPM					
	Single Phase, Monofásicos		Three Phase, Trifásicos			
	ODP	TEFC	ODP	TEFC		
56	½ – 1½	½ – 1½	½ – 1	½ – 1	13	45
143T	—	—	1½	1½	13¾	45
145T	2	2	1½ – 3	1½ – 2	14¼	52
182T	3	3	5	3	16¾	63
184T	5	5	—	5	18½	112

#### NOTES:

- Pump will be shipped with top vertical discharge position as standard. For other orientations, remove casing bolts, rotate discharge to desired position, replace and tighten 6mm bolts to 5 – 6 lbs.-ft.
- Motor dimensions may vary with motor manufacturers.
- Dimensions in inches, weights in pounds.
- For explosion proof motor dimensions consult factory for information.
- Not to be used for construction purposes unless certified.

#### NOTAS:

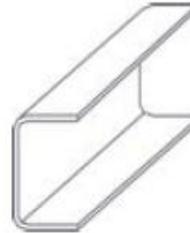
- Las bombas se transportarán con la descarga vertical superior como estándar. Para otras orientaciones, retirar los tornillos de la carcasa, rotar la descarga a la posición deseada, y reemplazar y apretar los tornillos de 6mm a 5 – 6 libras-pies.
- Las dimensiones del motor puede que varien con los fabricantes.
- Dimensiones en pulgadas, pesos en libras.
- Para las dimensiones de los motores a prueba de explosión consultar con la fábrica para información.
- No usar para propósitos de construcción sin certificar.

### 3.1. Catálogo IPAC, Canal 80\*40\*5mm



## Perfil Estructural: Canal

DIMENSIONES			PESO	PROPIEDADES							
H	B	e		AREA	EJES X-X				EJES Y-Y		
mm	mm	mm	Kg/6m	A	I	W	i	I	W	i	X
50	25	2	8.82	1.87	7.06	2.83	1.9	1.13	0.63	0.8	0.7
		3	12.72	2.7	9.7	3.88	1.9	1.57	0.91	0.8	0.8
80	40	2	14.46	3.07	30.8	7.71	3.2	4.89	1.68	1.3	1.1
		3	21.24	4.5	43.9	11	3.1	7.01	2.45	1.3	1.1
		4	27.66	5.87	55.4	13.9	3.1	8.92	3.17	1.2	1.2
		5	34.44	7.18	65.5	16.4	3	10.6	3.84	1.2	1.2
100	50	6	40.44	8.42	74.2	18.6	3	12.1	4.47	1.2	1.3
		2	18.24	3.87	61.5	12.3	4	9.72	2.66	1.6	1.3
		3	26.88	5.7	88.5	17.7	3.9	14.1	3.9	1.6	1.4
		4	35.22	7.47	113	22.6	3.9	18.1	5.07	1.6	1.4
		5	43.2	9.18	135	27.1	3.8	21.8	6.19	1.5	1.5
		6	51.96	10.8	155	31	3.8	25.1	7.25	1.5	1.5
125	50	2	20.58	4.37	103	16.5	4.9	10.4	2.74	1.5	1.2
		3	30.42	6.45	149	23.9	4.8	15.1	4.02	1.5	1.2
		4	39.9	8.47	192	30.7	4.8	19.4	5.24	1.5	1.3
		5	49.14	10.4	231	36.9	4.7	23.4	6.4	1.5	1.3
		6	59.16	12.3	267	42.7	4.7	27.1	7.5	1.5	1.4
150	50	2	22.92	4.87	138	21.1	5.7	10.9	2.8	1.5	1.1
		3	33.96	7.2	230	30.7	5.7	15.9	4.11	1.5	1.1
		4	44.64	9.47	297	39.6	5.6	20.5	5.36	1.5	1.2
		5	55.02	11.7	359	47.9	5.6	24.8	6.55	1.5	1.2
		6	66.36	13.8	417	55.6	5.5	28.7	7.68	1.4	1.3



#### ■ ESPECIFICACIONES

##### GENERALES

Largo Standard: 6 m  
 Recubrimiento: Negro o galvanizado  
 Espesores: Desde 1.5 a 10 mm  
 Calidad del Acero: ASTM A-36  
 Observaciones: Otros largos previa consulta

#### ■ NORMA INTERNA

Fabricación: Según Norma INEN 1623  
 Tolerancias:  
 h < = 125 mm ± 1.50 mm  
 h > 125 mm ± 2.00 mm  
 Si espesor (1,5 - 5mm) b ± 1.50 mm  
 Si espesor (mayor a 5mm) b ± 2.00 mm  
 Longitud - 0  
 + 40 mm  
 Radio: 3 veces el espesor

#### ■ APLICACIONES

- Columnas
- Vigas
- Muebles metálicos: Camas
- Estructuras en general
- Estructura de cubiertas



### 3.2. Planchas de policarbonato

[www.policarbonatosecuador.com](http://www.policarbonatosecuador.com)

#### **Bondades del Policarbonato**

- Gran resistencia al impacto
- Puede ser curvado en frio
- Resistente a la interperie
- Resistente a los rayos U.V.
- Excelente transmisión de luz
- Resistente a altas temperaturas
- Muy ligero y versátil

#### **Nuestro Policarbonato**

Tiene las Siguietes Ventajas :

- \* Su Materia Prima es Alemana
- \* Materia Prima virgen
- \* Cumple con la Norma ISO9001
- \* Garantía de Fabrica de 10 años
- \* El Mejor Precio del Mercado

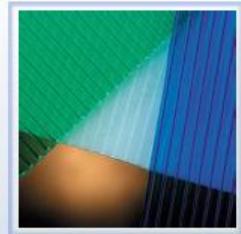
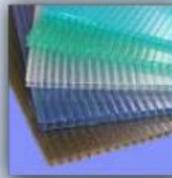
#### **Medidas y Precios :**

8mm de grosor, 2.10 X 11.80 metros  
1.5 Kg X M2. Precio \$ 270 (incluye IVA)

6mm de grosor, 2.10 X 11.80 metros  
1.3 Kg X M2. Precio \$ 240 (Incluye IVA)

Fuerza de Impacto : J / M -850

Colores : Claro, Bronce, Azul, Verde,  
Lago azul



**Policarbonatos**



**Fibras**



**Accesorios**

Representantes de ventas para Distribuidor en Guayaquil - Ecuador

Telefono Convencional : 042- 249744

\* Ing. Luz Calderón Celular : 097507180 e-mail : [actluz@hotmail.com](mailto:actluz@hotmail.com)

\* Tec. Fabrizio Molinari Celular : 097166618 e-mail : [fabrizio\\_molinari@hotmail.com](mailto:fabrizio_molinari@hotmail.com)

## 4.1. SIMULACION DE LOS ELEMENTOS

A continuación se muestra una visualización por capas de la estructura, en donde se mostrará en pantalla dividida, cada pórtico con las secciones y ratio más crítico de todos sus elementos y una vista 3D de la estructura en la cual se resalta el pórtico en cuestión

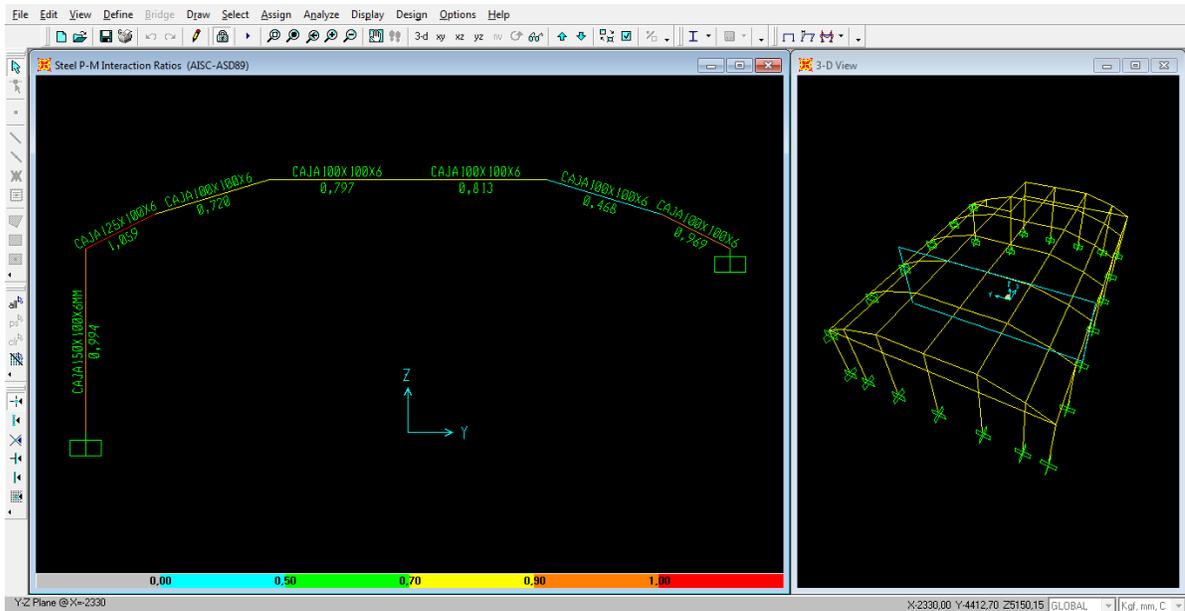
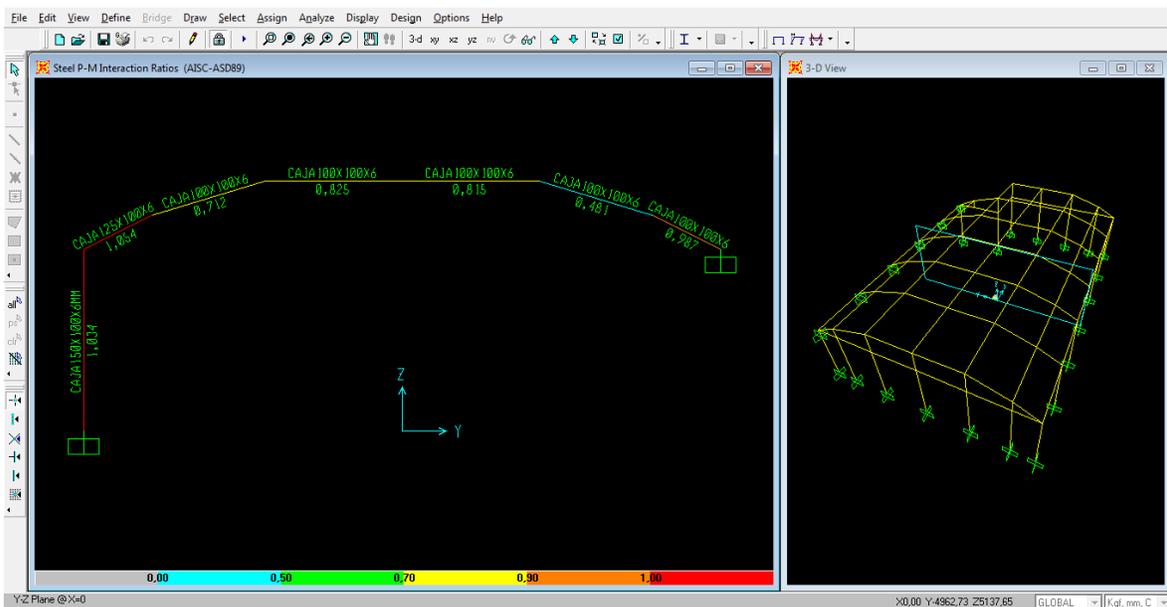
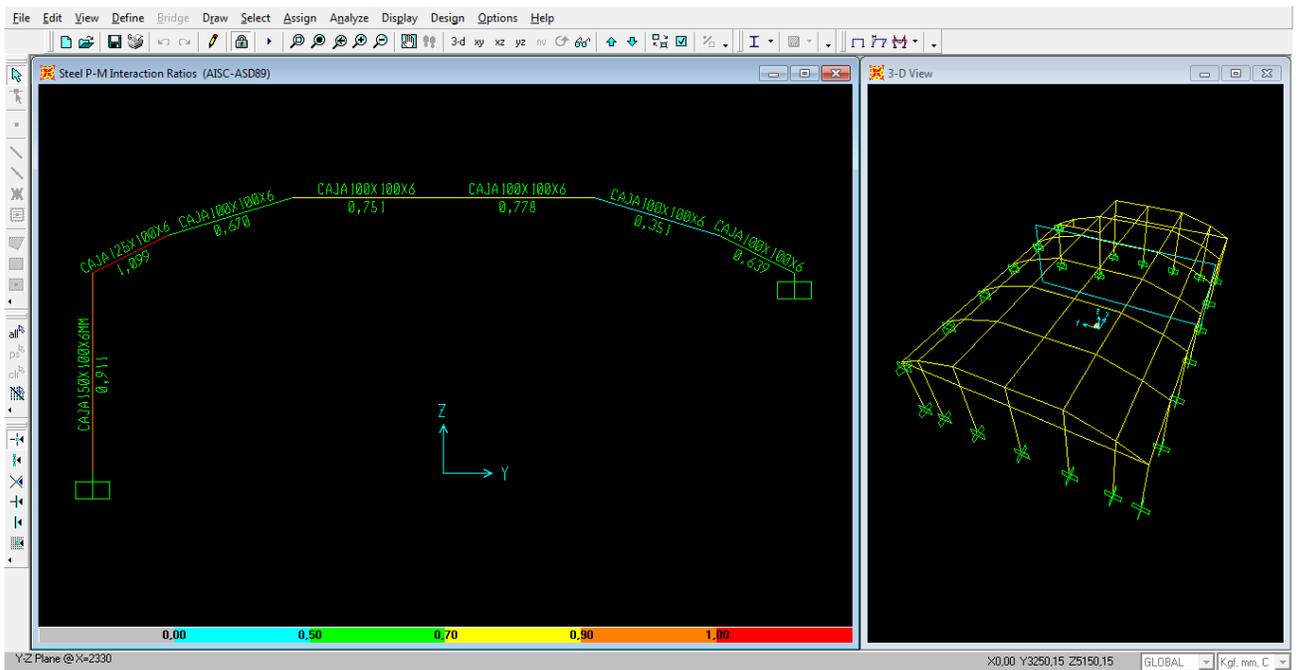


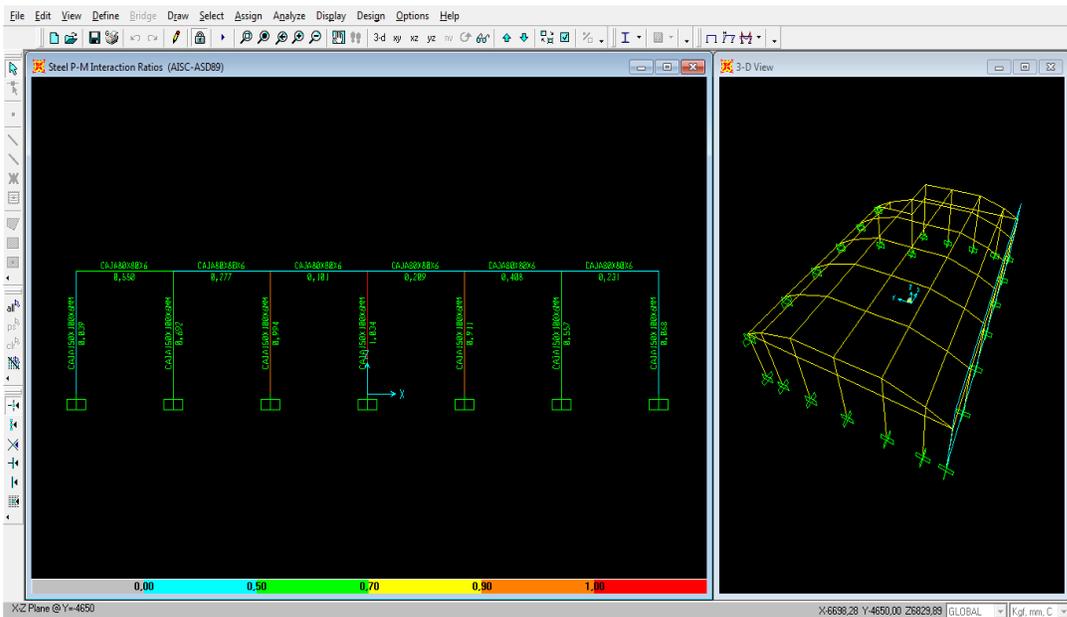
Fig. 4.16 Secciones y Ratio de los elementos del Pórtico 3



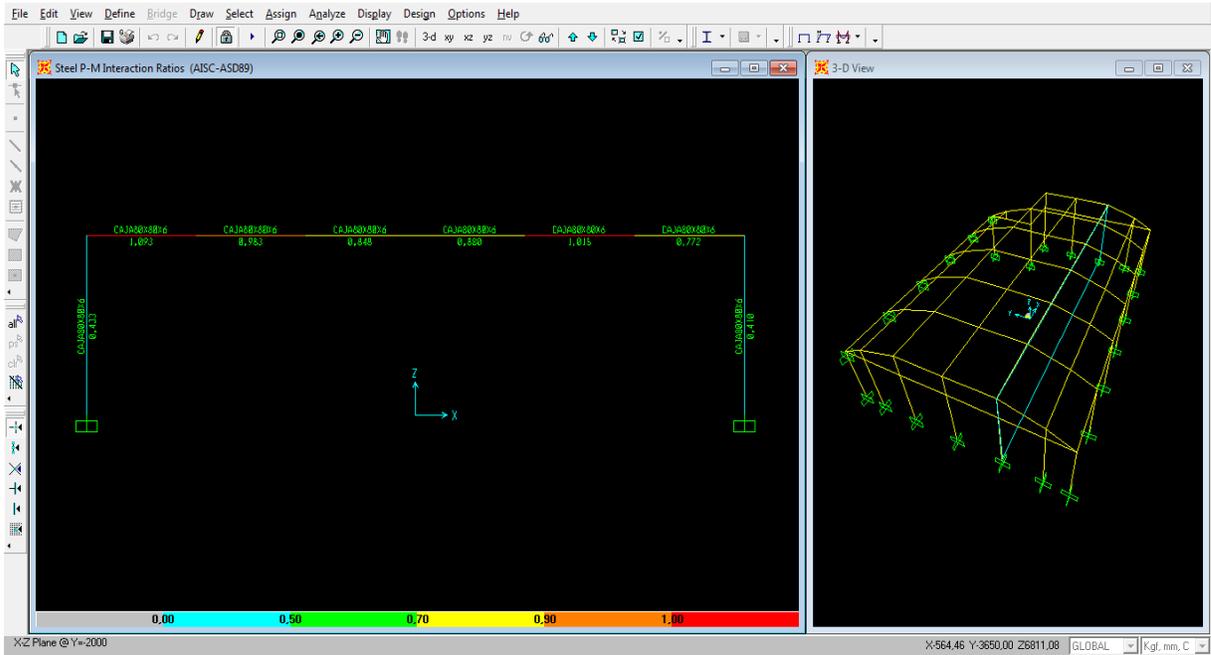
**Fig. 4.17 Secciones y Ratio de los elementos del Pórtico 4**



**Fig. 4.18 Secciones y Ratio de los elementos del Pórtico 5**



**Fig. 4.20 Secciones y Ratio de los elementos del Pórtico Transversal 1**



*Fig. 4.22 Secciones y Ratio de los elementos del Pórtico Transversal 3*

#### 4.2. ESQUEMA DEL SISTEMA DISEÑADO EN PIPE FLOW EXPERT.

### 4.3. RESULTADOS DE LA SIMULACION EN PIPE FLOW EXPERT.

Fluid					Vapour		
Name	Chemical Formula	Temperature °C	Centistokes	Centipoise	Density kg/m <sup>3</sup>	Pressure bar.a	State
Water	H2 O	38.000	0,658	0,653	992.000	0,073840	Liquid

#### Pipe

#### Results

Pipe Id	Pipe Name	Material	Inner Diameter mm	Length m	Total K	Mass Flow kg/sec	Flow m <sup>3</sup> /sec	Velocity m/sec	Entry Elevation m	Exit Elevation m	Entry Pressure bar.g	Exit Pressure bar.g	Entry/Exit Diff bar.g	Reynolds Number	Flow Type	Friction Factor	Friction Loss m.hd	Fittings Loss m.hd
1	P1	2" PVC (ANSI) Sch. 40	52.502	0,500	0,00	43.846	0,0044	2.042	0,000	0,000	0,097	6.159	-6.061	162836	Turbulent	0,017	0,034	none
2	P2	2" PVC (ANSI) Sch. 40	52.502	0,660	0,00	0,6414	0,0006	0,299	0,000	0,660	6.159	6.094	0,064	23819	Turbulent	0,025	0,001	none
3	P3	2" PVC (ANSI) Sch. 40	52.502	2.030	0,00	0,6414	0,0006	0,299	0,660	0,660	6.094	6.094	0,000	23819	Turbulent	0,025	0,004	none
4	P4	2" PVC (ANSI) Sch. 40	52.502	1.050	9,54	0,6414	0,0006	0,299	0,660	0,660	6.094	6.090	0,004	23819	Turbulent	0,025	0,002	0,043
5	P5	2" PVC (ANSI) Sch. 40	52.502	2.900	1,52	43.846	0,0044	2.042	0,660	2.700	6.090	5.840	0,249	162836	Turbulent	0,017	0,199	0,323
6	P6	2" PVC (ANSI) Sch. 40	52.502	2.430	1,10	43.846	0,0044	2.042	2.700	5.100	5.840	5.568	0,272	162836	Turbulent	0,017	0,167	0,234
7	P7	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.910	0,66	21.918	0,0022	2.290	5.100	5.000	5.568	5.535	0,033	121921	Turbulent	0,018	0,263	0,176
8	P8	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.600	0,00	21.918	0,0022	2.290	5.000	5.000	5.535	5.513	0,021	121921	Turbulent	0,018	0,221	none
9	P9	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.000	5.000	5.513	5.513	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
10	P10	2" PVC (ANSI) Sch. 40	52.502	1.000	0,00	37.432	0,0038	1.743	0,000	0,660	6.159	6.090	0,069	139017	Turbulent	0,017	0,051	none
13	P13	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.580	5.580	-0,078	-0,078	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
14	P14	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	13.961	0,0014	1.458	6.100	6.100	-0,001	-0,009	0,008	77660	Turbulent	0,020	0,079	none
16	P16	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	19.923	0,0020	2.081	5.000	5.000	5.513	5.499	0,015	110827	Turbulent	0,018	0,151	none
19	P19	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.580	5.580	-0,063	-0,064	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
20	P20	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	0,1984	0,0002	0,207	5.000	5.000	5.454	5.454	0,000	11036	Turbulent	0,030	0,002	none
21	P21	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.000	5.000	5.487	5.486	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
25	P25	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.580	5.580	-0,051	-0,052	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
26	P26	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	0,3978	0,0004	0,416	5.000	5.000	5.455	5.454	0,001	22131	Turbulent	0,026	0,008	none
27	P27	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.000	5.000	5.477	5.477	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002

31	P31	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.580	5.580	-0,042	-0,042	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
32	P32	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	0,5973	0,0006	0,624	5.000	5.000	5.456	5.455	0,002	33225	Turbulent	0,023	0,017	none
33	P33	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.000	5.000	5.469	5.469	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
37	P37	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.580	5.580	-0,034	-0,034	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
38	P38	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	0,7967	0,0008	0,832	5.000	5.000	5.459	5.456	0,003	44319	Turbulent	0,022	0,029	none
39	P39	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.000	5.000	5.463	5.463	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
43	P43	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.580	5.580	-0,028	-0,028	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
44	P44	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	0,9962	0,0010	1.041	5.000	5.000	5.463	5.459	0,004	55413	Turbulent	0,021	0,043	none
45	P45	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.000	5.000	5.459	5.459	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
49	P49	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.580	5.580	-0,024	-0,024	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
50	P50	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	11.956	0,0012	1.249	5.000	5.000	5.469	5.463	0,006	66508	Turbulent	0,020	0,060	none
51	P51	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.000	5.000	5.456	5.456	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
55	P55	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.580	5.580	-0,021	-0,021	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
56	P56	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	13.950	0,0014	1.457	5.000	5.000	5.477	5.469	0,008	77602	Turbulent	0,020	0,079	none
57	P57	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.000	5.000	5.455	5.454	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
61	P61	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.580	5.580	-0,019	-0,020	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
62	P62	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	15.945	0,0016	1.666	5.000	5.000	5.487	5.477	0,010	88696	Turbulent	0,019	0,100	none
63	P63	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.000	5.000	5.454	5.454	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
67	P67	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.580	5.580	-0,019	-0,019	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
68	P68	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	17.939	0,0018	1.874	5.000	5.000	5.499	5.487	0,012	99791	Turbulent	0,019	0,124	none
69	P69	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1984	0,0002	0,207	5.000	5.000	5.454	5.453	0,000	11036	Turbulent	0,030	0,000	0,002
73	P73	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.580	5.580	-0,018	-0,019	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
74	P74	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	0,1994	0,0002	0,208	5.580	5.580	-0,019	-0,019	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,002	none
75	P75	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	0,3989	0,0004	0,417	5.580	5.580	-0,019	-0,020	0,001	22189	Turbulent	0,026	0,008	none
76	P76	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	0,5983	0,0006	0,625	5.580	5.580	-0,020	-0,021	0,002	33283	Turbulent	0,023	0,017	none
77	P77	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	0,7978	0,0008	0,833	5.580	5.580	-0,021	-0,024	0,003	44377	Turbulent	0,022	0,029	none
78	P78	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	0,9972	0,0010	1.042	5.580	5.580	-0,024	-0,028	0,004	55471	Turbulent	0,021	0,043	none
79	P79	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	11.966	0,0012	1.250	5.580	5.580	-0,028	-0,034	0,006	66566	Turbulent	0,020	0,060	none
80	P80	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	13.961	0,0014	1.458	5.580	5.580	-0,034	-0,042	0,008	77660	Turbulent	0,020	0,079	none
81	P81	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	15.955	0,0016	1.667	5.580	5.580	-0,042	-0,052	0,010	88754	Turbulent	0,019	0,101	none
82	P82	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	17.950	0,0018	1.875	5.580	5.580	-0,052	-0,064	0,012	99849	Turbulent	0,019	0,125	none

83	P83	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	19.944	0,0020	2.083	5.580	5.580	-0,064	-0,078	0,015	110943	Turbulent	0,018	0,151	none
84	P84	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	10,50	21.939	0,0022	2.292	5.580	5.580	-0,078	-0,369	0,291	122037	Turbulent	0,018	0,180	2.811
85	P85	2" PVC (ANSI) Sch. 40	52.502	4.280	1,98	43.877	0,0044	2.043	5.580	1.270	-0,369	-0,020	-0,350	162952	Turbulent	0,017	0,294	0,421
86	P86	2" PVC (ANSI) Sch. 40	52.502	1.000	0,00	43.877	0,0044	2.043	1.270	0,000	-0,020	0,097	-0,117	162952	Turbulent	0,017	0,069	none
87	P87	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.910	0,66	21.928	0,0022	2.291	5.100	5.100	5.568	5.525	0,043	121979	Turbulent	0,018	0,264	0,177
88	P88	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	21.928	0,0022	2.291	5.600	5.600	5.475	5.458	0,017	121979	Turbulent	0,018	0,179	none
89	P89	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.600	5.600	5.458	5.458	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
93	P93	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	6.100	6.100	-0,069	-0,069	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
94	P94	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	19.934	0,0020	2.082	5.600	5.600	5.458	5.443	0,015	110885	Turbulent	0,018	0,151	none
95	P95	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.600	5.600	5.443	5.443	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
99	P99	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	6.100	6.100	-0,030	-0,031	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
100	P100	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	17.939	0,0018	1.874	5.600	5.600	5.443	5.431	0,012	99791	Turbulent	0,019	0,124	none
101	P101	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.600	5.600	5.431	5.431	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
105	P105	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	6.100	6.100	-0,018	-0,019	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
106	P106	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	15.945	0,0016	1.666	5.600	5.600	5.431	5.421	0,010	88696	Turbulent	0,019	0,100	none
107	P107	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.600	5.600	5.421	5.421	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
111	P111	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	6.100	6.100	-0,009	-0,009	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
112	P112	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	13.950	0,0014	1.457	5.600	5.600	5.421	5.414	0,008	77602	Turbulent	0,020	0,079	none
113	P113	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.600	5.600	5.414	5.414	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
117	P117	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	6.100	6.100	-0,001	-0,001	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
118	P118	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	11.956	0,0012	1.249	5.600	5.600	5.414	5.408	0,006	66508	Turbulent	0,020	0,060	none
119	P119	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.600	5.600	5.408	5.408	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
123	P123	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	6.100	6.100	0,005	0,005	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
124	P124	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	0,9962	0,0010	1.041	5.600	5.600	5.408	5.404	0,004	55413	Turbulent	0,021	0,043	none
125	P125	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1984	0,0002	0,207	5.600	5.600	5.404	5.404	0,000	11036	Turbulent	0,030	0,000	0,002
129	P129	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	6.100	6.100	0,009	0,009	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
130	P130	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	0,7978	0,0008	0,833	5.600	5.600	5.404	5.401	0,003	44377	Turbulent	0,022	0,029	none
131	P131	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.600	5.600	5.401	5.401	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
135	P135	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	6.100	6.100	0,012	0,012	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
136	P136	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	0,5983	0,0006	0,625	5.600	5.600	5.401	5.399	0,002	33283	Turbulent	0,023	0,017	none
137	P137	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.600	5.600	5.399	5.399	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002

141	P141	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	6.100	6.100	0,014	0,013	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
142	P142	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	0,3989	0,0004	0,417	5.600	5.600	5.399	5.399	0,001	22189	Turbulent	0,026	0,008	none
143	P143	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.600	5.600	5.399	5.398	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
147	P147	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	6.100	6.100	0,014	0,014	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
148	P148	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	0,1994	0,0002	0,208	5.600	5.600	5.399	5.398	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,002	none
149	P149	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	5.600	5.600	5.398	5.398	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
153	P153	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1994	0,0002	0,208	6.100	6.100	0,015	0,014	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,000	0,002
154	P154	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	0,1994	0,0002	0,208	6.100	6.100	0,014	0,014	0,000	11094	Turbulent	0,030	0,002	none
155	P155	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	0,3989	0,0004	0,417	6.100	6.100	0,014	0,013	0,001	22189	Turbulent	0,026	0,008	none
156	P156	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	0,5983	0,0006	0,625	6.100	6.100	0,013	0,012	0,002	33283	Turbulent	0,023	0,017	none
157	P157	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	0,7978	0,0008	0,833	6.100	6.100	0,012	0,009	0,003	44377	Turbulent	0,022	0,029	none
158	P158	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	0,9972	0,0010	1.042	6.100	6.100	0,009	0,005	0,004	55471	Turbulent	0,021	0,043	none
159	P159	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	11.966	0,0012	1.250	6.100	6.100	0,005	-0,001	0,006	66566	Turbulent	0,020	0,060	none
160	P160	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	15.955	0,0016	1.667	6.100	6.100	-0,009	-0,019	0,010	88754	Turbulent	0,019	0,101	none
161	P161	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	0,00	17.950	0,0018	1.875	6.100	6.100	-0,019	-0,031	0,012	99849	Turbulent	0,019	0,125	none
162	P162	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	1.300	1,10	19.944	0,0020	2.083	6.100	6.100	-0,031	-0,069	0,038	110943	Turbulent	0,018	0,151	0,243
163	P163	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,121	1,10	0,1984	0,0002	0,207	5.000	5.000	5.499	5.498	0,000	11036	Turbulent	0,030	0,000	0,002
164	P164	2" PVC (ANSI) Sch. 40	52.502	0,480	0,00	21.928	0,0022	1.021	5.100	5.600	5.525	5.475	0,050	81437	Turbulent	0,019	0,009	none
165	P165	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,120	0,66	21.939	0,0022	2.292	6.100	6.100	-0,069	-0,088	0,019	122037	Turbulent	0,018	0,017	0,177
166	P166	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	3.830	0,00	21.939	0,0022	2.292	6.100	6.100	-0,088	-0,139	0,051	122037	Turbulent	0,018	0,529	none
167	P167	1-1/4" PVC (ANSI) Sch. 40	35.052	0,530	10,50	21.939	0,0022	2.292	6.100	5.580	-0,139	-0,369	0,230	122037	Turbulent	0,018	0,073	2.811

Pump

Results

Pipe Id	Pipe Name	Pump Name	Pref. Speed	Op From	Pump Head (+)	Pump NPSHr	Pump NPSHa	Pump Efficiency
			rpm	m³/sec	m.hd	m.hd	m.hd	Percentage
1	P1	GOULD NPE/2ST	1750	0,0025	62.342	2.634	10.657	59,01

## 5.1. TABLA DE AMORTIZACION DE PRESTAMO.

### AMORTIZACION PRESTAMO

Capital Inicial 10000

Tasa de Interés 15,2

# de cuotas 60

Cuota 238,95

MESES	CAPITAL	INTERES	CUOTA	CAP. PAGADO	CAP. REDUCIDO
1	10000,00	126,67	238,95	112,28	9887,72
2	9887,72	125,24	238,95	113,71	9774,01
3	9774,01	123,80	238,95	115,15	9658,86
4	9658,86	122,35	238,95	116,60	9542,26
5	9542,26	120,87	238,95	118,08	9424,18
6	9424,18	119,37	238,95	119,58	9304,60
7	9304,60	117,86	238,95	121,09	9183,51
8	9183,51	116,32	238,95	122,63	9060,88
9	9060,88	114,77	238,95	124,18	8936,70
10	8936,70	113,20	238,95	125,75	8810,95
11	8810,95	111,61	238,95	127,35	8683,61
12	8683,61	109,99	238,95	128,96	8554,65

13	8554,65	108,36	238,95	130,59	8424,06
14	8424,06	106,70	238,95	132,25	8291,81
15	8291,81	105,03	238,95	133,92	8157,89
16	8157,89	103,33	238,95	135,62	8022,27
17	8022,27	101,62	238,95	137,33	7884,94
18	7884,94	99,88	238,95	139,07	7745,86
19	7745,86	98,11	238,95	140,84	7605,03
20	7605,03	96,33	238,95	142,62	7462,41
21	7462,41	94,52	238,95	144,43	7317,98
22	7317,98	92,69	238,95	146,26	7171,72
23	7171,72	90,84	238,95	148,11	7023,61
24	7023,61	88,97	238,95	149,98	6873,63
25	6873,63	87,07	238,95	151,88	6721,75
26	6721,75	85,14	238,95	153,81	6567,94
27	6567,94	83,19	238,95	155,76	6412,18
28	6412,18	81,22	238,95	157,73	6254,45
29	6254,45	79,22	238,95	159,73	6094,72
30	6094,72	77,20	238,95	161,75	5932,97
31	5932,97	75,15	238,95	163,80	5769,17
32	5769,17	73,08	238,95	165,87	5603,30
33	5603,30	70,98	238,95	167,98	5435,33

34	5435,33	68,85	238,95	170,10	5265,22
35	5265,22	66,69	238,95	172,26	5092,96
36	5092,96	64,51	238,95	174,44	4918,52
37	4918,52	62,30	238,95	176,65	4741,88
38	4741,88	60,06	238,95	178,89	4562,99
39	4562,99	57,80	238,95	181,15	4381,84
40	4381,84	55,50	238,95	183,45	4198,39
41	4198,39	53,18	238,95	185,77	4012,62
42	4012,62	50,83	238,95	188,12	3824,49
43	3824,49	48,44	238,95	190,51	3633,99
44	3633,99	46,03	238,95	192,92	3441,07
45	3441,07	43,59	238,95	195,36	3245,70
46	3245,70	41,11	238,95	197,84	3047,86
47	3047,86	38,61	238,95	200,34	2847,52
48	2847,52	36,07	238,95	202,88	2644,64
49	2644,64	33,50	238,95	205,45	2439,19
50	2439,19	30,90	238,95	208,05	2231,13
51	2231,13	28,26	238,95	210,69	2020,44
52	2020,44	25,59	238,95	213,36	1807,09
53	1807,09	22,89	238,95	216,06	1591,02
54	1591,02	20,15	238,95	218,80	1372,23

55	1372,23	17,38	238,95	221,57	1150,66
56	1150,66	14,58	238,95	224,38	926,28
57	926,28	11,73	238,95	227,22	699,07
58	699,07	8,85	238,95	230,10	468,97
59	468,97	5,94	238,95	233,01	235,96
60	235,96	2,99	238,95	235,96	0,00

## 5.2. TABLA DE FLUJO DE EFECTIVO.

Año	INGRESOS		COSTOS DE OPERACIÓN					Inversión:	Depreciación	Flujo de Caja	Saldo Acum.
	Ahorro GLP	Entradas	Costos de Mantenimiento	Energía eléctrica:	GLP Sistema Auxiliar	Amortización del préstamo					
0	0	0	0	0	0	0	(\$ 27.485,66)	0	-27485,66	-27485,66	
1	11799,43	1950	600	480	5094,00	2950,08	0	882,9	4625,35	-21977,41	
2	11799,43	1950	600	480	5094,00	2950,08	0	882,9	4625,35	-16469,16	
3	11799,43	1950	600	480	5094,00	2950,08	0	882,9	4625,35	-10960,91	
4	11799,43	1950	600	480	5094,00	2950,08	0	882,9	4625,35	-5452,66	
5	11799,43	1950	600	480	5094,00	2950,08	0	882,9	4625,35	55,59	
6	11799,43	1950	600	480	5094,00	0	0	882,9	7575,43	8513,92	
7	11799,43	1950	600	480	5094,00	0	0	882,9	7575,43	16972,25	
8	11799,43	1950	600	480	5094,00	0	0	882,9	7575,43	25430,58	

9	11799,43	1950	600	480	5094,00	0	0	882,9	7575,43	33888,91
10	11799,43	1950	600	480	5094,00	0	0	882,9	7575,43	42347,24
11	11799,43	1950	600	480	5094,00	0	0	882,9	7575,43	50805,57
12	11799,43	1950	600	480	5094,00	0	0	882,9	7575,43	59263,90
13	11799,43	1950	600	480	5094,00	0	0	882,9	7575,43	67722,23
14	11799,43	1950	600	480	5094,00	0	0	882,9	7575,43	76180,56
15	11799,43	1950	600	480	5094,00	0	0	882,9	7575,43	84638,89
16	11799,43	1950	600	480	5094,00	0	0	882,9	7575,43	93097,22
17	11799,43	1950	600	480	5094,00	0	0	882,9	7575,43	101555,55
18	11799,43	1950	600	480	5094,00	0	0	882,9	7575,43	110013,88
19	11799,43	1950	600	480	5094,00	0	0	882,9	7575,43	118472,21
20	11799,43	1950	600	480	5094,00	0	0	882,9	7575,43	126930,54