



Facultad de
Ingeniería
.....
Universidad Nacional de Mar del Plata

Análisis, cálculo y diseño de un intercambiador de calor solar apuntado al aclimatado de agua de piscinas

Autor: Caminos Marcos

Tutor: Ing. Zucal, Ricardo Javier

Evaluadores:

Dr. Ing. Arenas, Gustavo F.

Dr. Ing. Lopez, Marcos G.

Prof. Szigety, Esteban



RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



Facultad de
Ingeniería
.....
Universidad Nacional de Mar del Plata

Análisis, cálculo y diseño de un intercambiador de calor solar apuntado al aclimatado de agua de piscinas

Autor: Caminos Marcos

Tutor: Ing. Zucal, Ricardo Javier

Evaluadores:

Dr. Ing. Arenas, Gustavo F.

Dr. Ing. Lopez, Marcos G.

Prof. Szigety, Esteban

Agradecimientos:

Agradezco a todas aquellas personas de la Facultad de Ingeniería de la UNMdP, que con calidez humana, me han brindado su apoyo y consejo para transitar esta carrera tan linda y que hicieron realidad mi sueño de ser Ingeniero. En particular, agradezco a los profesores que dieron el sí para ser parte de la evaluación de este proyecto, Ricardo por el acompañamiento como director y la ayuda constante en cuanto a recursos, Esteban por su dedicación y vocación de docente, Gustavo por su conocimientos y apoyo en lo que necesitase y Marcos por su criterio ingenieril y paciencia tanto en la carrera como en el proyecto, en fin, no obtengo solo un título sino también amigos.

A mi madre por darme la imagen de que las cosas se logran con esfuerzo, perseverancia y amor. Por esperarme los viernes a la tarde en la terminal de Gesell, por bancarme con alimento y una cama porque iba a trabajar para mantenerme en la semana, sos lo más vieji. Mi padre por hacerme una persona útil y mostrarme como ganarme el pan. Me sirvió como medio para costearme esta carrera, gracias viejo!!!. Agradezco a Carla, mi novia pero sobre todo gran amiga, una chica humilde de gran corazón que en los momentos más complicados brindó su ayuda sin que se lo pida, es la que se bancó todo de esta carrera, a veces por falta de trabajo a veces por la falta de atención. Tanto a Carla como a su madre Graciela que también me acompañó espero retribuirles esta gran ayuda. Podría decirse que es mi segunda familia.

...Agradecido de por vida!

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	1
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	2
1.1 INTRODUCCION	2
1.2 ESTADO DEL ARTE DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA EN ARGENTINA Y EN EL MUNDO	3
1.3 OBJETIVOS	8
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	8
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	8
1.4 METODOLOGIA	8
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	10
CAPÍTULO 2: ENERGÍA SOLAR COMO RECURSO	11
2.1 CAPACIDAD ENERGÉTICA DE RADIACIÓN SOLAR	11
2.1.1 BREVE NTRODUCCIÓN.....	11
2.1.2 GENERACIÓN DE ENERGÍA SOLAR	12
2.2 TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN DE LA ENERGÍA	12
2.2.2 ENERGÍA RECIBIDA EN LA TIERRA	17
2.2.2.1 ENERGÍA SOLAR EXTRATERRESTRE	17
2.2.2.2 ATMOSFERA TERRESTRE Y RADIACIÓN	19
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	24
CAPÍTULO 3: DETERMINACIÓN DE ANGULOS Y ORIENTACIÓN DE LOS RAYOS SOLARES	26
3.1 CONCEPTOS BÁSICOS	26
3.2 CONCEPTOS ASTRONOMICOS TERRESTRES Y EXTRATERRESTRES	29
3.3 ESTACIONES DEL AÑO E INCIDENCIA SOLAR TERRESTRE	32
3.4 COORDENADAS CELESTES E INCIDENCIA SOLAR	34
3.5 ÁNGULOS DE ORIENTACIÓN DEL COLECTOR SOLAR	36
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	42
CAPÍTULO 4: CONSUMO TÉRMICO Y ELÉCTRICO DE PISCINAS	43
4.1 BREVE INTRODUCCIÓN	43
4.2 CARACTERISTICAS DE PISCINAS	43
4.3 SEGURIDAD E HIGIENE DEL AGUA	52
4.4 BALANCE ENERGÉTICO DEL AGUA.....	53
4.5 CONSUMO ELÉCTRICO EN PISCINAS.....	65

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	70
CAPÍTULO 5: SELECCIÓN DE COLECTORES	72
5.1 TIPOS DE COLECTORES Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.....	72
5.2 RANGO DE OPERACIÓN	75
5.3 CRITERIOS DE SELECCIÓN	75
5.4 INFORMACIÓN TÉCNICA DE COLECTORES.....	80
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	87
CAPÍTULO 6: DISEÑO DEL COLECTOR PROPUESTO	88
6.1 DISEÑO DEL COLECTOR	88
6.1.1 MATERIALES.....	88
6.1.2 FORMA DEL COLECTOR	94
6.1.3 DIMENSIONES.....	94
6.1.4 ESQUEMA DEL EQUIPO	95
6.2 DISTRIBUCIÓN.....	97
6.3 SOPORTE ESTRUCTURAL Y SUJECIONES	99
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	105
CAPÍTULO 7: MODELADO COMPUTACIONAL	106
7.1 BREVE INTRODUCCIÓN.....	106
7.2 SOFTWARE ANSYS	107
7.3 ANÁLISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR INTERNO.....	108
7.4 PRESENTACIÓN DEL MODELO PROPUESTO Y RESOLUCIÓN EN FLUENT	121
7.5 RESULTADOS OBTENIDOS POR LA SIMULACIÓN.....	124
7.6 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR LA SIMULACIÓN	132
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	141
CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES	142
SÍNTESIS DEL TRABAJO REALIZADO	144

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Irradiación Global Diaria en Enero y Febrero	5
Figura 1.2: Capacidad Global de energía térmica solar [2005-2015]	7
Figura 2.1: Onda electromagnética	14
Figura 2.2. Rango de frecuencias de la luz solar	15
Figura 2.3 Espectro de Irradiación Solar medida sobre la Atmosfera Terrestre	15
Figura 2.4: Medición de la Irradiancia y sus variaciones	18
Figura 2.5: Gradiente medio de temperatura atmosférica	20
Figura 2.6: Balance energético de la radiación solar	22
Figura 3.1: Coordenadas Geográficas de cualquier punto sobre la Tierra	26
Figura 3.1bis: El Sol visto por un Observador en la Superficie Terrestre.....	27
Figura 3.2: Proyección de los Rayos Solares según el Angulo de Incidencia	28
Figura 3.2bis: Incidencia de los Rayos Solares sobre Plano Terrestre	29
Figura 3.3: Angulo de Inclinação del Eje Terrestre	30
Figura 3.4: Plano Eclíptico y Ecuador Terrestre	30
Figura 3.5: Orientación Constante de la Oblicuidad	31
Figura 3.6: Oblicuidad de la Eclíptica según Equinoccios y Solsticios	32
Figura 3.7: Solsticio; de Invierno (Hemisferio Norte), de Verano (Hemisferio Sur)	32
Figura 3.8: La Tierra vista desde el Sol en distintas etapas del año	33
Figura 3.9: Movimientos de Precesión y Nutación de la Tierra	34
Figura 3.10: Coordenadas Celestes	35
Figura 3.11: Posiciones Paralelas de la Trayectoria Solar	35
Figura 3.12: Altura Solar Máxima en función de la Latitud Oblicuidad de la Eclíptica	37
Figura 3.13: Esfera Celestes según Posición del Observador	38
Figura 3.14 Temperaturas Ambiente en un Periodo Anual	39
Figura 3.15: Angulo de Orientación del Colector frente a la Incidencia Solar.....	39
Figura 3.16: Diagrama de Trayectorias del Sol sobre la Esfera Celeste	40
Figura 3.17: Incidencia Solar Constante para distintos Ángulos Azimutales	41
Figura 4.1: Esquema de piscina con Skimmers.....	46
Figura 4.2: Esquema de la instalación en una piscina desbordante	47

Figura 4.3: Profundidad de las piscinas para uso de salto	48
Figura 4.4: Mantas Térmicas para Conservación del Calor	51
Figura 4.4bis: Resumen de Perdidas de Calor en una Piscina	53
Figura 5.1: Colectores Planos con Cubierta o Protegidos	72
Figura 5.2: Colector Plano de Baja Temperatura sin Cubierta	73
Figura 5.3: Colectores <i>Heat Pipe</i>	73
Figura 5.4: Colectores Concentradores de Calor de Alta Temperatura	74
Figura 5.5: Central Termoeléctrica Solar (España)	74
Figura 5.6: Curvas de Eficiencia, comparación entre distintos tipos de colectores	79
Figura 6.1: Descripción de longitud 'L' de techo de una vivienda	95
Figura 6.2: Accesorio de polietileno para distribución de agua sanitaria	98
Figura 6.3: Tejas y soportes para sujeción de colectores Solares	100
Figura 6.4: Colectores Solares en Muro de Edificio	100
Figura 6.5: Tipos de sujeción para cañerías de Gas, Agua y Desagotes.	102
Figura 6.6: Grampa tipo Fleje agujereado	102
Figura 6.7: Grampa de PVC a presión (izquierda) y con Clip (derecha)	103
Figura 6.8: Fleje de polipropileno con hebilla metálica de unión y autoajuste	103
Figura 7.1: Detalle de elemento de estudio (tubería) del colector solar	109
Figura 7.2: Esquema simplificado de la ubicación de las Resistencia Térmicas.....	111
Figura 7.3: Resistencia Térmica de Fluido, de la Tubería y la Global vs. 'h' para 1/2" ...	112
Figura 7.4: Resistencia Térmica de Fluido, de Tubería y Global vs. 'h' para 3/4"	112
Figura 7.5: Balance de Calor sobre un elemento del colector	116
Figura 7.6: Esquema de la geometría seleccionada como Modelo	121
Figura 7.7: Detalle del modelo geométrico y las denominaciones de sus contornos.....	121
Figura 7.8: Geometría Plana diseñada en Space Claim	122
Figura 7.9: Detalle de mallado en la Geometría.	123
Figura 7.10: Perfil de Temperaturas a la Entrada y Salida de Tubería de 1/2"	125
Figura 7.11: Valores de Flujo Másico y Tasa de flujo de Calor Total	126
Figura 7.12: Caída de Presión a lo largo de la Tubería de 1/2"	127

Figura 7.13: Perfil de Temperaturas a la Entrada y Salida de Tubería de 3/4"	129
Figura 7.14: Valores de Flujo Másico y Tasa de flujo de Calor Total para 3/4"	130
Figura 7.15: Caída de Presión a lo largo de la Tubería de 3/4"	130
Figura 7.16: Perfil de Temperaturas a la Entrada y Salida de Tubería de 1"	131
Figura 7.17: Valores de Flujo Másico y Tasa de flujo de Calor Total para 1"	131
Figura 7.18: Detalle de mallado de fluido y parad de tubería de 1/2"	135
Figura 7.19: Mallado Grosero para verificación de convergencia	138
Figura 7.20: Perfil de Temperatura a la Entrada y Salida.	140

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Grafica 1.1: Caudal Másico Parcial y Global por m ² de Piscina	60
Grafica 1.2 Pérdidas parciales y globales de calor por m ² de piscina	62
Grafica 1.3: Pérdidas Globales de Calor por m ² de Piscina (método alternativo)	63
Grafica 1.4: Curvas Características de bombas para distintas rpm.....	67
Grafica 1.5: Curvas Características de bomba y Pérdidas de Carga en circuito.....	67

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1: Propiedades de los Materiales	89
Cuadro 1.2: Matriz de decisión	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 7.1: Resultados arrojados por el Solver para tubería de 1/2" y distintas longitudes	89
Tabla 7.2: Resultados arrojados por el Solver para tubería de 1" y longitudes extremas	90

Resumen

Este proyecto se conceptualiza en el análisis, el cálculo y el diseño de un equipo intercambiador de calor utilizando la energía del Sol apuntado a la climatización del agua de piscinas de uso tanto en viviendas unifamiliares como en complejos turísticos vacacionales de zonas residenciales y en época de verano.

El salto térmico entre la temperatura del aire que percibe cada persona y la temperatura del agua de la piscina que cada uno considera como confortable, durante muchos meses al año, es bastante elevado en nuestra zona climática. La idea entonces es, con este equipo, que dicho salto sea menor, dándole una cierta calidez al agua de la piscina y haciendo posible su utilización en horas nocturnas, evitando gastos en energías convencionales.

Existen varios modelos de calentadores solares en el mercado, siendo todos ellos de alta eficiencia y precio. Este proyecto innovador se encuentra enfocado en obtener la mayor eficiencia apuntando a la utilización de materiales económicos, de bajo impacto ecológico y que puedan ser provistos por el mercado local. A su vez, se intentará minimizar el consumo de energía de la red necesaria para lograr la temperatura de confort, teniendo en cuenta los valores en franco crecimiento de las energías tradicionales que se comercializan, y que en sumo grado, cada vez serán más elevadas haciendo difícil su implementación.

La elección de la época de verano es a modo de trabajar en estación permanente donde la incidencia del Sol es mayor y el régimen de días nublados es menor a diferencia del resto del año. En cuanto a las zonas residenciales es por el mero hecho de tener mayor amplitud horaria de captación solar, dichas zonas la permiten puesto que no hay obstáculos como, por ejemplo, edificios. Como se ve la idea es analizar la posibilidad de bajar el consumo permaneciendo como usuario pero consumiendo menos y por consiguiente ahorrar dinero y beneficiar al planeta.

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

En estos últimos años, el tema *Energías* ha ido ganando importancia en la agenda global. Esto se debió a que la demanda de *energías convencionales* se ha incrementado, debido a diversas razones: el crecimiento poblacional, el alto consumo de combustibles fósiles y los desafíos que impone revertir el cambio climático, siendo el consumo de estas energías convencionales, en cualquiera de sus variantes (calor industrial, generación eléctrica, transporte, etc.), la principal causa de las emisiones de gases de efecto invernadero.

En Argentina, al igual que lo ocurrido en la mayoría de otros países durante los últimos 20 años, se han generado importantes cambios con respecto al consumo de este tipo de energías. Estos cambios se han visto reflejados mediante políticas ambientales como regulaciones tanto al consumidor como al proveedor que produce o explota este recurso energético. La penalización de las emisiones y el aumento a las importaciones de combustibles líquidos o de gas natural, son algunas de las tantas políticas con el fin de corregir y/o disminuir el consumo excesivo y la tasa de deterioro ambiental.

Para la reducción tanto del consumo de gas natural como así también de las emisiones de gases de la combustión que producen los combustibles convencionales, se debe atacar la problemática desde dos aspectos: la reducción del consumo per-cápita, utilizando fuentes de energía más limpias y la generación de calor a través de energías no convencionales. Por ello, se pretende diseñar un colector solar térmico de tipo plano mediante el uso de materiales de bajo impacto ambiental disponibles en el mercado local y que sirva de apoyo para disminuir el consumo de gas natural.

La utilización de este colector será destinado a proporcionar calidez al agua de piscinas descubiertas de viviendas unifamiliares de barrios residenciales y de complejos vacacionales en la ciudad de Mar del Plata y zonas aledañas en época de verano. Los colectores solares para calentar agua sanitaria y agua de piscinas que actualmente se comercializan, constituye una de las soluciones actuales dentro de los sistemas alternativos existentes para reemplazar las fuentes actuales de generación de calefacción a partir de la radiación solar.

Además, estas energías alternativas constituyen una solución económica muy rentable a corto y largo plazo debido a la baja inversión inicial y los bajos costos de mantenimiento. Los gastos de fabricación y tiempo de armado sugieren una opción confiable y al alcance del bolsillo de la mayoría de los consumidores de la ciudad de Mar del Plata. Dicha ciudad, al igual que ciudades vecinas, tiene una alta demanda de energía en verano, tanto de gas natural debido al uso en jacuzzis, piscinas, termotanques, cocinas y eventualmente algo de calefacción en hoteles y complejos turísticos, como así también de electricidad para heladeras, freezers y aires- acondicionados.

A pesar que el uso de estas energías debería mermar en época de veraneo por el solo hecho de prescindir de la calefacción de los ambientes, esto realmente no se cumple y la respuesta se debe a que hay un incremento de hasta un 300% en la población en ciudades costeras en dicha época, ya que las mismas son, en esencia, turísticas. Otro consumo importante, también en la misma época, es el agua de red debido a que ésta requiere para transportarla, bombas eléctricas, abastecidas por electricidad generada por turbinas que utilizan gas natural, como lo son las de la *Central Eléctrica 9 de Julio* de la ciudad marplatense [1].

1.2 Estado del Arte de la Energía Solar Térmica en Argentina y el Mundo

El consumo energético mundial aumenta sin cesar, impulsado tanto por el crecimiento socioeconómico de las naciones como por el aumento de la población mundial, que alcanzará los 9.100 millones en el año 2050. Las abundantes reservas mundiales de combustibles fósiles hacen suponer que este recurso seguirá siendo utilizado durante muchos años. No obstante existe un límite que impone la protección y cuidado del ambiente ante la amenaza del Calentamiento Global.

La *energía solar térmica* consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para la obtención de calor a un medio portador, generalmente agua o aire. Una de sus aplicaciones más extendidas a nivel mundial son los termotanques solares, que permiten calentar el agua de forma segura y eficiente, sin recurrir obligadamente al uso de gas ni electricidad.

Otra de las aplicaciones de la energía solar térmica consiste en la posibilidad de generar energía eléctrica por medio de la producción de vapor. Así, y con el objetivo de conocer la oferta de productos y servicios que esta tecnología (colectores) tiene en el país, el Centro de Energías Renovables realizó la segunda edición del Censo Nacional Solar Térmico y presenta los primeros resultados.

"En esta oportunidad, relevamos datos correspondientes al 2017, con un total de 225 empresas censadas (un 68% más que en 2015, año en el que se realizó el primer censo). Uno de los resultados que obtuvimos fue que se comercializaron 35.141 m² de equipos de colectores solares térmicos para agua caliente sanitaria (ACS) —además de 9.318 m² de colectores plásticos sin cubierta, habitualmente destinados a la climatización de piscinas", explicó Martín Sabre del Centro de Energías Renovables del INTI en un reportaje realizado por Infobae [2].

Respecto de las nuevas instalaciones, en el 2017 se relevaron 7018 (teniendo en cuenta que pueden ser de uno o más equipos solares térmicos). Este dato representa un incremento del 17,9 por ciento respecto del año 2015.

La energía solar térmica significa una alternativa ecológica en el consumo y producción de energía: solo con los nuevos equipos instalados en 2017 para ACS, se redujeron 5520

toneladas en emisiones de dióxido de carbono (CO₂), dato muy interesante ya que esta emisión es equivalente a la realizada por mil automóviles en un año. Por otra parte, la expansión de la energía solar térmica también representó un ahorro económico: específicamente con los equipos instalados en 2017, se generó un ahorro de combustible equivalente a más de cuatro millones de metros cúbicos de gas natural.

En cuanto a la distribución geográfica de los actores que componen el sector, el 79 por ciento de las provincias registró actividades en el rubro solar térmico. Se inscribieron agentes desde Córdoba (24,4%), Buenos Aires (23,6%), Ciudad de Buenos Aires (12%), Santa Fe (11,6%), San Juan (5,3%), Entre Ríos (4,9%), San Luis (3,6%), Mendoza (3,1%), Neuquén (2,2%), Chaco (1,3%), Chubut (1,3%), Catamarca (0,90%), Formosa (0,9%), Jujuy (0,9%), La Pampa (0,9%), Río Negro (0,9%), Salta (0,9%), Tucumán (0,9%), Misiones (0,4%).

A propósito de los nuevos actores, 45 empresas comenzaron su actividad en el sector de la energía solar térmica a partir de 2017, es decir un 20% del total de empresas censadas. La actividad que más creció fue la de instalación: se incrementó un 61% respecto de las empresas instaladoras censadas en el año 2015. Asimismo, la capacidad productiva censada permitiría triplicar la cantidad fabricada, lo que da cuenta del potencial de la industria local para responder ante una proyección de mayor demanda.

En cuanto a los datos de empleo, el sector cuenta con un total de 808 empleos directos censados. Respecto del tamaño de las empresas, cabe destacar que se observa una preponderancia de las microempresas —hasta 9 empleados— (86,2%), seguidas de pequeñas empresas —de 10 a 49 empleados— (10,2%), un porcentaje pequeño de empresas medianas —de 50 a 200 empleados— (3,1%) y apenas un 0,4% de empresas grandes —más de 200 empleados.

El Censo Nacional Solar Térmico es un trabajo encabezado por el Centro INTI-Energías Renovables, brazo tecnológico del Estado, orientado a contribuir a la diversificación de la Matriz Energética mediante el desarrollo de energías de fuentes renovables, con una oferta nacional de bienes y servicios integrados.

Actualmente se tiene un razonable conocimiento de la energía solar disponible en el Territorio Argentino y el mundo. Se conoce, además, la distribución geográfica aunque hay regiones del país que deberían ser estudiadas con mayor detalle, por lo que se requiere continuar la medición del recurso mejorando la cobertura espacial y la instrumentación utilizada [2].

De todas maneras, se considera que las *Cartas Solares* existentes en la actualidad responden adecuadamente a los datos disponibles en Argentina. El *GERSOLAR* (Grupo de Estudios de la Radiación Solar), perteneciente a la Universidad Nacional de Lujan ha publicado un "*Atlas de Energía solar en la República Argentina*" con el objetivo de distribuirlo gratuitamente en organismos públicos, profesorados, universidades y bibliotecas.

Este Atlas es producto del trabajo exhaustivo y esfuerzo que el país ha realizado por conocer su recurso energético en el área solar. Se encuentra disponible una versión digital que incluye notas sobre el instrumental de medición y las cartas de irradiación solar y heliofanía ya presentadas, además de los datos utilizados para el trazado de las mismas [3]. En los mapas siguientes, se presenta la distribución espacial del promedio de la irradiación solar global diaria correspondiente a los meses de enero y febrero.

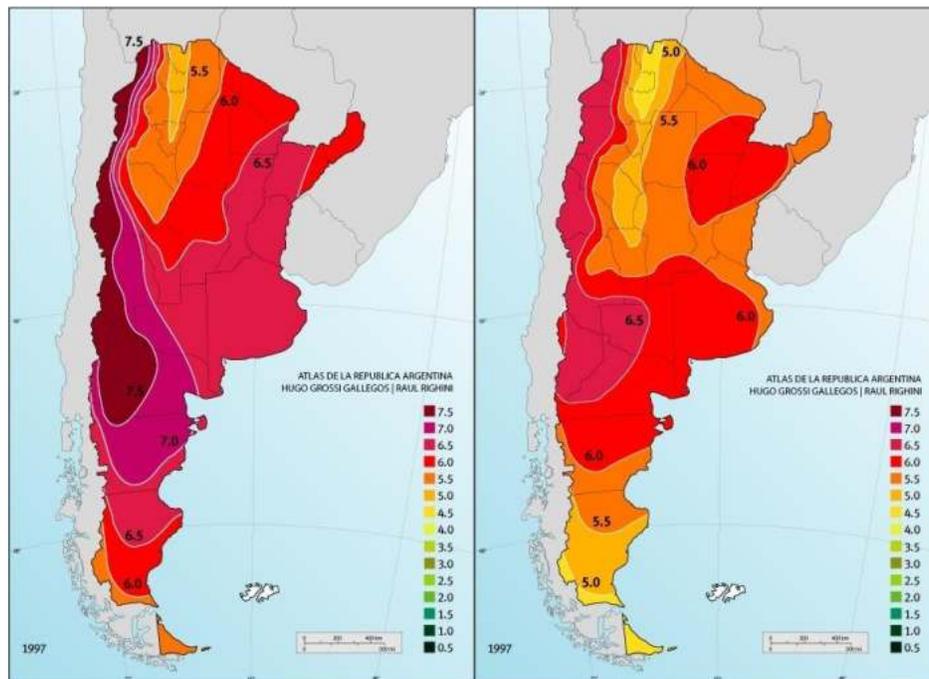


Figura 1.1: Irradiación Global Diaria en Enero y Febrero

Los valores que se muestran en la figura 1.1 están expresados en kWh/m^2 y se puede apreciar la gran variabilidad, en forma general, de un mes al siguiente en distintas ubicaciones del país, es decir, cambios importantes en tiempo y espacio.

En un breve análisis se puede ver que la zona Noroeste, además de alcanzar los valores más altos de irradiación, no parece ser tan susceptible frente a las variables de tiempo y espacio mencionadas como lo es el centro y sur de la Argentina. Es por ello que las zonas de Salta, Jujuy y La Rioja, hacen atractivo el uso de las energías alternativas para, por ejemplo, generación eléctrica mediante plantas solares termoeléctricas.

La obtención de estas cartas para fines de investigación sobre aprovechamiento y utilización de este recurso renovable, no es el único objetivo [4]. Medir la energía proveniente del Sol se considera necesario, además, para:

a) Estudiar el impacto que los cambios en los niveles de radiación, debido a las variaciones periódicas o anómalas, tienen sobre las condiciones climáticas (las variaciones en la nubosidad, en la cantidad de partículas en suspensión en la atmósfera y en el agua que se puede precipitar, se verían inmediatamente reflejadas en la radiación

medida).

- b) Determinar la influencia que la radiación solar a nivel de superficie tiene en el rendimiento de las cosechas.
- c) Evaluar la evapotranspiración potencial del suelo y determinar así su estado hídrico (agua disponible y necesidad de riego).
- d) Planificar el secado de productos vegetales con mayor eficiencia.

A nivel mundial, a finales de 2010 la capacidad de los sistemas instalados de la EST (energía solar térmica) era de aproximadamente 195GWth (Gigawatt térmico) ocupando una superficie total instalada de $279 \cdot 10^6$ m², frente a los 282GWe (Gigawatt eléctrico) de viento, 10,7GWe de energía geotérmica y 40 GWe de energía solar fotovoltaica. Hoy en día la mayoría de las instalaciones de EST proporcionan energía a los hogares para calentar el agua para distintos fines. Sin embargo, la capacidad actual de los sistemas instalados representa sólo el 0,4 por ciento de la demanda global de agua caliente en el sector residencial.

En cuanto al sector industrial, el uso de la EST representa menos de 100MWh de la capacidad mundial, lo que significa que el potencial de crecimiento para la EST es importante en los dos sectores. El potencial de crecimiento para la EST parece aún más considerable si se toma en cuenta el intento por incrementar la sustentabilidad y el uso de energía renovable de la matriz energética, tanto a nivel global como en cada país. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA por sus siglas en inglés) [5].

Otras ventajas, además de la rentabilidad, es que se trata de una fuente de electricidad que no emite gases de efecto invernadero y se adapta perfectamente a diversas zonas del mundo con fuerte irradiación solar como el sur de Europa, norte de África y Oriente Medio, África del Sur, India, China, Sur de EE UU y Australia.

A partir del 2005 y por un periodo de 10 años, la energía solar termoeléctrica se ha expandido rápidamente convirtiéndose una de las soluciones más fiables de generación de energía. El volumen anual del mercado de generación solar termoeléctrica fue de alrededor de 3.000 millones de dólares en 2015. Y mientras en 2006 la capacidad instalada era de solo 0,5 GWh a fines del 2015 fue de casi 5 GWh (figura 1.2) [6].

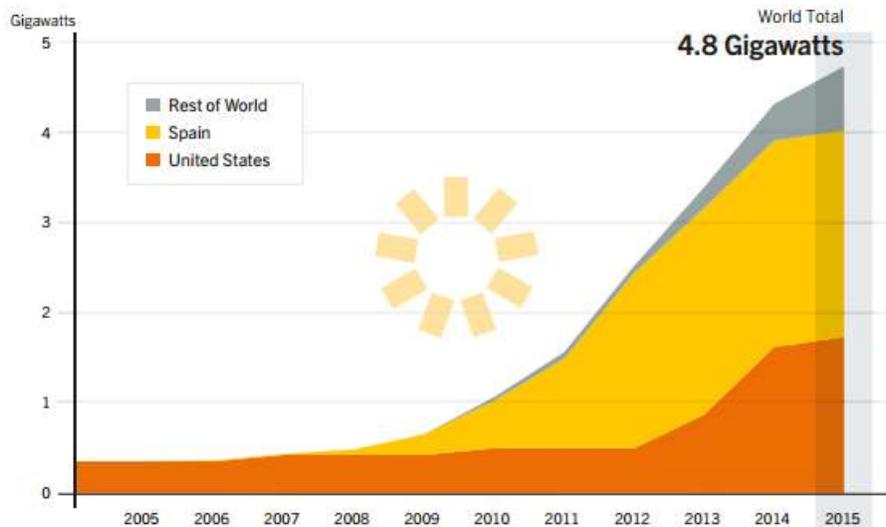


Figura 1.2: Capacidad Global de energía térmica solar [2005-2015]

El potencial de esta tecnología se puede ver reflejado en el proyecto marroquí, **Noor 1**, inaugurado a principios de 2016 en Marruecos. Este proyecto de 160 MW ha impulsado la economía local y reducirá las emisiones de Marruecos en 240.000 toneladas de CO₂ anuales, según estimaciones del Ministerio de Energía marroquí. Pero **Noor 1** no es más que la primera fase del proyecto termoeléctrico **Noor**. Hay planes para otras dos fases que ya están en desarrollo. Una vez completado, **Noor** será la mayor planta de producción de energía solar en el mundo con 580 MW.

El potencial de la energía solar termoeléctrica para satisfacer la demanda mundial de electricidad es enorme. El análisis realizado en el informe de 2016 de **Greenpeace Internacional**, **SolarPaces** y **Estela** muestra que esta tecnología podría abastecer hasta el 12% de las necesidades energéticas proyectadas en el mundo en 2050 [6].

En cuanto a paneles solares térmicos para uso domiciliario la demanda se ha incrementado debido al incremento de la población, pero además al incremento de los costos para el consumidor de las energías convencionales. Las políticas ambientales son un argumento suficiente para no dudar en la elección de las energías no convencionales, pero mientras los ingresos del consumidor no eran parte de la preocupación diaria del mismo, no hubo cambios de pensamiento hasta la actualidad, por lo menos en Argentina.

Aproximadamente el 60% de la Argentina tiene gas de red y un 40% tiene garrafa desde 2016. En líneas generales, las personas que no poseen gas de red son las de menor poder adquisitivo. Hoy en día hay 4 provincias sin acceso a este servicio. En muchos casos, se debe a que en las viviendas precarias no se es posible la instalación por cuestiones de seguridad o no tienen el poder adquisitivo suficiente para pagar la instalación interna con las condiciones de seguridad adecuadas que corresponde al propietario”, señaló a este medio Raúl Bertero, presidente del Centro de Estudios de la Actividad Regulatoria Energética (CEARE).

El doctor en Física y docente de la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM), Salvador Gil, coincidió en la importante cobertura de gas natural en el país. Además, agregó que “las redes de gas implican una gran inversión, que se recupera cuando existen poblaciones compactas, como en las ciudades, pero no si existen poblaciones muy dispersas”.

Al respecto, Gil sostuvo que no siempre el uso del gas natural es la mejor opción, ya que de acuerdo a las características del lugar o la población pueden ser más eficientes otras alternativas, como las energías renovables o la electricidad. “No se puede aspirar a la cobertura de toda la población en lo que hace a gas natural, es algo que no sucede en casi ningún país del mundo”, concluyó [7].

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un equipo intercambiador de calor solar enfocado a cubrir los requerimientos térmicos de una piscina tipo familiar a partir de materiales económicos disponibles en el mercado local en la ciudad de Mar del Plata y costa atlántica en época de verano.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar una investigación de energía solar térmica y colectores solares térmicos.
- Determinar los niveles de radiación solar a nivel del mar con cielo despejado que se registran en la zona de Mar del Plata en la estación de verano.
- Realizar una investigación sobre tipos de piscinas caracterizando a las mismas y a cada uno de sus elementos constituyentes.
- Diseñar el sistema de aclimatado de piscinas utilizando materiales económicos existentes en el mercado, sencillo de armar y de fácil mantenimiento.
- Determinar mediante simulación computacional el dimensionamiento del colector solar propuesto a partir de los requerimientos térmicos de una piscina típica.
- Realizar de manera simplificada una contabilidad de costos, de armar el colector propuesto, y compararlo con los de un colector solar existente en el mercado local.

1.4 Metodología

Debido a que los procesos térmicos encierran dificultad en su resolución, para realizar el diseño del colector solar propuesto, para los requerimientos térmicos de la piscina fue necesario la utilización de un software de modelado computacional (AnsysFluent).

Previamente se investigó en fuentes de internet y mediante un informe de la O.M.M. (1982), Organización Meteorológica Mundial (Informe Digital: “Capítulo 2_Energía solar como recurso”) se determinó la potencia suministrada por Sol a la altura geográfica Marplatense con el objetivo de definir las condiciones de contorno del problema en cuestión.

Como punto de partida, se propuso un diseño típico armado con materiales de bajo costo y disponibles en el mercado local (cañerías de HDPE y sus accesorios). Para simplificar el problema se optó por acotarlo a un único elemento que lo constituye, con lo cual se probaron distintos diámetros normalizados de dicho elemento con el fin de optimizar su funcionamiento y extrapolar los resultados a la totalidad del área colector.

Luego de determinar el diseño óptimo del colector, se especificaron las dimensiones generales del mismo, en conjunto con los diámetros de cañerías a utilizar, uso de accesorios y selladores y pasos en el armado.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

[1] Censo Turístico

https://es.wikipedia.org/wiki/Mar_del_Plata

Fecha de consulta: diciembre del 2018

[2] "Expansión de la energía solar térmica en argentina"

<https://www.infobae.com/tendencias/innovacion/2019/01/19/la-energia-solar-termica-se-expande-en-la-argentina/>

Fecha de consulta: enero del 2019

[3] Atlas de Energía solar en la República Argentina

https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Distribucion-espacial-del-promedio-de-la-irradiacion-solar-global-diaria-kWh-m_fig3_317478062

Fecha de consulta: enero del 2019

[4] *GERSOLAR*

<http://www.gersolar.unlu.edu.ar/?q=node/8>

Fecha de consulta: enero del 2019

[5] Crecimiento Mundial del uso de Energía Solar Térmica

<https://www.iea.org/fuels-and-technologies/solar>

Fecha de consulta: febrero del 2019

[6] "Las 10 plantas termosolares más grandes del mundo"

<https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-plantas-termsolares-mas-grandes-del-mundo-eeuu-y-espana-se-reparten-el-90-del-pastel/>

Fecha de consulta: febrero del 2019

[7] "El 60% de la Argentina tiene Gas de red y el 40% gas envasado"

<https://chequeado.com/ultimas-noticias/pena-aproximadamente-el-60-de-la-argentina-tiene-gas-de-red-y-un-40-tiene-garrafa/>

Fecha de consulta: febrero del 2019

Capítulo 2

ENERGIA SOLAR COMO RECURSO

En este capítulo se analizará la fuente de energía propuesta para nuestro proyecto, el Sol. Se estudiará este recurso desde su origen, transmisión y potencial energético con la que llega a la superficie terrestre. Se verá además la influencia de los distintos constituyentes presentes en la atmosfera de la Tierra y el medio extraterrestre en el concepto de Irradiancia que se introducirá más adelante. El resultado de este análisis será tener en conocimiento la capacidad energética de este recurso a nivel del mar y posteriormente utilizado como condición de contorno en la etapa de simulación.

2.1. Capacidad Energética de Radiación Solar

2.1.1. Breve Introducción

En los comienzos de la humanidad el Sol ha sido unos de los principales factores de la formación de las primeras formas de vida en la Tierra, podría decirse que fortuitamente se dieron las mejores condiciones climáticas para que esto suceda en este planeta y no en el resto de nuestro sistema solar, aunque hoy en día se sigue investigando si somos los únicos.

En la prehistoria el hombre al igual que los animales seguían al Sol desplazándose sobre la faz terrestre debido al calor confortable que éste les generaba y además la luz que les proporcionaba, comportamiento conocido que se le atribuye a las especies nómades. Fue gracias a la evolución que los distintos tipos de vegetación, especie animal y humana fueran cambiando tanto en fisonomía, colores y demás características como el aprendizaje y la inteligencia.

Si pensamos también algunos beneficios, entre tantos otros en nuestra vida, sobre esta fuente de energía inagotable, podría decirse que nos aporta un ahorro de generación de calor en nuestro organismo para mantener la temperatura corporal y la del medio ambiente que nos rodea, nos proporciona la vitamina D, responsable de la salud de nuestros huesos se estima que el 50% de la población, en general, está en riesgo de deficiencia e insuficiencia de vitamina D. La deficiencia de vitamina D se asocia con el trastorno afectivo estacional y también con la depresión crónica.

Un estudio llevado a cabo en la Universidad de Humboldt, también confirmó estos resultados. En este caso el experimento era de lo más sencillo. El investigador se posicionaba en un sitio normal de paso, tanto los días de Sol como los días nublados. Lo que hacía era simplemente sonreír a las personas que pasaban por allí. Después de un tiempo, se dieron cuenta de que la gente estaba más dispuesta a devolver la sonrisa los días de Sol que los días nublados [1].

2.1.2 Generación de Energía Solar

Ahora bien, se sabe que el Sol es la estrella y se encuentra a 8 minutos luz de distancia de la Tierra. Con una edad estimada de 4500 millones de años, su energía generada comienza en el centro de ella, y es el resultado de millones de reacciones nucleares que se llevan a cabo segundo a segundo. La relación estequiométrica simplificada de dicha reacción es de por cada 4 núcleos de hidrogeno al fusionarse, se produce un átomo de helio y una enorme liberación de energía en forma de luz y calor. Uno de los mecanismos sugerido para la producción de helio a partir de hidrógeno es el llamado “ciclo del carbón” (ya que el carbón actúa como catalizador), propuesto independientemente por *Hans Bethe* y por *Carl Von Weizsäcker* [2]. El efecto neto es el siguiente:



en donde 'e⁻' simboliza un electrón y 'ν' indica la emisión de un neutrino.

Para tener una noción de estas cantidades involucradas, por cada kilogramo de hidrogeno, solo 7×10^{-3} kg produce energía, por lo tanto, para generar la luminosidad observada (4×10^{26} watts) el Sol consume alrededor de 5000 millones de kg de hidrogeno por segundo.

2.2. Transmisión y Recepción de la Energía

2.2.1. Fenómeno Electromagnético e Irradiancia

Para conocer cómo se transmite en el espacio esta energía hasta que llega a la atmosfera y alcanza la superficie terrestre, debemos hablar del fenómeno físico que lo produce, como éste interactúa frente a los cuerpos y como ellos responden. Entonces, se define a la radiación como un mecanismo de transmisión de calor o energía electromagnética, generada por la fuente de emisión o cuerpo emisor, en este caso el Sol.

La Irradiancia es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética. En el sistema internacional se mide en W/m^2 . También en electromagnetismo se define a la Irradiancia como el promedio de la intensidad energética de una onda electromagnética en un punto dado y se calcula como el valor promedio del vector de Poynting.

Se denomina vector de Poynting al vector cuyo módulo representa la intensidad instantánea de energía electromagnética que fluye a través de una unidad de área perpendicular a la dirección de propagación de la onda electromagnética, y cuyo sentido es el de propagación. Recibe su nombre del físico inglés *John Henry Poynting* y se expresa mediante el símbolo **S** [3]. El vector de Poynting puede definirse como el producto vectorial del campo eléctrico y el campo magnético, cuyo módulo es la intensidad de la onda y se expresa en la ecuación (2.1):

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} = \frac{1}{\mu} \vec{E} \times \vec{B} \quad (2.1)$$

El promedio del vector de Poynting sobre un período muy superior al periodo de la onda es llamado Irradiancia, expresada por la (2.2):

$$I = \langle \vec{S} \rangle_T \quad (2.2)$$

Una configuración dada de cargas eléctricas en el espacio determina un campo eléctrico; se lo puede conocer midiendo la fuerza que actúa sobre la unidad de carga positiva.

Por otra parte, un campo magnético es generado por cargas eléctricas en movimiento (corriente eléctrica), tanto a nivel macroscópico como microscópico.

Cuando una partícula cargada ' q ' se mueve con una velocidad ' v ' en una región donde hay un campo eléctrico \mathbf{E} y uno magnético \mathbf{B} (las letras en "negrita" indican magnitudes vectoriales), la fuerza total que se ejerce sobre ella es la suma de la fuerza eléctrica y la fuerza magnética, esto es, la fuerza de Lorentz (2.3):

$$\mathbf{F} = q (\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (2.3)$$

Aunque una carga en reposo produce únicamente un campo eléctrico estático, una carga en movimiento produce tanto un campo eléctrico como uno magnético. Los campos eléctrico y magnético son entonces simplemente dos aspectos de una propiedad fundamental de la materia, siendo más apropiado emplear el término campo electromagnético para describir la situación física que involucra cargas en movimiento.

Como se sabe, este hecho se resume en la llamada ley de Ampere-Maxwell que expresa: *"Un campo eléctrico dependiente del tiempo implica la existencia de un campo magnético en el mismo lugar. Las cargas estacionarias o las que se mueven con velocidad constante no producen campos ondulatorios dependientes del tiempo. Es así que, para generar un campo ondulatorio, las cargas deben acelerarse y se convierten en fuente de ondas electromagnéticas"* [4].

Un aspecto fundamental de las ecuaciones de Maxwell para el campo electromagnético es la existencia de ondas progresivas transversales transportadoras de energía de un punto a otro). A esta propagación de la denomina radiación electromagnética como ya se definió anteriormente y como todo fenómeno ondulatorio, está caracterizada por la longitud de onda y por la frecuencia. En la figura 2.1 se muestra lo expresado por la *ley de Ampere-Maxwell*:

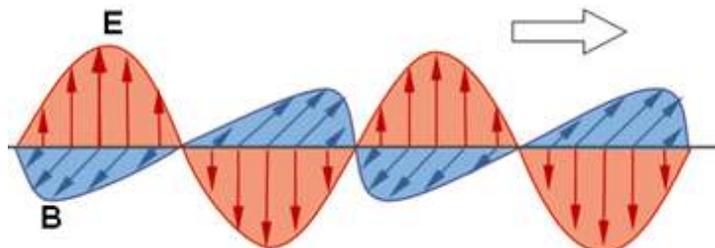


Figura 2.1: Onda electromagnética

Se define a la longitud de onda ' λ ' como la distancia entre dos planos consecutivos del tren de ondas que se encuentran en el mismo estado de perturbación. Por otra parte, el período ' T ' se define como la inversa de la frecuencia, esto es, el tiempo que requiere la onda para recorrer la distancia de una longitud de onda. Las relaciones básicas que vinculan estas magnitudes son:

$$\lambda = c/f \quad T = 1/f = \lambda/c$$

Donde ' T ' es el período y se mide en segundos (s)

Como dato interesante, en el rango de frecuencias a las cuales es sensible el ojo humano, una diferencia de frecuencia se percibe como diferencia de color. Las unidades más utilizadas para medir la longitud de onda son:

$$\begin{aligned} 1 \mu\text{m (micrón)} &= 10^{-6} \text{ m} \\ 1 \text{ nm (nanómetro)} &= 10^{-9} \text{ m} \\ 1 \text{ \AA (Armstrong)} &= 10^{-10} \text{ m} \end{aligned}$$

Todas las ondas electromagnéticas se propagan en el vacío con la misma velocidad, pero cuando atraviesan un medio material su velocidad cambia y puede depender de la frecuencia. Si esto último ocurre el fenómeno es denominado dispersión; por ejemplo, al atravesar un prisma de vidrio, la luz azul tiene menor velocidad que la roja y se desvía más.

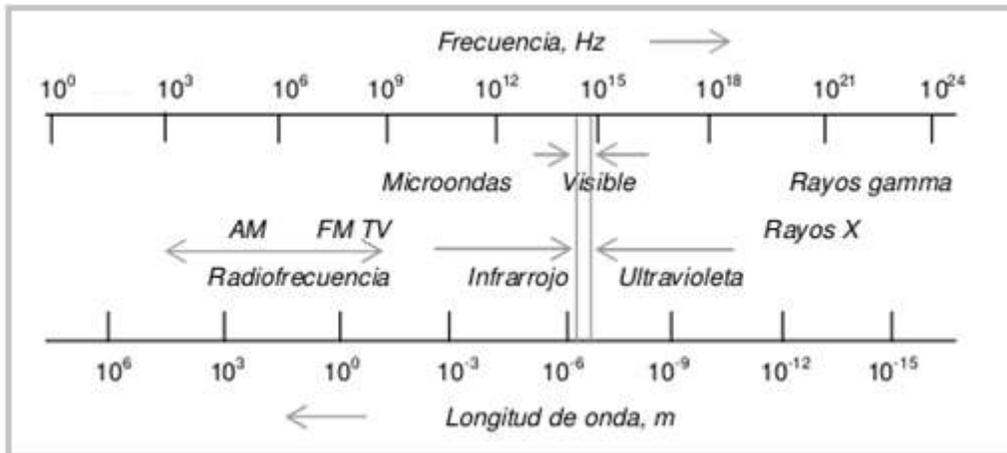


Figura 2.2: Rango de frecuencias de la luz solar

La figura 2.2 muestra el amplio rango de frecuencias electromagnéticas. Para facilitar el estudio se lo divide en zonas o regiones (rayos gamma, rayos X, ultravioleta o UV, visible, infrarrojo o IR, ondas cortas de radio, ondas largas de radio, etc.) y en subregiones. Por ejemplo, la zona del infrarrojo abarca las longitudes de onda que se extienden entre 10^{-3} m y 7.8×10^{-7} m; esta región a su vez se puede dividir en tres: el infrarrojo lejano, de 10^{-3} m a 3×10^{-5} m, el infrarrojo medio, de 3×10^{-5} m a 3×10^{-6} m, y el infrarrojo cercano, de 3×10^{-6} m hasta alrededor de 7.8×10^{-7} m. Dentro de la zona del ultravioleta se suele diferenciar

la región UV-A (0.32 a 0.40 μm), la UV-B (0.28 a 0.32 μm) y la UV-C (0.20 a 0.28 μm) [5]. Experimentalmente se ha comprobado que cuando se aumenta la temperatura de un cuerpo incandescente, se observa que aumenta la cantidad de energía que irradia y que varía además su matiz desde el rojo hacia el blanco.

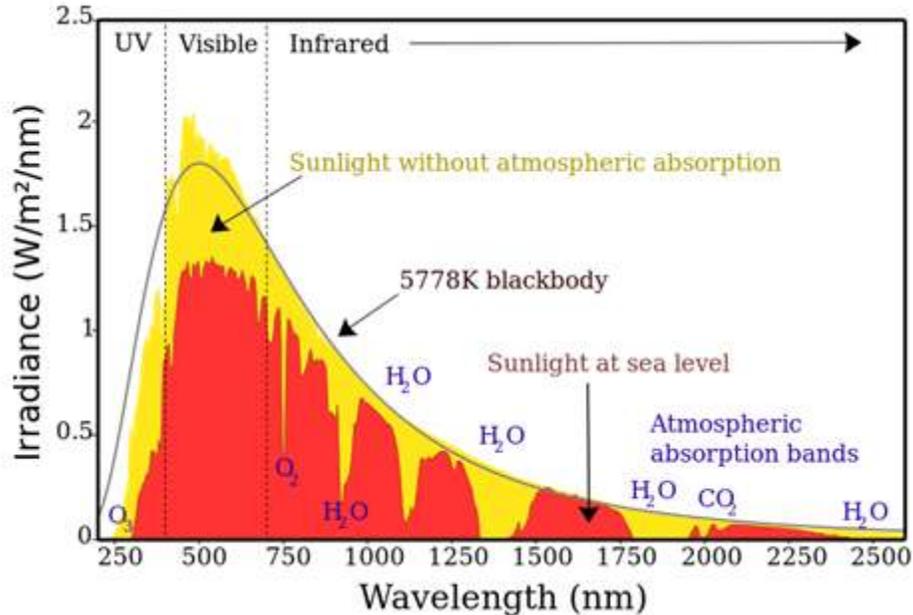


Figura 2.3: Espectro de Irradiación Solar medida sobre la Atmosfera Terrestre

Como se observa en la figura 2.3, el espectro de radiación solar muestra un perfil que corresponde a la temperatura de un cuerpo negro. En abscisas se representan las longitudes de onda ' λ ' (en este caso, medidas en nanómetros) y en ordenadas se representa la densidad de flujo radiante que, por unidad de intervalo de longitud de onda, es emitida como radiación en una dada longitud de onda [5]. A esta magnitud se la denomina Irradiancia Espectral del cuerpo negro y está expresada [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{nm}$.]

Para poder explicar las experiencias sobre el fenómeno energético de las ondas de radiación, el físico alemán Max Planck introdujo el concepto de cuanto (la radiación consistiría en un flujo de corpúsculos o cuantos), cada uno de ellos con una energía $E=h \cdot f$ donde h es la constante de Planck con un valor de 6.626×10^{-34} [$\text{J} \cdot \text{s}$]. Este concepto es muy útil para explicar la interacción de la radiación con la materia, mientras que la imagen ondulatoria se utiliza para explicar fenómenos tales como la reflexión, refracción, transmisión e interferencia; de allí que se hace mención al concepto conocido como el de la dualidad onda-partícula de la radiación electromagnética [5].

Otra expresión comúnmente llamada "*ley de Wien*" (o del desplazamiento de los máximos) relaciona en forma numérica la temperatura del cuerpo negro con la longitud de onda a la que ocurre la máxima emisión; la temperatura absoluta del cuerpo negro resulta ser inversamente proporcional a dicha longitud de onda λ_{max} de su espectro continuo (2.4).

$$T = 2897,79 / \lambda_{\max} \quad (2.4)$$

En donde la constante numérica tiene dimensiones de longitud de onda por temperatura ($\mu\text{m}\cdot\text{K}$). La *ley de Stefan-Boltzmann* (2.5) relaciona numéricamente la temperatura del cuerpo negro con la energía total emitida bajo todas las longitudes de onda; resulta así proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta:

$$e_b = \int_0^{\infty} e_{b\lambda} d\lambda = \sigma T^4 \quad (2.5)$$

En donde $\sigma = 5.67032 \times 10^{-8} [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4]$ se conoce como la constante de Stefan-Boltzmann.

Debido a esta dependencia en la cuarta potencia de la temperatura, la emisión de radiación por los cuerpos terrestres cambia considerablemente durante el día o a través de las estaciones. Por ejemplo, a 30°C la radiación emitida por unidad de superficie es 52% mayor que la emitida a 0°C , a pesar de que el incremento en la temperatura absoluta fue sólo del 11% algo a tener en cuenta cuando las temperaturas son considerables en este mecanismo de transmisión de calor [6].

Existe una ley que relaciona la temperatura del cuerpo emisor con la cantidad de energía radiante que éste emite. Esta se refiere a un cuerpo ideal al que se denomina cuerpo negro, capaz de absorber toda la radiación que recibe y emitir la máxima posible a una dada temperatura. En la naturaleza existen cuerpos "grises" que cumplen parcialmente estas propiedades, aunque para algunas longitudes de onda pueden realmente comportarse como negros.

Los cuerpos reales no se comportan como el cuerpo negro ideal, por lo que se define la emisividad ' ϵ ' como el cociente entre la energía total emitida por el cuerpo y la que emitiría un cuerpo negro ideal a la misma temperatura (de la misma manera se puede definir la emisividad espectral aplicando esta definición a cada frecuencia del espectro electromagnético). Cuando la energía emitida por un cuerpo sólo depende de su temperatura absoluta se denomina radiación térmica. Corresponde a la radiación electromagnética comprendida entre $0.2 \mu\text{m}$ (ultravioleta) y $100 \mu\text{m}$ (infrarrojo), conteniendo al visible (0.38 a $0.76 \mu\text{m}$).

Además, en general, cuando incide radiación electromagnética sobre la superficie de un medio, una parte de ella se refleja, otra es absorbida y el resto se transmite. Si la radiación incidente en una dada longitud de onda está caracterizada por una intensidad I , la reflejada por una intensidad $I\rho$, la absorbida por $I\alpha$ y la transmitida por $I\tau$, como se conserva la energía, se obtiene la (2.6).

$$I^i = I\rho + I\alpha + I\tau \quad (2.6)$$

Este concepto nos servirá para analizar que sucede en nuestra atmosfera cuando la radiación la atraviesa con su energía. Además, como consecuencia de la (2.6) surge la (2.7).

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (2.7)$$

Los coeficientes de la (2.7) son valores comprendidos entre cero y la unidad.

2.2.2 Energía Recibida en la Tierra

2.2.2.1. Energía Solar Extraterrestre

La energía emitida por el Sol se propaga radialmente mediante el mecanismo de propagación electromagnético ya explicado, y lo hace desde su superficie con una Irradiancia media de $I=60 \text{ MW/m}^2$. La cantidad recibida por la atmosfera de la Tierra depende de la distancia de ella al Sol y puede calcularse fácilmente suponiendo que la potencia total emitida (4×10^{26} Watts) se distribuye en un área esférica de radio igual a la distancia entre el Sol-Tierra.

Si se observara a nuestro sistema solar desde el espacio exterior, se vería que las “trayectorias de los planetas alrededor del Sol, son elípticas teniendo al Sol en uno de los focos” como se enuncia en la 1° Ley de Kepler [2]. Por ello hay que tener en cuenta que hay dos distancias extremas, una es en el afelio, la mayor distancia de la Tierra-Sol con $152,1 \times 10^6 \text{ km}$ que, calculando el área de la esfera con radio igual a dicha distancia, da como resultado $2,9075 \times 10^{23} \text{ m}^2$ y una Irradiancia mínima de $I = 1375,75 \text{ W/m}^2$. Y en el perihelio, la mayor proximidad Tierra-Sol con $147,1 \times 10^6 \text{ km}$ dando un área de esfera de $2,7191 \times 10^{23} \text{ m}^2$ y una Irradiancia máxima de $I=1471,04 \text{ W/m}^2$. Representando estos valores como un valor medio que surge de la semisuma de los valores calculados y un error que surge de la semidiferencia, se obtiene que la Irradiancia aproximada justo antes de entrar a nuestra atmósfera, o Irradiancia extraterrestre, es: $I = 1423 \pm 48 \text{ W/m}^2$.

Comparando con valores experimentales mediante mediciones efectuadas por satélites dando valores de Irradiancia $I = (1367 \pm 7) \text{ W/m}^2$ la cual se la denomina constante solar (antes de entrar a la atmosfera terrestre) y se la define como la energía proveniente del Sol que, por unidad de tiempo, es recibida en la unidad de área por una superficie perpendicular a la radiación ubicada en el espacio a la distancia media Sol-Tierra [7]. El error en el valor consignado, se debe a las variaciones, como muestra en la figura 2.4, de la actividad solar [8] desde 1978 por un periodo mayor a dos años. Además, estas mediciones han puesto en evidencia un aumento del 0.1%.

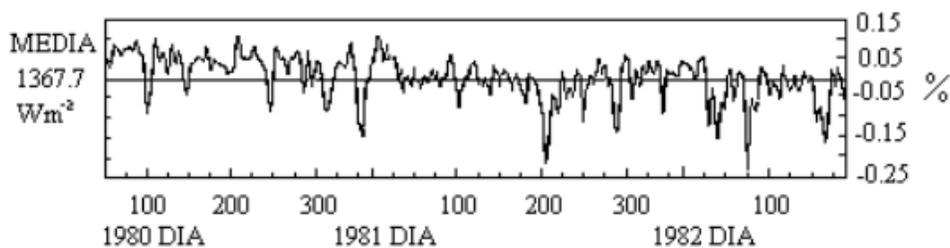


Figura 2.4: Medición de la Irradiancia y sus variaciones

Vale la pena aclarar que, como no existen registros directos de la actividad solar de larga data, como en el caso de las manchas solares controladas desde 1843 por programas observacionales bien definidos, se ha recurrido a otros indicadores indirectos como el crecimiento de los anillos de los árboles o al estudio de los radionucleidos producidos por la interacción de los rayos cósmicos con la atmósfera, como Berilio 10 o Carbono 14 [9].

Uno de los hechos más destacables de la actividad solar fue la tendencia a su incremento desde 1700 hasta nuestros días. Esta tendencia se interrumpió por períodos muy cortos alrededor de 1900, 1800 y 1700, siendo este último conocido como el mínimo de Maunder (ocurrido entre 1645 y 1715).

Se puede concluir, en base a los valores de Irradiancia calculados, los experimentales y la diferencia entre ellos y tomando una postura conservadora, que el valor experimental es el más cercano al real. Más allá de que estos valores obtenidos fueron logrados en décadas atrás, se podría extrapolar a la actualidad con seguridad, puesto que la radiación se ha ido incrementando. Entonces utilizaremos el valor $I=1367 \text{ W/m}^2$ (Constante Solar Extraterrestre) como dato para posteriores cálculos.

2.2.2.2. Atmosfera Terrestre y Radiación

Anteriormente en este trabajo se mencionó al fenómeno de radiación y su interacción con la materia, entonces teniendo en cuenta este concepto y las características del medio ambiente de la Tierra que son fuertemente dependientes de éste fenómeno, veremos que la capa muy fina de gases que protege a la Tierra (la atmósfera) es muy sensible a dicha radiación, y un mejor conocimiento de las características de la energía que ella recibe y de los procesos que sigue al atravesarla, significará mejoras en el pronóstico del tiempo, en la química de la alta atmósfera y en nuestro objeto de éste estudio, la evaluación del recurso solar a nivel del suelo y en la planificación de su aprovechamiento con los fines deseados.

La atmósfera terrestre actúa como una gran cúpula protectora que evita durante el día que incida sobre el suelo determinado rango de la radiación solar que perjudicaría a los seres vivos y, durante la noche, la pérdida excesiva de calor. La composición química “casi constante” del aire limpio y seco (expresada en porcentaje en volumen) en las cercanías del suelo es la siguiente [10].

N₂: 78.084 % (nitrógeno)
O₂: 20.984 % (oxígeno)
Ar: 0.934 % (argón)

También se encuentran vestigios de neón (Ne), helio (He), kriptón (Kr) y xenón (Xe).

La estructura de la atmósfera es compleja, la densidad del aire disminuye con la altura, diluyéndose gradualmente en el espacio hasta hacerse prácticamente nula a grandes alturas (superiores a los 1 000 kilómetros). Las variaciones de la temperatura con la altura

están determinadas principalmente por el intercambio de calor con la superficie terrestre, pero también por las propiedades radiactivas de distintas capas y por la interacción fotoquímica con la radiación solar [11].

La tropósfera es la capa de la atmósfera que se encuentra inmediatamente por encima del suelo y que a nivel del mar tiene una temperatura media de 15°C, la que disminuye a razón de 6.5°C por kilómetro. A los 12 kilómetros de altura promedio (17 km en el ecuador y 7 km en los polos) la temperatura alcanza un mínimo de aproximadamente -60°C, lo que determina un nivel al que se denomina tropopausa. Por encima de ésta se ubica la estratósfera; allí la temperatura, entre los 20 y los 50 kilómetros, crece de -60°C a 10°C, determinando ese valor máximo la ubicación de la estratopausa. Por encima de ella se encuentra la mesósfera en la que la temperatura vuelve a decrecer hasta los 90 kilómetros de altura, presentando un nuevo mínimo de -90°C, denominándose a la región como mesopausa.

Arriba de los 90 kilómetros y casi hasta los 300 kilómetros, se extiende la termósfera. Allí la temperatura aumenta regularmente en razón de la absorción de radiación del tipo 'X' y ultravioleta en reacciones de ionización y disociación molecular (la variación de temperatura con la altura es diferente en la noche que en el día). El límite superior de esta capa se denomina termopausa, por encima de la cual se extiende la exósfera en la que la temperatura no cambia con la altura, pero tiene una marcada variación con el día y la noche debido a la baja inercia, dependiendo fuertemente de la actividad solar.

Cabe destacar que por encima de los 100 kilómetros no se produce más la mezcla de los gases pues desaparece por la baja densidad el fenómeno de turbulencia que la favorece. La densidad de cada constituyente decrece con la altitud y rápidamente no hay más que hidrógeno y helio. En la región que se extiende entre los 80 y los 600 kilómetros aproximadamente se ubica la heterósfera, capa en la que ocurre la ionización de moléculas por las componentes UV lejana y X de la radiación solar. La figura 2.5 muestra lo explicado anteriormente.

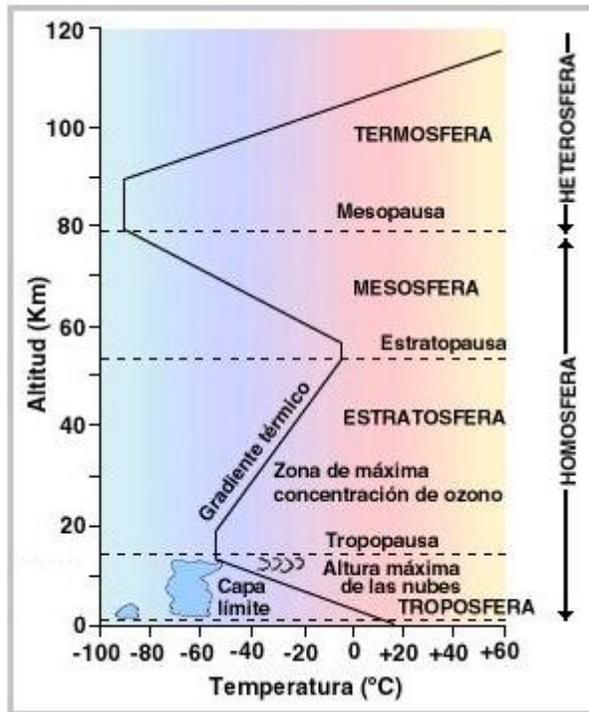


Figura 2.5: Gradiente medio de temperatura atmosférica

Luego de detallar la composición de la atmósfera se verá como estos constituyentes influyen en la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra y se ve atenuada en su intensidad por diversos procesos que se producen a lo largo de su recorrido a través de la atmósfera. Estos procesos son:

- a) absorción selectiva por los gases y por el vapor de agua;
- b) dispersión molecular (o de Rayleigh) por los mismos componentes
- c) dispersión por aerosoles (o de Mie) y absorción por los mismos.

Los procesos mencionados modifican las características de la radiación incidente: una parte de la misma, procedente del Sol, mantiene la dirección y se conoce como radiación directa; la energía dispersada por el aire y las nubes pierde la dirección definida y llega al suelo desde todo el hemisferio superior, denominándose la radiación difusa.

Si se agrega a esta última la dispersada por la superficie terrestre se obtiene el parámetro de interés energético que se mide sobre un plano: la radiación global (a veces conocida también como total o hemisférica). El fenómeno de dispersión es el más importante en la parte visible del espectro solar. Deben distinguirse dos casos según el tamaño de las partículas difusoras:

- a) Si la longitud de onda de la luz es mayor que el tamaño de las partículas (dispersión de Rayleigh), que es lo que ocurre con las moléculas de los gases atmosféricos, se observa que la distribución espacial de la radiación dispersada es simétrica y mayor en la dirección de avance y de retroceso que, en la transversal, y que la cantidad de radiación

dispersada es inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda (esto permite explicar el color azul del cielo limpio al mediodía).

b) Si la longitud de onda de la luz es del orden o menor que el tamaño de las partículas (dispersión de Mie), que es el caso de la interacción con los aerosoles, la distribución es más complicada y no es simétrica (presenta simetría axial en la dirección de avance de la radiación): mayor cantidad de energía es dispersada en la dirección de avance que en la de retroceso. En la atmósfera, el polvo y el agua tienden a aparecer en grandes moléculas debido a la agregación de moléculas de agua y a la condensación de agua en partículas de polvo.

La radiación dispersada por una partícula incide sobre otras partículas del medio y, este proceso llamado dispersión múltiple, continúa en la atmósfera. En una atmósfera limpia, aproximadamente la mitad de la energía así dispersada volvería al espacio y la otra mitad alcanzaría el suelo. Por el contrario, en una atmósfera conteniendo aerosoles, la mayoría de la radiación dispersada alcanzaría el suelo [12].

Con esta información, veremos que hacer un balance preciso de la radiación solar resulta una tarea compleja, puesto que la radiación solar que recibe cada punto de la Tierra varía en el tiempo, dependiendo de la radiación directa y difusa que reciba. Por ello, hasta ahora sólo se han hecho aproximaciones. Hablar de un balance global resulta una aproximación de la radiación promedio anual que recibe la superficie terrestre, aunque permite dar una idea de lo que sucede, no se mantendrá en el tiempo debido a que es muy complicado predecir cuál será la temperatura media futura para un mes determinado.

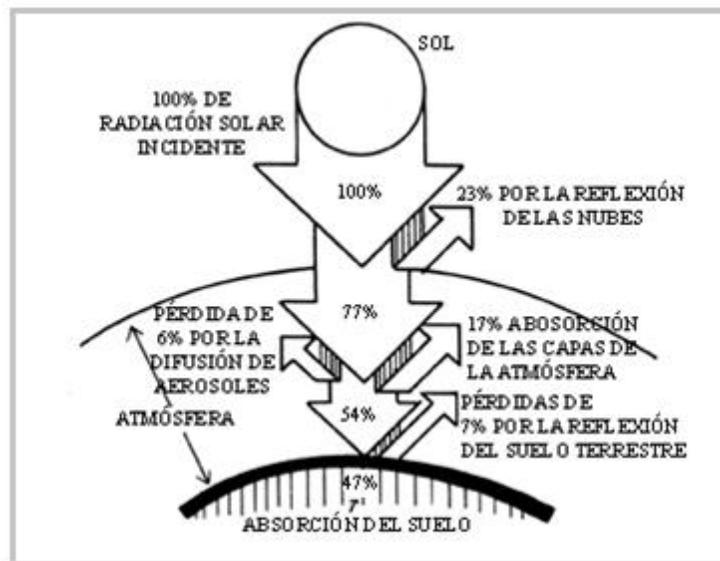


Figura 2.6: Balance energético de la radiación solar

La figura 2.6 representa de una manera muy gráfica cuanto de la energía que llega del Sol se absorbe, se refleja y/o se transmite, a cada uno de los constituyentes de la atmosfera, como nubes, polvo y gases.

Entonces podemos observar que la energía radiante antes de entrar a la atmosfera refleja un 23%, quedando un 77% de la energía que atraviesa los cúmulos de nubes y gases absorbiendo en aproximadamente un 17% y un 6% respectivamente en dichos constituyentes presentes en la masa gaseosa (dispersión de Mie). Luego, la energía restante, un 54%, sigue camino hacia la superficie terrestre, la cual un 7% es reflejada por la misma. Como resultado, la Irradiancia absorbida por la superficie terrestre es tan solo un 47% [13].

Si tomamos el valor medio mencionado anteriormente ($I = 1367 \pm 7 \text{ W/m}^2$, Irradiancia total antes de entrar a la atmosfera) y teniendo en cuenta los fenómenos de dispersión que afectan a la radiación, es decir, producto de los aerosoles, nubes, se concluye que la potencia neta por unidad de área perpendicular a los rayos solares, cuando alcanza el nivel del mar, es aproximadamente 640 W/m^2 .

Este valor es la Irradiancia promedio anual, pero como este recurso es para ser utilizado en época de verano en condiciones de cielo totalmente despejado, para acotar el problema se definirá la Irradiancia media máxima en estas condiciones que, obviamente, será un poco mayor en esta época.

El concepto que nos permite determinar la irradiancia máxima es el *índice de transparencia*. El *índice de transparencia* o *índice de claridad atmosférico* es una medida de lo “transparente” que es la atmósfera a la radiación solar. Fundamentalmente, nos da información de la magnitud de radiación alcanza la superficie de la Tierra en función de la radiación extraterrestre. Es un factor que oscila entre 0 y 1, en días claros los valores de este índice será elevado (por encima de 0,8) y en días nublados pueden llegar a ser muy bajos (incluso por debajo de 0,1). Un valor alto, por ejemplo 0,8, nos indica que el 80% de la radiación que había en el exterior de la atmósfera ha alcanzado la superficie de la tierra. Matemáticamente, este índice muestra la relación conforme a la ecuación (2.8)

$$k_t = \frac{I_{st}}{I_{sc}} \quad (2.8)$$

Donde

I_{st} : Irradiancia solar en la superficie terrestre

k_t : *Índice de claridad* que oscila entre 0 -1

I_{sc} : Constante Solar o Irradiancia Solar Extraterrestre (1367 W/m^2)

Luego se puede calcular la Irradiancia en la superficie terrestre según la (2.9)

$$I_{st} = k_t * I_{sc} \quad (2.9)$$

Cabe destacar que este *índice* es función del ángulo el cual los rayos solares atraviesan la atmosfera, también depende de la densidad del aire que a su vez es función de la altitud sobre el nivel del mar del punto geográfico de interés y la temperatura ambiente promedio de dicha zona. Los valores promedio de k_t en la República Argentina a nivel del mar oscilan entre 0,55 y 0,65 en verano [14].

En base a estos valores recopilados podemos determinar, para la zona propuesta en este proyecto (MDP) y las condiciones climáticas impuestas (cielo despejado y época de verano), que la Irradiancia promedio obtenida mediante la (2.9) representa un valor más cercano a la realidad y será parte de nuestras condiciones de contorno del colector solar plano a diseñar:

$$I_{st} = kt * I_{sc} = 0,6 * 1367 \left[\frac{W}{m^2} \right] = 820 \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (2.10)$$

Recordemos que este valor es para máxima altura solar y azimut nulo, que en definitiva no es más que los ángulos de orientación que se le debe conferir al colector solar, según la latitud a longitud planteada, para su óptimo funcionamiento. Además este valor es consistente con el descrito en las Cartas Solares de Argentina (840 W/m²) [15] en época de verano para los 38° de latitud Sur. A los fines prácticos y para tomar un valor definitivo basado en un criterio conservador para posteriores cálculos de diseño de colector, se tomó el menor de los valores, siendo este el resultado de la expresión 2.10.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

[1] Beneficios del Sol

<http://crearsalud.org/como-afecta-el-sol-a-nuestro-estado-de-animo/>

Fecha de consulta: noviembre de 2018

[2] Feinstein, A. and Tignanelli, H. (1999). *Objetivo: Universo. Astronomía*. Ediciones Colihue SRL.

[3] Concepto de ondas y energía

<http://sites.google.com/site/fisicadehondas/vector-de-poynting>

Fecha de consulta: noviembre de 2018

[4] Electromagnetismo- Leyes elementales

https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Amp%C3%A8re

Fecha de consulta: diciembre de 2018

[5] Radiación electromagnética

https://es.wikipedia.org/wiki/Luz_solar

Fecha de consulta: enero de 2019

[6] Radiación y Temperatura

https://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_t%C3%A9rmica

Fecha de consulta: enero de 2019

[7] O.M.M. (1982) Informe Final Abreviado de la Octava Reunión de la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación, OMM – N.º 590, Anexo II. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza.

[8] Willson, R. C. (1984). Measurements of solar irradiance and its variability. *Space Sci. Rev.* Vol. 38, pp. 203-242.

[9] Stuiver, M. and Braziunas, T. F. (1993) Sun, ocean, climate and atmospheric $^{14}\text{CO}_2$, an evaluation of causal and spectral relationship. *Holocence* vol. 3, pp. 289-305.

[10] Guzzi, R. (1988) Atmospheric structure and an introduction to the electromagnetic processes in atmosphere. En *Physical Climatology for Solar and Wind Energy*, Guzzi, R. and Justus, C. (Eds), pp. 3-37. World Scientific, Singapore.

[11] Chassériaux, J.M. (1990) Conversión térmica de la radiación solar, primera edición, pp. 136-143. Librería Agropecuaria S.A., Buenos Aires, Argentina.

[12] Iqbal, M. (1988) Spectral and total sun irradiance under cloudless skies. En *Physical Climatology for Solar and Wind Energy*, Guzzi, R. and Justus, C. (Eds), pp. 196-242. World Scientific, Singapore.

[13] Balance energético de la energía solar
http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/119/htm/sec_6.htm
Fecha de consulta: febrero de 2018

[14] Estudios sobre claridad atmosférica en territorio Argentino
<https://www.mendoza-conicet.gob.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2008/2008-t011-a005.pdf>
Fecha de consulta: marzo de 2019

[15] Atlas de Energía solar en la República Argentina
https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Distribucion-espacial-del-promedio-de-la-irradiacion-solar-global-diaria-kWh-m_fig3_317478062
Fecha de consulta: enero del 2019

Capítulo 3

DETERMINACION DE ANGULOS Y ORIENTACION DE LOS RAYOS SOLARES

En este capítulo se analizará cómo la potencia de los rayos solares (Irradiancia), llega a la superficie de cualquier punto ubicado en la superficie terrestre desde la fuente de energía (Sol), es decir, la influencia de la dirección de los rayos solares respecto a la orientación de un vector normal a un plano de interés ubicado en dicha superficie.

Llevado al estudio de colectores solares, en este proyecto se buscará encontrar la mejor orientación del plano normal del colector para obtener el máximo de captación de la potencia proporcionada por el recurso propuesto.

3.1 Conceptos básicos

Para ubicar un punto de interés en la superficie terrestre es necesario conocer las coordenadas geográficas, es decir, la *latitud* y la *longitud* (figura 3.1a). La segunda coordenada no es tan importante como lo es la primera, ésta permite describir el comportamiento de los arcos que describe el Sol en su trayectoria sobre lo que se denomina *esfera celeste*, concepto que se mencionara muy seguido. Para dar con la ubicación de un punto se debe informar primero la *latitud* y luego la *longitud*, por ejemplo, las coordenadas de la ciudad de Mar del Plata son: -38° , $-57,5^\circ$ o de otra forma $38^\circ 00' S$ $57^\circ 33' O$.

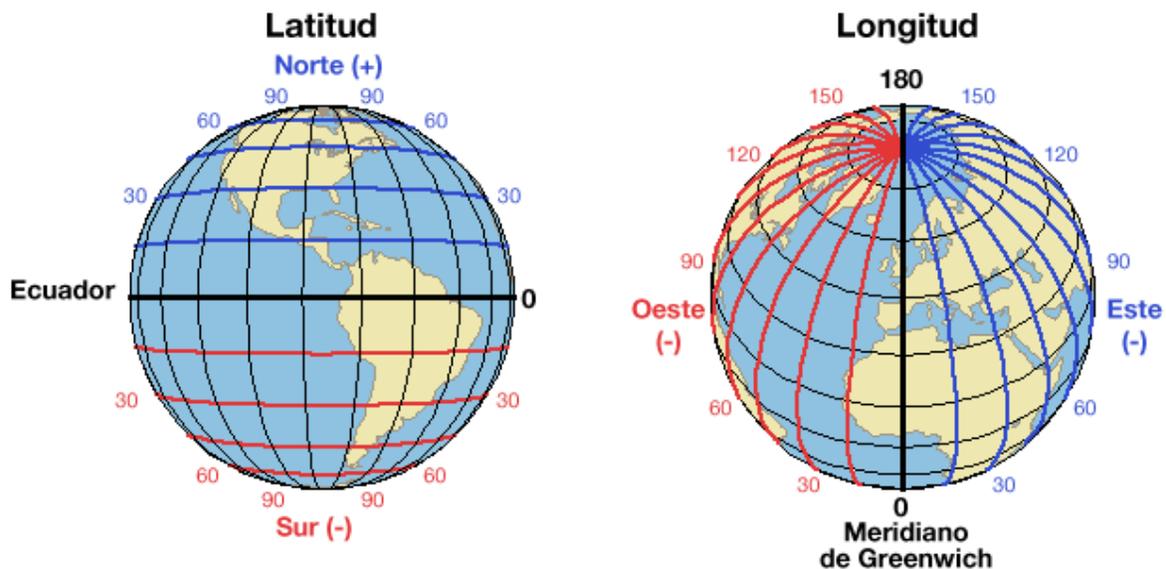


Figura 3.1a: Coordenadas Geográficas de cualquier punto sobre la Tierra

Otras dos coordenadas angulares importantes son la *altura* y el *azimut* (coordenadas horizontales) que determinan la posición que ocupa cualquier objeto en el cielo (esfera celeste) como en este caso el Sol. Estas coordenadas están condicionadas por las coordenadas geográficas ya que los arcos solares máximos difieren en altura y azimut para distintas ubicaciones del globo terrestre. La altura es el ángulo que se forma entre el plano horizontal y el objeto ubicado sobre la esfera celeste. El azimut es el ángulo que forma el objeto proyectado sobre la superficie horizontal y que tiene como origen de lectura el punto cardinal Norte [1]. La figura 3.1b muestra lo explicado anteriormente.

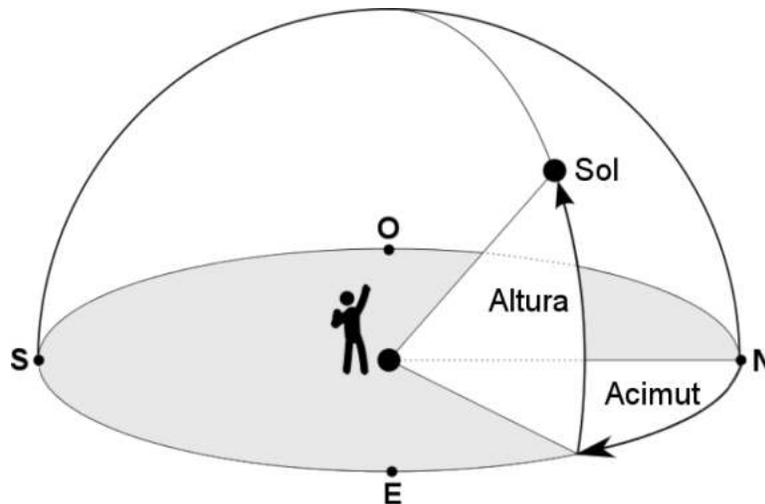


Figura 3.1b: El Sol visto por un Observador en la Superficie Terrestre

Mientras las primeras coordenadas ubican un punto fijo en cualquier lugar en el globo terrestre y no cambian con el tiempo, las segundas coordenadas descritas son móviles durante todo el día, es decir, varían las 24 horas. Es por ello que lo que se visualiza en el cielo, por ejemplo, de noche las estrellas, la luna y las constelaciones, etc., cambian de posición minuto a minuto. De día pasa exactamente lo mismo, aunque el único objeto que vemos es el Sol, en ocasiones, la Luna, y el resto son nubes sobre un velo de color azul-celeste.

En un apartado del capítulo anterior se habló de la Irradiancia, y en términos de unidades se definió como una potencia por unidad de área recibida por un plano normal a ella. La intensidad de la luz del Sol que llega a la superficie terrestre (Irradiancia), disminuye cuando el Sol se aleja de la posición vertical (zenit) como muestra la figura 3.1b. Este fenómeno sucede por dos razones:

- 1)- Variaciones en la extensión del área radiada: Conforme el Sol se aleja del zenit, los rayos solares se proyectan sobre el plano aumentando el área irradiada mientras se mantiene un flujo de energía constante.
- 2)- Longitud del camino recorrido: La longitud del camino que recorre el rayo de Sol aumenta conforme aumenta la altura solar y como se desplaza a través de un grosor más grande de atmósfera también aumenta la pérdida de energía por absorción y reflexión.

En resumen, estos comportamientos lo que intentan explicar es cómo influyen la altitud y el azimut en la proyección de las sombras de objetos ubicados sobre la superficie horizontal, como puede apreciarse en la figura 3.2a.

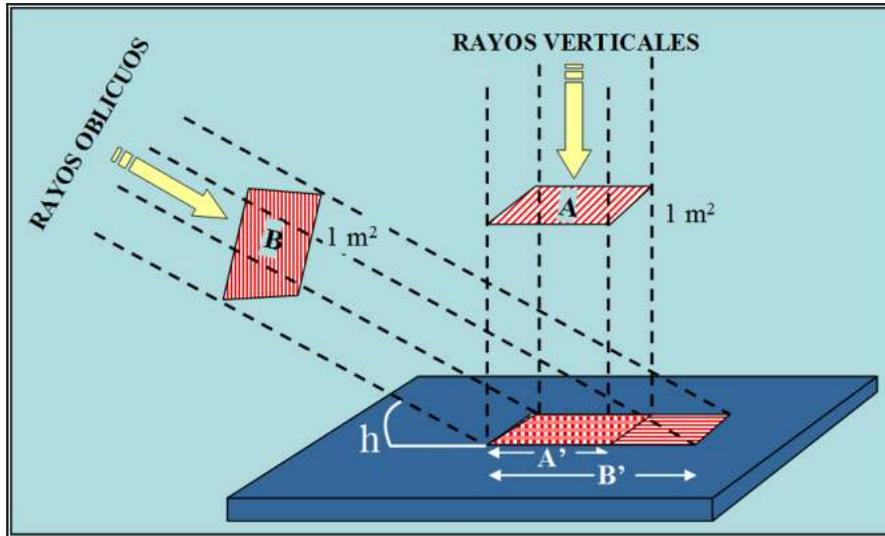


Figura 3.2a: Proyección de los Rayos Solares según el Angulo de Incidencia

Además, se define la potencia P mediante la ecuación 3.1:

$$P = I \cdot A = I_0 \cdot A \cdot \text{sen}(\alpha) \quad (3.1)$$

Donde

P : potencia incidente

A : área de captación de los rayos

I_0 : irradiancia global normal

α : Angulo formado entre los rayos incidentes y un plano normal que los recibe y que se ubica a cierta latitud. (De este ángulo se ampliará más adelante)

Este fenómeno geométrico, el del ángulo formado por los rayos solares y la superficie terrestre, explica la existencia de las estaciones, como se verá más adelante desde el punto de vista astronómico. Lo que sucede es que la radiación solar calienta la superficie terrestre con mayor o menor efectividad en función de la altura del Sol respecto del horizonte terrestre.

Cuando un haz de radiación solar, con una sección transversal de 1 m^2 , alcanza el suelo durante solsticio de verano a una latitud de 40° N como se muestra en la figura 3.2b, esta radiación se reparte sobre un área de 1.04 m^2 , mientras que durante el solsticio de invierno para dicha latitud, lo hace sobre un área de 2.24 m^2 . Esto explica que en el invierno 1 m^2 de superficie terrestre recibe menos de la mitad de la energía que recibe durante el verano, razón por la cual el ambiente resulta más frío.

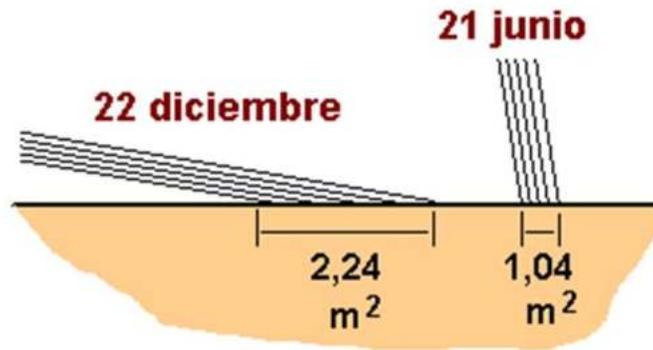


Figura 3.2b: Incidencia de los Rayos Solares sobre Plano Terrestre

3.2 Conceptos astronómicos terrestres y extraterrestres

En este apartado se hablará únicamente de conceptos geométricos aplicados a la astronomía.

Nosotros al igual que el resto de los seres vivos, percibimos la energía que proviene del Sol cuando con sus rayos iluminan todo a su paso. Pero la idea que la mayoría de los seres humanos tenemos de cómo llega y como la Tierra capta esa radiación es muy escasa, es decir, si le preguntamos a una persona que no sabe de astronomía, por ejemplo, alguien que creció en el campo, cómo ve la salida y puesta de sol, seguro nos diría que sale del este y se pone en el oeste, y estaría en lo correcto, pero no sabe que eso solo sucede dos días al año, para él sucede todos los días.

Por ello hablaremos de como este fenómeno y otros más afectan en los ángulos de captación.

Si viéramos a nuestro sistema solar desde el espacio exterior, veríamos que *las trayectorias de los planetas alrededor del sol, son elípticas teniendo al Sol en uno de los focos* como se enuncia en la *1° Ley de Kepler* [2].

El plano que contiene la trayectoria del planeta Tierra se denomina plano de la eclíptica. El concepto de plano de la eclíptica hace referencia a un plano imaginario donde se encuentran contenidas la trayectoria de la Tierra y la posición del Sol.

La Tierra en su movimiento diario realiza una rotación cada 24 hs. Como se puede ver en la figura 3.3, esta rotación tiene un eje que se encuentra inclinado respecto de su plano de traslación, es decir, el plano de la eclíptica. Este ángulo, el formado entre el eje de rotación de la Tierra y un vector normal al plano de la eclíptica, es de aproximadamente 23,5 grados. Este ángulo es muy importante y se debe considerar a los fines de determinar el posicionamiento de los arcos solares. A esta declinación le debemos la existencia de las estaciones del año.

Sin esta declinación, en los distintos puntos ubicados en la tierra, predominaría una sola estación o, combinación de estaciones consecutivas durante todo el periodo sidéreo,

Llegando a situaciones muy hostiles para la especie vegetal y animal, en los Polos y en el Ecuador. Estaciones del año conocidas por el común de la gente como lo es el verano, otoño, invierno y primavera. Cada una de ellas con sus características propias, tanto a nivel clima como así también la proliferación de la fauna y la necesidad fluctuante de dichos cambios para su gestación y subsistencia en la Tierra.

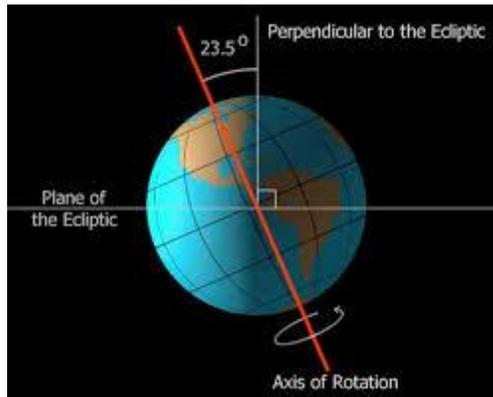


Figura 3.3: Angulo de Inclinación del Eje Terrestre

La oblicuidad de la eclíptica es otro nombre que recibe dicha inclinación y también se puede observar si extendemos el plano del ecuador terrestre y lo comparamos con el plano de la eclíptica (figura 3.4).



Figura 3.4: Plano Eclíptico y Ecuador Terrestre

La conservación del momento angular de la rotación diaria de la Tierra nos justifica un hecho bastante llamativo, el eje de rotación de la Tierra en su trayectoria anual mantiene la inclinación (Oblicuidad de la eclíptica) siempre constante y orientada en el mismo sentido durante todo el año (Figura 3.5) [3].

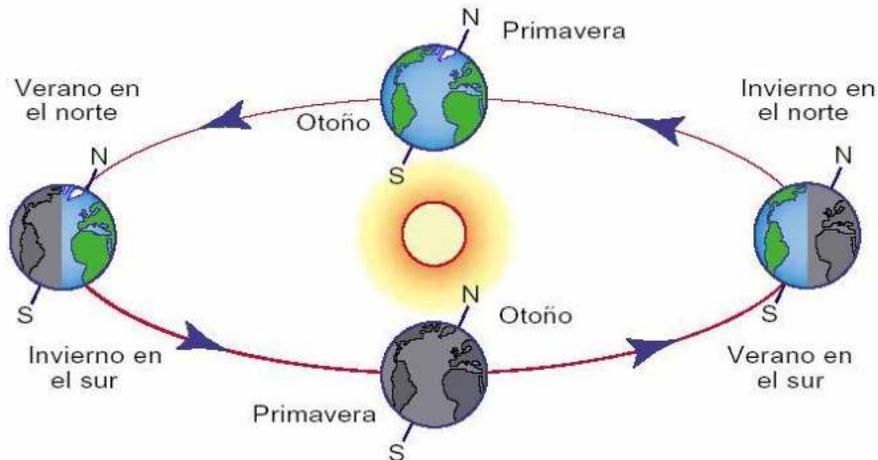


Figura 3.5: Orientación Constante de la Oblicuidad

Es muy habitual, en el conocimiento popular, que las estaciones del año se le atribuyan al acercamiento (perihelio) o alejamiento (afelio) de la Tierra respecto del Sol a lo largo de su trayectoria elíptica. La realidad es que la trayectoria que describe la Tierra se asemeja más a una trayectoria circular ya que su excentricidad es menor a 0,2 (siendo 0 un círculo perfecto y 1 una elipse extrema) [4].

Con el fin de desmitificar esta creencia tan difundida que se puede observar se realiza el siguiente cálculo, el cual muestra que la diferencia de distancia entre el acercamiento y el alejamiento del planeta al Sol produce una variación de solo un 7% en la Irradiancia.

El perihelio es la menor distancia de la Tierra al Sol con un valor medio de $147,1 \times 10^6$ km y el afelio la mayor distancia con un valor medio de $152,1 \times 10^6$ km, además se sabe que, según la 3.2, la Irradiancia Máxima es:

$$I = P / A = P / (4 * \pi * (d)^2) \quad (3.2)$$

I : es la Irradiancia percibida por la Tierra como observador en [W/m²]

P : es la potencia emitida por el Sol en [Watts]

A : es el área de una esfera de radio igual a la distancia Tierra-Sol en [m²]

d : es la distancia Tierra-Sol

Si se calcula el % de aporte de Irradiación por acercamiento se tiene

$$\% = P / 4 * \pi * (d.perihelio)^2 / P / 4 * \pi * (d.afelio)^2$$

La relación se simplifica quedando solo las distancias:

$$\% = (d.afelio / d.perihelio)^2 = (152,1 * 10^6 / 147,1 * 10^6)^2 = 1,0691 \quad (3.3)$$

Como ya se mencionó, y verificado por el resultado de la (3.3), el acercamiento proporciona un aporte de solo un 7%, un valor poco apreciable para fundamentar la gran diferencia entre las temperaturas tan bajas en invierno y las elevadas en verano con el acercamiento y alejamiento de la Tierra al Sol a lo largo del periodo anual.

Se denomina solsticio a los momentos en que el eje de la Tierra está dirigido hacia el Sol o paralelo al mismo. Se denomina equinoccio al momento en que la Tierra tiene su eje inclinado perpendicular al Sol (Figura 3.6).

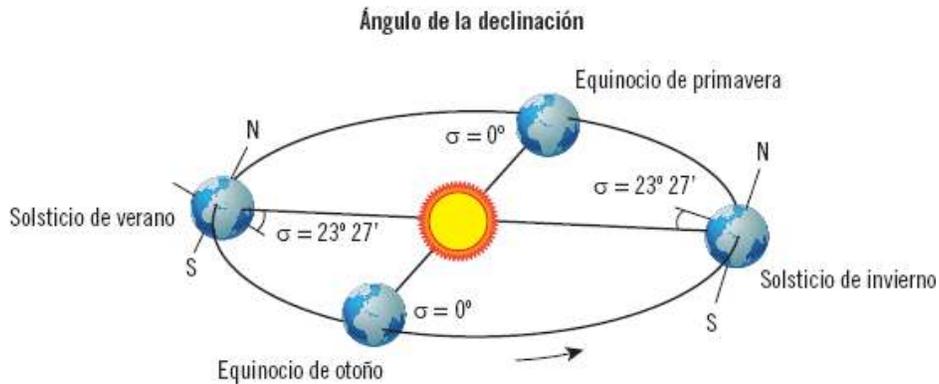


Figura 3.6: Oblicuidad de la Eclíptica según Equinoccios y Solsticios

3.3 Estaciones del año e Incidencia Solar Terrestre

En los Solsticios el Sol no ilumina uniformemente la superficie de la Tierra. En la figura 3.7 se puede observar un solsticio posible. En la imagen de la izquierda se observa como la radiación solar incide en menor cantidad sobre la superficie del hemisferio norte, haciendo que sus temperaturas sean las más bajas del año. En la imagen de la derecha se muestra que el hemisferio sur está recibiendo más radiación y el efecto es un aumento de la temperatura y el momento más caliente del año. Este efecto, de que la energía solar no se distribuya uniformemente se invierte cuando se produce el solsticio opuesto, haciendo que, cuando es verano en un hemisferio resulta ser invierno en el otro hemisferio. La causa de este efecto es la inclinación del eje terrestre respecto del plano en el que mueve la Tierra además de mantenerse en la misma posición durante toda su traslación.

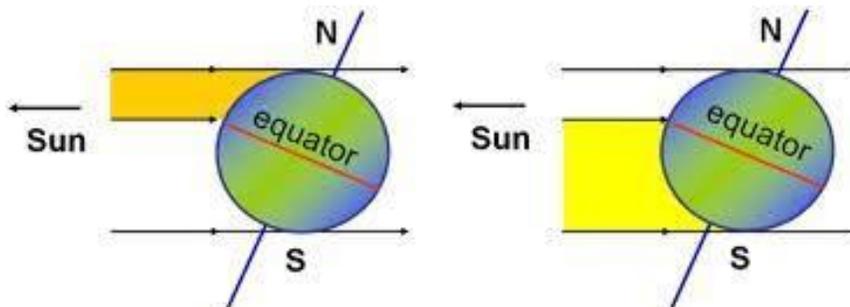


Figura 3.7: Solsticio; de Invierno (Hemisferio Norte), de Verano (Hemisferio Sur)

En los equinoccios la iluminación de la Tierra es uniforme para los dos hemisferios por igual dando como resultado las estaciones de otoño y primavera en las que la temperatura es intermedia a las del verano y el invierno.

La Tierra vista desde el Sol

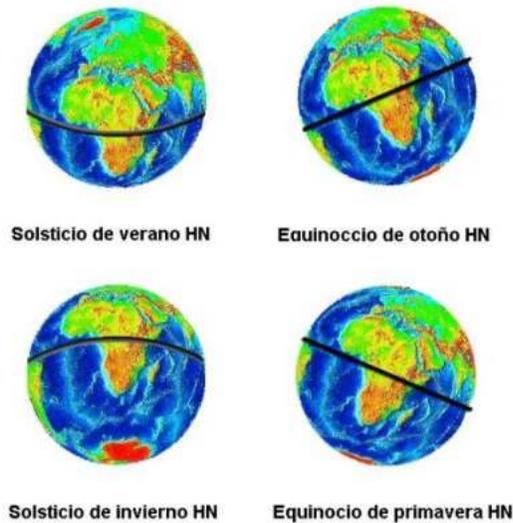


Figura 3.8: La Tierra vista desde el Sol en distintas etapas del año

Si un observador posicionado en el Sol mirara hacia la tierra, vería estos solsticios y equinoccios en cualquier momento del año para una determinada posición terrestre de una forma más clara (figura 3.8).

Además de la rotación diaria y la traslación, el eje terrestre realiza otros movimientos propios llamados Precesión y Nutación (figura 3.9). Una precesión es un bamboleo del eje terrestre en un periodo muy grande tal que una revolución completa de este movimiento se produce aproximadamente cada 25776 años (figura 3.9), este cambio no influye en la captación de radiación solar, sino que modifica el momento del año en que ocurren las estaciones. La nutación es una oscilación del eje terrestre a través de su trayectoria de precesión, este movimiento también tiene un periodo que es de 18,6 años, realizando más de 1300 bucles de nutación en un periodo de precesión. Dado que estos periodos son muy largos, las modificaciones que pueden producirse por estos movimientos sobre la Irradiancia son imperceptibles y obviaremos esta información en el proyecto [5].

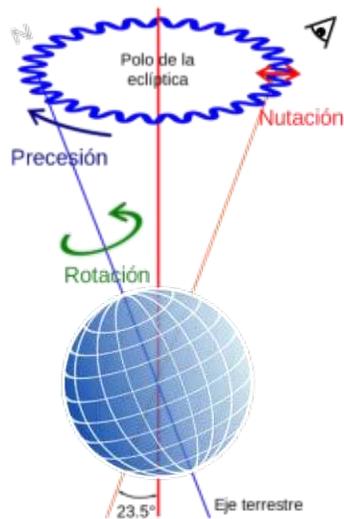


Figura 3.9: Movimientos de Precesión y Nutación de la Tierra

3.4 Coordenadas Celestes e Incidencia Solar

Desde la perspectiva de un observador sobre la superficie de la Tierra se suele hacer mención, en Astronomía, a la existencia de un objeto imaginario que se denomina *esfera celeste*, como ya se mencionó en el primer párrafo de este capítulo. Esta esfera no existe en realidad y se observa en apariencia cuando miramos aquellos objetos que se encuentran en el cielo. La distancia de los objetos estelares (Estrellas, Luna, Sol, etc.) es tan grande que nuestra noción de distancia no puede diferenciar cuál de ellos está más cerca o lejos. Este fenómeno termina generando la sensación de que el cielo es una esfera cobertora a manera de cúpula o domo. Al mismo tiempo muchas líneas con las cuales dividimos la superficie de la Tierra (figura 3.10) se pueden extender al cielo y trazar sobre la esfera celeste líneas imaginarias tales como:

- El *ecuador celeste*: es una extensión del ecuador terrestre
- *Polo norte celeste*: es la intersección entre el eje de rotación de la Tierra y la esfera celeste en las cercanías del polo norte
- *Meridianos y longitudes celestes*: ídem a lo anterior pero extendidos hasta alcanzar la esfera celeste.

El Sol, para un observador en la Tierra, es observado siempre contenido dentro de una línea que resulta de la intersección del plano de la eclíptica con la esfera celeste. A ésta sucesión de puntos imaginaria la denominamos eclíptica al igual que el plano. Sobre ésta línea veremos al Sol en todo momento del año y él se irá moviendo un grado por día aproximadamente a lo largo de su trayectoria. Cuando complete una vuelta sobre la eclíptica habrá transcurrido un año. La eclíptica forma con el ecuador celeste el conocido ángulo de 23,5°. Este ángulo es el mismo que comentamos anteriormente que se forma entre el plano de la eclíptica y el ecuador de la Tierra. Pero lo más interesante para este proyecto y es a donde se quería llegar son los arcos diarios que describe el Sol a lo largo

de un día. En la figura se observa la salida del Sol y el arco solar que describe a lo largo de un día para un observador ubicado en el hemisferio norte.

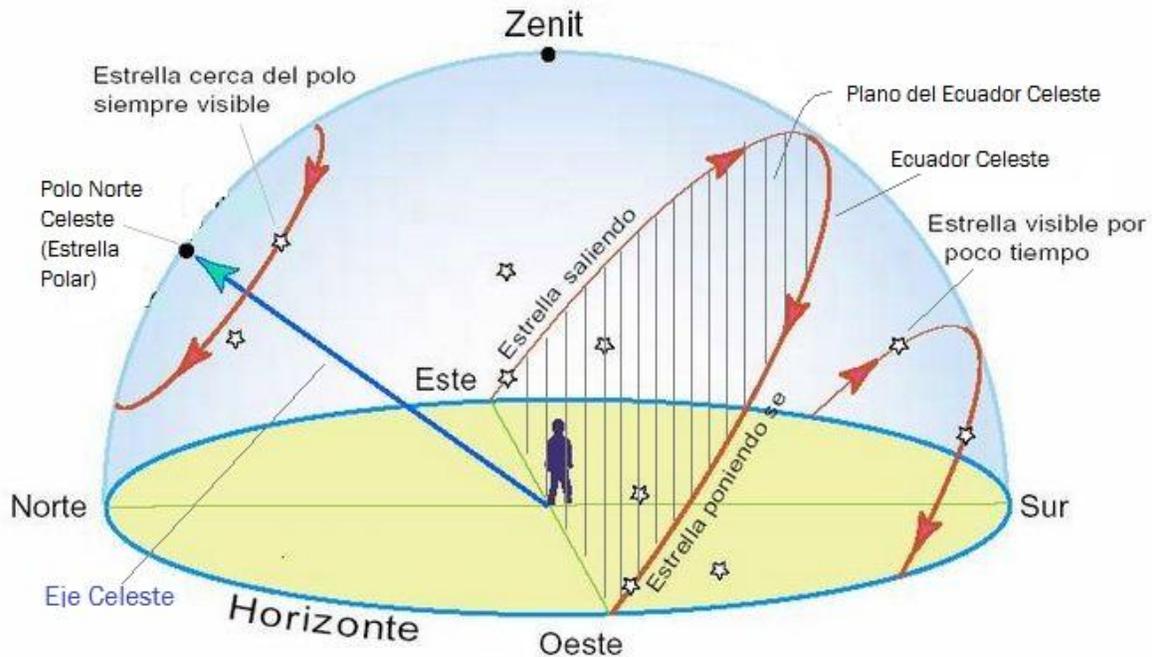


Figura 3.10: Coordenadas Celestes

En la figura 3.11 se muestra las distintas posiciones paralelas que toma la trayectoria del Sol a través de la esfera celeste para un observador ubicado en el hemisferio sur [6].

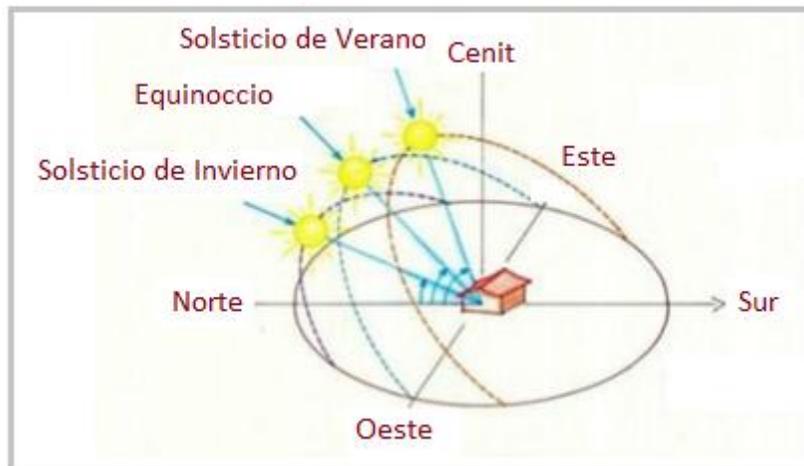


Figura 3.11: Posiciones Paralelas de la Trayectoria Solar

De esta última figura (3.11), podemos extraer algunas interesantes observaciones:

- El Sol no sale durante todo el año por la misma posición en el horizonte, su salida se va desplazando a lo largo del año, saliendo más hacia el sur a medida que se aproxima el

21 de diciembre (solsticio de verano para el hemisferio sur) y luego corre su posición hacia el norte a medida que se acerca el 21 de junio (solsticio de invierno para el hemisferio sur). Este movimiento oscilatorio de la salida del Sol tiene un punto medio durante los equinoccios de primavera y otoño, 21 de septiembre y 21 de marzo respectivamente, y la salida del Sol corresponde exactamente al punto cardinal Este y su puesta es en el Oeste.

- Los arcos solares que describe el Sol durante todo un día son líneas sobre la esfera celeste paralelas entre sí. Lo que se modifica a lo largo del año es la longitud de estos arcos. Produciendo días cortos cuando su salida es más hacia el norte (meses de invierno) y días de mayor iluminación cuando su salida se observa un tanto más hacia el sur (meses de verano). Los días 21/03 y 21/09 tienen la misma duración y el arco solar tiene una duración intermedia con respecto al día más largo (21/12) y corto del año (21/06).

- El mediodía solar es el momento en que el Sol se encuentra a mitad de camino en su arco diario. En ese momento el Sol está cruzando la esfera celeste en su punto medio, produciendo sombras sobre los objetos que apuntan exactamente hacia el sur. Esa sombra es la más corta del día. El mediodía solar en la Argentina no coincide con el mediodía civil (12:00 hs), sino que ocurre a las 13:00 hs aproximadamente. Éste hecho tiene consecuencias fundamentales para nuestro proyecto ya que implica que al mediodía solar ocurre la máxima incidencia de la radiación solar durante el día. Geométricamente, esto se debe a que los rayos solares inciden con un ángulo máximo respecto de la superficie de la Tierra a lo largo del día.

- De la figura también se deduce que a lo largo del día la máxima incidencia del mediodía no es constante. El Sol del mediodía del 21/06 incide sobre la Tierra con un ángulo menor que el resto del año. Mientras que en el mediodía solar del 21/12 los rayos inciden con un ángulo mayor. Éste hecho está directamente asociado con la mencionado anteriormente, sobre la generación de las estaciones a causa de la oblicuidad de la eclíptica.

- La figura 3.11 representa a un observador ubicado en alguna latitud del hemisferio sur. Pero cabe aclarar que a medida que nos movemos hacia el ecuador de la Tierra los arcos solares van perdiendo inclinación y al llegar al ecuador se encuentran perpendiculares a la superficie de la Tierra. De la misma forma sí desde mi ubicación me muevo hacia alguno de los polos los arcos solares se van inclinando hasta quedar paralelos al horizonte.

3.5 Ángulos de Orientación del Colector Solar

Con estas observaciones descriptas se verá cómo influyen la latitud y la posición de la eclíptica en la incidencia solar sobre una superficie plana (colector solar) ubicado en un punto arbitrario del globo terrestre. El ángulo máximo que se forma entre los rayos solares y la normal a la superficie terrestre se denomina altura del Sol y se utilizará la letra griega

α : *alfa* para describir su magnitud. Este ángulo se puede observar al mediodía y se puede calcular según la latitud donde se desea ubicar la superficie captadora mediante las siguientes expresiones:

$$\alpha = 90^\circ - \text{LATITUD} \quad (\text{en los equinoccios})$$

$$\alpha = 90^\circ - \text{LATITUD} - 23,5^\circ \quad (\text{en el solsticio de invierno})$$

$$\alpha = 90^\circ - \text{LATITUD} + 23,5^\circ \quad (\text{en el solsticio de verano})$$

Recordemos que la latitud se lee desde el ecuador terrestre (0°) y ángulos negativos para posiciones en el hemisferio sur (-90°) y positivos para el norte ($+90^\circ$), pero a los fines de estos cálculos tomaremos solo el valor absoluto de la latitud para evitar confusión al obtener el resultado. La oblicuidad puede ser negativa, positiva o nula de acuerdo a sí se está calculando en verano, invierno o indistintamente cualquier equinoccio. El resultado de este ángulo (altura) está comprendido entre $0^\circ - 90^\circ$.

Sabiendo que este proyecto está orientado a utilizarse principalmente en Mar del Plata, Bs. As. Argentina, y ciudades aledañas, se tomó la latitud de dicha ciudad, 38°S . La figura 3.12 muestra el caso de estudio para entender la geometría.

La altura máxima de la incidencia solar al mediodía para los días de los equinoccios está dada por la ecuación 3.4:

$$\alpha = 90^\circ - \text{LATITUD} = 90^\circ - 38^\circ = 52^\circ \quad (3.4)$$

Calculando para el mediodía del solsticio de invierno se define mediante la ecuación 3.5:

$$\alpha = 90^\circ - (\text{LATITUD} + 23,5) = 90^\circ - (38^\circ + 23,5) = 28,5^\circ \quad (3.5)$$

Al mediodía para el día del solsticio en verano, el cual es de nuestro interés es según la ecuación 3.6:

$$\alpha = 90^\circ - (\text{LATITUD} - 23,5) = 90^\circ - (38^\circ - 23,5) = 75,5^\circ \quad (3.6)$$

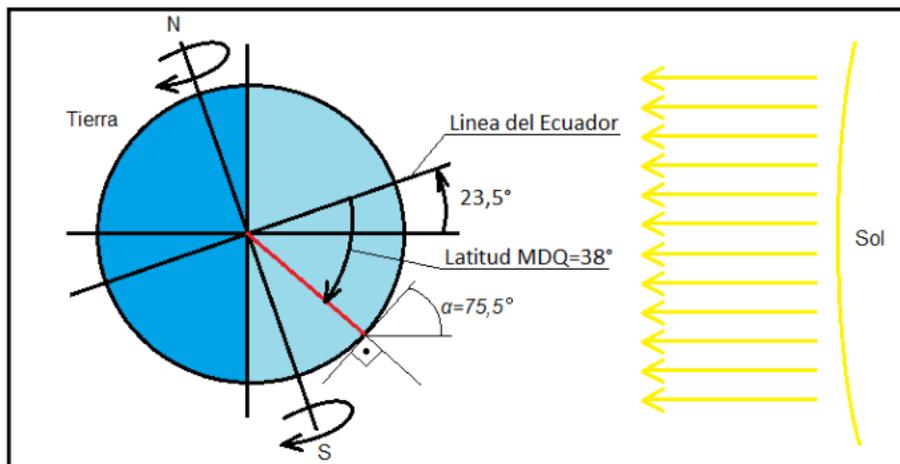


Figura 3.12: Altura Solar Máxima en función de la Latitud Oblicuidad de la Eclíptica.

Ahora bien, nuestro estudio está enfocado en época en verano, dicho periodo comienza el 21/12, el cual corresponde a un ángulo máximo $\alpha=75,5^\circ$ respecto de la horizontal al mediodía, según latitud y calculo anterior. Este ángulo, a partir de la fecha de inicio de dicho solsticio, disminuye hasta $\alpha=52^\circ$ el 21/3 el cual corresponde al comienzo de la estación otoñal. Si analizamos bien este comportamiento, es decir, el cambio de la altura del Sol sobre la superficie terrestre, desde el comienzo de la primavera 21/9 que corresponde al ángulo medio de altura solar terrestre $\alpha=52^\circ$ hasta el comienzo del verano 21/12, también con periodo de 3 meses, se ve el comportamiento ascendente del ángulo, es decir, del verano a otoño el ángulo disminuye de $75,5^\circ$ a 52° , y si vemos la secuencia primavera-verano-otoño se tiene $52^\circ-75,5^\circ-52^\circ$.

Como ya se mencionó, el Sol visto desde la Tierra sale dos veces al año desde el este y se pone en el oeste, y sucede en los equinoccios, donde el plano de la eclíptica corta el plano ecuatorial en dichos puntos cardinales el 21/9 y el 21/3. Luego al evolucionar en su translación alrededor del Sol, el plano de la eclíptica corta al plano ecuatorial pero lo hace avanzando, por ejemplo, hacia el sur llegando a la estación de verano, el 22/12 el día más largo del año para el hemisferio sur, esto se debe al mayor recorrido que tiene el Sol sobre el ecuador celeste comúnmente llamado plano de la eclíptica. Cuando la Tierra sigue su camino de translación pasa por el equinoccio de otoño y sigue curso hasta encontrar la estación invernal el 21/6, el día más corto. Cabe destacar que la posición del ecuador celeste oscila con el mismo ángulo de la eclíptica, es decir, entre $+23,5^\circ$ y $-23,5^\circ$ de la posición media que coincide con la latitud en la cual está parado el observador, como se aclaró mediante los cálculos anteriores. Por ejemplo, si el observador está parado en latitud cero entonces el ecuador celeste coincide con el ecuador terrestre, como se muestra en la siguiente figura 3.13:

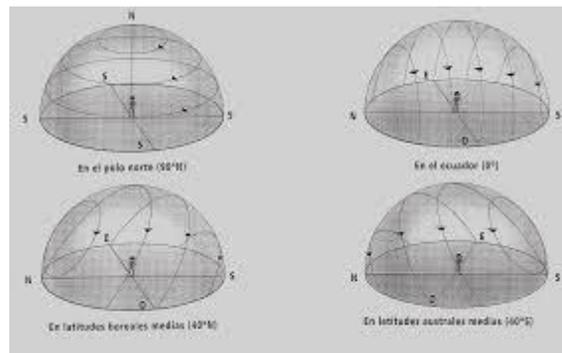


Figura 3.13: Esfera Celestes según Posición del Observador

La altura del Sol además, influye en el medio ambiente afectando la temperatura del aire que rodea a los colectores. Antes de llegar al verano el 22/12 se conoce que previamente la Tierra experimentó días nublados y lluviosos del otoño y se refrigeró posteriormente con el espeso frío y baja altura solar del invierno, además de los vientos en primavera a pesar que, en esta época, el clima es más cálido. Durante 6 meses de tan bajas temperaturas en las zonas afectadas por el otoño y el invierno en la Tierra, ésta se va recuperando, pero no lo suficientemente rápido, como se aprecia en la figura 3.14 mostrando la tasa de aumento de temperatura en un año particular [7].

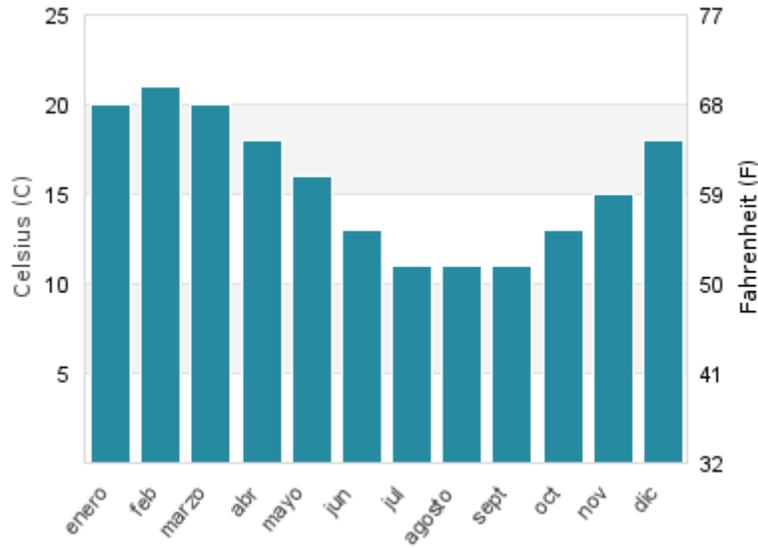


Figura 3.14 Temperaturas Ambiente en un Periodo Anual

La grafica corresponde a datos tomados en la ciudad de Mar del Plata en un periodo anual. La temperatura de cada mes es una temperatura promedio de las sucesivas mediciones a lo largo de los 30 días. Se puede ver que la máxima temperatura ambiente se da en el mes de febrero y el máximo de incidencia solar se da en diciembre, además de que el Sol en febrero ya bajo su ángulo demasiado. Esto verifica el retardo que tiene el atemperado del ambiente con respecto al aumento de la altura solar. Lo siguiente y lo que queda por determinar es cuál será el ángulo que se le debe dar al colector para que absorba de manera más eficiente los rayos solares.

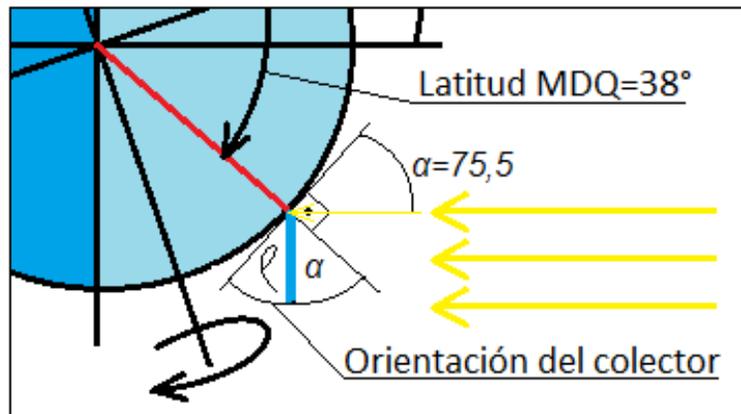


Figura 3.15: Angulo de Orientación del Colector frente a la Incidencia Solar

En la figura 3.15 se muestra cual sería la orientación del colector a los fines de que los rayos incidentes coincidan con la normal del panel. Esta orientación definido por el ángulo 'ρ', no es más que el ángulo formado por el panel con la superficie terrestre. Este ángulo se calcula fácilmente ya que es el complementario del ángulo de altura máxima. Es decir, los dos ángulos, forman 90°, y se expresa en la ecuación 3.7, reemplazando se tiene:

$$\rho + \alpha = 90^\circ \rightarrow \rho = 90^\circ - \alpha = 90^\circ - 75,5^\circ = 14,5^\circ \quad (3.7)$$

Así mismo si calculamos para la altura que alcanza la temporada de verano al finalizar ésta, aplicando la (3.7) se obtiene, con la altura máxima en marzo que ya se había calculado, $\alpha = 52^\circ$, la inclinación del colector dada por el resultado en la 3.8:

$$\rho + \alpha = 90^\circ \rightarrow \rho = 90^\circ - \alpha = 90^\circ - 52^\circ = 38^\circ \quad (3.8)$$

Como se puede ver, al ángulo de inclinación del colector puede variar entre estos últimos valores obtenidos. Estos valores son a los que se quería llegar, debido a que serán los ángulos máximo y mínimo e intermedios de inclinación de cada colector que se coloque en cualquier techo, parque o terreno de la ciudad de Mar del Plata y zonas aledañas, restricción impuesta por la amplitud de HSP (Hora Solar Pico) determinada por la altitud en función del ángulo azimutal como se puede apreciar en la figura 3.16. Cabe aclarar que la figura corresponde para una ubicación de 40°N , que a los fines prácticos es un espejo, ya que las dos estaciones son opuestas de un punto ubicado en el sur para una latitud de 38° [8]. Además, es evidente debido a que el máximo de incidencia se da en verano, el 21 de junio, cuando para el hemisferio sur es invierno en dicha fecha para la longitud de Mar del Plata.

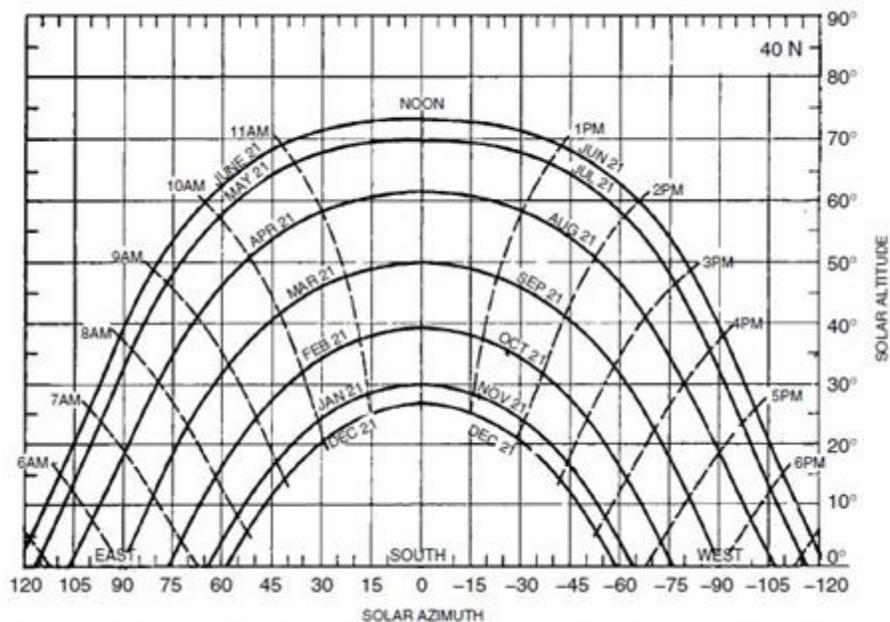


Figura 3.16: Diagrama de trayectorias del Sol sobre la Esfera Celeste

Como ya se comentó, el ángulo de azimut es muy importante a la hora de orientar el colector ya que determina la eficiencia de captación. La única forma de hacer más eficiente cada día esta captación es mediante un seguidor solar. Este es un dispositivo electromecánico que se utiliza de soporte del colector y sujeto a la superficie terrestre mediante un mástil o estructura resistente. Su función más importante es la de orientar la normal de la superficie plana del colector lo más coincidente posible con los rayos solares.

El funcionamiento de este dispositivo consiste en sincronizar el movimiento del mismo con la altura y azimut con el fin de corregir las diferencias de ángulo de éstos con los de orientación del panel colector. El ángulo azimutal sería de importancia si el colector que se propone diseñar es uno del tipo plano donde el ángulo juega un papel importante debido que los rayos son reflejados luego de impactar con la superficie.

En este trabajo no se tendrá en cuenta este ángulo pues la superficie o elemento con la cual se diseñará el colector es de tubos circulares, haciendo que los rayos solares impacten de la misma manera de cualquier ángulo de azimut. La figura 3.17 detalla mejor lo explicado anteriormente.

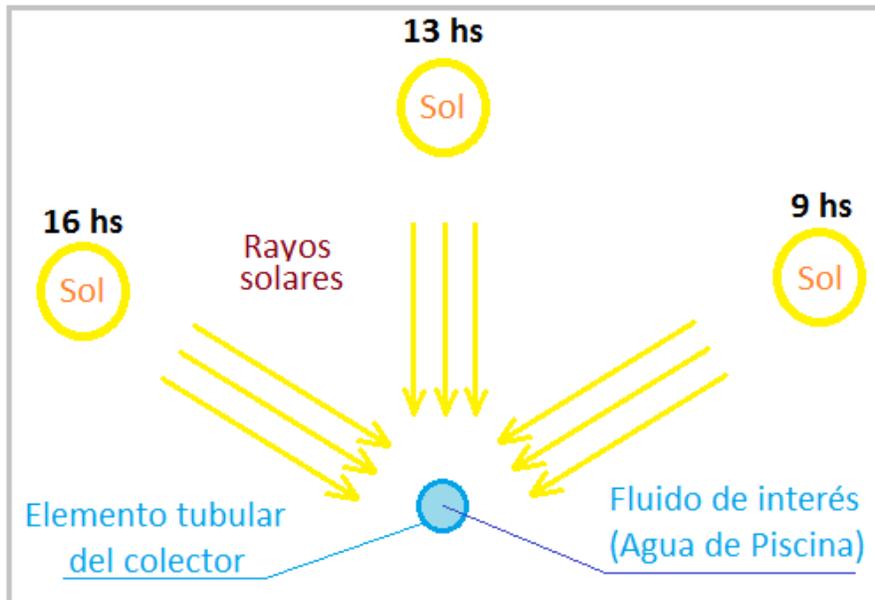


Figura 3.17: Incidencia Solar Constante para distintos Ángulos Azimutales

En conclusión, la orientación fija del panel será en función solo del ángulo de altura máxima, como se calculó anteriormente. Este ángulo (altitud) podrá ser uno cualquiera tomado al azar o en forma estratégica y dentro del rango de inclinación comprendida para época de verano en la ciudad Marplatense, $14,5^{\circ} \leq \rho \leq 38^{\circ}$, recordando que se mide respecto de la horizontal. El ángulo azimutal, el cual será orientado el colector, será nulo, es decir, coincidirá con el origen de coordenadas como ya fue definido con el Norte celeste.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

[1] Coordenadas Geográficas Terrestres

[https://es.wikipedia.org/wiki/Coordenadas horizontales](https://es.wikipedia.org/wiki/Coordenadas_horizontales)

Fecha de consulta: noviembre del 2018

[2] Feinstein, A. and Tignanelli, H. (1999). Objetivo: Universo. Astronomía. Ediciones Colihue SRL.

[3] Oblicuidad de la Eclíptica

[https://es.wikipedia.org/wiki/Oblicuidad de la eclíptica](https://es.wikipedia.org/wiki/Oblicuidad_de_la_eclíptica)

Fecha de consulta: noviembre del 2018

[4] Trayectoria de la Tierra alrededor del Sol

www.windows2universe.org/physical_science/physics/mechanics/orbit

Fecha de consulta: noviembre del 2018

[5] Movimientos de la Tierra

www.astromia.com/tierraluna/precesionutacion.htm

Fecha de consulta: noviembre del 2018

[6] Coordenadas Celestes

<http://iniciacionalastronomia.weebly.com/ud2-coordenadas-celestes.html>

Fecha de consulta: noviembre del 2018

[7] Coordenadas Celestes

[https://es.wikipedia.org/wiki/Mar del Plata](https://es.wikipedia.org/wiki/Mar_del_Plata)

Fecha de consulta: noviembre del 2018

[8] Trayectoria Solar sobre la Esfera Celeste

<https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjOweLtmOvmAhVYErkGHVONCwUQjB16BAgBEAM&url=https%3A%2F%2Fmirez.wordpress.com%2F2011%2F08%2F11%2Fj320-diagramas-de-trayectorias-de-sol-para-analisis-de-shading%2F&psig=AOvVaw2h6wvsMMBlrhrI9wByjxnJ&ust=1578264620694524>

Fecha de consulta: noviembre del 2018

Capítulo 4

CONSUMO TÉRMICO Y ELÉCTRICO DE PISCINAS

En este capítulo se analizarán los sistemas convencionales utilizados en la actualidad en la ciudad de Mar del Plata para aclimatar el agua de piscinas destinadas tanto para uso recreativo o deportivo y temperaturas típicas de estas. Se estudiará, también, la influencia de las temperaturas en la proliferación de microorganismos. Este estudio permitirá tener una idea de las prestaciones térmicas que debe cumplir el equipo solar propuesto.

4.1. Breve Introducción

Los sistemas de calefacción convencionales como las calderas a gas para aclimatado del agua de piscinas tienen como fin generar una temperatura confortable o tolerable de dicho fluido. Confortable como el caso de piscinas dentro de un Spa o Colonia de Vacaciones donde las personas (niños, jóvenes, adultos, y adultos mayores) que quieran utilizar tales espacios e instalaciones puedan disfrutar de un chapuzón sin que la experiencia les genere un resquemor o rechazo.

A nivel económico las piscinas muy grandes como, por ejemplo, para uso deportivo son muy costosas en su mantenimiento periódico (cloro, limpieza, recirculación, elementos auxiliares que hacen posible su uso y, lo principal, si su uso es en época invernal, que la misma cuente con un sistema de calentamiento del agua). Muchos natatorios combinan en una sola piscina distintas actividades, por ejemplo, terapéutico (AquaGym para adultos mayores) y entrenamiento escuela (natación para competencia, entrenamiento de guardavidas, etc.). Estas dos actividades requerirían dos piscinas separadas debido a las temperaturas típicas de agua aumentando los costos (en la terapéutica el agua oscila entre los 32-34 °C y la deportiva entre 24-26 °C). Es por ello este caso, se busca consensuar la temperatura para favorecer ambas actividades, por ejemplo, 30° en verano [1].

4.2. Características de las Piscinas

Es importante conocer las características de una piscina para abordar los cálculos sobre una, por ejemplo, del tipo residencial. En este apartado se verán las distintas piscinas, usos, requerimientos, normativas y una característica fundamental que las definen, sus dimensiones, que son las que determinan su capacidad de agua a aclimatar, de tal manera que en los momentos de máxima concurrencia de los usuarios sea necesario que se disponga como mínimo, por comodidad, de 2 m² de lámina de agua por cada uno de ellos.

Las partes básicas de una piscina son las siguientes:

-Vaso: construida en mampostería, cubierta de pintura o prefabricada en poliéster, etc.,

que sirve de recipiente para el agua.

-Playa: zona exterior al vaso, que lo rodea, y donde los usuarios pueden reposar.

-Sumidero de fondo: desagüe situado en la parte más profunda del vaso de la piscina, el grupo de bombeo aspira directamente de la piscina por él, y también sirve para un desagote rápido.

-Rebosadero: canaleta alrededor de toda, o de parte del perímetro de la piscina, a donde desborda el agua de la piscina y por un colector va al vaso de compensación o depósito regulador.

-Vaso de compensación: almacena el agua que desborda por la canaleta del rebosadero, recibe el agua de renovación, el grupo de bombeo desde él aspira el agua para filtrarla y devolverla a la piscina.

-Skimmer: abertura de plástico, en los muros de la piscina y a la altura de la superficie del agua, para la aspiración por ellos, se conectan varios desde el grupo de bombeo. Se colocan en la piscina frente al viento dominante (en el caso de piscinas exteriores).

-Toma para la barredera: boquilla con tapa sumergida 15 cm bajo la superficie del agua para conectar en ella la manguera del limpiafondos manual, que envía el agua al equipo de filtración.

-Grupo de bombas: formada por una o varias bombas, se encarga de recircular toda el agua de la piscina en un tiempo prefijado, aspirándola del fondo, de skimmer o vaso de compensación, reuniéndola en un colector, junto con la de la barredera, la impulsa hacia los filtros y después a la piscina.

-Filtro: recipiente metálico o poliéster y fibra de vidrio, lleno de material filtrante (filtrado activo), retiene las partículas flotantes en el agua. Una batería de 5 válvulas o una válvula selectora, sirve para realizar las operaciones de filtrado, lavado y enjuague de filtro. Puede haber más de uno por piscina.

-Contadores de agua: uno mide el agua que entra cada día en la piscina, otro mide el agua que es recirculada cada día para saber si la instalación cumple los requisitos de renovación y recirculación que ordena Sanidad (piscinas públicas).

-Impulsión: conjunto de tuberías que se ramifican bajo el fondo de la piscina o en sus muros, devuelven el agua a la piscina filtrada y desinfectada. También pueden servir para conducir el agua de llenado de la piscina procedente de la red de aguas local.

-Desinfección: Método químico para el tratamiento y desinfección del agua.

-Sistema de acondicionamiento térmico: Representa toda la instalación térmica que es capaz, inicialmente de llevar la temperatura del agua de todo el vaso hasta la demandada para su actividad específica, y posteriormente de mantenerla estable en ese nivel térmico.

Normalmente este sistema está compuesto por una o más calderas, intercambiadores de calor, bombas, etc.

Existe gran diversidad de piscinas, tanto en cuanto a su forma como al tipo de uso y ubicación. Según el Reglamento Técnico-Sanitario de Piscinas, de Murcia en su Artículo 7, clasifica las piscinas en:

Infantiles o de “chapoteo”: se destinan a usuarios menores de seis años. Su emplazamiento será independiente del de adultos y estará situado a una distancia mínima de metros de ellas; en las instalaciones existentes a la entrada del presente Decreto, estará separado de aquél por elementos constructivos u ornamentales adecuados, de forma que impida que los niños puedan acceder fácilmente a los otros vasos. Su funcionamiento será autónomo. Su profundidad máxima será de 0.40 m. y el suelo no ofrecerá pendientes superiores al 6%.

De recreo y polivalentes: tendrán una profundidad mínima de un metro, que podrá ir aumentando progresivamente (con pendiente máxima del 6 % al 10 %) hasta llegar a 1,40 m., debiendo quedar señalizada esta profundidad y a partir de este punto podrá aumentar progresivamente hasta un límite máximo de tres metros.

Deportivas y de competición: tendrán las características determinadas por los organismos correspondientes o las normas internacionales para la práctica del deporte.

Otra clasificación que se puede hacer es en función del método empleado para extraer el agua del vaso y proceder a su tratamiento termo-químico. Para ello existen dos sistemas bien diferenciados:

Piscina con skimmers: En este tipo de piscina es, en la mayoría de los casos, a la que apunta este proyecto por ser de las más utilizadas y sencillas de armar. En la misma el agua contenida es depurada al ser aspirada en su superficie, empleando unos skimmers o espumaderas (figura 4.1), y el agua del fondo es aspirada por un sumidero en una proporción del 50% respectivamente. Este tipo de piscinas, son las que han predominado hasta estos últimos años en una proporción aproximada del 95%, debido ello a que son fáciles de construir y que es el sistema apto para todos los tipos constructivos de vaso (hormigón, termoplásticos, fibra de vidrio, etc.).

Los inconvenientes de este tipo de piscinas, son relativos a su estructura y sistema de funcionamiento, ya que al tener que estar el nivel del agua a unos 10-15 cm por debajo del nivel superior o playas, implica que cualquier tipo de suciedad caída al agua, si no es recogida en breve tiempo, se hundirá al fondo, generando acumulaciones de suciedad, que se traduce en gasto energético, de agua y de productos químicos para su tratamiento.

También se debe de controlar el nivel del agua (si no se instala un nivelador automático), ya que el nivel debe mantenerse siempre en la mitad de la abertura de los skimmers para que la piscina tenga un buen funcionamiento.

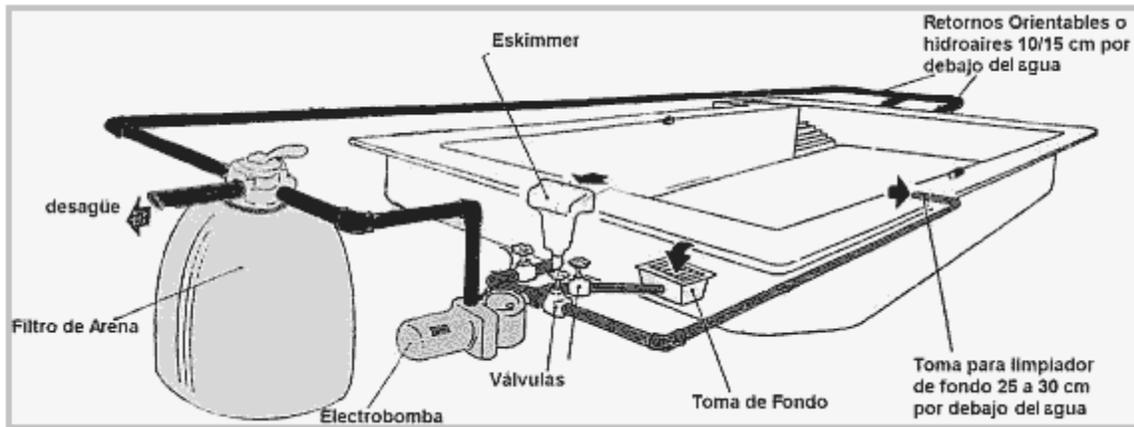


Figura 4.1: Esquema de piscina con Skimmers

Los elementos típicos de este tipo de piscinas son:

- Skimmers
- Toma de fondo para vaciado
- Boca de limpieza
- Bomba de recirculación
- Filtro de arena
- Bomba de Sobrepresión (opcional)
- Boquillas de Impulsión (jets)

Piscinas desbordantes con canal perimetral: Si se tiene un recipiente con agua hasta el borde, y se le ingresa más agua, inevitablemente se desborda. En una piscina, el agua que se desborda se canaliza hacia el sistema de filtrado que nuevamente lo envía hacia la piscina, comenzando el ciclo nuevamente. Las piscinas desarrolladas para funcionar con lo que se denomina desborde finlandés o sistema desbordante, se caracterizan porque la suciedad se retira de la lámina de agua sin contaminar el volumen ni mucho menos llegar al fondo.

La recogida del agua se realiza a través de un canal perimetral que permite que esa agua pase de nuevo al sistema de filtrado. El Sistema de Filtrado se puede programar de forma tal que funcione en cortos lapsos (15 minutos) varias veces al día, asegurando agua perfectamente limpia. Permiten controlar absolutamente todo y no solamente liberarlo de las tareas de mantenimiento, sino que se racionalizan los consumos a lo que estrictamente necesita la piscina (figura 4.2).

Resumiendo, las piscinas desbordantes, requieren de un equipo de filtración de gran tamaño (a veces hasta el doble que el de una piscina de similar tamaño con Skimmers), pero cuentan con la ventaja de que el entretenimiento para la limpieza de fondos es muy bajo si los impulsores se colocan en el fondo, y la calidad del agua obtenida es muy superior.

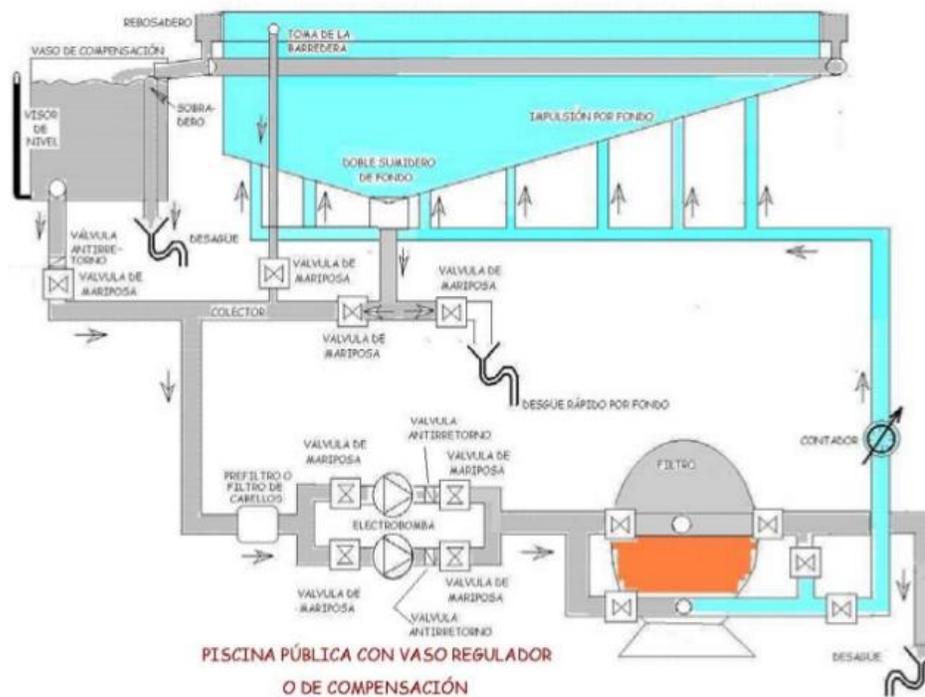


Figura 4.2: Esquema de la instalación en una piscina desbordante

También requieren de un cuidadoso estudio de la hidráulica, para evitar que las bonanzas del sistema no sean deficientes.

En las piscinas privadas el diseño de la piscina se determina en función al espacio disponible y a su integración en el entorno. Es importante tener en cuenta la topografía del terreno, vegetación y armonía del paisaje, además, como es natural, del gusto del propietario.

Las piscinas pueden diseñarse de las formas más variadas, siempre y cuando no existan recodos, ángulos y obstáculos que dificulten la circulación del agua, y su limpieza, la vigilancia de la lámina o puedan resultar peligrosos para los usuarios. Para centrarnos en el tema se puede hacer la siguiente clasificación en función de su forma:

- Regular: cuadrada, rectangular, redonda, ovalada, etc.
- Irregular

No existe ninguna forma que sea mejor que otra, todo depende del uso concreto que se quiera dar. Se debe puntualizar que el tamaño de una piscina está referido a sus dimensiones, es decir, a su perímetro visible, y en cuanto el volumen consiste en el cubicaje que la piscina puede albergar.

En las piscinas públicas, no existen normas sobre el tamaño de las piscinas salvo las

establecidas por los organismos de competición nacional e internacional de natación y de saltos [2].

Con relación a las piscinas públicas las dimensiones dependerán del aforo, es decir, del número máximo de usuarios potenciales de la misma, aunque nunca puedan coincidir todos ellos simultáneamente en el baño. Puede considerarse al respecto un coeficiente de 0,3 entre el aforo y el máximo de bañistas simultáneos.

En cuanto a la profundidad de la piscina, en primer lugar, hay que indicar que para la práctica de la natación no es necesaria una excesiva profundidad, bastará situarla entre 1 y 1,5 metros, pero esto dependerá del tipo de fondo que tenga la piscina. Para piscinas de fondo uniforme, es decir, constante la profundidad media aconsejable está situada entre 1,50 y 1,60 metros, con lo cual en todo momento se puede “hacer pie”. Otro tipo de fondo es el llamado “fondo de rampa” que se inicia en el 0,5 m hasta llegar a los 1,80 o 2 metros., en la zona de máxima profundidad, siendo ésta la cual será enfocado el estudio de requerimientos térmicos en la sección 4.4.

El llamado “fondo de cuchara”, es parecido al anterior, pero con mayor ángulo de inclinación, existiendo en la mitad de su recorrido un escalón que hace decaer súbitamente la profundidad.

A continuación, se presentan unas orientaciones en función al tipo de piscina:

-Piscinas de chapoteo: La profundidad máxima del vaso será de 30 cm y la pendiente superficial del fondo no superará el 6 % en ninguna de las líneas rectas que puedan apoyarse en él.

-Piscinas de recreo: Entre 1 m y 1,40 m en la zona profunda, medida suficiente para la natación de adultos. Mayor profundidad no aporta ventajas e incrementa costos.

-Piscinas de competición: Se aplicará lo dispuesto por los organismos rectores deportivos o normas internacionales.

-Piscinas de foso o salto: La profundidad en la vertical del borde de las palancas será la siguiente, según la altura de las mismas como muestra la figura 4.3.

Altura de la palanca vertical ó trampolín	Profundidad en vertical desde el borde
0,50 m	2,20 m
1,00 m	3,00 m
3,00 m	3,50 m
5,00 m	3,80 m
6,50 m	4,00 m
7,50 m	4,20 m
10,00 m	4,50 m

Figura 4.3: Profundidad de las piscinas para uso de salto

Piscinas polivalentes: El nivel irá aumentando desde 1 a 1,40 m en la zona de aguas someras. Luego aumentará más rápidamente hasta un máximo de 2,20 m en vasos con salto mínimo o la profundidad necesaria, según la tabla anterior, para permitir saltos desde la altura que se proyecte.

Para el fondo del vaso se aplicará lo dispuesto en cada normativa vigente, por regla general disponen que tendrá una pendiente mínima del 2 % y máxima del 10 % en profundidades menores de 1,60 m. En ningún caso las pendientes podrán ser superiores al 35 %. El cambio de nivel, pendiente deberá estar debidamente señalado para el usuario, así como las profundidades existentes en todos los tramos.

La normativa sobre Instalaciones Deportivas y de Esparcimiento (NIDE) es la norma básica sobre la que hay que partir a la hora de diseñar una piscina que posteriormente pueda ser utilizada para entrenamiento o competición en las distintas especialidades representadas por la Real Federación Española de Natación, y que son las siguientes:

- Natación
- Natación sincronizada
- Saltos
- Water-polo
- Piscinas de Chapoteo
- Piscinas de Enseñanza
- Piscinas Polivalentes
- Piscinas de Recreo

Esta norma define aspectos relacionados con la forma y dimensiones del vaso, las playas o andenes, nivel de iluminación e incluso características térmicas del agua. En este sentido, determina los siguientes valores de temperatura:

- Los vasos para uso deportivo de natación, natación sincronizada, waterpolo y saltos, tendrán el agua a una temperatura de $26^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ (Real Federación Española de Natación).
- Los vasos polivalentes tendrán el agua a una temperatura de $26^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.
- Los vasos de recreo tendrán el agua a una temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.
- Los vasos de enseñanza tendrán el agua a una temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, no obstante es recomendable que pueda llegar a 28°C .
- Los vasos de chapoteo tendrán el agua a una temperatura de $24^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, no obstante, es recomendable que pueda llegar a 28°C .

Por otro lado, también establece que el aire ambiente de toda piscina cubierta que incluya un vaso de natación, debe estar constantemente a una temperatura entre 2°C y 3°C superior a la del agua de dicho vaso, por razones técnicas y fisiológicas, con un máximo de 28°C .

La humedad relativa debe estar comprendida entre el 55% y 70% siendo recomendable utilizar como valor de diseño el 60%. El mantenimiento de la humedad relativa del

ambiente en piscinas cubiertas dentro de los límites indicados puede lograrse por medio de una bomba de calor, enfriando, deshumedeciendo y recalentando el aire al mismo tiempo. En el sistema de ventilación se dispondrán recuperadores del calor del aire expulsado.

El uso de energías convencionales para estos fines debe restringirse a suplementar el calor necesario para el aire mínimo de ventilación y las pérdidas por transmisión. El uso de recuperadores o bombas de calor es obligatorio para piscinas cubiertas de capacidad mayor de 80 m³ o cuya superficie de lámina de agua sea mayor de 50 m² (según RITE).

El RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios) determina que la temperatura del agua de una piscina, salvo las de usos terapéuticos, se mantendrá entre 24 y 30 °C. La temperatura a mantener debería variar con el uso, es decir, con la actividad metabólica de los usuarios. Para actividades deportivas de entrenamiento y competición, el agua debería estar entre 24 y 25 °C y uno o dos grados más para actividades de recreo, enseñanza y chapoteo.

En piscinas privadas debería mantenerse una temperatura del agua de 26 a 27 °C, aunque, con frecuencia, se pida mantener una temperatura de hasta 30 °C. La tolerancia de temperatura en el espacio, horizontal y verticalmente, no debe ser mayor que ±1,5 °C.

Con el fin de evitar el desagradable efecto de la estratificación de temperatura, el agua caliente debe inyectarse en la piscina desde la parte baja de las paredes de la misma, o desde el fondo del piso.

Se recuerda que, con sistemas de depuración por skimmers, las boquillas de impulsión del agua tratada se sitúan cerca de la superficie, de tal manera que se haga un barrido de la lámina de agua, con el fin de arrastrar las impurezas superficiales hacia los skimmers. Por tanto, la red de distribución de agua caliente debe ser independiente de la de tratamiento sanitario (filtración y tratamientos químicos o físicos).

La razón por la cual la temperatura del aire de las piscinas cubiertas debe ser entre 2 a 3°C mayor que la del agua es para compensar el efecto de enfriamiento que provoca la evaporación del agua de un cuerpo mojado, con un mínimo de 26 °C y un máximo de 28 a 29 °C. Por tanto, es evidente que estas condiciones son incompatibles con temperaturas del agua mayores que 27 °C.

Condiciones ambientales interiores de 30 °C o más y con 60% de humedad relativa son inaceptables desde el punto de vista del bienestar e, incluso, sanitario. La humedad relativa se mantendrá por debajo del 60 al 65%, con el fin de evitar condensaciones sobre las paredes en contacto con el exterior.

Las piscinas se ponen en temperatura al comienzo de la temporada; la puesta en marcha puede durar hasta tres días. Esto es importante porque determina la potencia de la caldera a instalar.

Como posteriormente se verá a lo largo de este trabajo, la potencia requerida para mantener las condiciones térmicas deseadas del vaso en régimen permanente, es relativamente pequeña, comparado con la etapa transitoria. Durante toda la temporada, tanto la temperatura del agua como así también la del ambiente, deben mantenerse constantes, debido a la gran inercia térmica de todo el sistema.

Cuando la piscina se encuentre funcionando en régimen permanente, que es a lo que se apunta en este trabajo, pero no esté en uso, la lámina de agua estará protegida con una barrera térmica (manta térmica, figura 4.4). Esta obligación debe entenderse para piscinas cubiertas, para las que se permite el uso de energías convencionales, y es muy recomendable también para las piscinas al aire libre, aun cuando para su calentamiento se deban emplear solamente energías renovables o residuales (RITE).



Figura 4.4: Mantas Térmicas para Conservación del Calor

El circuito de distribución de calor para el calentamiento del agua y la climatización de la piscina debe ser independiente de otras instalaciones térmicas. Para el calentamiento del agua de piscinas al aire libre sólo podrán emplearse fuentes de energías renovables (energía solar o biomasa). Está terminantemente prohibido el uso de energía convencional, aunque sea con un equipo bomba de calor para piscinas al aire libre (RITE). Como se puede apreciar este proyecto ajusta muy bien a lo reglamentado por el ente internacional.

4.3 Seguridad e Higiene del Agua.

Un tema no menor es cómo mantener la sanidad del agua de piscinas mediante una higiene adecuada. Una variable importante que juega en contra, en cuanto a higiene, cuando se busca confort en el agua de una piscina es la temperatura. Las temperaturas altas, como en el caso de piscinas de uso terapéutico, aumentan la velocidad de proliferación de microorganismos. En esta sección se muestra los cuidados que deben abordarse para mantener una piscina limpia y, por sobre todo, el sistema de colectores también. Este control evitará inconvenientes como obstrucciones del circuito y formación de películas grasosas en las paredes internas de la tubería manteniendo las prestaciones deseadas del equipo.

Estos microorganismos provienen de; la misma agua de red y a su vez de los mismos bañistas. Los usuarios introducen en la piscina material biológico como; saliva, orina, piel muerta, pelos, materia fecal, mucosidad, etc. Así también como algunos productos cosméticos utilizados como; desodorantes, cremas, protectores solares y demás. Toda esta carga microbiana hace que el agua entre en descomposición en forma acelerada, por ello en muchas piscinas públicas o clubes obligan a ducharse antes de entrar a la piscina y usar gorros para disminuir la cantidad de microorganismos y así disminuir la proliferación, hasta si es posible sin perfumes y desodorantes.

Tiempo atrás, cuando el agua de la piscina ya no estaba en condiciones de uso, que sucedía muy a menudo por la presencia de microorganismos, se vaciaba la piscina y se la volvía a llenar con agua limpia y nueva. Esto no generaba mucho inconveniente si la piscina era chica, y además, no requería de aclimatado, sin olvidarnos de que antes tampoco había escases de agua. Hoy en día las piscinas de los natatorios ya sean públicas o privadas, tienen un uso medido del agua, y el uso es constante, además una piscina, por ejemplo, una media olímpica oscila en 500000 litros como mínimo de agua. Debido a esto, en la actualidad existen métodos que son parte del mantenimiento activo del agua, como el uso de cloro, el filtrado constante, el control de la temperatura del agua y control del pH entre otros.

El control de pH está relacionado con la dosificación de cloro. El pH es un valor que nos indica si una sustancia es ácida o básica. En el caso del agua de piscinas el pH siempre debe estar controlado entre valores de 7,2 y 7,6 [3]. El hecho de que el pH del agua no se corresponda con estos valores puede producir problemas en los bañistas (irritaciones), deterioro de materiales, etc. Además, el hecho de no estar entre los valores óptimos de pH provoca que todo el sistema de desinfección se vea perjudicado.

Para controlar el pH existen diferentes dispositivos fáciles de usar: kits de medición, tiras de análisis, lectores digitales, medidores electrónicos, etc. Cuando el pH está alto debe reducirse mediante un Minorador de pH, que se vende granulado o líquido. Cuando el pH está bajo debe aumentarse con un Incrementador de pH, de las mismas características del Minorador.

Las algas son uno de los principales problemas que aparecen en las piscinas durante el verano. La podemos detectar perfectamente gracias a su coloración verde. El alga es una especie que mejora y crece a pH elevados. Si tenemos un pH elevado favoreceremos el crecimiento de las algas y dificultaremos la acción de productos Antialgas.

4.4 Balance Energético de Piscinas.

En este apartado se hará una evaluación de cómo y dónde se tienen pérdidas de calor en una piscina. Aquí se determinará la demanda energética del vaso de una piscina tipo con el fin de poder extrapolar estos requerimientos térmicos a los que deberá cumplir el colector solar propuesto en régimen permanente.

En cuanto al agua del vaso de una piscina exterior, se puede encontrar diversas razones por las que el agua pierde calor y es necesario calentarla de forma permanente:

- Por la evaporación del agua de la piscina
- Por las pérdidas por transmisión de calor
- Por la renovación continua del agua que exige la normativa

La figura 4.4bis resume las distintas pérdidas y sus mecanismos.

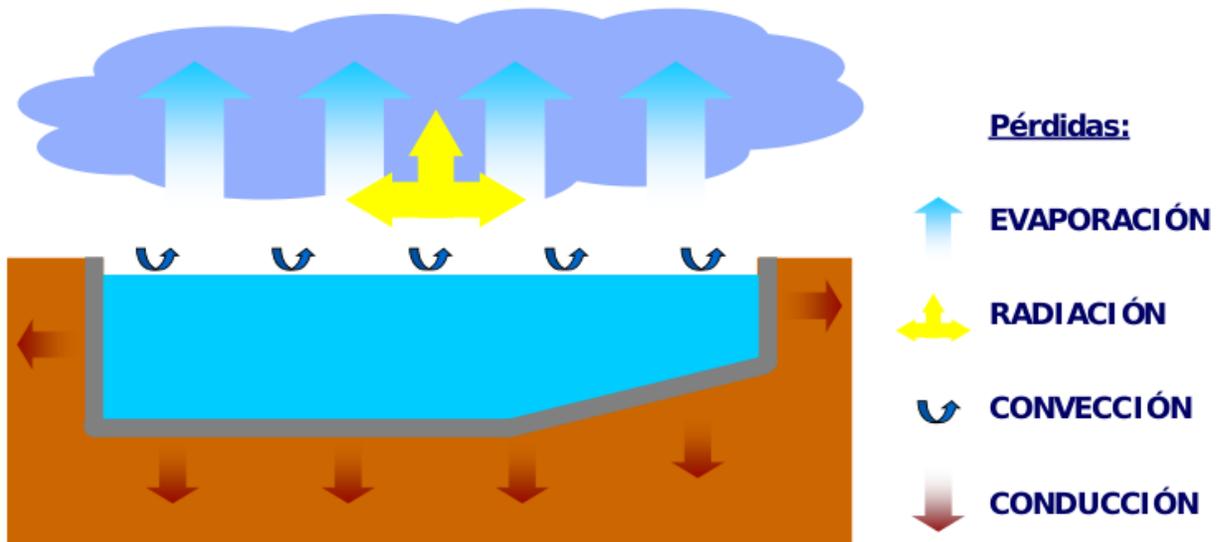


Figura 4.4bis: Resumen de Pérdidas de Calor en una Piscina

El agua del vaso de la piscina se evapora, pasando al aire ambiente, desde tres superficies distintas:

- Desde la lámina de agua del propio vaso de la piscina
- Desde el suelo mojado de las playas (superficie que circunda el vaso de la piscina)
- Desde el cuerpo de los bañistas recién salidos del agua (por evaporación y arrastre)

La denominada “playa mojada” alrededor de la piscina se forma como consecuencia del arrastre de agua por parte de los bañistas que salen del vaso y de las salpicaduras provocadas por los que se están bañando. Su superficie estimada es proporcional al número de bañistas.

Para su evaluación se va a utilizar el método definido por ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers). Este método se apoya en una

$$\dot{m}_w = \omega \cdot \frac{p_w - p_{ro}}{r_w} \cdot S_w \quad (4.1)$$

$$\omega = \frac{88,75 + 78,15 \cdot V}{1000} \quad (4.2)$$

ecuación empírica definida por Carrier en 1918 [4].

Inicialmente es necesario conocer las cantidades de agua que se evaporan a través de los tres mecanismos mencionados anteriormente. En el caso del agua evaporada desde la superficie del agua de la piscina se modela mediante la expresión 4.1 y 4.2.

Donde

\dot{m}_w : el gasto másico del agua producto de la convección con el aire ambiente en *kg/s*.

ω : es el coeficiente de velocidad del aire, siendo *V* la velocidad del aire exterior en *m/s*, fijado en condiciones de reparo y viento calmo en 1,5 *m/s* aproximadamente en piscinas cubiertas.

p_w : es la presión parcial del vapor de agua a la temperatura del vaso de la piscina [Pa]

p_{ro} : es la presión parcial del vapor de agua a la temperatura de rocío del aire ambiente [Pa]

r_w : es el calor latente de vaporización del agua a la temperatura del vaso de la piscina [kJ/kg].

S_w : es la superficie del espejo de agua de la piscina [m²]

En cuanto al agua evaporada desde la superficie del cuerpo de los bañistas se representa mediante la ecuación 4.3.

$$\dot{m}_p = \omega \cdot \frac{p_{35} - p_{ro}}{r_{35}} \cdot S_p \quad (4.3)$$

Donde

\dot{m}_p : el gasto másico del agua extraída por el cuerpo de los bañistas en [kg/s].

S_p : es la superficie del cuerpo de los bañistas mojados [m²]

p_{35} : es Presión parcial del vapor de agua a la temperatura media de la superficie del cuerpo humano a 35 °C [Pa].

r_{35} : es el calor latente de vaporización del agua a la temperatura media de la superficie del cuerpo humano [kJ/kg]

El agua evaporada desde el suelo mojado alrededor de la piscina (playa mojada) se modela mediante la 4.4.

$$\dot{m}_s = \omega \cdot \frac{P_s - P_{ro}}{r_s} \cdot S_s \quad (4.4)$$

Para simplificar el problema esta última expresión (4.4) no será tomada en cuenta en los cálculos generales, debido a que esta expresión solo es válida para piscinas de interior, donde el agua interactúa con una Humedad y Temperatura controlada del ambiente cerrado y retornando nuevamente a la piscina.

En tal caso, en reemplazo de la expresión 4.4 y con el fin de no desestimar esta masa, se puede tomar como una pérdida de masa adicional la cual debe sumarse para la reposición con agua de red. Por ejemplo, mediante un breve análisis, se puede obtener esta pérdida de masa mediante un mecanismo similar agua que de la siguiente manera: se supuso que el agua denominada, de playa mojada, se extrae con el cuerpo húmedo del bañista. El área de piel promedio de un ser humano es de 2 m² [5] y suponiendo, por tensión superficial del agua con la piel, que el espesor de agua adherida al salir de la piscina es de aproximadamente 0,5 mm, se tiene entonces que el volumen desplazado hacia el piso perimetral de la piscina es de 1lt por usuario.

Además, se tiene como regla general que a cada usuario, por comodidad, deberían corresponderle como mínimo 3,6 m² de área de piscina [6] y si en promedio cada chapuzón que se da el bañista no supera, en forma aproximada, los 10 min=600 seg de permanencia, entonces la pérdida de agua por m² de piscina mediante este mecanismo es:

$$\dot{m} = 1 \frac{lbs}{usuario} * \frac{1}{3,6} \frac{usuarios}{m^2} * 1 \frac{kg}{lt} * \frac{1}{600 seg} = 4,62 * 10^{-4} \frac{kg}{seg} = 0,462 \frac{grs}{seg \cdot m^2} \quad (4.4a)$$

Este último resultado de pérdidas de masa por playa mojada lo utilizaremos para completar las pérdidas globales que se estimaran más adelante.

Luego, las pérdidas totales de agua son la suma de las tres expresiones anteriores:

$$\dot{m} = \dot{m}_w + \dot{m}_s + \dot{m}_p \quad (4.5)$$

Todos los gastos másicos en la expresión 4.5 se encuentran en kg/s. Las presiones parciales de vapor pueden ser calculadas a partir de la siguiente expresión:

$$p = \frac{HR}{100} \cdot \exp\left(-\frac{5800,2206}{T_{BS}} + 1,3914993 - 0,04860239 \cdot T_{BS} + 4,1764768 \cdot 10^{-5} \cdot T_{BS}^2 - 1,4452093 \cdot 10^{-8} \cdot T_{BS}^3 + 6,5459673 \cdot \ln(T_{BS})\right) \quad (4.6)$$

Donde

HR es la humedad relativa del aire ambiente en (%).

T_{BS} es la temperatura de bulbo seco, en K

Para determinar el calor latente de vaporización del agua, se puede recurrir a la expresión 4.7, el resultado nos servirá para determinar las 4.1 y 4.3 (perdidas de masa por evaporación).

$$r = 347 \cdot (374,15 - t)^{1/3} - 2 \quad (4.7)$$

Siendo

t : la temperatura media del cuerpo o fluido de interés en $^{\circ}C$

Y el punto de rocío del aire ambiente se puede determinar mediante la expresión 4.8:

$$t_{RO} = 1,1689 \cdot (\ln(p))^2 - 1,8726 \cdot \ln(p) - 35,957 \quad (4.8)$$

Donde ' p ' es la presión parcial calculada en la (4.6).

Anteriormente se mostró como calcular y obtener las pérdidas de masa de agua de la piscina para determinar cómo influyen estas pérdidas en el balance de energía, éstos fueron cálculos parciales las cuales formaran parte de las expresiones de pérdidas por los distintos mecanismos que se verán a continuación.

Durante el funcionamiento de la piscina el agua pierde calor debido también a la transmisión entre ésta y el ambiente o las paredes del vaso. Estas pérdidas, expresadas todas ellas en kW, se pueden calcular mediante las siguientes expresiones:

- Pérdidas por la evaporación del agua: La evaporación del agua produce dos tipos de pérdidas: el efecto de refrigeración sobre el vaso que produce la propia evaporación del agua, y el calentamiento del agua de reposición para compensar esa pérdida de fluido en el vaso y expresada mediante la 4.9 y el resultado de las expresiones 4.5 y 4.7:

$$P_{ev} = \frac{\dot{m}}{1000} [r + 4.186 \cdot (t_{wm} - t_{wa})] \quad (4.9)$$

Donde

P_{ev} : es la pérdida por evaporación medida en kW.

t_{wm} y t_{wa} : representan, respectivamente, la temperatura media del agua en $^{\circ}C$ de la piscina y del agua de renovación (temperatura del agua de la red).

- Pérdidas por convección de la lámina de agua hacia el aire del ambiente: Se trata del intercambio de calor del vaso con el aire ambiente:

$$P_{cv} = 0,003181 \cdot V^{0,8} \cdot (t_{ws} - t_{BS}) \cdot S_w \quad (4.10)$$

Donde

P_{cv} : es la pérdida de calor por Convección medida en [W]

V : es la velocidad del aire, que en este caso por ser piscina descubierta la velocidad es alrededor de los 20 km/h en Mar del Plata [7], pasados a unidades consistentes con la expresión 4.10, 5,5 m/s.

t_{ws} : es la temperatura superficial en [°C] del agua de la piscina.

t_{BS} : es la temperatura en [°C] de bulbo seco del aire ambiente.

S_w : es el área total del espejo de agua de la piscina en [m²].

- Pérdidas por radiación de la superficie de la lámina de agua hacia el ambiente exterior [8]:

$$P_{rad} = 5,67 \cdot 10^{-11} \cdot \varepsilon \cdot [(t_{ws})^4 - (t_{cielo})^4] \cdot S_w \quad (4.11)$$

Donde

P_{rad} : es la pérdida por radiación en kW.

t_{ws} : es la temperatura radiante de la película de agua de la piscina en K.

t_{cielo} : es la temperatura del cielo en época de verano (15-20°C) en K.

ε : es la emisividad media de la lámina de agua (estimada en 0,95)

S_w : es la superficie de la lámina o espejo de agua en m².

- Pérdidas por conducción a través de las paredes del vaso de la piscina que, eventualmente, pueden estar en contacto con el aire. En el caso de que el vaso de la piscina esté excavado sobre el suelo, sus paredes no estarían en contacto con el aire y estas pérdidas serían despreciables. El caso de estudio apunta a piscinas embutidas en el suelo, por ello la expresión 4.12 se desestima en los cálculos de pérdidas globales.

$$P_{cond} = k \cdot \frac{t_{wm} - t_{BS}}{1000} \cdot S_p \quad (4.12)$$

Siendo

k : la conductividad térmica del material de las paredes expresada en (kW/m².K).

t_{wm} : la temperatura media de la pared de la piscina en °C.

S_p : la superficie de la pared y piso de la piscina en °C.

Debido a que se desestima las pérdidas por conducción, el balance global o pérdidas totales de calor se muestran solo con los términos restantes, es decir, las pérdidas por evaporación y por convección. Luego la potencia necesaria para cubrir estas pérdidas

será la suma expresada por la 4.13.

$$P_{total} = P_{ev} + P_{cv} + P_{rad} \quad (4.13)$$

- Pérdidas por renovación: se refiere a las pérdidas por renovación de agua para contrarrestar la pérdida de masa evaporada. Existe un órgano internacional competente, en este caso el de MURCIA, el cual establece las condiciones higiénico-sanitarias que rige mundialmente. Se encarga de verificar el cumplimiento de la constante renovación del agua del vaso de la piscina. En el caso de piscinas privadas, el agua de abastecimiento de los vasos tendrá que proceder preferentemente de la red de distribución de agua potable. En el caso de que el agua tuviese otra procedencia, su utilización requerirá, necesariamente, la autorización de la Dirección General de Salud.

El aporte de agua nueva será realizado una vez al día como mínimo, en una cantidad de al menos un 2,5% de su capacidad. Esto supone que cada 40 días, la suma de las aportaciones diarias de agua nueva no podrá ser inferior al volumen de agua del vaso [9]. Esta agua retirada será repuesta por agua proveniente de la red de abastecimiento, y por lo tanto a una temperatura inferior a la del vaso. Este hecho representará una pérdida en sí misma que hay que tener en cuenta en el balance energético de la piscina.

En este sentido, se ha supuesto que el proceso de renovación del agua se realiza de forma continua a lo largo de todo el día, mediante el vaciado de la parte correspondiente hora a hora. Este modo se asemeja bastante a lo que ocurre en la realidad en el procedimiento de operación de la piscina.

La expresión 4.14 permite determinar en forma aproximada la pérdida de temperatura en el vaso por efecto de esta renovación por cada unidad de tiempo transcurrido.

$$(M - \dot{m}_{renov} \cdot t) \cdot t_{wm} + \dot{m}_{renov} \cdot t \cdot t_{wa} = M \cdot t_f \quad (4.14)$$

Siendo

M : la masa del agua contenida en el vaso de la piscina en [kg]

\dot{m}_{renov} : el gasto másico del agua extraída del vaso para cumplir con el porcentaje de renovación diaria requerida en [kg/s]

t_f : temperatura al final del lapso de tiempo del vaso de la piscina en [°C]

t : el lapso de tiempo en [s].

t_{wm} : Temperatura media del agua del vaso de la piscina en [°C].

t_{wa} : la temperatura del agua de reposición (de la red pública) en [°C].

Si se cumple con la Norma se tendría que para una piscina privada típica, de unos 80000 litros de capacidad, el aporte diario de agua de red sería de 2000 litros. Este volumen parece una poca cantidad si lo comparamos con la capacidad de la piscina, pero es equivalente a 2 tanques de agua de una vivienda. En la actualidad, en muchos lugares de la costa atlántica en verano, además de los gastos de obtención, potabilización y distribución del agua, existe una gran demanda y por lo tanto gran escasez de dicho

recurso. Por estas razones, la Norma no se cumple de manera rigurosa, por lo menos en Argentina, y en este trabajo, las renovaciones que corresponde a la expresión 4.5 solo se tomaron en cuenta para completar el volumen perdido por evaporación con el fin de evitar que baje el nivel del vaso.

Se realizó un análisis para determinar el orden de magnitud de pérdidas debido a esta renovación obligatoria, suponiendo que se renueva como mínimo el 2,5% diario del volumen del vaso como especifica la Norma. Para ello se estimó un volumen arbitrario de piscina, de dimensiones típicas de; área de 5 m de ancho por 10 m de largo, dando como resultado una lámina de 50 m² y profundidad media de 1.5 m, obteniendo un volumen total de agua de 75 m³. Se calculó cada término de la 4.14 obteniéndose:

La masa total M , producto del peso específico del agua por el volumen total del vaso (4.15):

$$M = \rho * Vol. = 1000 \frac{kg}{m^3} * 75 m^3 = 75000 kg \quad (4.15)$$

Sabiendo que se renueva el 2,5% diario de la masa total M , se obtuvo el caudal másico mediante la 4.16:

$$\dot{m}_{renov.} = M * 2,5\% * \frac{1}{dia} = 75000 kg * \frac{2,5}{100} * \frac{1}{24hs*3600s} = 0,0217 \frac{kg}{s} \quad (4.16)$$

El valor de tiempo transcurrido se tomó como valor $t = 1 seg$ para que quede en unidades consistentes al igual que el resto de las variables. La $t_{wm} = 28^\circ C$ (Temperatura media deseada del agua del vaso), $t_{wa} = 15^\circ C$ (Temperatura media del agua de red de la ciudad de Mar del Plata que entra a la piscina como renovación). Se despejo la Temperatura final del término de la derecha de la 4.14 para determinar cuánto descendió la temperatura del volumen del vaso en el lapso de un segundo:

$$t_f = \frac{\left(75000 kg - 0,0217 \frac{kg}{seg} * 1 seg\right) * 28^\circ C + 0,0217 \frac{kg}{seg} * 15^\circ C * 1 seg}{75000 kg} = 27,99^\circ C$$

La diferencia de temperatura del vaso a causa de la renovación es de una centésima de grados, es decir la temperatura descendió 0,01°C en 1 s, luego se calculó cuanta energía por segundo se pierde a causa de esta renovación obteniéndose:

$$\dot{Q} = M * c_p * \Delta T = 75000 kg * 4,184 \frac{kJ}{kg * ^\circ K} * 0,01 \frac{^\circ C}{seg} = 3138 kW \quad (4.17)$$

Las pérdidas por renovación obligatoria son considerables, según muestra el resultado de la ecuación 4.17, debiendo considerar esta perdida en las globales de la expresión 4.13 como se muestra a continuación:

$$P_{total} = P_{ev} + P_{cv} + P_{rad} + P_{rep.agua}$$

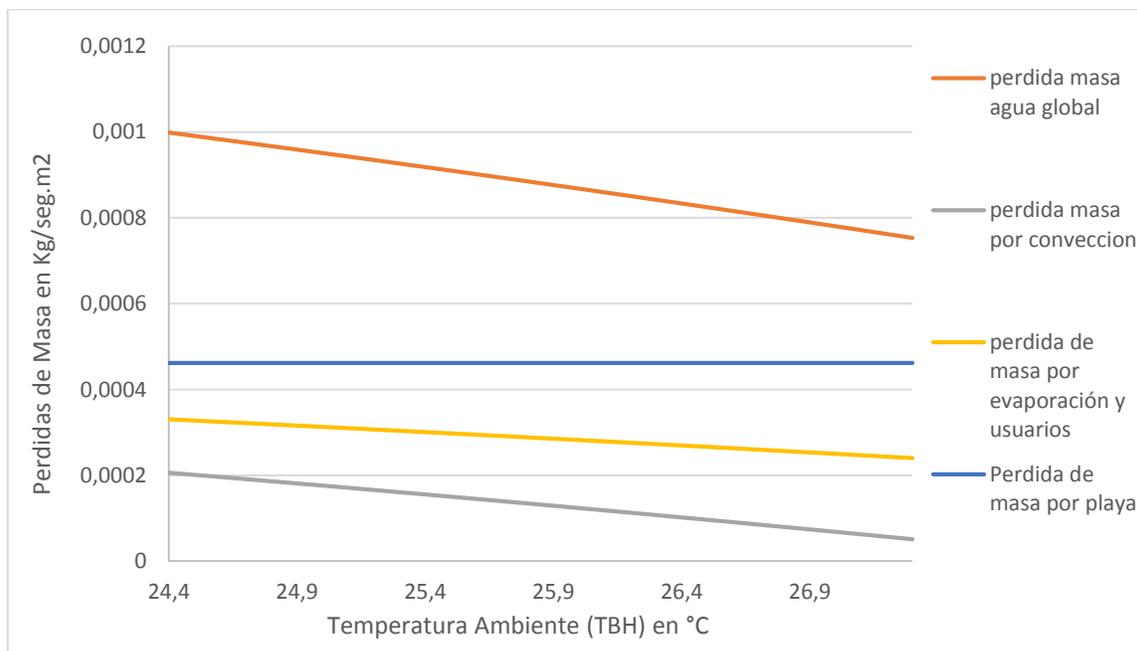
Como ya se mencionó, en la ciudad de Mar del Plata al igual que en muchas ciudades

costras, estas renovaciones no solo significan un gasto en recurso hídrico, sino que además significa, en materia de aclimatado de piscinas, un gasto en energía calórica importante.

Recordando los mecanismos de transmisión de calor y las correlaciones de pérdidas térmicas presentadas anteriormente, se determinaron las mismas en función del área unitaria de la lámina o espejo de agua y las condiciones de Humedad Relativa y temperatura media del ambiente exterior. Las expresiones de pérdidas se presentaron en Excel pudiendo tener una amplia gama de resultados para las distintas temperaturas del ambiente. Además, permitiendo obtener dichos resultados de manera más rápida y con la posibilidad de visualizar el comportamiento de estas pérdidas.

Los valores especializadas en las expresiones de perdidas, tanto de masa como de calor son: Temperaturas de bulbo húmedo (*TBH*) y Humedad Relativa (*HR*) fueron tomados del diagrama psicrométrico del agua a presión atmosférica. Los datos de entrada a dicho diagrama son representados por la Humedad Relativa promedio en época de verano (*HR=76%*) y *TBH* que oscilan entre 24,4 y 27,3 °C [10]. De acuerdo al psicrométrico, la TBS (Temperatura de Bulbo Seco) del aire oscila entre 26,5-29,2 °C. A su vez como ya se mencionó, la velocidad media del viento se tomó $V=5,5\text{ m/s}$, la temperatura deseada del agua $t_{ws}=30^{\circ}\text{C}$ y la temperatura del agua de renovación del vaso $t_{wa}=15^{\circ}\text{C}$.

De acuerdo a estos datos se obtuvo la gráfica 1.1 sobre pérdidas de masa parcial y global:



Gráfica 1.1: Caudal Másico Parcial y Global por m² de Piscina

De esta gráfica se pueden extraer algunas observaciones importantes; las pérdidas de masa por playa mojada son casi el doble que las de evaporación y usuarios. Las pérdidas por playa mojada son constantes para cualquier temperatura ambiente, son

independientes de ésta, aunque el fin de presentarla en la gráfica juega el papel de compararla con las otras pérdidas.

Tanto las pérdidas parciales como globales de masa, disminuyen con el aumento de temperatura ambiente. Este comportamiento es lógico, debido a que la tasa de calor que se transfiere de la piscina al medioambiente está gobernada por la diferencia de temperatura entre la piscina y el ambiente, es decir, dicha tasa disminuye a medida que la temperatura ambiente tiende a su vez a nivelarse con la temperatura deseada de la piscina.

Las menores pérdidas se dan por convección, cabe destacar que el viento juega un papel importante, por ello cuanto más reparada del viento se encuentre la piscina se tendrá menos pérdidas por este mecanismo de transmisión del calor. Además, las pérdidas por evaporación dependen de la velocidad del viento, ya que cada masa de aire sobre la superficie de la piscina, producto del mismo viento, se renueva con masa de aire fresca y seca promoviendo una difusión de humedad hacia dicha masa.

Cada pérdida parcial de masa tiene su aporte en cada momento del día, por ejemplo las pérdidas de masa por evaporación, usuarios y de playa mojada descienden hasta hacerse casi nulas cuando la piscina se encuentra cubierta con la manta térmica debido a su no utilización. La manta térmica hace de barrera también para las pérdidas y frena la tasa de transferencia de calor por convección, haciendo que el descenso de temperatura durante la noche disminuya pero lo haga de manera muy lenta para poder recuperarse al día siguiente.

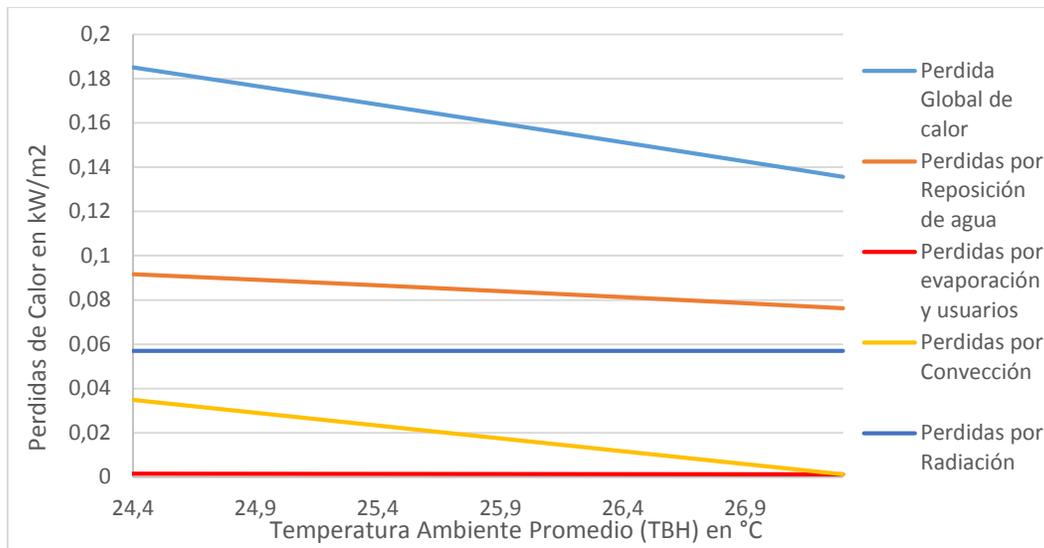
En las pérdidas por playa mojada sucede lo mismo, ya que al aplicar la manta se restringe el baño, por consiguiente no hay extracción de agua del vaso. Como las pérdidas de estas masas se mitigan en cierto momento del día entonces no hay pérdidas por renovación, es decir, no entra agua fría de red a la piscina.

Se puede observar que se pierde entre 0,7 y 1 cm³ de agua por segundo por unidad de superficie de piscina. Si extrapolamos estos valores a una piscina tipo de 50 m² se tiene que esta pérdida asciende a valores entre 35 y 50 cm³ por segundo en los momentos de intensidad solar más alta, es decir, cielo despejado, 25 °C de temperatura ambiente en promedio y entre 10 y 15 personas bañándose. A lo largo de un periodo de 8 h de uso diaria de la piscina se tiene que las pérdidas de masa global ascenderían a:

$$\dot{m}_{global} = 50 \frac{cm^3}{s} * 3600 \frac{s}{h} * 8 \frac{h}{dia} * \frac{1}{1000} \frac{l}{cm^3} = 1440 \frac{l}{dia} \quad (4.18)$$

El resultado de la expresión 4.18 es la máxima cantidad, aproximada, de masa que se pierde en una piscina de 50 m² diariamente por los distintos mecanismos y la cual será ingresada desde la red (renovación) una temperatura promedio de 15°C.

A continuación, se muestra en la figura 1.2 las pérdidas de calor, comportamiento similar al de las pérdidas de masa, para las distintas temperaturas del ambiente que se pueden dar en las horas pico o de mayor incidencia solar en verano en la ciudad de Mar del Plata.



Gráfica 1.2 Pérdidas parciales y globales de calor por m² de piscina

Una observación interesante que se puede visualizar en la gráfica 1.2 es que las pérdidas de calor tienen un comportamiento similar al de pérdidas de masa, y es esperable que esto así suceda pues todas las pérdidas parciales de calor, excepto la de radiación, tienen como variable intrínseca el caudal másico que se pierde.

Se puede apreciar que la influencia más significativa de entre todas las pérdidas parciales sobre la global, se da por la cantidad de calor perdido para calentar el agua de red que ingresa a la piscina. Cabe destacar que en la mayoría de las piscinas y sobre todo en las privadas, por lo general, no hay una regla sobre cómo realizarse el esquema de ingreso de agua de red a la piscina. Algunos instaladores lo conectan a una tee del circuito de recirculación y con válvula manual para obligar al filtrado continuo de agua. Otros lo hacen de manera directa al vaso.

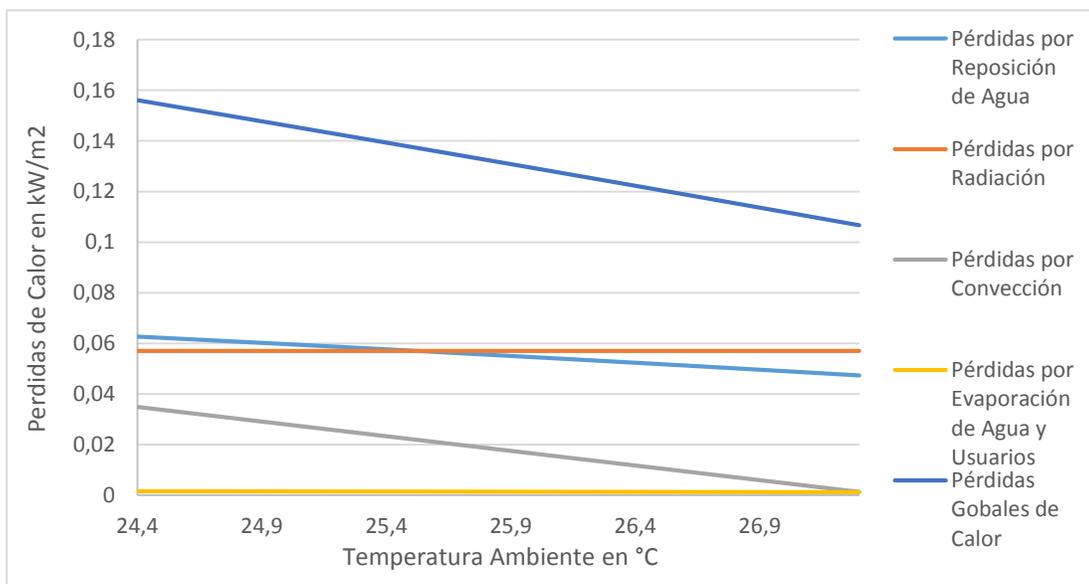
En el llenado inicial, el agua de red no suele pasar previamente por el equipo de calefacción tradicional, una caldera, debido a que este sistema es un circuito de agua cerrado que trabaja a distinta presión que la del agua red. En sí, la conexión que permite el ingreso de agua de renovación es la misma conexión de llenado inicial de la piscina, para el caso de sistemas tradicionales de calefacción.

Este esquema, de renovación y llenado de la piscina, influye considerablemente en el cálculo de balance térmico de pérdidas de Calor. Esta diferencia se debe a la inercia térmica ya que no es lo mismo elevar 0,01°C la masa de 1500 kg de agua como ya se mostró en la expresión 4.14 y mediante el ejemplo 4.17, que elevar 1 cm³ de agua 15°C. Sin embargo a pesar de la gran magnitud de estas dos diferencias en cálculo, las dos a su vez compensan las pérdidas, pero una lo hace a un costo mucho menor debido al

esquema implementado en la renovación de masa.

Como propuesta para subsanar este hecho, se propone un esquema distinto en cuanto a la instalación de los colectores, a los fines de reducir las pérdidas globales de Calor, que mayormente se dan por renovación. Este consiste en hacer pasar el agua de red previamente por los colectores para que al ingresar a la piscina lo haga a una temperatura mucho mayor a los 15°C con los que entrarían normalmente. El objetivo es optimizar el área de colectores minimizando las pérdidas.

Este sistema de colectores es un circuito independiente de los de mantenimiento de calor por el resto de mecanismos de pérdidas mencionados. Además, su presión de trabajo será distinta (presión de la red) al resto de la batería de colectores como así también su área. Si nos fijamos son 1440 litros en un periodo de 8 h de uso diario, o bien 180 l/h que pasan por el colector. Se realizó un nuevo cálculo de pérdidas sabiendo que las de 'calor por renovación' serán en base al caudal másico global ya obtenido mediante la gráfica 1.1. Luego se la afectó por la elevación deseada de su temperatura de 15°C a 30°C y su correspondiente capacidad calorífica $C_p=4,184 \text{ kJ/kg.K}$. Obteniendo como producto la gráfica 1.3:



Gráfica 1.3: Pérdidas Globales de Calor por m² de Piscina (método alternativo)

Como se puede ver en la gráfica 1.3 las pérdidas por renovación se redujeron en aproximadamente un 38% generando una disminución global en las pérdidas de un 15%, y tan solo modificando el esquema de conexión de la entrada de agua a la piscina.

El sistema del esquema propuesto es sencillo de manejar o controlar, el ingreso se gobierna mediante una válvula manual y con la ayuda visual de un caudalímetro se setea el caudal a partir de la gráfica 1.1 ingresando con la temperatura ambiente, cuya información se obtuvo previamente mediante la lectura de un termómetro en el exterior.

De acuerdo a estas nuevas pérdidas producto de la modificación del sistema se relevaron

los datos para la menor pérdida térmica con un valor de 0,1067 kW/m², la mayor pérdida con 0,1561 kW/m² y como promedio de estos valores mencionados, 0,1314 kW/m² de piscina. Estos valores se pasaron luego a unidades de consumo específico de energía [11] con el fin de verificar si el recurso energético tiene la capacidad de cubrir las pérdidas en régimen permanente en un lapso de utilización de la piscina desde las 8 hasta las 16 hs (8 hs de uso) se obtuvo los siguientes resultados:

$$P_{glob.min.} = 0,1067 \frac{kW}{m^2} * 8 \text{ hs} = 0,8536 \frac{kWh}{m^2}$$

$$P_{glob.max.} = 0,1561 \frac{kW}{m^2} * 8 \text{ hs} = 1,2488 \frac{kWh}{m^2}$$

$$P_{glob.prom.} = 0,1314 \frac{kW}{m^2} * 8 \text{ hs} = 1,0512 \frac{kWh}{m^2}$$

Las pérdidas globales de calor son los requerimientos térmicos que deben exigirse al recurso propuesto, es decir, el colector solar térmico. Para ello, con estos tres resultados de pérdidas y con la energía provista por el Sol (descrita en el capítulo 2) se llegó a un primer resultado en cuanto al área de colector necesaria por cada unidad de área de espejo de piscina dando los siguientes valores:

$$\frac{P_{glob.min.}}{\dot{Q}_{ganado.Sol}} = \frac{0,8536 \frac{kWh}{m^2(piscina)}}{0,820 \frac{kWh}{m^2(colector)}} = 1,04 \frac{m^2(colector)}{m^2(piscina)}$$

$$\frac{P_{glob.max.}}{\dot{Q}_{ganado.Sol}} = \frac{1,2488 \frac{kWh}{m^2(piscina)}}{0,820 \frac{kWh}{m^2(colector)}} = 1,52 \frac{m^2(colector)}{m^2(piscina)}$$

$$\frac{P_{glob.prom.}}{\dot{Q}_{ganado.Sol}} = \frac{1,0512 \frac{kWh}{m^2(piscina)}}{0,820 \frac{kWh}{m^2(colector)}} = 1,28 \frac{m^2(colector)}{m^2(piscina)}$$

Con estos resultados se concluye finalmente que para un primer dimensionamiento de área de colectores solares debe ser 1,3 veces, en promedio, el área total de la piscina. Este es un resultado que coincide con la recomendación de algunos proveedores de cualquier colector que existe en el mercado, como por ejemplo la empresa PEISA [12]. Igualmente es una relación entre la energía suministrada por el recurso solar y el área de piscina, pero el resultado de esta relación se verá afectada por el rendimiento de captación de la energía, en términos técnicos, del rendimiento del colector diseñado, aumentando aún más el valor de dicha relación. En el capítulo de diseño de colector se obtendrá el dimensionado óptimo de cada elemento que constituye al colector de manera tal que cumpla con la temperatura deseada a la salida de dicho equipo.

4.5 Consumo Eléctrico en piscinas

El principal elemento eléctrico que utiliza una piscina es la bomba de agua y es elemento de mayor consumo eléctrico. Otros elementos eléctricos (opcionales), que podría requerir el usuario, son los dispositivos de control, acompañadas de electroválvulas y sensores que gobiernan la bomba con el fin de emancipar al usuario de la constante atención de los periodos programados de recirculación del agua y que estos no se vean interrumpidos, como así también las maniobras de renovación de agua de red hacia el vaso y vaciado programadas. En esta sección se hablará de cómo se calcula el consumo energía eléctrica de una bomba y como se relaciona con el sistema de colectores. Esta información no influye directamente con el cálculo del sistema, sino que se da a la inversa. Además se espera que el consumo de bomba sea menor en el sistema de aclimatado propuesto que en el tradicional.

En este proyecto, el consumo eléctrico estará puramente enfocado a la maquina fluido-dinámica (Bomba de recirculación), la cual se encarga de recircular el agua de la piscina por los colectores solares. Esta bomba será una bomba separada de la que se utiliza en el sistema de recirculación y filtrado, no afectando los elementos que ya existen y que es en definitiva es lo más recomendable. Esto hecho se debe a que, para empezar, al ser dos circuitos de naturalezas distintas, una de las razones es la diferencia en potencias que existe entre el sistema de filtrado y el de aclimatado, lo que suele haber hasta 3 veces la potencia de uno respecto del otro pudiendo hasta afectar la integridad de los filtros.

Es recomendable la separación de los dos circuitos por lo comentado anteriormente y porque sería muy engorroso a nivel técnico armar en la sala de máquinas con una sola bomba los dos circuitos, teniendo en cuenta que el sistema de calefacción propuesto escapa de lo convencional. Además, otro punto a favor al separar los dos circuitos es la disminución del riesgo de inconvenientes técnicos debido a que el usuario no pierde garantía por los elementos de filtrado ya colocados anteriormente.

En el aclimatado convencional de agua de piscinas, se tiene que la caldera a gas forma parte del circuito de filtrado, es decir, el filtrado, la recirculación y la calefacción, en este caso, forman un circuito en serie y, por consiguiente, se utiliza una sola bomba de impulsión. Las pérdidas de cargas en las calderas son mucho menores que en el sistema de calefacción por colectores, esto se debe a que la caldera a gas se puede colocar lo más cerca posible de la piscina disminuyendo las pérdidas por longitud, altura y accesorios y, además, el diámetro de la serpentina dentro de la caldera es mucho mayor, hasta 10 veces más, que el diámetro de circulación en los colectores, pudiendo manejar altos caudales.

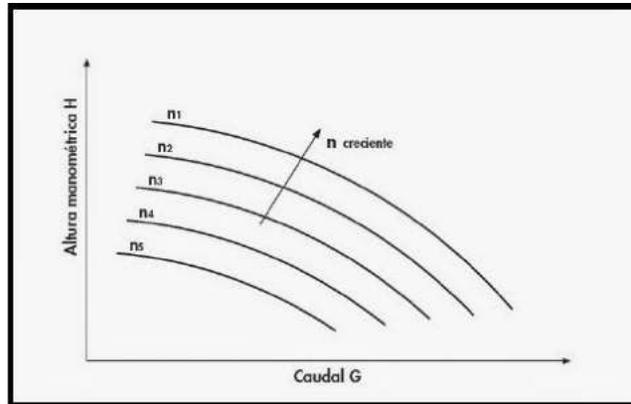
Otra ventaja de armar el circuito de calefacción con colectores solares, en forma independiente al de filtrado y recirculación, es la rápida colocación del sistema, liberando de eventos no deseados y retrasos al servicio técnico especializado. Además, como ya se mencionó, los dos circuitos trabajan distinto. Una variable a controlar en el circuito de colectores es la velocidad de fluido dentro de los mismos, gobernada por presión en la bomba impuesta por el diámetro y la velocidad de rodete.

Una cuestión a tener en cuenta en cuanto al fundamento de la separación de ambos circuitos, es que el funcionamiento de los dos circuitos no siempre es en simultáneo en todo momento del día, por ejemplo, la caldera para el aclimatado del agua en verano se enciende en cortos periodos de tiempo para mantener la temperatura. A diferencia de la época invernal, la cantidad de usuarios es mayor y la térmica es menor. Pero no así el sistema de filtrado que, en época de verano, el funcionamiento de dicho circuito es mayor pues la proliferación aumenta y requiere purificarse más por el hecho de haber más usuarios.

En base a estas cuestiones mencionadas, se suelen separar los circuitos con sus bombas respectivas, además, en piscinas de compromiso comercial, para no incurrir en contingencias, se suele adosar una bomba de apoyo o auxiliar a cada circuito en paralelo, para evitar interrupciones en el funcionamiento de los mismos.

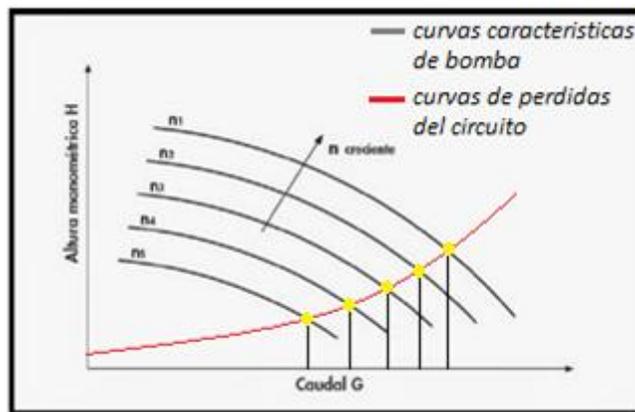
Ahora se verá cómo debe seleccionarse una bomba de catálogo para cada caso particular. La metodología de elección de una bomba de recirculación, viene dada por la curva de pérdidas del circuito y energía cinética máxima del fluido caloportador a determinar, principalmente, dentro de los colectores y, además, viene dada por las curvas características de bombas. Las pérdidas de carga están asociadas a la resistencia al paso que tiene el fluido al pasar por todo el circuito de cañerías, colectores y accesorios como codos, curvas o tee. Todos estos elementos ofrecen una resistencia al paso de un fluido, pero también, estas pérdidas dependen de las dimensiones de dichos elementos (diámetros), la longitud trayecto que este fluido debe recorrer y, fundamentalmente, la velocidad media de paso del fluido por dichos elementos (caudal).

Para determinar la bomba a colocar al sistema de colectores y circuito general de distribución se debe conocer las distintas prestaciones que ofrece el proveedor, mediante las denominadas *curvas características de la bomba*. Estas curvas representan en forma gráfica las distintas relaciones carga-caudal (gráfica 1.4) y a cada tipo de bomba le corresponde una curva característica, la cual depende del diámetro de rodete, las rpm y la potencia del motor. Como la velocidad angular (rpm) del rodete depende del tipo de motor que lo impulse (motor asincrónico de 4 polos) y de la frecuencia eléctrica de la red, para que haya cambios en la velocidad periférica del rodete se debe cambiar el diámetro, a mayores diámetros mayor velocidad periférica y en consecuencia mayor impulsión [13].



Gráfica 1.4: Curvas características de bombas para distintas rpm

La gráfica 1.4 muestra las distintas curvas, provistas por el proveedor de bombas, que pueden darse para un tamaño de rodete constante a distintas revoluciones por minuto del motor (rpm). La altura manométrica H , descrita en ordenadas, está expresada en metros y en abscisas el caudal volumétrico G comúnmente en [l/s]. Si representamos la curva de pérdidas del circuito en función del caudal en la misma gráfica se obtiene en la intersección de las dos curvas el punto de operación del circuito, es decir, esta intersección nos dirá a qué caudal trabajará todo el sistema o, lo que es lo mismo, a qué velocidad se moverá el fluido dentro de cada elemento del sistema (gráfica 1.5).



Gráfica 1.5: Curvas Características de bomba y Pérdidas de Carga en circuito

El punto de operación en la cual se desea trabaje el circuito, se da con la elección de la bomba que cumpla con las condiciones impuestas por el diseño del sistema. Por ejemplo, la gráfica 1.4 puede verse de dos maneras: una bomba gobernada por cinco velocidades distintas de motor, en tal caso no varía el diámetro de rodete sino las rpm, o bien, la misma gráfica puede representar a cinco bombas, caso común de una única velocidad de motor pero con cinco rodetes de distintos diámetros mientras las rpm son las mismas. Aunque hoy en día, el avance tecnológico y las necesidades de ahorro energético han sido los precursores para poner al mercado, además de las bombas de única velocidad, bombas de dos velocidades y bombas de velocidad variable evitando así la utilización de

un variador.

Otra variable importante a la hora de la elección de la bomba es la Carga Positiva Neta de Aspiración Requerida (NPSHr). Esta depende del diseño de la bomba y representa la energía necesaria para llenar la parte de aspiración de la misma y vencer las pérdidas por rozamientos y aumento de velocidad desde la conexión de aspiración hasta el punto donde se incrementa la energía. Es, por lo tanto, un valor que depende del diseño constructivo de la bomba y que debe suministrar el fabricante de la misma.

En este apartado no se profundizará sobre las expresiones matemáticas y correlaciones experimentales, además de las ecuaciones de energía que gobiernan y que llevan a obtener la curva de pérdidas, pero se verá con mejor detenimiento y detalle en la etapa de simulación del capítulo 7 para determinar las pérdidas del colector propuesto.

Para determinar la potencia eléctrica que consumirá la bomba se debe partir del dato de potencia en HP de la ficha técnica o chapa adosada al motor. Luego, para unificar las unidades se debe pasar a Watts como se muestra en la expresión 4.19.

$$P_{total}[kW] = P_{fichatecnica}[HP] * 0,736 \frac{kW}{HP} \quad (4.19)$$

Hasta aquí se tiene solo el valor de potencia suministrada por el motor eléctrico de la bomba pero, para tener una idea de consumo de energía eléctrica se lo debe pasar a dichas unidades, es decir, en kWh que es, como la empresa de suministro eléctrico vende la electricidad en forma unitaria en la puerta de nuestras casas, entonces:

$$E_{total}[kWh] = P_{total}[kW] * 1 \text{ hora} \quad (4.20)$$

El resultado de la 4.20 es el valor de energía consumida en el periodo de una hora de funcionamiento de la bomba en unidades específicas de consumo eléctrico, a continuación se muestra un ejemplo de la utilización de estas expresiones:

Supongamos que según los requerimientos de caudal de diseño y la curva de pérdidas de carga del circuito se concluye que la bomba a colocar en el sistema, por poner un ejemplo, trabaja a una potencia de 1,5 HP, según la curva de bomba de potencia-caudal, entonces aplicando la 4.20 se tiene:

$$E_{total}[kWh] = 1,5 \text{ HP} * 0,736 \frac{kW}{HP} * 1 \text{ hora} = 1,1 \text{ kWh}$$

Los cálculos anteriores son los gastos de energía eléctrica de una bomba seleccionada partiendo de las condiciones de pérdidas por rozamiento mediante el caudal de diseño y que cumple con la NPSHr y el objetivo de hacer pasar el fluido caloportador por la batería de colectores a la velocidad deseada.

La bomba no necesariamente debe encenderse durante una hora, sino que puede darse que encienda por fracciones de tiempo, es decir, minutos, por ejemplo si el encendido de

la bomba está programado para que encienda 20 minutos entre espacios de encendido de 10 min, se tendrá que la bomba de la hora completa encenderá solo 40 min/hora, o lo que es lo mismo 0,67 horas. Entonces en este caso el consumo de energía eléctrica por hora será:

$$E_{total}[kWh] = 1,5 \text{ HP} * 0,736 \frac{kW}{HP} * 0,67 \text{ horas} = 0,74 \text{ kWh}$$

Y así se puede extrapolar a la cantidad de horas de uso por día y finalmente al mes completo y sabiendo el valor en \$/kWh, dependiendo de la cooperativa eléctrica de cada municipio, se puede estimar el costo mensual de este ítem.

En este trabajo solo se enfocó la atención en determinar la pérdida de carga de los elementos existentes, como las pérdidas de carga por unidad de área de colector y unidad de longitud de tramos de impulsión y retorno con el objetivo de: optimizar la tasa de transferencia de calor al fluido caloportador, dependiente de la velocidad de fluido, entre otras variables, sin sacrificar mayores pérdidas, cabe aclarar que la tasa de transferencia de calor por convección aumenta al aumentar la velocidad del fluido pero a su vez aumenta las pérdidas robusteciendo la bomba de impulsión y por consiguiente los gastos de dicha máquina. Además se busca limitar las pérdidas de carga a un valor coherente con las que la bomba más pequeña de recirculación y filtrado pueda soportar. Si el colector propuesto supera las especificaciones mínimas de esta bomba se pasa a la siguiente con mayores prestaciones.

La estimación de consumo eléctrico se deberá determinar entonces a partir del estudio de pérdidas de carga del colector obtenido en la etapa de diseño que se abordará en el capítulo 6 y que posteriormente mediante simulación computarizada arrojará los valores resultantes de, entre otros datos de interés, pérdidas y gradientes de presiones en cada elemento y tramo de colector.

Los pasos a seguir para el cálculo de consumo eléctrico será:

- Determinación de la curva de pérdidas o Curva de operación hidráulica.
- Elección de un proveedor de bombas para piscinas y posterior solicitud de catálogo y ficha técnica de cada bomba ofrecida.
- Selección de bomba mediante las curvas características de la misma en comparación con las pérdidas de carga del sistema, caudal de diseño y NPSHr.
- Verificar la potencia a la cual trabajará la bomba de acuerdo a la curva Potencia-Caudal de la misma.
- Determinación de periodos de tiempo de encendido de bomba según requerimientos de mantenimiento aclimatado en la etapa permanente, es decir, solo abasteciendo las pérdidas mencionadas en la sección 4.4 de este capítulo.
- Aplicación de las expresiones 4.19 y 4.20 con los datos obtenidos en los dos pasos anteriores.
- Obtención del valor final promedio de consumo eléctrico diario y mensual.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

[1] Entrevista sobre aclimatado de piscinas a Personal del natatorio ROSSO, calle S.Juan y esquina Gascón, Mar del Plata.

Fecha de Entrevista: Marzo de 2019

[2] Federación, Consejo Superior de Deportes, Comité Olímpico Internacional
https://es.wikipedia.org/wiki/Federaci%C3%B3n_Internacional_de_Nataci%C3%B3n

Fecha de Entrevista: Marzo de 2019

[3] Normas y Dimensionado de piscinas

http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_3311.pdf

Fecha de Entrevista: Marzo de 2019

[4] Tipos de Piscinas, sus Elementos y Normativas

<http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/3781/tfm227.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Fecha de consulta: julio de 2019

[5] Área de Superficie Corporal Humana

https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81rea_de_superficie_corporal

Fecha de consulta: julio de 2019

[6] Capacidad de personas en piscinas

<https://www.albercas.mx/preguntas/cuantas-personas-pueden-estar-en-una-alberca>

Fecha de consulta: julio de 2019

[7] Velocidad de vientos

<https://es.weatherspark.com/y/29078/Clima-promedio-en-Mar-del-Plata-Argentina-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Fecha de consulta: julio de 2019

[8] Balance térmico de piscinas por radiación

https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/30175/CONICET_Digital_Nro.dcf51b13-6976-486a-bf9b-ec7f55361708_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Fecha de consulta: julio de 2019

[9] Reglamento sobre condiciones higiénico-sanitarias de las piscinas de uso colectivo de la Región de Murcia. Decreto 58/1992, que modifica el RD 52/1989.

[10] Clima Histórico en Mar del Plata

https://www.weather-arg.com/es/argentina/mar-del-plata-clima#humidity_relative

Fecha de consulta: octubre de 2019

[11] Entidad Internacional de regulación en medidas de consumo energético

[https://es.wikipedia.org/wiki/Instituto_Nacional_de_Metrologia,_Calidad_y_Tecnolog%C3%ADa_\(Brasil\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Instituto_Nacional_de_Metrologia,_Calidad_y_Tecnolog%C3%ADa_(Brasil))

Fecha de consulta: noviembre de 2019

[12] Productos para Calefacción de Piscinas

<https://peisa.nyc3.digitaloceanspaces.com/manuales/manual-sistema-solar-para-piscinas.pdf>

Fecha de consulta: noviembre de 2019

[13] Curvas Características de bombas centrifugas

<http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/sabes-que-es-la-curva-caracteristica-de-una-bomba-centrifuga/>

Fecha de consulta: noviembre de 2019

Capítulo 5

SELECCIÓN DE COLECTORES

En este apartado se seleccionará un colector existente en el mercado que cumpla con los requerimientos de demanda térmica de la piscina seleccionada para este proyecto. Dicho colector será elegido de fabricantes locales o más cercanos a la zona con el fin de fomentar el crecimiento de la economía regional. El objetivo de este capítulo es analizar los distintos equipos disponibles y cuál de ellos ajusta mejor al uso de piscinas.

5.1. Tipos de colectores y análisis de alternativas.

Existen distintas clasificaciones para los colectores de energía solar térmicos según estos estén destinados. Una primera clasificación sería: por temperaturas de trabajo, la misma sugiere la existencia de; colectores de baja temperatura, de alta temperatura y muy alta temperatura.

Los de baja temperatura son de mínima inversión y son destinados para distintos usos en la construcción. A su vez estos se clasifican en:

Colectores planos protegidos: los mismos cuentan con una cubierta transparente de área igual a la del panel con el fin de evitar pérdidas por convección, además aumenta la temperatura dentro del recinto donde se encuentra el arreglo de elementos de captación por efecto invernadero (figura 5.1).

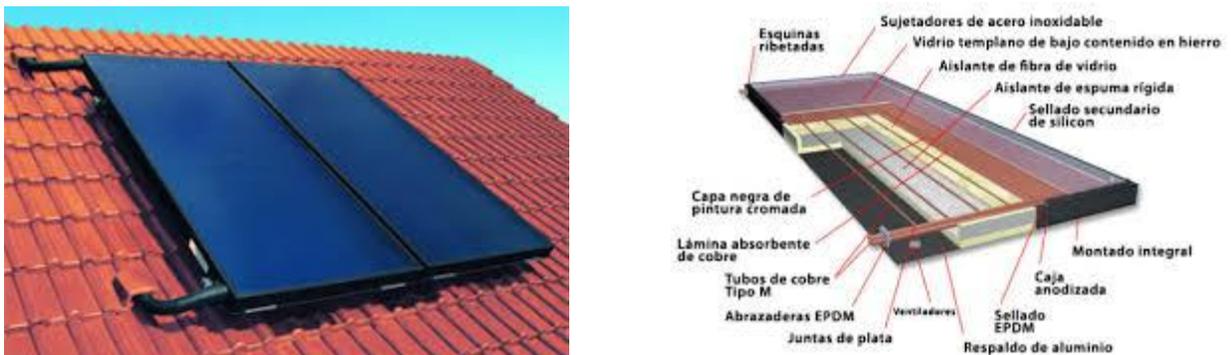


Figura 5.1: Colectores Planos con Cubierta o Protegidos

Otros de baja temperatura son los colectores planos no protegidos: este sistema es más económico que el anterior, tiene rendimiento bajo por lo cual se debe utilizar un área mayor de colectores de este tipo, pero lo compensa con el bajo costo de todo el equipo. La estructura está compuesta solo por el arreglo de cañerías de captación. Destinado a calefacción de agua de piscinas, como se ve en la figura 5.2.



Figura 5.2: Colector Plano de Baja Temperatura sin Cubierta

El último de esta clasificación es el colector de tubo de vacío; éste consiste en un arreglo de tubos de vidrio paralelos de pared doble, las cámaras intermedias formadas por las dos paredes se encuentran al vacío. A su vez estos se pueden clasificar en:

Flujo directo: el fluido de interés circula por los tubos, como en los planos mencionados anteriormente. Normalmente estos se utilizan para uso sanitario.

Flujo indirecto con *Heat Pipe*: en estos colectores el calor evapora un fluido dentro del tubo interior que se condensa en el extremo superior y que éste a su vez se encuentra en contacto con el colector que agrupa los extremos de todos los tubos donde el fluido de interés circula. Este colector de arreglo de tubos es un simple caño, pero también puede encontrarse la versión de tanque o reservorio que almacena el calor en el agua para posterior utilización. Este tipo de colector es comúnmente utilizado para agua sanitaria o como apoyo en sistemas de calefacción central, entre otras aplicaciones.

Flujo indirecto sin *Heat Pipe*: la diferencia con el anterior es que la construcción de los tubos es en boro-silicato en el tubo interior, abaratando los costos por la no utilización de cobre, además evidencia un aumento en el rendimiento de un 30% con respecto al anterior. La figura 5.3 muestra estos tipos de colectores:



Figura 5.3: Colectores *Heat Pipe*

Los de alta temperatura son colectores concentradores: arreglos de paneles formados parabólicamente con el fin de direccionar los rayos solares en forma estratégica hacia un punto de interés. Esto se puede clasificar en colectores concentradores puntuales o lineales:

-Los primeros focalizan los rayos en un punto con una disposición esférica del mismo. No se utilizan muy a menudo, excepto para estudios experimentales sobre el fenómeno de captación solar.

-Los segundos focalizan los rayos en una línea que técnicamente es una disposición cilíndrica, el fluido de interés se calienta al pasar por un tubo el cual se encuentra en el foco de la parábola.



Figura 5.4: Colectores Concentradores de Calor de Alta Temperatura

Por último, en la clasificación principal se encuentran los de muy alta temperatura: son sistemas para obtener muy altas temperaturas, similar a los parabólicos excepto que los rayos se direccionan por medio de un arreglo espejos planos perfectamente orientados para concentrarlos en un punto ubicado en una torre, el cual circula agua para transformarla en estado de vapor, mover unas aspas de turbinas, que mueven un generador para obtener así energía eléctrica [1]. La figura 5.5 siguiente muestra una central de generación eléctrica solar ubicada en España:



Figura 5.5: Central Termoeléctrica Solar (España)

Luego de esta clasificación, el tipo de colector que se seleccionará en el mercado será un colector de baja temperatura sin cubierta, que es comúnmente hoy en día el utilizado para climatizar el agua de piscinas.

5.2 Rango de operación

En esta sección se hará énfasis sobre las prestaciones generales de los distintos tipos de colectores existentes en el mercado. Comúnmente estos colectores están sometidos a solicitaciones de distintas naturalezas. Los mismos tienen que soportar la alta presión interna ejercida por el fluido circulante, además de la temperatura. Por ello, los colectores se diseñan para alcanzar las mejores prestaciones con los materiales empleados pero además son resistentes a dichas prestaciones. Esta resistencia logra mantener la integridad estructural del equipo y garantiza una vida útil y razonable.

El rango de operación es la prestación del intercambiador o colector solar en cuanto a temperaturas de trabajo. Es un dato que se puede obtener de la ficha técnica del equipo, o en forma experimental mediante un ensayo.

El mínimo de temperatura el cual opera el colector, no es tan importante como el máximo de temperatura que éste puede alcanzar. La razón es muy simple y obvia, estos equipos buscan explotar al máximo el recurso o fuente de energía según su clasificación en temperaturas como se mencionó en la sección anterior.

5.3. Criterios de selección.

En este apartado se analizará cuáles serían los factores principales a tener en cuenta para tener una idea de cómo seleccionar un colector según información de ficha técnica o catálogo de acuerdo a los requerimientos energéticos de la piscina en cuestión. En la actualidad la mayoría de los oferentes en el mercado local de estos equipos no brindan mucha información técnica, por ello es muy importante que el calculista o diseñador del sistema de climatización de piscinas se base más en un estudio experimental de dichos equipos, o bien con gran aproximación a cómo se comportan los mismos mediante simulación, que en la actualidad es lo más usado para este tipo de trabajos.

Algunos de los factores, entre tantos, a tener en cuenta para la selección de un colector solar sea cual fuere su tipo, son los siguientes:

- 1- Satisfacer la demanda térmica (permanente y/o transitoria).
- 2- Conocer la ubicación geográfica de la piscina (latitud).
- 3- En que época del año se destina la utilización (estación).
- 4- Disposición de espacio en terreno donde se ubica la piscina.
- 5- Reparación, zona de arbolada o llanura.
- 6- Tipo de clima normalmente (despejado, graniza, costero, lluvioso, ventoso, etc.)

A continuación, se detallan los mencionados:

1- Satisfacer la demanda térmica es el principal factor que debe cumplir el equipo colector, pero se debe tener en cuenta qué demanda térmica se desea o bien qué puede satisfacer el colector seleccionado. Para ello se debe determinar la demanda térmica en el

transitorio y en el estacionario, éste último obtenido en el capítulo 4. Pero veamos, por ejemplo, la demanda térmica en la etapa transitoria a los fines de conocer la energía que deben cubrir los equipos de calefacción. Esta demanda es la cantidad de calor que debo suministrar a la piscina para que la masa total de agua de la misma eleve su temperatura hasta la deseada a partir de la temperatura de agua suministrada por la red. Esta demanda de calor se obtendrá a continuación mediante un simple cálculo:

Si se supone una piscina unifamiliar promedio de 3 m de ancho, 8 m de largo y 1,5 m de profundidad media, se tiene un volumen de agua de aproximadamente 36 m³. Además, la temperatura de la misma se encuentra inicialmente a 15 °C y se desea elevarla a 30 °C. En conjunto con el dato de la capacidad calorífica del agua a presión constante ($C_p=1 \text{ Kcal/kg.K}$), el calor necesario a entregar en estas condiciones será entonces:

$$Q = m * C_p * (T_f - T_i) = 36 \text{ m}^3 * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1 \frac{\text{Kcal.}}{\text{kg K}} * (30^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C})$$

$$Q = 540000 \text{ Kcal} \quad (5.1)$$

Con una caldera convencional que se utiliza en la actualidad para piscinas y, según catálogo, de una potencia media de $P=30000 \text{ Kcal/h}$ (TAMECO modelo CP30) [2] la piscina llega a la temperatura deseada en un tiempo estimado de:

$$t_{\text{estimado}} = \frac{Q}{P} = \frac{540000 \text{ kcal}}{30000 \text{ kcal/hora}} = 18 \text{ hs} \quad (5.2)$$

Como se puede apreciar el resultado de la 5.2 es menor a un día. Otro dato de catálogo de este equipo es el consumo de gas, dicho valor de 3,22 m³/hora de GN y 2,5 kg/hora de GL, dando como resultado, de acuerdo a lo obtenido en la 5.2, 12 m³ de GN y 45 kg de GL (1 tubo o equivalente a 5 garrafas de 10 kg/garrafa) para poner en régimen la piscina.

Ahora se hará el cálculo para el caso alternativo, es decir, partiendo del dato la radiación solar promedio (PRS) para época de verano de 820 W/m² descrita en el capítulo 2 y con paneles solares para piscinas, por ejemplo, los actualmente aceptados por muchos usuarios, y que más adelante se mostraran según catálogo, son los de baja temperatura planos sin cubierta, como ya se mencionó son de bajos en eficiencia dando valores cercanos al $\eta=70\%$, como posición conservativa [3].

Entonces de acuerdo a esta información el calor máximo obtenido por unidad de área de panel será:

$$Q_{\text{ent. panel}} = \eta * PRS = 0,7 * 820 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 574 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 494 \frac{\text{Kcal}}{\text{hora m}^2} \quad (5.3)$$

Para determinar el resultado del área total de un sistema de colectores se utilizó como

consigna el resultado obtenido de la relación entre las áreas de piscina y colectores, detallada en el capítulo 4 siendo dicho valor de 1,3. Luego para la piscina de 24 m² se tiene:

$$A_{colectores} = 1,3 * A_{piscina} = 1,3 * 24m^2 = 31,2 m^2 \quad (5.4)$$

El valor de la 5.4 refleja la cantidad de superficie libre que se debe disponer para la colocación del sistema de colectores, para una vivienda tipo familiar de 80 m² esta área de colectores ocuparía casi 1/3 del techo de dicha la vivienda.

$$\dot{Q}_{sist.paneles} = Q_{ent. panel} * A_{piscina} = 494 \frac{Kcal}{hora m^2} * 31,2 m^2 = 15413 \frac{Kcal}{hora} \quad (5.5)$$

Para esta potencia (expresión 5.5) nos da aproximadamente la mitad de la entregada por la caldera a gas (TAMECO CP30). Se puede concluir que la batería de colectores requerirá, aproximadamente, el doble de tiempo que la caldera a gas en calentar la piscina hasta ponerla en régimen, es decir, 36 hs. Sabiendo que se dispone de 8 hs de Sol, el sistema de colectores cubrirán la demanda transitoria entre 5-6 días.

Estos resultados son interesantes, sobre todo para tener en cuenta a que se enfrenta el usuario al adquirir uno de estos equipos, la ventaja única es la economía de los mismos comparado con lo convencional, ni hablar la recuperación de capital a corto plazo debido al costo cero de consumo de energía.

Además, para dicho cálculo no se tuvo en cuenta todos los términos del balance térmico en cuanto a pérdidas explicadas en el capítulo 4, incursionando en un error. Lo que sucede es que estas pérdidas térmicas son en orden de magnitud muy pequeñas, poco menos del 10% en comparación con el calor necesario en la etapa transitoria al calentar inicialmente toda la masa total de agua, pero no poco importante a la hora de mantener en régimen la piscina.

Está claro entonces que si un sistema de colectores puede satisfacer la demanda del transitorio quedara súper sobrado en régimen permanente. Sobrado haciendo referencia al área efectiva de dichos colectores, pues, en el permanente, solo se debe satisfacer las pérdidas de calor.

2- Conocer la ubicación geográfica donde se encuentra la instalada la piscina nos da la idea del ángulo de inclinación del panel que se le debe dar para que los rayos incidan normal al mismo, asegurando el máximo aprovechamiento como se comentó en el capítulo 3. Esto hace necesario el uso de soportes, esqueletos o parrillas metálicas que aseguren dicho ángulo.

Comúnmente estos paneles suelen ubicarse muy bien en los techos de las viviendas, ya que es una cubierta que solo cumple con la función de protección y ofrece una resistencia adicional soportar el peso de estos equipos sumado a la masa de agua que circula por ellos. Por lo general la mayoría de los techos guardan en su construcción una resistencia

levemente sobredimensionada para los que son del tipo de cubierta de chapa o tejas para los del tipo cubierta de hormigón armado se dimensiona comúnmente para soportar, además de su propio peso (hormigón-hierro), un 15 a 20 % de estos dos constituyentes. En fin, el calculista debería considerar cada caso particular, muy importante debido a que colocar estos equipos encima de los techos de las viviendas, atenta contra la seguridad de los usuarios dentro de las mismas.

Algunos techos cuentan con una pendiente que coincide a veces con el ángulo óptimo de incidencia solar, pero otros tienen pendiente nula o excesiva, como el caso de losas o alpinas respectivamente, esta situación es un gran condicionante y es un punto importante al seleccionar un colector, no solo por sus características en cuanto a prestaciones, sino también en relación a su diseño estructural que permite adaptar el panel a cualquier superficie, ya sea inclinada, plana o irregular, poco común pero puede darse.

3- La época del año o estación la cual el usuario desea utilizar las instalaciones de una piscina aclimatada hace que la elección del equipo sea un factor muy importante en cuanto a prestaciones y estará asociada al tipo de colector a seleccionar. Si se elige calefaccionar una piscina en invierno no se podrá usar un colector de baja temperatura plano sin cubierta puesto que las temperaturas del ambiente exterior son bajas y pueden congelar el agua dentro del circuito e inclusive romperlo.

Los colectores típicos para las condiciones climáticas de invierno, según la clasificación, serán los de tubo de vacío con fluido intermediario. Por otro lado, si se calefacciona en verano, que es el objetivo de este proyecto, tendremos un equipo existente en el mercado que, además de lo sencillo, es muy económico. Igualmente, dependiendo de los requerimientos del usuario se determinará el equipo de catálogo que cubra estas necesidades y por consiguiente impactará fuertemente solo en lo económico. Como este proyecto está destinado a época de verano y en piscinas el estudio se enfocará a los de baja temperatura cubriendo muy bien las necesidades energéticas de una piscina.

4- La disposición de superficie libre con la que cuenta el predio donde se ubica la piscina es un factor que condiciona la elección del colector, puesto que podrían darse algunas cuestiones:

- El predio no cuenta con superficie libre o bien se encuentre limitada, en tal caso el techo es una opción en cuanto a ubicación del equipo colector que soluciona este problema.
- El usuario podría requerir que estos dispositivos no estén visualmente accesibles o que no ocupen mucho espacio, en este caso se optará por equipos más complejos, por consiguiente, más costosos, esto puede darse en casos de usuarios que tengan el poder adquisitivo para afrontar los gastos de equipos complejos y solo incurrieren en gastos elevados por un mero acto ecologista.

Y otras cuestiones que podrían requerir un análisis según cada caso particular hasta generar un rediseño del sistema que mejor ajusta a las necesidades del usuario.

5- El reparo, zona de árboles o edificios pueden generar en el equipo colector una

obstrucción total o parcial, subsanable en el segundo caso, que perjudique la captación en horarios solares pico. Por otro lado, estas obstrucciones pueden ser beneficiosas puesto que generan un impedimento al paso del viento, evitando pérdidas de calor por convección en la superficie del panel, el espejo de agua de la piscina y de las paredes de las cañerías del circuito.

6- El tipo de clima es un factor que afecta las condiciones medioambientales a la cual está sometido el panel, es importante puesto que los climas nublados no favorecerán la captación solar, siendo las nubes obstáculos de los rayos solares. Si fuera un clima lluvioso no sería problema si las lluvias son esporádicas y de cortos periodos, como es el caso de las lluvias de verano en la costa atlántica que tienen un carácter más tropical (fuertes lluvias en tiempo corto). Un clima hostil como la precipitación de granizo podría generar roturas en el equipo si este fuera de tubos de vacío (material de vidrio).

Estos ítems enumerados son algunos de los factores o los más relevantes a la hora de seleccionar un colector de catálogo. Actualmente los catálogos no tienen en su ficha técnica información importante para el calculista como para poder determinar cuál sería la superficie efectiva de colectores que abastece las necesidades energéticas de una piscina, por ejemplo, el dato de potencia específica media (potencia por m^2 de panel), valor que permite tener una idea de las prestaciones del arreglo de paneles en el caso de abastecer la energía necesaria de la etapa transitoria.

Otro tema importante es el rendimiento del colector, la cual dependerá del diseño y materiales utilizados para su construcción, pero también la eficiencia o rendimiento del colector es función de la diferencia de temperatura entre la superficie colectora y la temperatura ambiente [4].

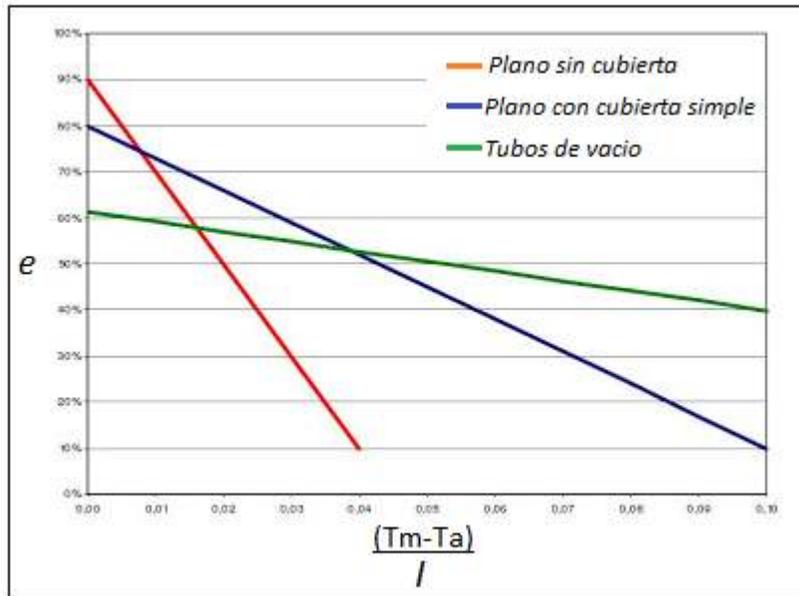


Figura 5.6: Curvas de Eficiencia, comparación entre distintos tipos de colectores

Si analizamos un poco la gráfica, se puede notar que los de baja temperatura planos sin cubierta, tienen la máxima eficiencia cuando la diferencia entre las temperaturas ambiente y de panel son casi nulas, esto se debe a que este tipo de colector tiene menos interferencias al paso de calor al fluido de interés además de las pocas pérdidas ópticas producidas por los elementos reflectivos como el vidrio. Aunque esta eficiencia sea muy buena para temperaturas ambiente altas, como es el caso de verano, también es muy susceptible a éstas.

Si bien los paneles de baja temperatura del tipo planos sin cubierta son de bajo rendimiento, como ya se comentó, lo compensan con un área efectiva mayor. Esto conlleva a utilizar mucho más material para su construcción, pero el mismo es de tan bajo costo, hasta casi 20 veces menor que en el caso de tubo de vacío. De esta manera, se justifica su elección, siendo hoy en día el más preponderante en el mercado para aplicación en piscinas.

5.4 Información técnica de colectores.

En este apartado, se presentarán distintos tipos de colectores, con información relevante para el cálculo de dimensionamiento del sistema de calefacción. Lo que se intentó indicar al presentar este muestrario fue la variedad y heterogeneidad en cuanto a costos, tipos de colectores y descripciones técnicas de los mismos, para así determinar el más adecuado en una posterior selección y poder compararlo con el diseño propuesto.

Una de las empresas que venden estos equipos es la empresa 'SOLUCIONES SUSTENTABLES', la cual ofrece un equipo con las siguientes descripciones:

Características

- **Marca:** Hissuma
- **Modelo:** Piscina
- **Formato de venta:** Pack
- **Unidades por pack:** 3
- **Ancho:** 1.33 m
- **Largo:** 3 m
- **Tipo de panel solar:** Panel Piscina



Descripción

- ¿Cómo funciona el sistema?

El colector solar está compuesto por tubos de polipropileno, más un aditivo para impedir el desgaste por la radiación solar, los cuales atraen la radiación solar calentando el agua que circula a través de ellos. El agua fría entra por la parte inferior del sistema y se ramifica en los tubos produciendo el calentamiento de la misma.

En cuanto la misma es calentada pierde densidad subiendo hasta la parte superior del sistema y volviendo a la piscina empujada por la presión de la bomba de recirculación.

- ¿Cómo elijo el equipo adecuado?

La superficie de paneles necesaria para el calentamiento de una piscina es en 0,5 y 1 vez la superficie de la misma. Es decir, si tengo que calentar una piscina de 8x4 m. (32 m²), necesitaré entre 16 y 32 m² de paneles.

- ¿Qué dimensión tienen los paneles?

Los paneles solares se proveen en unidades de 3 metros de largo x 1,33 metros de ancho (3,99 m²), es decir que si quiero climatizar una piscina de 8x4 necesitare entre 4 y 8 paneles.

- ¿cuál es el costo del equipo?

El costo del equipo que figura a la fecha (08/07/2019) es 35250 pesos argentinos con un área de captación de 12 m², alrededor de 3000 pesos argentinos por cada m² de panel. Para una mejor estandarización de costos, 72 dólares norteamericanos el m² de panel al cierre de la cotización del dólar a la fecha mencionada [5].

Otro equipo proviene de la empresa *HELIOCOL*. Dedicada a lo sustentable, ofrece un panel de similares características al mencionado anteriormente, varía en las sujeciones y tiene una gama más amplia de presentación. Además, podrá apreciarse que no define a priori una regla de cálculo para obtener el equipo deseado según el requerimiento de la piscina. Por lo que el interesado queda sujeto a tener que consultar de acuerdo a las características de la piscina. La descripción del equipo es la siguiente:

Características

- **Marca:** Heliocol
- **Modelo:** HC40



Descripción

- ¿Por qué calefaccionar su pileta con Heliocol?

HELIOCOL: Sistema israelí de calefacción de piletas

MAS ECOLOGICO: solo utiliza recursos renovables

AHORRO DE DINERO: la energía solar es gratis

AHORRO EN TIEMPO: el equipo no necesita mantenimiento

MAYOR DURABILIDAD: mayor duración del sistema

-La diferencia en los materiales

Cada componente del sistema Heliocol se fabrica a partir del mismo plástico de grado quirúrgico. El proceso único de sobremoldeo de inyección, nuestros componentes patentados y especialmente diseñados, son parte de un sistema de calefacción solar seguro y de bajo mantenimiento.

A diferencia de otros sistemas de calefacción solar de piscina, Heliocol no requiere mangueras de goma o abrazaderas de metal como parte de su la instalación. Las mangueras de caucho se deterioran con el tiempo, ¡mientras que nuestros componentes de plástico de alta resistencia están diseñados para durar MUCHOS AÑOS!

-La diferencia en la Eficiencia

Heliocol es el sistema de calefacción solar de piscina más eficiente en el mercado, produciendo más calor que cualquier otro. Parte de la eficiencia de Heliocol proviene de su diseño único de tubo individual Integrado al perfil redondo que genera mayor absorción de calor. Este sistema patentado Heliocol, permite la máxima absorción de calor del Sol durante todo el día, a diferencia de otros paneles que son más eficiente solamente al

mediodía solar, brindándole más horas de calefacción y más horas de disfrute a su familia.

- Sistemas completos de calefacción

Los sistemas de calefacción solar de la piscina Heliocol tienen tres componentes básicos: un panel colector, una bomba y un filtro. La bomba puede ser la existente que empuja el agua a un panel solar Heliocol montado en el techo, porche, cerca, o cualquier otro lugar con buena exposición al sol. El agua se calienta sustancialmente a medida que avanza a través del panel y fluye de nuevo en su piscina, calentando el agua.

-Nuestros Kits:

Kit Mini - Para piscinas de hasta 10 m² de superficie.

Kit Junior - Piscinas de 11 m² a 15 m² de superficie.

Kit Bronce - Piscinas de 16 m² a 21 m² de superficie.

Kit Silver - Piscinas de 22 m² a 28 m² de superficie.

Kit Gold - Piscinas de 29 m² a 39 m² de superficie.

- costo del equipo

El precio actual de lista es 4968 pesos argentinos el m², aproximadamente 119 dólares norteamericanos el m² [6].

Por último, se muestra un equipo distinto en su construcción, de la empresa mexicana 'SOLEADO', más compactos con menos interconexiones entre elementos, y moldeados en una sola pieza, la marca es conocida como OKU [7].

Se describe a continuación los datos provistos por el proveedor:

Características y ventajas

- Instalación sencilla y económica: los accesorios necesarios son mínimos.
- Circulación directa de la piscina, sin necesidad de intercambiadores térmicos adicionales.
- Resistentes a la radiación UV y a las heladas.
- Múltiples variantes de instalación en filas o columnas según la superficie disponible.
- 5 años de garantía.

La siguiente ficha técnica agrupa los atributos de este dispositivo que está a la venta en el mercado local:

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PANELES SOLARES DKU®

DIMENSIONES			
MODELO	1000	1001	1002
Base	0.82 mts.	0.82 mts.	0.82 mts.
Longitud	1.32 mts.	1.28 mts.	1.36 mts.
Superficie	1.08 m ²	1.05 m ²	1.12 m ²

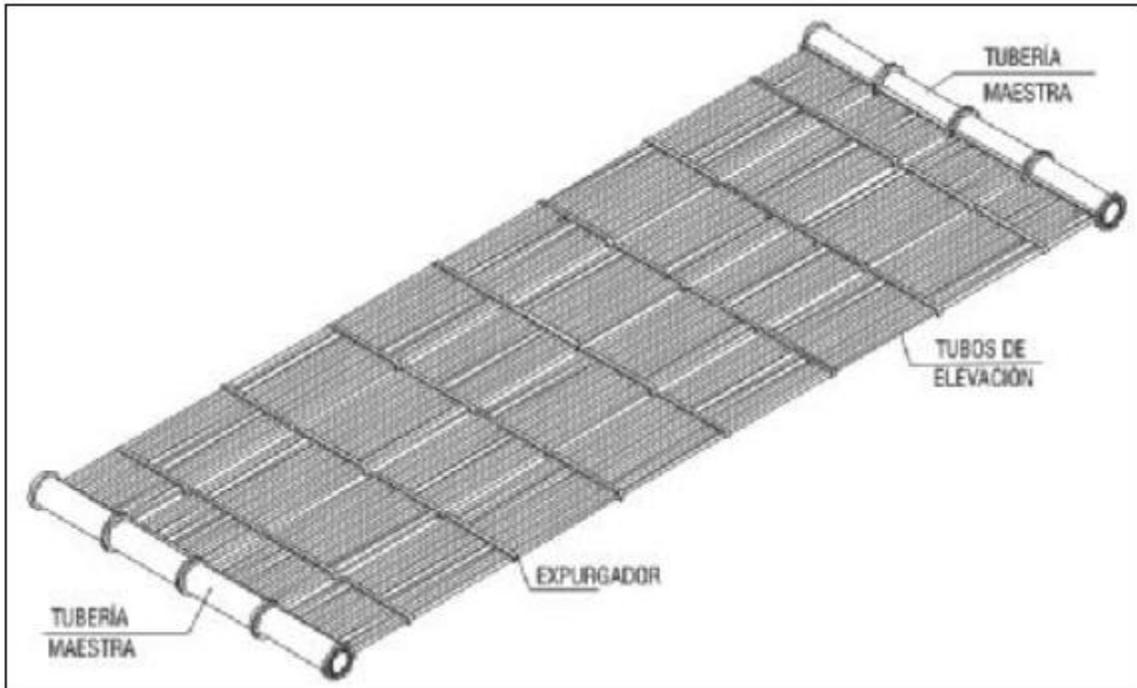
GENERALES	
Material:	Poliétileno de elevado peso molecular
Flujo:	150 a 250 lts. m ² /h
Reducida pérdida de presión:	Aprox. 0,003 bares a 200 l/h/m ²
Peso:	Aprox. 6.9 kg/m ²
Peso en operación:	Capacidad: Aprox. 8 l/m ²
Presión de ensayo:	4.5 bares a TN
Presión de servicio hasta:	1.2 bares a 40°C
Grado de eficacia hasta:	Aprox. 80% (capacidad hasta 0,8 kwh/m ²)
Valor promedio:	0,65 kwh/m ²
Resistencia a temperaturas de:	- 50°C a + 115°C

Comprobado por:  TÜVRheinland®

Por último se verá el producto que ofrece la empresa PEISA, una empresa muy conocida por los productos que brinda a nivel calefacción del hogar y que agregó a su staff de productos, termotanques solares y paneles de polietileno para calefaccionar piscinas. A continuación se muestra un breve resumen de su catálogo [8]:

Linea Acqua Plus

Sus características constructivas son bastante diferentes de los colectores convencionales. Subdividido en módulos, nótese en la figura a continuación, que el colector es dotado básicamente de tuberías maestras y tubos de elevación. Ambos fabricados en polipropileno, el que confiere al producto mayor eficiencia térmica, dentro de esta faja de trabajo 26°C a 34°C.



Especificaciones técnicas del producto

Especificaciones Técnicas

LINHA ACQUA PLUS	Acqua Plus 15	Acqua Plus 20	Acqua Plus 30	Acqua Plus 40	Acqua Plus 50
	Características Construtivas				
Materia-Prima	Polipropileno	Polipropileno	Polipropileno	Polipropileno	Polipropileno
Pigmento	Preto Fumo	Preto Fumo	Preto Fumo	Preto Fumo	Preto Fumo
Número de Tubos	160	160	160	160	160
Entrada/saída	Ø 40 mm	Ø 40 mm	Ø 40 mm	Ø 40 mm	Ø 40 mm
Pressão de Trabalho	40 mca	40 mca	40 mca	40 mca	40 mca
Dimensões*					
Comprimento	1,5 m	2,0 m	3,0 m	4,0 m	5,0 m
Largura	1,22 m	1,22 m	1,22 m	1,22 m	1,22 m
Espessura	0,06 m	0,06 m	0,06 m	0,06 m	0,06 m
Peso					
Vazio	4,7 kg	6,6 kg	9 kg	12,31 kg	15 kg
Cheio	7,7 kg	11 kg	15 kg	18,92 kg	23 kg
Produção de Energia					
PEE** kWh/mês/m ²	99,3	99,3	99,3	99,3	99,3
PEE** Por Coletor kWh/mês	178,74	238,3	359,5	480,6	601,8
Eficiência (%)	80,1	80,1	80,1	80,1	80,1
Classificação	A	A	A	A	A

TEMPERADO DE PISCINA

* Outras dimensões solamente bajo consulta.

** PEE Produccion Especifica de Energia

TRANSEN se reserva el derecho de alterar las características de sus colectores en su línea de fabricación, sin aviso previo.

El costo del equipo

El costo por m² de colector ronda los 5300 pesos argentinos, pasados a dólares, 88 dólares estadounidenses por m² (cotización al 12/01/2020).

Las prestaciones mostradas de estos equipos mediante sus catálogos, son a modo de tener una idea de las características importantes expuestas por los fabricantes además de los costos a los cuales se enfrentan los usuarios. Algunos con más información que otros. Cabe destacar que las empresas que se dedican a vender estos productos, excepto la última presentada, en su gran mayoría son importadores que revenden el producto que les compran a fabricantes extranjeros, es decir, son revendedores. Estos solo le agregan valor e impuestos de locales y de importación, pero no cuentan con información técnica muy detallada como la estudiada por los mismos fabricantes.

En el siguiente capítulo se hará énfasis de los elementos constructivos que se seleccionaron, dentro de la gama existente, para confeccionar el diseño del colector solar propuesto. La idea aquí es advertir la diferencia en costos y buenas prestaciones con materiales y diseño sencillos respecto de los equipos existentes en el mercado, como ya se detallaron anteriormente.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

[1] Colectores Solares Térmicos

https://es.wikipedia.org/wiki/Colector_solar

Fecha de consulta: agosto de 2019

[2] Calderas para Piscinas

<http://www.tamecosrl.com/informacion-tecnica/calefactores-de-piscina-cp-30.pdf>

Fecha de consulta: agosto de 2019

[3] Caracterización de Paneles Solares Térmicos

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5622/fichero/PFC.+Caracterizaci%C3%B3n+de+captadores+solares+planos,+Implementaci%C3%B3n+de+un+modelo+anal%C3%ADtico+y+evaluaci%C3%B3n+de+par%C3%A1metros+repre~1.pdf>

Fecha de consulta: agosto de 2019

[4] Eficiencia de Colectores Solares Térmicos

<http://blog.solveverde.com.uy/2011/11/eficiencia-de-colectores-solares.html>

Fecha de consulta: Septiembre de 2019

[5] Catalogo de Colectores

https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-789637794-sistema-de-calefaccion-solar-para-piscinas-de-hasta-12-mts2-_JM?matt_tool=80642401&matt_word&gclid=EA1a1QobChMllurnu_yn4wIVCQ2RCh1gAQo5EAYYAyABEgLPzPD_BwE&quantity=1

Fecha de consulta: Septiembre de 2019

[6] Catalogo de Colectores

https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-720246477-panel-heliocol-climatizacion-solar-piscina-xm2-colector-hc40-_JM?matt_tool=72637014&matt_word&gclid=EA1a1QobChMllurnu_yn4wIVCQ2RCh1gAQo5EAYYBCABEgJrGvD_BwE&quantity=1

Fecha de consulta: Septiembre de 2019

[7] Catalogo de Colectores

https://docs.wixstatic.com/ugd/ca7123_ef795643e85049a4b1dc7dd43fb7cd56.pdf

Fecha de consulta: Septiembre de 2019

[8] Catalogo de Colectores

<http://www.peisa.com.ar/files/manuales/src/manual-sistema-solar-termico-piscina-peisa.pdf>

Fecha de consulta: enero de 2020

Capítulo 6

DISEÑO DE COLECTOR PROPUESTO

En este apartado se hará referencia a los materiales, dimensiones, disposición y los pasos a seguir para el armado de un colector solar teniendo como base fundamental la minimización de los costos y maximización de beneficios tanto económicos como energéticos. Además se definirán los elementos necesarios para completar el circuito que cierra el sistema completo, como cañerías de distribución, aislantes, accesorios, válvulas, bombas, estructuras necesarias y sujeciones.

6.1 Diseño de Colector

En esta sección se definirán los materiales, disposición de los mismos, dimensiones, accesorios y estructuras necesarias para el diseño de un colector solar que cumpla con los requerimientos energéticos para una piscina determinada. El producto final de esta etapa será la obtención de un diseño de colector solar térmico preliminar. Luego, este diseño preliminar será puesto a prueba en la etapa de simulación computacional en el capítulo 7, con el objetivo de corregir errores de diseño como lo son: los rangos de diámetros y longitud que mejor optimizan el rendimiento de captación, minimizan las pérdidas térmicas, las pérdidas de carga hidráulica y demás ítems a abordar para la mejora del equipo.

6.1.1 Materiales

Cuando se habla de materiales, se refiere a aquellos que constituirán el panel-colector solar completo. Éste es un módulo con ciertas dimensiones estandarizadas y que consiste, básicamente, en un recinto cerrado o abierto, formado por un bastidor donde se sujetaran los distintos elementos. Estos elementos son los denominados ductos o batería de cañerías y cumplen con dos funciones importantes. La primera función es conducir el fluido de interés a lo largo de su longitud y la segunda es transferirle al fluido el calor que gana por radiación solar a través de la cara interna del ducto.

Otros elementos que constituyen al panel son: el bastidor, donde se sujetan los ductos, además de proveer de una estructura para sujetarlo a la superficie de apoyo como pueden ser un techo o terreno. Otro elemento, opcional, es un aislante térmico para evitar pérdidas de calor en zonas de interés del panel. Éste es un elemento traslucido o transparente que genera un recinto cerrado y permite que los rayos solares generen un efecto invernadero dentro del mismo. Por último, las conexiones roscadas que permiten conectar el equipo al sistema de distribución de cañerías que provienen de la piscina y retornan a la misma.

Sistema de ductos y accesorios:

El sistema de ductos donde el fluido estará en contacto con el material será el encargado de transmitir la energía térmica proveniente del Sol al fluido por los distintos mecanismos. Este tipo de exposición exigirá a los materiales una serie de propiedades como, por ejemplo, resistencias físicas y químicas, las cuales pondrán a prueba la resistencia del equipo en funcionamiento. Estas propiedades son: la resistencia térmica debido a la temperatura producida por la radiación solar y medioambiente, la resistencia mecánica debido a los impactos de granizo, resistencia a la degradación química, envejecimiento y/o degradación, esto último debido a los productos necesarios como es el cloro para mantener el agua de piscina en condiciones higiénicas, además la resistencia frente a la luz ya que este equipo estará sometido a radiación solar.

Para determinar el material de cañerías de transporte de fluido, se optó por implementar una matriz de decisión. Dicha matriz definirá si se acepta o desestima de acuerdo a criterios de decisión o atributos que deberían cumplir dichos materiales para la aplicación en cuestión y los fines de este proyecto. Los materiales propuestos para los ductos o cañerías y que se comercializan en el mercado local son: polietileno de alta densidad (HDPE), poli vinil cloruro (PVC), acero galvanizado y cobre (bronce). El HDPE se comercializa en rollos de hasta 100 m de longitud y diámetros de 1/2"-3/4"-1"-1 1/4"-1 1/2" y 2". En cañerías de PVC, en tramos de 4 m y diámetros desde 0,04 m, 0,05m, 0,06 m, 0,100 m, 0,110 m, 0,16 m, hasta 0,20 m y mayores en uso industrial.

	Resist. al ataque químico	Tension de fluencia (Mpa)	Conductividad Térmica (W/m.K)	Absorbancia de la radiación (α)	Resistencia a la luz solar (años) aprox.	Practicidad en el armado (cualit.)	Costo (u\$s/m)
Poli-etileno de alta densid. (HDPE)	-	30	0,4	0,95	15	-	1
Poli-vinil Cloruro (PVC)	-	48	0,16	0,8	10	-	2
Acero galvan.	-	490	71	0,55	10 ⁶	-	15
Cobre	-	392	370	0,68	10 ⁶	-	26

Cuadro 1.1: Propiedades de los Materiales

La resistencia al ataque químico está relacionado con cuan resistente es el material al agua clorada y demás productos que contiene la piscina. La resistencia a la luz solar se

decidió medir en unidades que sean de interés para este proyecto, como es el caso de exposición solar y la fama que los materiales poliméricos tienen frente al fenómeno de degradación se tomó de fuentes experimentales las pérdidas de espesor en mm/año en forma aproximada, que es equivalente a conocer en cuánto tiempo estos materiales pierden integridad de todo el espesor [1].

En lo que respecta a la Practicidad de Armado se consideró cuanto se tarda en unir las piezas con las cañerías, la energía invertida como calor para soldadura con soplete, máquinas roscadoras y la necesidad de herramientas y selladores. El costo se evaluó en dólares con la cotización al febrero de 2020. La información del resto de los criterios se extrajo de forma directa de la bibliografía citada [1].

Para algunos criterios de decisión, se evaluó que tan apto es el material desde poco apto=0 hasta muy apto=100 que es lo más usual. En el criterio Costo es a la inversa, cero si es de precio elevado y cien si es más económico. Estos criterios se puntuaron para cada material teniendo como referencia los valores máximos de las propiedades de dicho material descriptos en la cuadro 1.1. Luego se procedió a la confección de la matriz de decisión.

	Resist. al ataque químico	Resist. mecánica	Conduct. térmica	Absorban_ cía de la radiación	Resist. a la luz solar	Practici_ dad en el armado	Costo	Total ítems
Polietileno de alta densidad (HDPE)	90	5	0	100	0	100	100	395
Poli vinil Cloruro (PVC)	100	10	0	85	0	90	100	385
Acero galvan.	0	100	20	55	100	20	40	335
Cobre (Hbronz)	0	80	100	70	100	10	0	360

Cuadro 1.2: Matriz de decisión

En conclusión, se decidió por el polietileno de alta densidad, ya que en la suma total de ítems da mayor frente al resto de materiales (cuadro 1.2). Conozcamos un poco de donde se obtiene este material.

La materia prima necesaria para la elaboración de polietileno de alta densidad (PEAD o HDPE) es el gas natural que sale de un yacimiento de gas, petróleo o ambas. A este gas, mediante un proceso industrial petroquímico, plantas industriales cercanas a estos yacimientos, se le extrae el gas etano, entre otros gases. La petroquímica transforma el

etano en etileno y posteriormente mediante otros procesos, en polímeros de distintos tipos como el polietileno y sus variantes, el polipropileno, poli vinil cloruro (PVC), entre otros.

Más del 90% de los productos químicos orgánicos consumidos actualmente en el mundo reconocen su origen petroquímico, desde polímeros, aromatizantes en la industria cosmetológica, subproductos para industria de pinturas como solventes, cañerías para industria de la construcción de obras civiles, fertilizantes para la industria agropecuaria, e infinidad de productos que siguen desarrollándose en la actualidad. Por ello, la industria petroquímica permite tener estos productos a un bajo costo, ya que por las economías de escala y los bajos consumos de energía para la elaboración de esta diversidad de productos comparado con la de la producción de acero, hacen de la industria petroquímica un negocio muy rentable.

Una de estas plantas petroquímicas se encuentra, muy cerca de nuestra ciudad, más precisamente en la localidad de Bahía Blanca, cercanías al puerto de Ingeniero White, que junto a otras plantas de procesamiento como Dow, Profertil, Polisur y otras empresas producen los productos anteriormente mencionados.

La empresa Polisur es una planta que procesa los pellets de etileno para obtener los distintos productos que actualmente utilizamos en nuestros hogares, desde bolsas de supermercado, recipientes para comida, elementos de maquina como engranajes hasta cañerías de riego y distribución sanitaria, entre otros.

Las cañerías de polietileno de alta densidad que actualmente se comercializan en el mercado local minorista usualmente son de sección redonda con sus correspondientes diámetros nominales y longitudes respectivas. Los conectores y piezas de derivación (accesorios) son del mismo material. Las uniones de estos accesorios con las tuberías son de ajuste con interferencia, es decir el diámetro nominal del caño es levemente menor al diámetro exterior de la espiga del accesorio que se desea conectar. Esta interferencia puede llegar hasta 2 mm, un valor grosero teniendo en cuenta la medida del diámetro nominal.

Esta interferencia se considera ficticia, en cierto aspecto, debido a que no hay deformación plástica del material, es decir, para que el ajuste se efectúe no se barre material en el acople. Entonces si el material no se deforma como se explicó, se debe deformar de otra manera, y es ahí donde el sistema se hace atractivo de implementar. El material se deforma muy fácilmente en forma elástica, debido a su bajo Modulo de Young (Modulo de Elasticidad) respecto de otros materiales poliméricos, para tener una idea es 3 veces más de elongación que el PVC y aproximadamente 70 veces más que los materiales férreos y no férreos.

Este tipo de ajuste rara vez requiere de un ajuste adicional, como abrazaderas o precintos, es por esta razón que lo hace un sistema sencillo de armar, con un poco de fuerza manual se logra conectar cualquier accesorio en menos de 10 segundos.

Este tipo de sistemas de distribución de agua comúnmente es utilizado en obra civil, como

por ejemplo, en viviendas unifamiliares, se lo coloca bajo Tierra para sistemas de riego por aspersión por ello no necesita ajustes adicionales ya que cualquier pérdida o gotera, drena al suelo. Además la Tierra forma alrededor de la cañería una matriz contenedora que absorbe las dilataciones lineales y diametrales ejercidas por la presión interna en la tubería. Las uniones entre cañerías y accesorios deben garantizar un óptimo sellado para evitar pérdidas, ahí radica la mano del instalador, como así también la experiencia y la buena manipulación de los materiales.

Es importante aclarar que algunas veces este tipo de material, a lo largo de las cañerías y en algunos accesorios, presenta fisuras luego de cierto tiempo de estar en operación y, en consecuencia, perdidas. Esto se debe al procesamiento en las plantas petroquímicas. Dichas fisuras se pueden generar por impurezas o intersticios de aire en forma de burbujas que debilitan el material en la zona donde se encuentra la impureza o defecto puntual del polímero. El procesamiento de estos ductos se efectúan mediante extrusión continua cuando el material está por encima de Tg (Temperatura de Ablandamiento o Temperatura de Transición Vítreo), por ello, para evitar estos defectos puntuales dentro del material, es crucial: bateas donde se ablanda el material bien limpias, eliminar aire en la masa homogénea fundida y pellets de buena calidad.

Volviendo al sistema de cañerías propuesto, el mismo tampoco requiere de selladores dado que en la práctica se conoce que las aguas son duras, por eso se especula que el mismo sarro haga de sellador y es, en definitiva, lo que realmente sucede. En este proyecto se utilizara este sistema de cañerías para diseñar los elementos o tuberías del fluido caloportador de un colector solar.

Bastidor

Este elemento es, simplemente, un panel en forma de cajón de escasa altura y de un material que soporte mecánicamente los elementos que se le sujetaran al mismo, como el sistema de ductos, el aislante y una cubierta traslucido. El material más económico para un diseño rudimentario de este elemento es la madera, debido a que existe en el mercado actualmente un gran desarrollo de productos reciclados de madera como el OSB (astillado de madera encolada y prensada), los distintos terciados de madera (FENOLICOS) o bien, AGLOMERADOS (aserrín encolado y prensado). Estos materiales tienen buena resistencia mecánica, para este tipo de aplicaciones. Algunos de estos materiales tienen buena resistencia al agua (no se hinchan) y además se presentan en placas rectangulares, comúnmente de 1,22 m x 2,44 m y espesores que oscilan entre los 6-25 mm.

En el diseño del colector propuesto no se tuvo en cuenta esta estructura, es decir, el bastidor, debido a que encarece el producto final, es por esta razón que se optó por un bastidor virtual, es decir, conformado por los mismos ductos que transportan el fluido calefaccionado.

Aislante

El aislante es un elemento que disminuye las pérdidas de calor por convección. Es

simplemente un obstáculo con bajo coeficiente de conducción del calor. Decimos conducción cuando el mecanismo de transmisión de calor se da en el interior de un material sólido. Algunos aislantes de este tipo son el poliestireno expandido, poliuretano, fibra de vidrio, corcho y otros de base polimérica o elastómeros (gomas). Todos éstos son, actualmente, los que se comercializan, no son muy económicos pero son muy eficientes porque con pequeños espesores se logran paredes bien aisladas.

Otro aislante muy bueno y casi tan eficiente como el poliuretano, es el aire quieto o ausencia del mismo. Esto se logra mediante el confinamiento de un volumen de aire mediante; un área determinada a proteger de las pérdidas convectivas de calor y un cierto espesor estratégicamente calculado, aunque en la práctica con uno o dos centímetros se logra un buen aislamiento. La gran ventaja del aire como aislante, comparado con los mencionados en el párrafo anterior, es que su aplicación es eficaz para calefacción, no así aplicado a refrigeración como en cámaras frigoríficas. Las cámaras frigoríficas de pescado manzanas o papa, por ejemplo, se caracterizan por poseer una cierta humedad ambiente, inducida en su mayoría, para no deshidratar el producto ya que el frío tiene la ventaja de conservar a éste en el tiempo pero a costa de absorberle o extraerle agua.

Lo que sucede es que la condensación del aire húmedo en dicho confinamiento cuando se aplica en paredes de cámaras frigoríficas, tiende a producir hielo. Este hielo o aire húmedo congelado disminuye el espesor de cámara de aire calculado estratégicamente a medida que transcurre el tiempo. Y en consecuencia, la tasa de calor tolerable aumenta, llevando a que los equipos frigoríficos estén más horas funcionando para compensar tal ganancia de calor aumentando los costos en energía eléctrica para mantenimiento del producto.

Como ya se dijo en calefacción es de gran utilidad, por ejemplo, para ventanas de viviendas se está utilizando el vidrio doble, es decir, con una cámara de aire con un espesor de 1 cm. de espesor en su confinamiento. Otra ventaja es el costo de este aislante, sin costo alguno.

Las pérdidas de calor en un panel colector solar se dan en los laterales del mismo, no tan importante debido a la poca área de contacto con el aire, pero dichas pérdidas existen. La zona inferior al panel que apoya en el techo no influye tanto en cuanto a pérdidas debido a que el contacto entre panel y techo tiende a aquietar el aire que queda atrapado, aquí las pérdidas por convección se compensan con las ganancias de calor irradiado por el techo.

En la parte superior donde iría la cubierta y donde los ductos tienen mayor contacto con el aire en movimiento se encuentra la zona más crítica en cuanto a pérdidas. Aquí las pérdidas son por los altos valores del coeficiente pelicular además del área de intercambio de calor del panel. En conclusión, se optó por el aire como aislante del panel propuesto.

Cubierta

La cubierta es la protección superior del panel, ésta puede ser de diversos materiales, lo

importante es que estos cumplan con ciertas propiedades ya que serán sometidos a lluvias torrenciales, vientos, granizo, temperaturas medianamente altas y sollicitaciones mecánicas. Además, deben permitir el paso de la radiación solar para hacer posible el intercambio de energía hacia los tubos donde circula el fluido, es decir, tener alta transmisibilidad, una baja conductancia térmica y ser de bajo costo.

Los materiales típicos de las cubiertas suelen ser de vidrio, policarbonato, acrílico, polietileno de baja densidad, chapa traslucida o sin cubierta. En este caso se podría optar por la implementación de una cubierta de polietileno de baja densidad, por su costo y versatilidad en el armado. Pero no será parte del diseño la utilización de una cubierta.

6.1.2 Forma del Colector

Cuando se habla de forma del colector, se hace referencia a la forma geométrica que tendrá el panel colector terminado. Esta forma no es de gran importancia, es decir, no se parte de aquí para el diseño del colector, solo se tiene en cuenta en el aprovechamiento el área total del arreglo de colectores. Hay que tener en cuenta que estos dispositivos van sujetos comúnmente en un techo y dicho arreglo debería responder a la figura geométrica del mismo.

Los techos de viviendas guardan, en su gran mayoría, una figura geométrica cuadrada o rectangular. La idea de colocar en techos estos equipos no es capricho, puede que el cliente no los quiera allí, pero el que los diseña los prepara para que al colocarlos no tengan obstáculos con la luz solar y se produzcan sombras en él, como sucede con árboles u obras civiles. Por ello la idea es elevarlos, es decir, darles altura para garantizar la mayor permanencia de impacto de rayos solares en estos dispositivos durante el periodo diurno.

En conclusión, la forma adoptada según lo explicado y la que predomina es la forma geométrica rectangular y es la que se utilizó en la confección del diseño del colector en este proyecto.

6.1.3 Dimensiones del Colector

En una primera instancia, se puede decir que las dimensiones del colector estarán dadas por la mínima superficie que cubra los requerimientos térmicos en cuestión. Será el resultado final de la suma dimensional de los elementos que componen el colector: cañerías, bastidores (no en este caso), cubiertas y accesorios. Cabe destacar que estos elementos son muy voluminosos y difícil de manipular si se confecciona en una única pieza, lo que se quiere explicar con esto, es que se diseñara el colector de manera modular, con una superficie manipulable por el personal técnico a la hora de hacer más fácil su colocación.

Además las dimensiones finales del colector no dependen solo de lo explicado anteriormente, también son producto de haber analizado donde irán colocados. Las dimensiones donde estos equipos se colocaran, en general en techos, guardan una superficie promedio, es decir, un largo y un ancho. El largo del techo, la cota que tiene mismo sentido que la pendiente, definirá el límite de longitud del panel en conjunto con el aprovechamiento del material.

Esta longitud de panel no necesariamente debe ser única ya que podría haber techos excepcionalmente más largos que los de largo promedio e implementar igualmente paneles que sean mucho menores a esa longitud de techo. Para tener una idea de valores, diremos que para un ambiente de 3 m de ancho y con una pendiente de 30%, como muestra la figura 6.1 se tiene que el largo de techo es:

$$L = \frac{3.00 \text{ metros}}{\cos 30^\circ} = 3.46 \text{ metros}$$

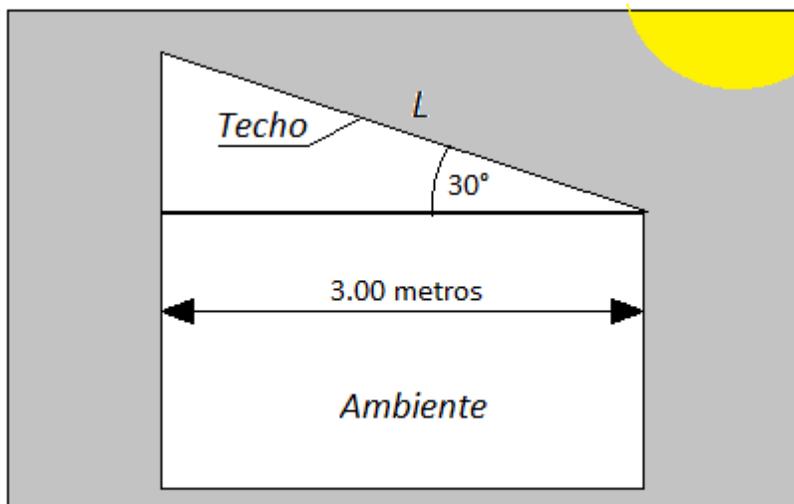


Figura 6.1: Descripción de longitud 'L' de techo de una vivienda

Como ya se sabe, la longitud de cañería en el colector, por la sección de paso de fluido que se desea utilizar, aumenta las pérdidas de carga y por consiguiente los requerimientos de la bomba de recirculación. Es por ello que se definirá el largo de acuerdo a los resultados mejor obtenidos en la etapa de simulación. La determinación de la bomba, también quedará sujeta a dicho resultado.

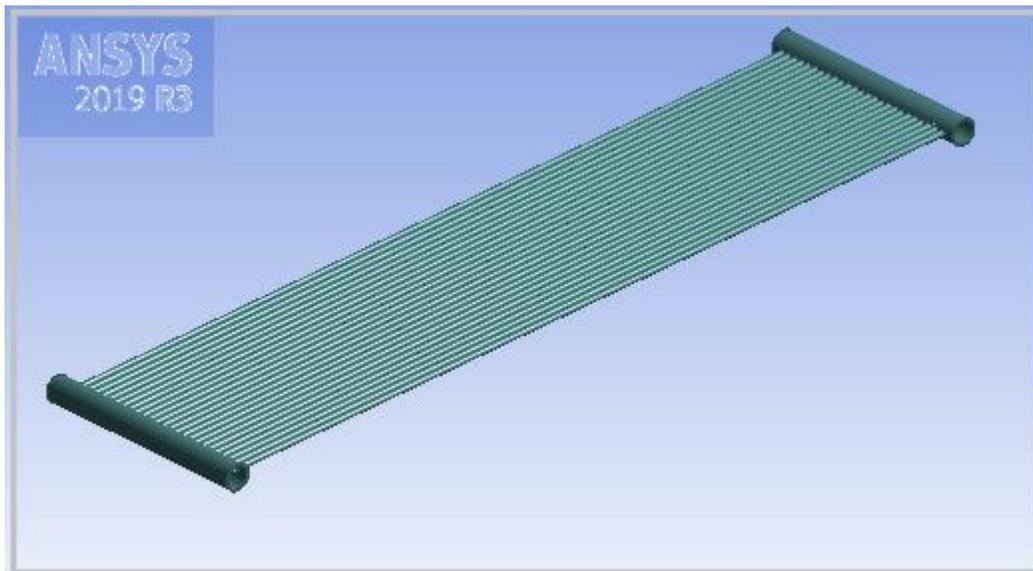
6.1.4 Esquema del equipo

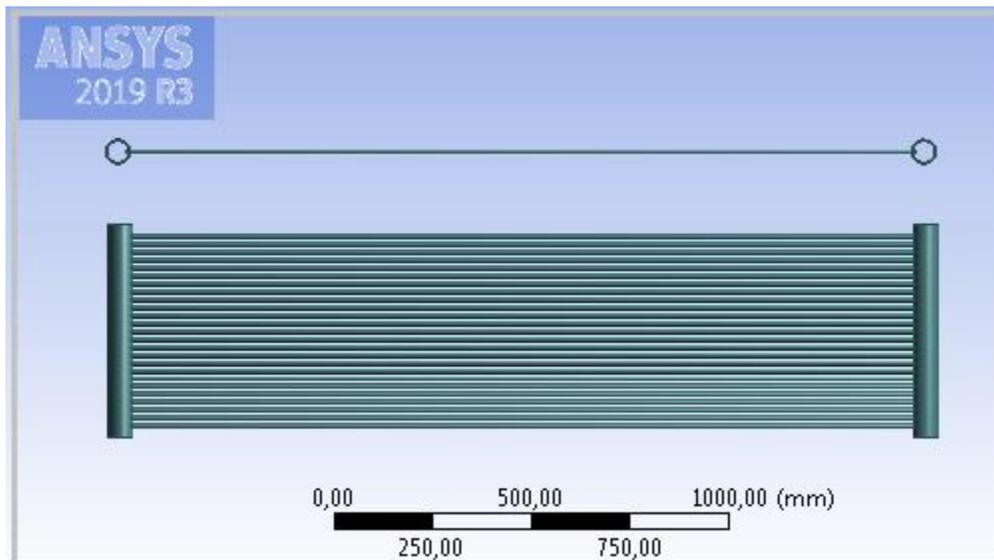
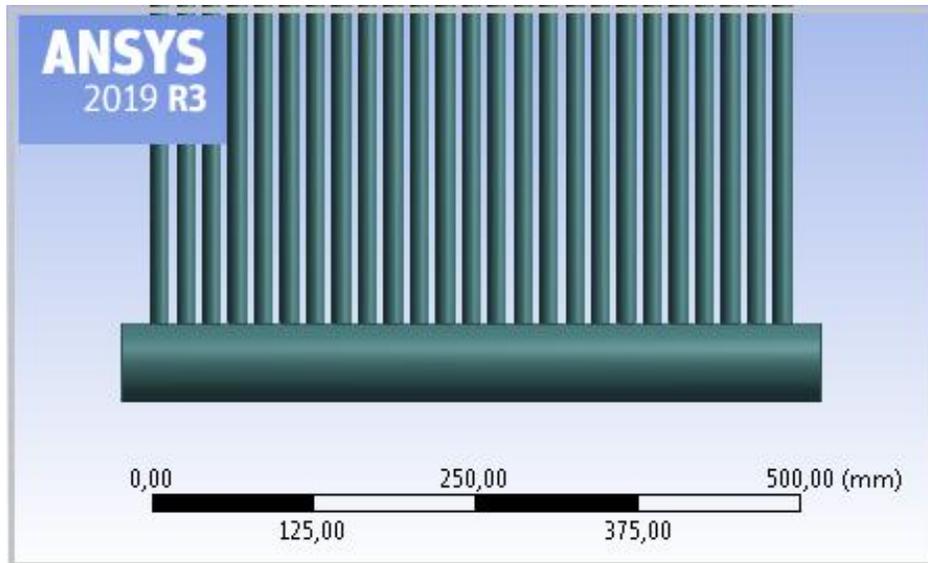
En esta sección se mostrara el diseño preliminar del colector propuesto mediante un esquema preliminar. Los mismos contendrán las dimensiones tentativas del equipo completo y de los elementos que lo componen según el material seleccionado. El software que se utilizó para realizar el esquema es el **Modeler Design**, un CAD

incorporado al **Ansys Fluent**, programa de simulación ya mencionado y que se utilizará en el capítulo 7.

Las dimensiones del esquema son a modo ilustrativo, es decir, que en la etapa de simulación se pondrán a prueba distintos largos y anchos de arreglo de tuberías al igual que diferentes diámetros que componen la parrilla de estos módulos. El objetivo de esto es la obtención de distintos resultados y seleccionar el arreglo que mejor funciona. Cabe aclarar que el que mejor funciona hace referencia a la obtención de las mejores prestaciones que puede dar el equipo con los recursos propuestos.

A continuación se muestra mediante una serie de figuras el equipo en formato modular con un área aproximada de 1 m² de captación. También se puede vislumbrar que cuenta con dos diámetros de cañerías, uno de 2" correspondiente al tubo-colector donde se unen los tubos del otro diámetro pero de menor dimensión, que puede variar entre 1/2", 3/4" o 1". Este último, el de menor diámetro, es donde se da lugar al intercambio de calor.





6.2 Distribución

El sistema de distribución se refiere al circuito de cañerías que unen la piscina con la batería de colectores. En una primera instancia se puede definir el material, y por qué no, elegir el mismo material que utilizado en los colectores, polietileno de alta densidad. Ya se comentó que en el mercado local se consigue hasta medidas de 2" y se pueden mandar a pedir de diámetros mayores. Pero el máximo que se utilizará es de 2" debido que es la el diámetro limitante de la bomba de recirculación de la piscina y es lo más recomendable.

La elección principalmente es meramente económica, además al ser tan maleable

permite hacer curvas a 90°, obviamente con un cierto radio mayor a la que proporcionaría un accesorio del tipo codo o curva, pero con la ventaja de; no solo ahorrar dinero en el accesorio, selladores y demás, sino también en tiempo y disminución en la pérdida de carga.

Sabiendo que cada construcción o vivienda tiene sus particularidades en cuanto a distancia entre piscina y colectores, se deberá estudiar cada caso particular con el objetivo final de determinar las pérdidas de carga totales del circuito, sumárselas a las pérdidas de carga en los colectores y finalmente probar que además de que la bomba compensa las pérdidas de cargas pueda trabajar en el punto de operación deseado mediante el caudal exigido en el equipo. Pero todo ello escapa al proyecto y se limitará solo a dar a conocer las pérdidas de carga en el colector, que como ya se comentó dependerá de los mejores resultados en la etapa de simulación del capítulo siguiente. En conclusión, se sabe cómo ya se dijo, el material de la cañería será de polietileno de alta densidad y de 2" de diámetro con accesorios del mismo material como el caso de la conexión a la bomba será necesario dos espigas rosca macho de 2".



Figura 6.2 Accesorio de polietileno para distribución de agua sanitaria

El accesorio a utilizar en toda la instalación (figura 6.2) será la que une el circuito de cañerías de distribución con cada elemento de la piscina, este accesorio será la que una la salida de la bomba con la cañería de alimentación y que en el extremo la espera otra pieza igual que une dicha alimentación con el colector mediante una unión doble o acople rápido. A la salida de los colectores tendrá lugar la misma pieza para seguir con el retorno de agua ya calentada. Y de ser necesario una en el extremo que retorna a la piscina. Como mucho para el circuito de distribución se utilizara 6 accesorios de este tipo.

6.3 Soporte estructural o sujeciones

El soporte se refiere al conjunto de elementos que sujetan el equipo colector solar y lo sostiene mediante una cadena mecánica fija a la superficie que contiene a dicho equipo. Como ya se comentó la selección de las distintas superficies, donde se colocará el equipo dependen de muchos factores, principalmente del tipo de equipo a colocar. Estas superficies pueden ser tanto Techos, como Suelo o Paredes.

En el caso de techos dependerá si es de losa (pendiente casi nula) o tejas (pendiente considerable). La chapa acanalada, como opción de cubierta de techo, es ampliamente utilizada como solución rápida en la actualidad, y tiene la ventaja de contar con las sujeciones en forma de tornillos autoperforantes. Estos tornillos darán la ventaja de sujetar lo que se desee, en este caso los colectores solares.

La teja como cubierta es menos amigable a la hora de colocar una sujeción con el fin de sujetar algo, debido a que tiene un sistema de trabas o uñas para armar el techo en su totalidad y, a pesar del peso por el tipo de material con que se fabrican, necesariamente llevan por cada teja un clavo fino de cobre para que no se vuelen con el viento. Aunque este sistema es anticuado ya que data de la época colonial, por ello la Teja Colonial, en la actualidad se sigue utilizando, quizás más utilizada es la Teja Francesa.

La teja francesa es del mismo material que la colonial, este material conocido está hecho con una mezcla de adobe y arcilla, o lo que se conoce como cerámica, un material calcáreo que no es más que barro cocido. Su elección en la actualidad es de carácter arquitectónico, debido a la estética del tipo de edificación deseada de la vivienda por el cliente, el fin es puramente estético porque en lo económico no supera a la chapa acanalada a pesar de que el acero es más caro. Para tener una idea de valores la Teja Francesa cuesta 12,83 usd/m² [2] y la chapa acanalada zincadas 6,81 usd/m² [3], según la cotización del dólar al día de hoy 07/03/2020 en Argentina, lo que convierte a la teja casi un 95% más cara que la chapa.

Con las necesidades de solucionar estas problemáticas a la hora de colocar un colector se han ideado algunas tejas particulares, que guardan las dimensiones para colocarlas con las tejas convencionales pero que tiene una sujeción e su superficie para sujetar el equipo. Otro tipo más sencillo es el de una grampa que se sujeta en la estructura del techo, es decir, por debajo de las tejas y entre las mismas. La figura 6.3 muestra este tipo de sujeciones.

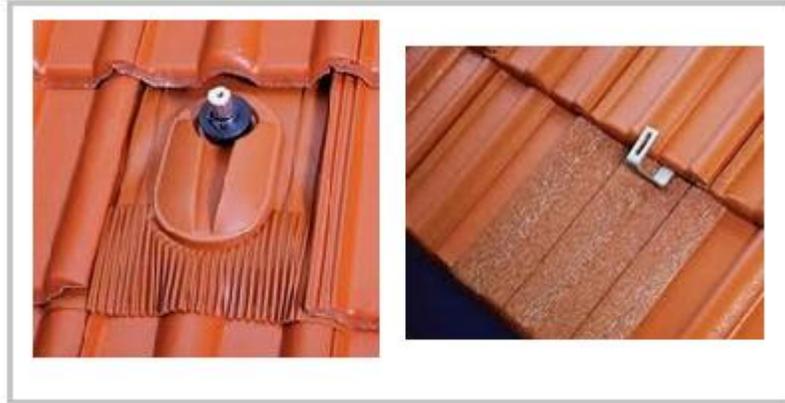


Figura 6.3 Tejas y soportes para sujeción de colectores Solares

Si el equipo se lo ubica en el suelo, a no ser que coincida de tener una cierta pendiente, se deberá estudiar el caso de cada local (vivienda, complejo vacacional, etc.) para dar solución particular a cada uno de ellos y poder dotarlo de dicho ángulo de captación.

Otra opción casi innovadora podría ser la de ubicarlo en Paredes, podrían ubicarse paralelos a la misma o con un cierto ángulo. En la figura 6.4 se puede ver un caso de paneles colocados en muros de un edificio pero con paneles eléctricos. Es un edificio de apartamentos ubicado en el sur de Los Ángeles y que ha sido restaurado por los arquitectos del estudio Koning Eizenberg [4].



Figura 6.4 Colectores Solares en Muro de Edificio

En el mercado los proveedores de equipos solares para piscinas no exigen con rigurosidad que se disponga de una superficie muy segura como es el caso de los colectores de ACS que tienen acumuladores y concentran el peso en los 4 apoyos del soporte caballete. El peso de estos equipos para piscinas se distribuye uniformemente a

través de toda la superficie donde se coloca la batería de colectores. Además se aprovecha la pendiente del techo para proveerle al colector el ángulo de captación mínimo necesario o por lo menos lo haga en forma aproximada.

En este proyecto se partirá de la base de que como el equipo colector solar propuesto por lo pronto requerirá solo soportes para techo ya sea con pendiente o sin pendiente se los sujetaran al mismo mediante grampas o flejes. Los mismos ya están normalizados y se comercializan en el mercado minorista local. Existe una gran variedad y se presentan en hierro dulce con un proceso posterior de galvanizado o bien en material polimérico.

En el ámbito de la fontanería se las conocen con distintos nombres de acuerdo al uso. Las más utilizadas o demandadas son; las grampas Magari, grampas Nagel, grampas Omega y media Omega y grampas chaveta entre otras, todas estas de metal y obviamente destinadas a la sujeción de cañerías de agua, gas y pluviales.

Las grampas metálicas, por su robustez, se aplican a cañerías aéreas. Es decir cañerías que se suspenden por debajo de una losa o bien por paredes, debido al peso que debe soportar, el peso de la cañería sumado al peso del agua, sin olvidar las fuerzas de naturaleza fluidodinámicas. Otro tipo de sujeción ampliamente utilizado para suspender cañerías es el fleje agujereado. Esta consiste en una cinta metálica plana y agujereada.

La resistencia de estos flejes es la misma que la de las grampas pero solo sirven para suspender cañerías, no así sujetar. La diferencia radica en que el fleje inmoviliza la cañería en una dirección, trabajan a la tracción pero como son esbeltas no pueden soportar sollicitaciones flexoras, torsoras o de compresión. Es por ello que solo se las utilizan para suspender cañerías y cuando se requiere sujetarlas, como en el caso de bajadas de cañerías separadas de la pared, se lo hace mediante las grampas que son más robustas como ya se explicó. En la figura 6.5 se muestran algunas de las distintas grampas que se mencionaron.



Figura 6.5 Tipos de sujeción para cañerías de Gas, Agua y Desagotes.

El fleje agujereado mencionado anteriormente (figura 6.6) sería la opción más favorable, por lo menos a lo que apunta este proyecto, que es en primera instancia economizar, ya que la grampa Magari cuesta aproximadamente 1 usd/unidad [5] y para lograr una grampa con un tramo de fleje de 0,3 m un precio de 0,062 usd/por grampa [6], poco menos de 10 centavos de dólar, a la cotización del día 07/03/2020 son 5 pesos argentinos el valor de grampa-fleje contra casi 80 pesos el valor de la Magari, haciéndolo muy atractivo al bolsillo.



Figura 6.6 Grampa tipo Fleje agujereado

Otro material interesante en tema de grampas es el polímero. Ya se definió en la sección 6.1.1 el material que mejor ajusta a las necesidades impuestas en este proyecto en lo que respecta a los ductos donde se transportará el fluido, y que mejor que utilizar una sujeción que sean semejantes en cuanto al material. Igualmente a continuación se verá en que situación el polímero es la mejor opción y cuando no lo es, en tal caso la elección

será la sujeción metálica.

Un tipo de sujeción de material polimérico es la grampa a presión y otra de la misma morfología pero con clip de cierre, una imagen de las mismas se muestra en la figura 6.7.



Figura 6.7 Grampa de PVC a presión (izquierda) y con Clip (derecha)

Por último se presenta el fleje de polietileno, este es un fleje similar al metálico presentado anteriormente pero con la posibilidad de ahorrar muchísimo más debido a que se presentan en rollos de 2000 m con precio actual de 33,42 usd el rollo [7] dando un valor de poco más de 1 centavo de dólar el metro lineal tomando la cotización del dólar al cierre del día 07/03/2020. Vienen en 13-16-19 mm de ancho y entre 0,6-1 mm de espesor. Se presentan en colores Negro, Verde y Blanco, este último más conveniente para reflejar los rayos UV como se ve en la figura 6.8 y que al ver la figura reconocerán el producto, algunos lo conocen como suncho para embalaje.

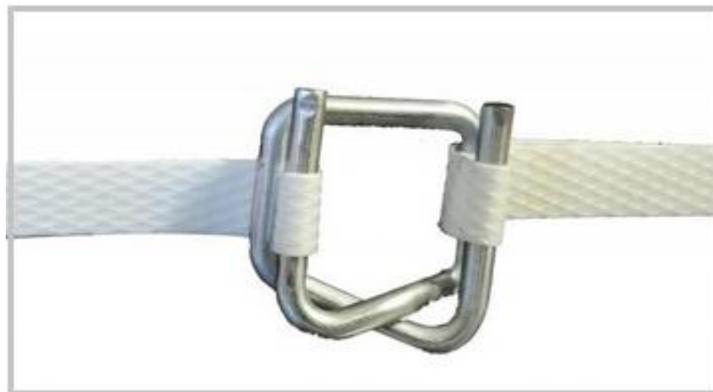


Figura 6.8 Fleje de polipropileno con hebilla metálica de unión y autoajuste

Este material tiene buena resistencia a la degradación lo que es equivalente a la corrosión si se trata del fleje metálico o grampas. Buena resistencia a los rayos UV y alta resistencia mecánica. Son fáciles de manipular, en el caso de las tejas pueden ir hasta con clavos en la alfajía estructural de madera del techo. Y en el caso de la cubierta de chapa acanalada se puede utilizar el tornillo de sujeción de la chapa para sujetar a la vez un tramo de fleje.

Se debe igualmente tener especial cuidado a la hora de colocar el tornillo con el fleje ya que una falta de estanqueidad al ajustar el conjunto podría propiciar la filtración de agua de lluvia, en tal caso de ocurrir filtraciones el cliente debería llamar primero al que colocó el sistema de colectores. Se supone que el rechista no cubrirá la garantía de su trabajo y materiales si el techo no está en las condiciones que él mismo dejó. Lo que se quiere explicar con ésto es que él que fabrica las distintas cubiertas (techos) no lo hace en base a que tentativamente podría ir colocado un colector arriba del mismo. Por lo menos, hoy en día, para los techos existentes, aunque ya existen posibles soluciones en cuanto a cubiertas pensando que puede colocarse un colector o dispositivo similar. En pocas palabras, a futuro estas soluciones irán convergiendo en una única solución.

Resumiendo y como conclusión, se tomó como sujeción del colector propuesto el fleje plástico para el caso de techo de chapa y teja. Como se comentó sus buenas prestaciones mecánicas y el bajo costo ameritan la elección, sumados a que el fleje, al ser tan delgado y de material plástico, genera menor invasividad en el techo de chapa que otras sujeciones. Lo que se buscó es no perjudicar la función principal del mismo que es la de canalizar el agua de lluvia y evitar filtrar el agua hacia el ambiente. En este trabajo no se estudiará la forma de implementación de la sujeción seleccionada entre el colector propuesto y el techo. Solo se realizó un breve análisis de las sujeciones existentes en el mercado local y su posible utilidad para este proyecto.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

[1] Propiedades Físicas y Químicas de algunos Materiales

PVC y Polietileno: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_3.html

Acero: <http://www.sumiteccr.com/acero/estructural/AE10.pdf>

Cobre: <https://es.slideshare.net/maqueyra/tema-2-210-cobre-y-aleaciones-de-cobre>

Fecha de consulta: enero de 2020

[2] Precio de Tejas Francesas Estándar

<https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-640668468-teja-francesa-losa-olavarria-natural-sin-esmaltar-comun->

[JM?matt_tool=26190581&matt_word=&gclid=Cj0KCQiAqY3zBRDQARIsAJeCVxN4cnxH7_ByYKF2ptEqtpTnhpZR7SxUQ2EC1xnTkoyDbg0f1L2ovyQaAniyEALw_wcB](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-640668468-teja-francesa-losa-olavarria-natural-sin-esmaltar-comun-JM?matt_tool=26190581&matt_word=&gclid=Cj0KCQiAqY3zBRDQARIsAJeCVxN4cnxH7_ByYKF2ptEqtpTnhpZR7SxUQ2EC1xnTkoyDbg0f1L2ovyQaAniyEALw_wcB)

Fecha de consulta: marzo de 2020

[3] Precios de Chapas acanaladas para techo

<https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-745340051-chapa-acanalada-galvanizada-c27-x-5-mts->

[JM?matt_tool=26190581&matt_word=&gclid=Cj0KCQiAqY3zBRDQARIsAJeCVxNwVlBlfkLXPQPqSBKy2C1EYzHX9Ep9tY2r-3OilVwMMG658GSzfD0aAsmuEALw_wcB](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-745340051-chapa-acanalada-galvanizada-c27-x-5-mts-JM?matt_tool=26190581&matt_word=&gclid=Cj0KCQiAqY3zBRDQARIsAJeCVxNwVlBlfkLXPQPqSBKy2C1EYzHX9Ep9tY2r-3OilVwMMG658GSzfD0aAsmuEALw_wcB)

Fecha de consulta: marzo de 2020

[4] Colectores Solares en Muro de Edificio

<https://ecologismos.com/paneles-solares-en-el-muro-del-edificio/>

Fecha de consulta: marzo de 2020

[5] Precio de Grampa Magari

<https://listado.mercadolibre.com.ar/herramientas-y-construccion/grampas-magari>

Fecha de consulta: marzo de 2020

[6] Precio de Fleje Agujereado

https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-757154117-fleje-perforado-para-grampa-rollo-x30mtsJM?matt_tool=26190581&matt_word=&gclid=Cj0KCQiAqY3zBRDQARIsAJeCVxP_q-XLEWHV4IDWitYOLnniTjG5Yxjun7bx5LQuZINHxkCf-cPxTTMaAIM1EALw_wcB

Fecha de consulta: marzo de 2020

[7] Precio de Fleje de polipropileno

https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA792166692flejezunchoplasticossemiautomatico13mmblancoJM?quantity=1#reco_item_pos=2&reco_backend=machinalisselleritems&backend_type=low_level&reco_client=vip-seller_items-above&reco_id=ce919abd-8ff9-4638-9cbd-e8d87405e8b5

Fecha de consulta: marzo de 2020

Capítulo 7

MODELADO COMPUTACIONAL

7.1 Breve Introducción

Los sistemas termoenergéticos se caracterizan por tener una dependencia no lineal y acoplamiento de las variables. El uso de técnicas de dinámica de fluidos computacional (CFD) y de simulaciones tanto transitorias como estacionarias, constituye una solución ideal en comparación a la muy utilizada experimentación. El análisis de sistemas altamente complejos como pueda ser una instalación solar térmica completa para el aclimatado de piscinas de viviendas puede realizarse de manera rápida con un software de simulación dinámica como el ANSYS.

Los avances tecnológicos y la competencia económica mundial que existen en la actualidad han llevado a exigir resultados fiables y rápidos minimizando costos y tiempo. La simulación dinámica es órdenes de magnitud mucho más rápida y muchísimo más económica a diferencia de la experimentación, en la que pequeños cambios en el sistema pueden significar elevados costos en materiales e inversión de tiempo.

En este apartado se resolverá mediante modelado computacional los distintos equipos según el diseño impartido en el capítulo 6. La idea general en esta etapa es probar las prestaciones de los equipos modelados computacionalmente y observar el comportamiento de cada uno de ellos a las distintas variables físicas tales como; la temperatura en cada uno de sus bordes, velocidad media de fluido, entre otras. La variación entre el diseño de un equipo y otro se da únicamente en el diámetro de tubería de la parrilla (1/2"-3/4"-1") y a su vez en el largo de cañerías y ancho de arreglo de dichas cañerías.

La utilización del modelado computacional en este trabajo permitirá resolver en forma conjunta distintas variables de interés y al mismo tiempo corregir rápidamente variables tanto geométricas como físicas para obtener así forma numérica y grafica los resultados que mejor se ajustan a las necesidades térmicas requeridas. La idea es cubrir las necesidades, no encontrar el que mejor rendimiento térmico tiene.

Resumiendo esto último, se buscará un área optima, es decir, ancho y largo de panel, el cual arroje resultados los más coherentes posibles en cuanto a caudales y calor entregado. Luego se analizará cuál es la tendencia de las distintas variables físicas involucradas que predominen en el mejoramiento de las prestaciones del equipo con el objetivo de predecir cual serían las mejores dimensiones del colector a construir.

7.2 Software ANSYS

ANSYS, Inc. fue fundada en 1970 (Swanson Analysis Systems, Inc.) utilizando aproximadamente 1700 empleados. La mayoría con experiencia en elemento finito y dinámica de fluido computacional. Es un software de simulación ingenieril. Está desarrollado para funcionar bajo la teoría de elemento finito para estructuras y volúmenes finitos para fluidos. En 2008, el National Institute of Standards and Technology de Estados Unidos utilizó ANSYS para modelar los acontecimientos que llevaron al inicio del desplome del edificio World Trade Center 7 durante los atentados del 11 de septiembre de 2001.

En líneas generales ANSYS está dividido en tres herramientas principales llamados módulos: pre-procesador (creación de geometría y mallado), procesador y post-procesador. Tanto el pre-procesador como el post-procesador están provistos de una interfaz gráfica. Este procesador de elemento finito para la solución de problemas mecánicos incluye: análisis de estructuras dinámicas y estáticas (ambas para problemas lineales y no lineales), análisis de transferencia de calor y fluidodinámica, y también problemas de acústicas y de electromagnetismo.

Normalmente el uso de estas herramientas se utiliza simultáneamente logrando acoplar problemas estructurales junto a problemas de transferencia de calor como un todo. Este software es usado también en ingeniería civil y eléctrica, física, química y aeronáutica [1].

ANSYS Workbench es un paquete de distintos Solvers de las típicas problemáticas que se pueden presentar a nivel tecnológico y científico. Una de las herramientas a utilizar de dicho paquete es el Fluent, un software de ecuaciones algebraicas y diferenciales que incorpora una librería con los más comunes sistemas termo-energéticos. Estos están diseñados especialmente para simulaciones de fluidos en componentes de diversas geometrías tanto para problemas transitorios como estacionarios.

Además cuenta con un listado de los diversos materiales existentes en el mercado mundial y sus propiedades físicas y químicas. Materiales que se utilizan en la industria metalúrgica como el acero y fundiciones, variedad de polímeros, madera, entre otros. También se puede seleccionar el tipo de fluido con el que se desea trabajar sin tener que cargar las propiedades físicas del mismo manualmente.

Estos fluidos son los ya conocidos en la industria química y petroquímica como así también en la industria alimenticia. Se pueden cargar fluidos que no estén cargados en la biblioteca, por ejemplo, desechos especiales con propiedades físicas y químicas del propio procesamiento industrial llevado a cabo y que es objeto de estudio. Pueden cargarse desde estos fluidos descriptos hasta sangre u hormigón (constituyente cementicio estructural).

La versión que ofrece ANSYS es la versión estudiantil o conocida en su página como ANSYS Student. Esta es la versión que se utilizará para estudiar el comportamiento del colector propuesto en la etapa de diseño y sus variantes. Esta versión es gratuita, cabe

destacar además que toda versión sin licencia cuenta con un límite de tamaño de las geometrías a estudiar. La geometría, que es por donde se comienza a armar los proyectos, comprende conjunciones de volúmenes que a su vez contienen caras, aristas y vértices. Cualquiera que sea la geometría a utilizar, como primera limitación de esta versión, no debe superar las 300 caras o 50 volúmenes [2].

Cuando una geometría supera estos límites, el CAD no permite guardar o exportar el proyecto, esta limitación no es una problemática desde el punto de vista geométrico, ya que si se superara estos límites se puede eliminar de a un elemento hasta quedar por debajo del límite. El problema en sí es que una vez superado ese límite el programa conviene correrlo hasta el fin del proyecto, guardar los resultados, capturas de pantalla, y demás información necesaria que sea de interés, porque una vez cerrado el proyecto este quedará vacío, como si nunca se hubiese hecho nada en él.

Esta limitación presenta un desafío importante al proyectista, que es la de ser lo más eficiente posible al momento de realizar la geometría. Cuando se dice eficiente se refiere a utilizar todos los recursos posibles para que una misma geometría requiera estar siempre por debajo de estos límites. Por ejemplo si se quisiera optimizar el volumen de líquido dentro de un tubo, en vez de agregar otro tubo a la par se podría alargar el existente y así se mantendría el número de caras y volúmenes, siempre y cuando este alargamiento no presente obstáculos técnicos, como superar la pérdida de carga en la tubería.

El mallado es otra limitación de esta versión solo permite geometrías que no superen los 500000 nodos, o sea que si la pieza de análisis es volumétrica y de gran dimensión no podremos hacer un gran refinamiento de la malla para mejorar los resultados. En este caso habrá que conformarse con el tamaño de malla que arroje el software por defecto, que seguramente será grosera en tamaño y no arroje los resultados deseados. La solución a este problema puede ser trabajar con cierta simetría y lo volumétrico trabajarlo en dos dimensiones, que justamente es lo que se utilizó para abordar este trabajo y que se presentará más adelante.

Esta versión de ANSYS es una versión de prueba y para estudiantes. Esta problemática sobre los límites en geometría y mallado, como tantos otros intrínsecos de la versión, se mitigan totalmente al adquirir la licencia del programa.

7.3 Análisis de Transferencia de Calor interno

En este apartado se hará un análisis previo a la simulación de la transferencia de calor a través de la tubería del modelo propuesto con el objetivo de determinar el orden de magnitud de las velocidades medias necesarias de entrada del fluido en cada elemento (tubería) para obtener buenos resultados.

En el análisis de transferencia de calor en intercambiadores de calor de casco y tubos se sabe que un aumento de velocidad de fluido mejora las propiedades convectivas, pero lo

hace a cuenta de un aumento en la caída de presión a la salida, esto último es no deseado, entonces para estos casos se suele poner un límite a la velocidad y, en consecuencia, esto conlleva una limitación a la transferencia de calor.

Como ya se comentó, los avances tecnológicos en computación y resolución CFD hicieron de esta tarea de análisis un ahorro importante en tiempo, dinero y errores de cálculo, teniendo como resultados primeras aproximaciones pero, sin embargo, para tener una idea del problema en cuestión, algunas veces se debe hacer un análisis analítico previo, puesto que para resolver una problemática de esta naturaleza no siempre se cuenta con un ordenador a mano.

Principalmente este diseño propuesto presenta una cuestión importante, el material de la tubería. En transferencia de calor este material (HDPE) se comporta más como un aislante que como un buen conductor del calor debido a su baja conductividad térmica. A pesar de esta baja conductividad hoy en día se utiliza para calefacción central de viviendas, más precisamente en pisos y losas radiantes.

La siguiente figura describe la geometría de estudio a utilizar:

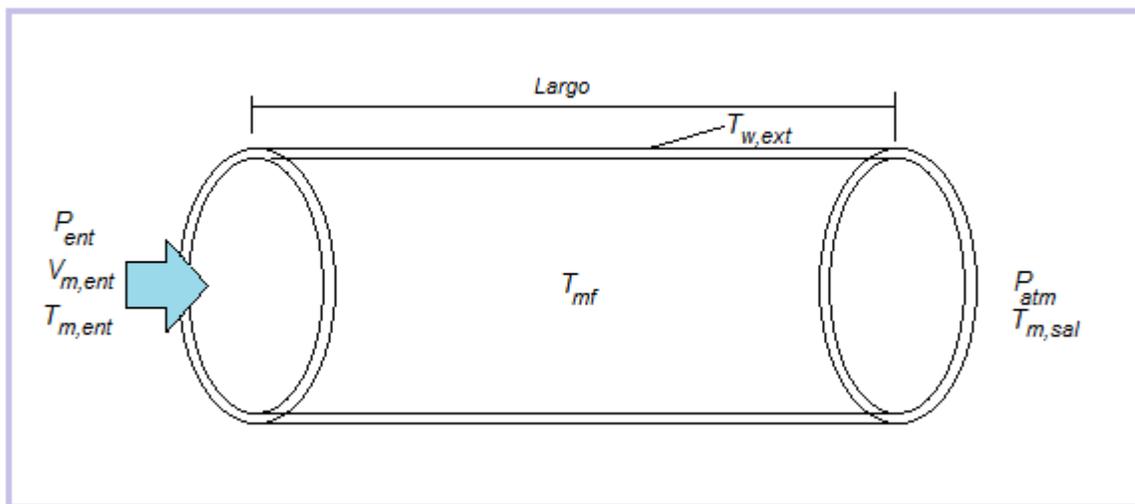


Figura 7.1: Detalle de elemento de estudio (tubería) del colector solar.

La transferencia de calor desde el exterior de la tubería hasta el seno del fluido caloportador que yace dentro de dicha tubería se efectúa mediante dos mecanismos: el de conducción y el de convección, el primero es a través de la pared del material de la tubería, y el segundo desde la superficie interior de la tubería al seno del fluido.

La transferencia de calor por conducción por unidad de área en tuberías circulares responde a la ecuación de Fourier:

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \dot{q} = k_t * \frac{(T_{we} - T_{wi})}{L} = \frac{\Delta T_{we-wi}}{\frac{L}{k_t}} \quad (1.1)$$

Donde

T_{we} : es la temperatura de la pared exterior de la tubería en °C

T_{wi} : es la temperatura de la pared interior de la tubería en °C

L : Espesor de la pared de la tubería en m .

k_t : Conductividad térmica del material en $W/m.K$

\dot{q} : Tasa de transferencia de calor por unidad de área medida en W/m^2

A : Área del cilindro hueco de pared delgada medida en m^2 .

Aclaración: El área de pared del cilindro es un área media logarítmica, es decir, el promedio logarítmico entre las áreas interior y exterior del cilindro. Para el caso en estudio y a modo de simplificar cálculos, esta área media logarítmica se puede aproximar con muy mínimo error al área de un cilindro de radio interior o exterior, pues el espesor de pared del tubo es muy pequeño con respecto al radio nominal del mismo.

De la misma forma la transferencia de calor por convección por unidad de área en tuberías circulares responde a la siguiente ecuación:

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \dot{q} = h * (T_{wi} - T_f) = \frac{\Delta T_{wi-f}}{\frac{1}{h}} \quad (1.2)$$

Donde

h : Coeficiente pelicular de calor por convección en $W/m^2.K$.

T_{wi} : es la temperatura de la pared interior de la tubería en °C

T_f : es la temperatura media del fluido dentro de la tubería °C

Un concepto muy interesante de estas expresiones es la existencia de una analogía eléctrica, y que corresponde a la expresión de la ley de Ohm. Al mirar las expresiones de calor, la tensión eléctrica se asemeja a la fuerza impulsora y que está dada por la diferencia de temperatura, la corriente eléctrica es análoga al flujo de calor y la resistencia eléctrica análoga a la resistencia térmica. Entonces las expresiones de calor 1.1 y 1.2 quedan de la siguiente forma:

$$\dot{q} = \frac{\Delta T_{we-wi}}{\frac{L}{k_t}} = \frac{\Delta T_{we-wi}}{R_{tuberia}} \quad (1.3)$$

$$\dot{q} = \frac{\Delta T_{wi-f}}{\frac{1}{h}} = \frac{\Delta T_{wi-f}}{R_{fluido}} \quad (1.4)$$

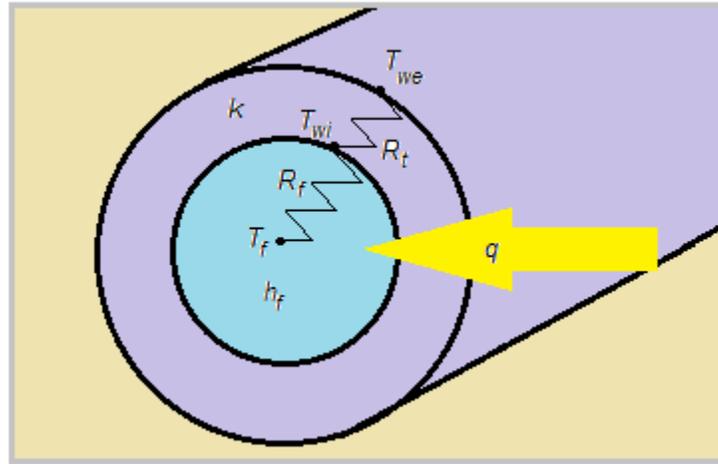


Figura 7.2: Esquema simplificado de la ubicación de las Resistencia Térmicas

Además se sabe que el calor por conducción es el mismo que el transmitido por convección, y de acuerdo a la figura 7.2 se puede apreciar que por analogía eléctrica el circuito térmico es un circuito serie, entonces al unificar las expresiones queda:

$$\dot{q} = \frac{\Delta T_{we-f}}{R_{total}} = \frac{T_{we} - T_f}{R_{total}} \quad (1.5)$$

$$R_{total} = R_{tuberia} + R_{fluido} \quad (1.6)$$

De acuerdo a la expresión 1.5, la tasa de transferencia de calor puede aumentar cuando el denominador disminuye, o bien cuando el numerador aumenta. Prácticamente, en este caso, el numerador es muy poco influyente en el flujo de calor en comparación con el denominador y esto se debe que la diferencia de temperatura se considera constante o que varía muy poco dentro de un cierto rango. Por ello, en principio el estudio se centró en la resistencia térmica total expresada por la 1.6, pues éste incluye una de las variables a determinar, que es el coeficiente pelicular o convectivo 'h'. Para tal fin, se analizó que influencia tiene cada término de las resistencias en serie.

Según las expresiones de las resistencias térmicas, la resistencia de la tubería no varía más que con el espesor de la pared del tubo para un mismo valor de conductividad térmica 'k', y como el espesor de pared varía poco en porcentaje al pasar de un diámetro a otro, se puede tomar como un valor constante para los tres diámetros elegidos. Por otro lado, la resistencia térmica del fluido es inversamente proporcional al coeficiente pelicular

' h ', entonces a medida que aumenta este coeficiente la resistencia al paso de calor disminuye, mejorando la transferencia de calor como ya se anteriormente.

Ahora bien, veamos el comportamiento de estas resistencias, tanto las individuales como la total en función del convectivo ' h ' y para conductividad térmica ' k ' del HDPE. Las figuras 7.3 y 7.4 muestran este comportamiento.

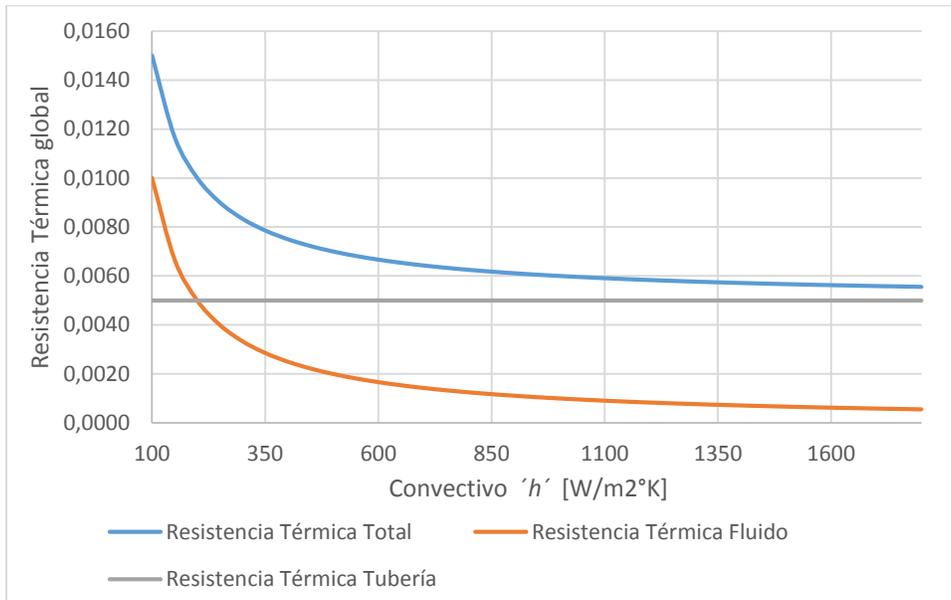


Figura 7.3: Resistencia Térmica de Fluido, de la Tubería y la Global vs. ' h ' para 1/2"

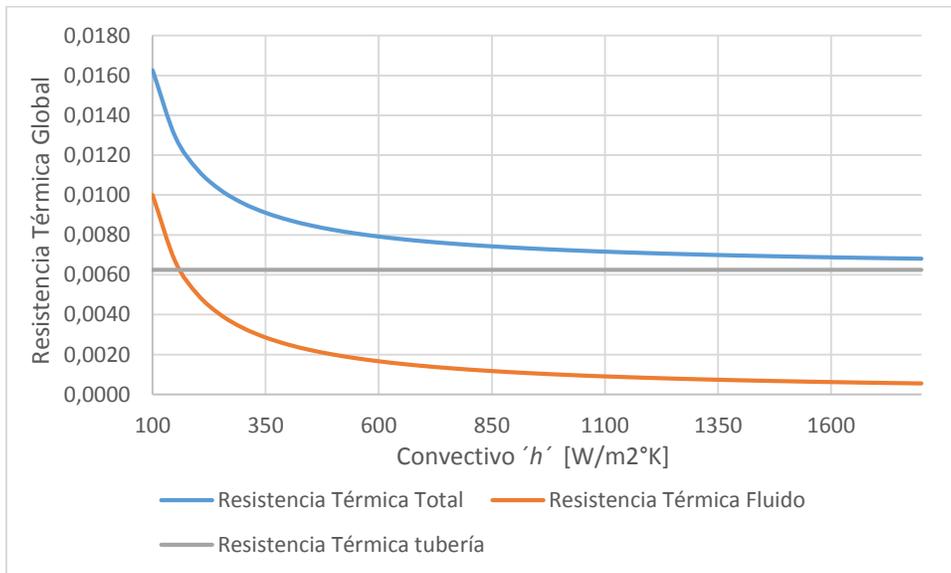


Figura 7.4: Resistencia Térmica de Fluido, de Tubería y Global vs. ' h ' para 3/4"

Como se puede apreciar en las gráficas 7.3 y 7.4, la resistencia global no disminuye más de un 0,02% al aumentar los valores de coeficiente pelicular 'h' de 1350 a 1600 W/m².K. Esto hecho se debe al bajo aporte de la resistencia térmica del fluido por intentar disminuir la resistencia global. En base a este comportamiento se puede concluir que los valores a utilizar de convectivo serán a partir de 1600 W/m².K, valores superiores a éste los aportes serán menores al 8% en la Resistencia Térmica Global y en disminución. Además de no ser necesario un aumento del convectivo por encima de 1600 W/m².K por lo analizado anteriormente, tampoco es conveniente hacerlo pues, como ya se comentó, eleva las pérdidas de carga y el trabajo de la bomba.

En análisis de transmisión de calor en flujo de fluidos es el convectivo 'h' lo que interesa averiguar. Este coeficiente se deduce analíticamente de la resolución de la ecuación diferencial de energía y momentum con adecuadas condiciones de contorno, cuando el flujo es laminar y en tuberías de sección circular [3]. Donde el flujo ya no es más laminar y pasa a régimen turbulento, esta solución analítica no es aplicable, para ello se acude a correlaciones experimentales y semiexperimentales para para este tipo de flujos, en la cual se apoyan los calculistas para obtener resultados de este convectivo en forma rápida y aproximada.

Las correlaciones experimentales incluyen la mayoría de las variables que estarán involucradas en un cierto problema. Para el caso de análisis de flujo, el convectivo 'h' es función de propiedades del fluido como: la constante 'k' de transmisión de calor por conducción, la variable geométrica como el diámetro, y un número adimensional llamado número de Nusselt (Nu). Este último es la correlación experimental en sí, y es función de otros números adimensionales como el número de Reynolds (Re) y Prandtl (Pr).

Existen muchas correlaciones experimentales sobre el estudio de fluidos, las cuales responden dentro de un rango que coincide con los probados experimentalmente. Cabe aclarar que en este trabajo no se hondará en los conceptos de adimensionalidad, solo se menciona a estos números adimensionales por estar involucrados en el caso de estudio.

Comúnmente los autores de estas correlaciones ponen como variables para los rangos de análisis justamente a los números de Re y Pr y relaciones geométricas del caso. Por ejemplo, la transición de laminar a turbulento puede ser a partir de Re>2300 pero hay casos que llegan hasta valores de 40000, dependiendo de condiciones de fluido y de entrada. Por ello, para saber que correlación a utilizar, se debe calcular para cada caso el número Re y Pr y verificar cual es la correlación a utilizar para el cálculo del número de Nu.

Una correlación muy común utilizada en la práctica para el cálculo de número de Nu es la ecuación de Dittus-Boelter [4].

$$Nu = 0,023 * Re^{0,8} * Pr^n \quad (1.7)$$

En donde $n=0,4$ cuando hay calentamiento del fluido y $n=0,3$ cuando hay enfriamiento. A su vez:

$$Nu = h * \frac{D}{k} ; Re = \frac{\rho * V_m * D}{\mu} ; Pr = \frac{v}{\alpha}$$

Donde

D : Diámetro interno de la tubería en m .

k : Conductividad térmica del fluido en $W/m.K$.

ρ : Densidad del fluido en kg/m^3 .

V_m : Velocidad media del fluido dentro de la tubería en m/s .

μ : Viscosidad dinámica del fluido $kg/m.s$.

α : Difusividad térmica en m^2/s

v : Viscosidad cinemática en m^2/s .

Esta ecuación es aplicable cuando las diferencias de temperatura son pequeñas y para $0,7 < Pr < 100$, $Re > 10000$ y relación $L/D > 60$. Las propiedades del fluido se determinan a la temperatura media de fluido en la región considerada.

Hasta aquí se presentó la correlación que se utilizara en el análisis de convectivo para este trabajo. Como se puede ver el convectivo es proporcional al número de Nu, que a su vez es proporcional al Re y Pr, por ello si se quiere aumentar el convectivo con aumentar la velocidad media de fluido ya se estaría teniendo éxito, a decir verdad es una de las variables más influyentes en el convectivo y es en la practica la que más se manipula para lograr buenos resultados.

Como se comentó, no es conveniente aumentar más el convectivo mas allá donde los resultados producto de dicho aumento no dan un aporte en el resultado global de resistencias térmicas y por consiguiente en la transmisión de calor. Lo que se obtiene al aumentar el convectivo es un aumento en la pérdida de carga a lo largo de la tubería, pues las pérdidas por fricción (perdida de carga) son proporcionales a la velocidad media del fluido al cuadrado [5]. La ecuación que modela estas pérdidas se describe mediante la expresión 1.8 o conocida también como la ecuación de Darcy-Weisbach.

$$\Delta P = f * \frac{L}{D} * \frac{\rho V_m^2}{2} \quad (1.8)$$

Donde

ΔP : $P_1 - P_2$, la caída de presión entre la entrada y la salida de fluido en Pa .

f : Factor de fricción dependiente del número de Reynolds y rugosidad relativa. Se obtiene del diagrama de Moody (adimensional).

L : Largo de la tubería en metros.

D : Diámetro interno de la tubería en metros.

ρ : Densidad del fluido en Kg/m^3 .

V : Velocidad media del fluido dentro de la tubería en m/s .

El diagrama de *Moody* es un diagrama que se utiliza para determinar el factor de fricción para el caso de flujo turbulento en tuberías lisas y con cierta rugosidad. Las distintas curvas se obtuvieron en forma experimental [6].

Volviendo al análisis de convectivo, se mencionó que valores de éste mayores a $1600 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ no generaba un aporte significativo en la tasa de transferencia de calor. Pero, a su vez, el convectivo obtenido surge del valor de Nusselt y que deben corresponder a valor de Reynolds y Prandtl para la utilización de la correlación. Por ejemplo, para convectivos alrededor de $1600 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ para temperaturas media de operación de fluido en el colector de 32°C , los valores de Nusselt promedio son 30, 48 y 63 para diámetros de $1/2''$, $3/4''$ y $1''$ respectivamente. Si analizamos los valores de Reynolds y Prandtl con propiedades de fluido a temperatura media del mismo de 32°C , para los cuales dan estos valores de Nusselt, entonces el Prandtl sí está dentro del rango pero, el Reynolds no lo cumple, a pesar de ser turbulento con un valor de $\text{Re}=5000$.

Para la utilización de la correlación entonces se debió aumentar el Reynolds para que cumpla con las condiciones de implementación de la misma, es decir, $\text{Re}>10000$, por lo que las velocidades medias de fluido, para las propiedades de fluido y diámetro que cumplen inmediatamente con esta condición son: $1,1 \text{ m/s}$, $0,73 \text{ m/s}$, $0,55 \text{ m/s}$ para $1/2''$, $3/4''$ y $1''$ respectivamente. Los valores de convectivos a partir de la 1.9 son:

$$h = Nu * \frac{k}{D} \quad (1.9)$$

Para tubería de $1/2''$

$$h = Nu * \frac{k}{D} = 93 * \frac{0,6315}{0,0125} = 4712 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$$

Para tubería de $3/4''$

$$h = Nu * \frac{k}{D} = 96 * \frac{0,6315}{0,019} = 3190 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$$

Para tubería de $1''$

$$h = Nu * \frac{k}{D} = 93 * \frac{0,6315}{0,0125} = 2355 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$$

Obviamente los valores de Nusselt en estos resultados de convectivo son aquellos que cumplen inmediatamente las condiciones de $Re > 10000$. El objetivo de haber obtenido estos valores de convectivos es la de corroborarlos con los resultados obtenidos mediante la Simulación, es decir, calcularemos el calor a la salida de la tubería. Además se verificará la pérdida de carga a lo largo de toda la tubería.

Luego de haber obtenido estos valores de convectivo, se puede proceder al cálculo de calor mediante las expresiones de transferencia de calor a través de la pared de la tubería. Para simplificar, se supone que las pérdidas de calor por convección ni radiación son despreciables, o por lo menos, lo son con respecto al calor ganado por el fluido. La figura 7.5 muestra un esquema de un volumen de control seleccionado donde se representa las ganancias y pérdidas de calor en la tubería del colector.

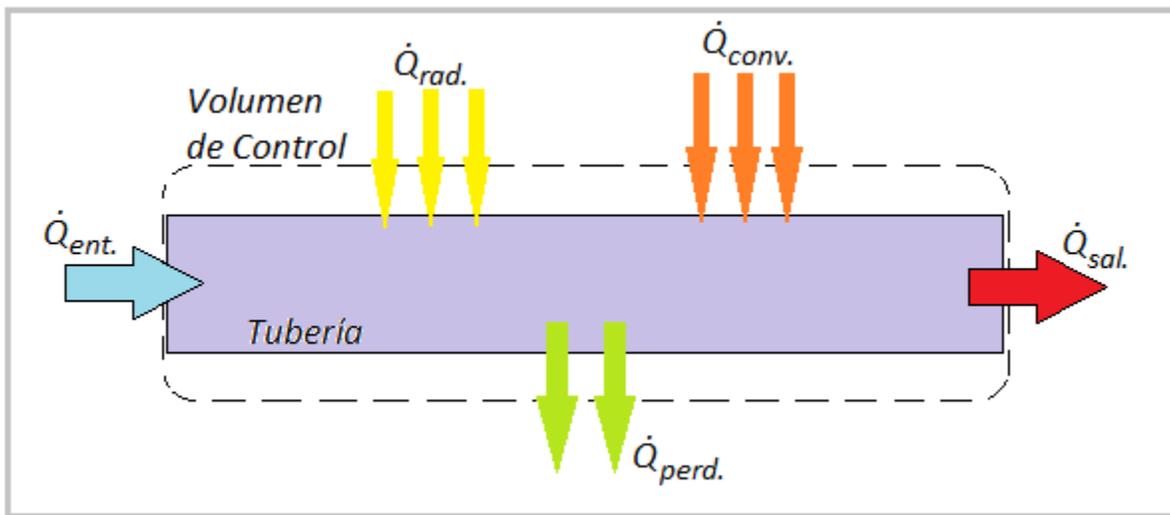


Figura 7.5: Balance de Calor sobre un elemento del colector

$$\dot{Q}_{ent.} + \dot{Q}_{rad.} + \dot{Q}_{conv.} - \dot{Q}_{perd.} - \dot{Q}_{sal.} = 0 \quad (1.10)$$

El calor ganado por el fluido será únicamente por radiación, el mecanismo es sencillo, la radiación incidente sobre el colector hará que la superficie de cada elemento eleve su temperatura, pues es un fenómeno de superficie. Datos experimentales recolectados en periodo primavera-verano de 2019-2020 por alumnos en trabajos de campo de la Optativa *Energías Alternativas Termomecánicas*, en un colector fabricado por dichos alumnos, arrojaron valores medios de temperatura de la pared exterior de la tubería en época de verano de 43°C con días nublados, alcanzando valores máximos con cielo despejado en enero de 57°C . El instrumento de medición utilizado fue una pistola termométrica. Las condiciones de medición fueron media mañana, mediodía y tarde. Se midieron vientos y temperaturas de fluido dentro del tanque acumulador.

Cabe aclarar que el diseño de este colector donde se efectuaron las mediciones difiere con el propuesto en este trabajo debido a que en el que se tomaron las mediciones de Temperatura era un panel plano con cubierta y el propuesto es sin cubierta, el material de la tubería es el mismo. A pesar que las temperaturas fueron medidas mayormente en días nublados dieron buenas temperaturas. En conclusión, se tomó como valor medio definido de 50 °C en la superficie exterior de la tubería. En verano cualquier superficie expuesta al sol, aunque no sea opaca, supera esta temperatura.

Entonces el calor por radiación caliente la superficie exterior de la tubería, se transmite por conducción a través de la pared de la misma y por convección forzada al fluido. Este calor estará dado por:

$$\dot{q} = \frac{\Delta T_{we-f}}{R_{total}} = \frac{T_{we} - T_f}{R_{total}}$$

Con

$$R_{total} = R_{fluido} + R_{tuberia} = \frac{L}{k_t} + \frac{1}{h_f}$$

$T_{we} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, como valor conservativo de la máxima medición y la media según el experimental.

$k_t = 0,4 \frac{W}{m.K}$, Conductividad térmica del HDPE.

$T_f = 32\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura media del fluido, con la que se calcularon las propiedades del fluido y así obtener el convectivo 'h', surge del promedio de la entrada y la salida de fluido en la tubería.

Con $L = 0,002\text{ m}$, espesor de pared de la tubería, para el caso de la tubería de 1/2".

$$R_{total}(1/2") = \frac{L}{k_t} + \frac{1}{h_f} = \frac{0,002}{0,4} + \frac{1}{4712} = 0,0052122 \frac{m^2.K}{W}$$

$$\dot{q} = \frac{T_{we} - T_f}{R_{total}} = \frac{50 - 32}{0,0052122} = 3453 \frac{W}{m^2}$$

Si analizamos las dimensiones del área de tubería se tiene para un largo de $L=2\text{ m}$ el calor ganado al fluido a través de la pared es:

$$\dot{Q} = \dot{q} * Area = \dot{q} * \pi * D * Largo$$

Luego

$$\dot{Q} = 3453 \frac{W}{m^2} * \pi * 0,0125m * 2m = 271 W$$

Este calor ganado por el fluido debe ser igual a la variación de la energía interna que experimenta el mismo desde que entra hasta que sale de la tubería. La primera Ley de la Termodinámica dice: si el trabajo realizado por un sistema es nulo entonces la variación de la energía interna es igual al calor suministrado al mismo:

$$\Delta U_{sistema} = Q + W \text{ con } W = 0 \text{ (1.11)}$$

Si se incluye el tiempo en la ecuación se tiene:

$$\frac{DU}{Dt} = \dot{Q} \text{ con } U = \oint \rho * C * T * dV \text{ (1.12)}$$

Según el Lema de Reynolds la variación de la energía interna del fluido para caso estacionario, es decir, que la temperatura no varía con el tiempo es:

$$\frac{DU}{Dt} = \frac{D}{Dt} \oint \rho * C * T * dV = \oint \rho * C * T * v * n * dA \text{ (1.13)}$$

Donde

ρ : Densidad del fluido, en este caso agua de la piscina en kg/m³

C : Capacidad calorífica del fluido en J/kg.K

T : Temperatura del fluido en K o °C

v : Velocidad del fluido en m/s

n : Versor Normal al Área

dA : Diferencial Área

La integral de la expresión 1.3 es una integral de flujo a través de una superficie de control, los términos que varían son la velocidad y la temperatura, a su vez la velocidad por el área es un producto escalar y al ser flujo incompresible la densidad sale fuera del integral, también la capacidad calorífica es constante.

$$\frac{DU}{Dt} = \rho * C \left(\oint T_{sal.} * v_{sal.} * dA - \oint T_{ent.} * v_{ent.} * dA \right) = \dot{Q} \quad (1.14)$$

El término integrando de la izquierda describe lo que sucede con el flujo a la salida de la tubería, el de la derecha es el término que describe la situación de flujo a la entrada. El signo de cada término surge del producto escalar y en esta expresión queda implícito el término de flujo en contacto con las paredes de la tubería en el cual el producto escalar entre el área normal de dichas paredes es perpendicular a la velocidad v , siendo este producto escalar nulo, o bien flujo nulo.

Esta expresión sirve para corroborar, según los perfiles de temperatura y velocidad a la entrada y salida, el calor neto ganado o la variación de la energía interna de manera analítica más aproximada que el cálculo que se hará a continuación:

Si suponemos que el fluido se desliza por las paredes, es decir, no hay roce entre fluido-pared entonces como el diámetro no varía entre la entrada y la salida, por continuidad la velocidad de fluido es igual y constante a la entrada y la salida, es decir, no varía con el radio ni con la longitud de la tubería.

Algo similar se define sobre el perfil de temperaturas, es decir, se toma constante a través de toda el área de entrada, pero no es igual a la salida, pues el fluido varió su energía interna, para simplificar los cálculos se puede tomar el valor medio de la misma a través de toda el área de flujo, entonces la expresión 1.14 queda:

$$\dot{Q} = \dot{m} * C * (T_{msalida} - T_{mentrada}); \quad (1.15)$$

Con

$$\dot{m} = \rho * V * Area_{flujo}$$

Donde

C : Capacidad calorífica del fluido 4184 J/kg.K

\dot{m} : Caudal másico kg/s.

V : Velocidad de fluido m/s.

$T_{msalida}$: Temperatura media de salida del fluido en °C.

$T_{mentrada}$: Temperatura media de entrada del fluido en °C. En este caso, a la temperatura media deseada de la piscina de aproximadamente 30°C.

Calculando el caudal másico para tubería de 1/2" se tiene:

$$\dot{m} = 1000 \frac{kg}{m^3} * 1,1 \frac{m}{s} * pi * \frac{0,0125^2}{4} = 0,1244 \frac{kg}{s}$$

Luego la temperatura media del fluido a la salida de la tubería será:

$$T_{msalida} = \frac{\dot{Q}}{\dot{m} * C} + T_{mentrada}$$

$$T_{msalida} = \frac{271}{0,135 * 4184} + 30 = 30,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Como se puede apreciar el aumento de temperatura aproximada es de medio grado y si se calcula la temperatura media será:

$$T_{mfluido} = \frac{T_{msalida} + T_{mentrada}}{2} = 30,25^\circ\text{C}$$

Además este último resultado no coincide con la temperatura media que se supuso para calcular las propiedades de fluido y a su vez el convectivo. Para corregir esta diferencia se debe realizar un proceso de iteración. Entonces, partiendo de este último valor de temperatura media de fluido se tiene nuevas propiedades de fluido y convectivo dando una transferencia de calor a través de la pared de la tubería más cercana al valor real:

$$R_{total}^{nuevo} = \frac{L}{k_t} + \frac{1}{h_f} = \frac{0,002}{0,4} + \frac{1}{4863} = 0,0047056 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$\dot{q}_{nuevo} = \frac{T_{we} - T_{mf}}{R_{total}} = \frac{50 - 30,25}{0,0047056} = 4195 \frac{W}{m^2}$$

La tasa total de calor final recibida por el fluido a través de la tubería es:

$$\dot{Q} = 4195 \frac{W}{m^2} * \pi * 0,0125m * 2m = 316 W$$

Verificamos nuevamente en la ecuación de variación de la energía interna:

$$T_{salida} = \frac{\dot{Q}}{\dot{m} * C} + T_{entrada} = \frac{316}{0,1244 * 4184} + 30 = 30,607 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Luego de una iteración ya se puede afirmar que para las condiciones dadas de fluido y la geometría definidas, para una tubería de 1/2" de HDPE y de 2m de longitud, cuando la velocidad media de fluido es de 1,1 m/s, la temperatura media de la superficie exterior de tubería de 50°C y la temperatura media de entrada de aproximadamente 30°C, entonces el calor suministrado es de aproximadamente 316 Watts/tubería.

Las condiciones citadas en este último párrafo serán las condiciones impuestas en la geometría en el proceso de simulación, conocidas también como condiciones de contorno. Este análisis permitirá determinar el orden de error entre estos métodos y que tan confiable es el método de resolución computacional.

7.4 Presentación del Modelo Propuesto y Resolución en Fluent

En esta sección se presentará el modelo propuesto mediante su correspondiente geometría. Se supone primero la tubería circular con un cierto espesor de pared y longitud, como se mostró en la figura 7.1, esta geometría que en primera instancia es tridimensional, se puede resolver en forma más simple en dos dimensiones. Esto es posible por la simetría y sencillez del problema comparado con otras geometrías.

La figura 7.6 muestra la geometría y la simplificación abordada:

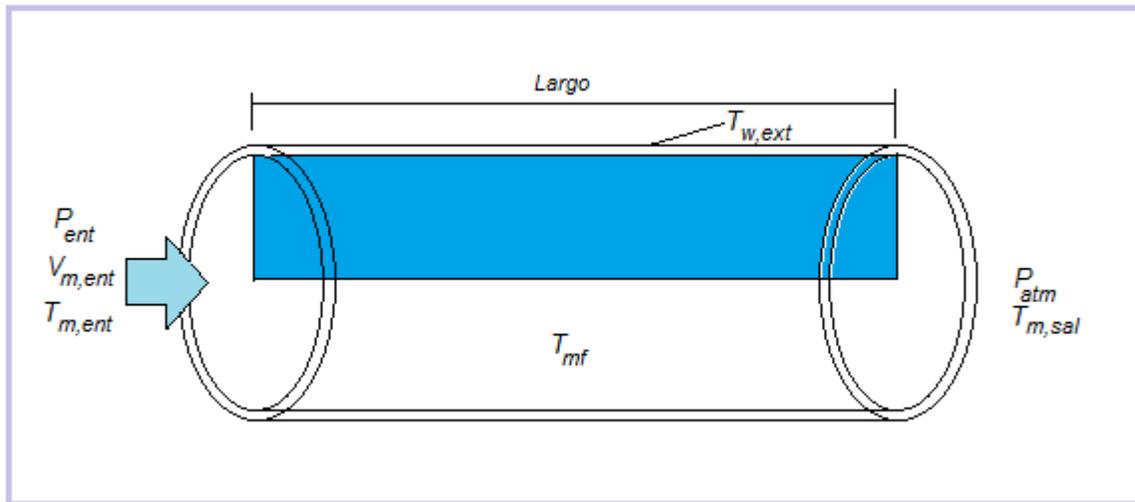


Figura 7.6: Esquema de la geometría seleccionada como Modelo

A continuación se muestra en detalle la geometría 2D seleccionada y sus respectivas denominaciones a utilizar para cada contorno. La misma tiene una longitud igual al largo de la tubería y una altura igual a la mitad del diámetro interno de la misma.

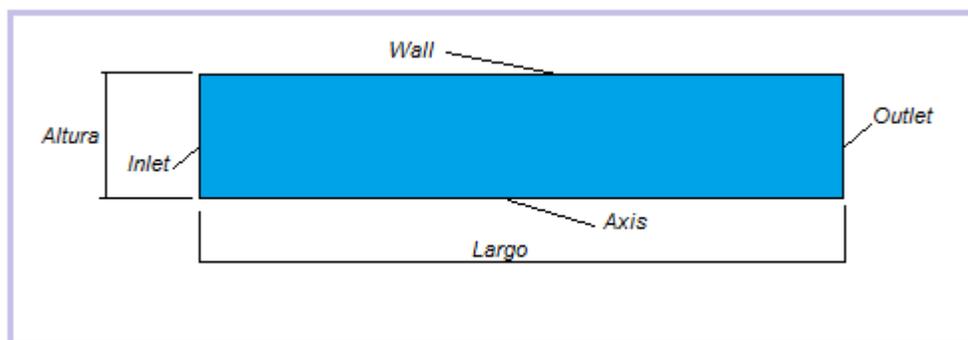


Figura 7.7: Detalle del modelo geométrico y las denominaciones de sus contornos

La geometría cargada en el Fluent corresponde a la figura 7.7, donde el largo=2 m y altura la mitad de los distintos diámetros propuestos: $A_1=0,0125$ m, $A_2=0,019$ m y $A_3=0,025$ m. Hasta aquí no hay mucha dificultad, no es una geometría cómoda

visualmente en el espacio pues es muy esbelta, pero se puede subsanar en el ploteado de resultados. La figura siguiente muestra una porción de la geometría propuesta mediante una captura de pantalla del CAD SC.

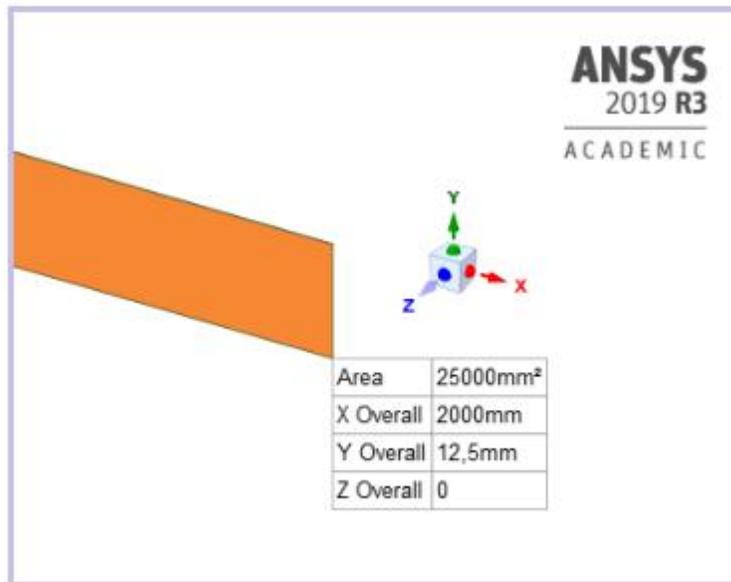


Figura 7.8: Geometría Plana diseñada en Space Claim

La siguiente etapa es la de mallado, la cual se realizó más refinado en la pared y cercano al eje más gruesa, el motivo es para tener una mejor representación de los resultados en zonas críticas de la geometría. En esta geometría la zona crítica se ubica en la pared donde el fluido no desliza sobre la misma, condición de velocidad nula. Pero además al ser flujo turbulento es necesario tener un tamaño de malla más pequeño en donde se originan estos torbellinos para modelar mejor la turbulencia y por donde se transfiere el calor al fluido. La malla se realizó con 1000 divisiones a lo largo para los tres diámetros de tubería. En lo alto de la geometría se realizó con 50, 50 y 70 divisiones para $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{4}$ " y 1" respectivamente. La figura 7.9 muestra el detalle de mallado de una de las tuberías ($\frac{1}{2}$ ").

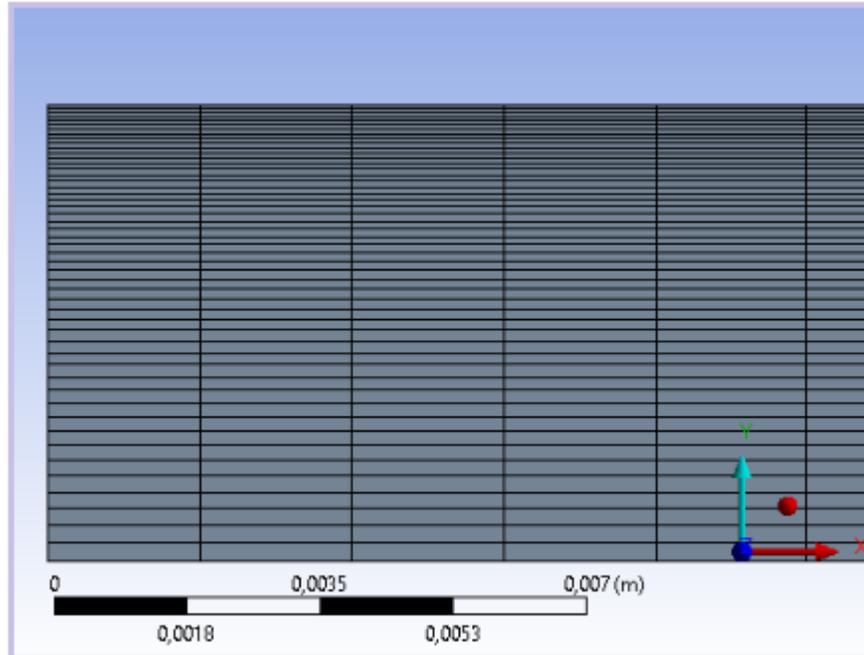


Figura 7.9: Detalle de mallado en la Geometría.

La etapa siguiente es propiamente el procesador donde se cargan las unidades, escala, tipo de simetría, y si es transitorio o estacionario, también las ecuaciones a resolver, los materiales involucrados, las condiciones de contorno, métodos de resolución, definición de los residuos, condiciones iniciales y finalmente correr el programa. Para los tres diámetros estudiados se utilizaron los mismos métodos de resolución, debido a que debe resolver 5 ecuaciones en simultáneo: Continuidad, Momentum, Energía, k , Ω . Estas dos últimos modelan la turbulencia.

Las unidades son por defecto las del sistema SI y son las adoptadas, el tipo de simetría se tomó como asimétrico, porque la geometría plana adoptada se eligió contemplando este tipo de simetría, se supone que el comportamiento del fluido y las temperaturas guardan este tipo de simetría en tuberías circulares cuando se adopta como base y techo el eje de simetría y el borde exterior respectivamente.

Las ecuaciones de interés a resolver son: ecuación de Momentum tanto en el eje como en el radio, éstas son las Ecuaciones de Navier Stokes que determina el perfil de velocidades, la zona de flujo completamente desarrollado y la zona de flujo en la entrada. Las ecuaciones de Energía la cual resuelve el perfil de Temperaturas a lo largo de la tubería, en función del radio y el calor total. Surgen por defecto dentro del programa otras ecuaciones necesarias a resolver en simultaneo, las de turbulencia (k y Ω) y la ecuación de continuidad.

El método de resolución adoptado para resolver la Presión y Velocidades es SIMPLE en la cual la discretización de cada una de la ecuaciones citadas en el párrafo anterior se tomaron de segundo orden para la ecuación de Momentum y Energía y de primer orden para las ecuaciones de Continuidad y las que modelan la turbulencia.

Los materiales involucrados se cargaron manualmente, en el material fluido se tomó al agua con viscosidad constante a temperatura media del fluido de 30,25°C, con un valor de la misma de 0,0013058 kg/m.s, densidad de 1000 kg/m³, capacidad calorífica de 4184 J/kg.K y conductividad térmica de 0,6315 W/m.K. El material sólido se adoptó el HDPE con densidad 955 kg/m³, conductividad térmica de 0,4 W/m.K y capacidad calorífica de 1900 J/kg.K.

Las condiciones de contorno se tomaron como:

- La pared (Wall), condición de no deslizamiento del fluido en contacto con la pared en la ecuación de Momentum y en la ecuación de Energía se impuso una condición de Temperatura en la pared exterior de 50°C con espesor de pared correspondiente al espesor en metros de cada tubería estudiada.
- En la entrada (Inlet), la velocidad correspondiente a las determinadas en la sección anterior para cada diámetro de tubería en la ecuación de Momentum. La temperatura media de entrada como la temperatura la cual proviene el agua de la piscina 29 °C. La presión a la entrada es incógnita
- En la salida (Outlet), la velocidad se tomó como incógnita del problema al igual que la temperatura. La presión estática a la salida se tomó como nula.
- En el eje (Axis) no hubo que realizar cambios, el programa toma por defecto condiciones de contorno intrínsecas que corresponden a un eje como la condición de Neumann.

Los residuos para las ecuaciones de Momentum y Energía se asignaron con un valor de 10⁻⁶ y las de Continuidad y Turbulencia (k , Ω) 0,001.

Las condiciones iniciales se tomaron como Inicialización Estándar con la condición computada a la entrada o lo que el programa reconoce como Inlet, y finalmente se corrió el programa con todo esto cargado.

Los resultados se analizaron el CFD post donde se obtuvieron los perfiles de temperatura y velocidad a la entrada y la salida de la tubería, la presión a lo largo de la misma, y los gráficos en Color de cada una de estas variables.

7.5 Resultados Obtenidos por la Simulación.

Lo que interesa mostrar en esta sección es cuál será la temperatura media a la salida de cada una de estas tuberías y el calor total suministrado por cada una de estas tuberías. Como ya se comentó, una vez corrido el programa, éste entra en un proceso iterativo la cual converge a la solución cuando se cumple el residuo impuesto. Luego, en la etapa de resultados en CFD post, se podrán analizar las distintas variables involucradas en el proceso mediante graficas en ordenada y abscisas como así también las gráficas de mapeo que resultan útiles a la hora de visualizar comportamientos. Aquí se verán los resultados de las distintas variables, entre las más importantes como ya se dijo para este

trabajo como lo son el flujo de calor y el gradiente de temperaturas en zonas de interés y la caída de presión a lo largo de la tubería.

Las zonas de interés se tomaron transversal a la entrada y la salida de fluido y en la línea media o eje. En las dos primeras zonas se estudiaron el gradiente de temperaturas y en la línea del eje la caída de presión. Para la tubería de 1/2" se obtuvieron los siguientes perfiles de Temperatura y calor total suministrado por la misma.

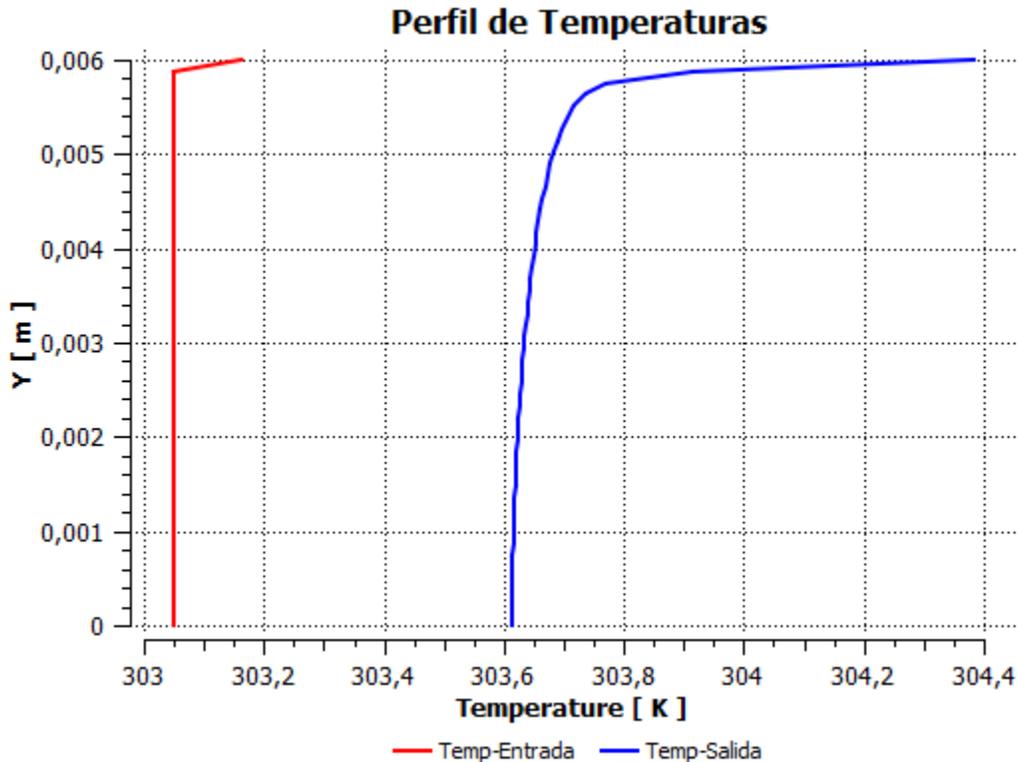


Figura 7.10: Perfil de Temperaturas a la Entrada y Salida de Tubería de 1/2"

La temperatura media a la salida lo calcula en la misma serie de datos correspondiente a la gráfica de la figura 7.10, con un valor de la misma de 303,665 K o bien 30,515 °C. El valor aproximado de la temperatura media a la salida calculado en forma analítica al final de la sección 7.3 dio un valor de 30,605°C. La diferencia entre ellos es de 9 centésimas de grado y el error relativo es:

$$\frac{|\Delta T|}{T_0} (\%) = \frac{|T_{sal.analitica} - T_{sal.solver}|}{T_{sal.solver}} = \frac{|30,605 - 30,515|}{30,515} = 0,3\%$$

Como se puede apreciar, el error en los resultados de la variable Temperatura de Salida entre el método analítico aproximado y el computacional es tan bajo como un 0,3%. Cabe destacar que los dos métodos son aproximados.

El calor total suministrado al fluido, según el software dio como resultado 318,062 Watts, este calor es el que suministra el fluido por cada tubería de 2 m y 1/2" de diámetro. Recordando el valor analítico aproximado de este flujo se tiene un valor de 316 Watts. La diferencia entre un valor y otro es de 2,062 Watts dando un error relativo entre un método y otro de:

$$\frac{|\Delta Q|}{Q_0} (\%) = \frac{|Q_{sal.analitica} - Q_{sal.solver}|}{Q_{sal.solver}} = \frac{2,062}{318,062} = 0,64 \%$$

El error relativo es menor a la unidad como en el caso de la temperatura a la salida. En la figura 7.11 representada por una captura de pantalla del cuadro de resultados (Console) se puede ver el flujo másico en kg/s a la entrada (Inlet) y a la salida (Outlet), este último con sentido negativo pues es una masa que sale. Tiene asociado un error descrito por el valor neto (Net), que más allá del signo se puede apreciar que es de muy bajo valor. El flujo de calor calculado por el programa aparece como flujo a través de las paredes (wall) en Watts, la cual es la tasa de calor que arrastrará el fluido a su paso.

Component	Value	Unit
inlet	0.12440707	kg/s
outlet	-0.1244070	kg/s
outlet Net	-8.817717e-7	kg/s
wall	318.06208	Watts

Figura 7.11: Valores de Flujo Másico y Tasa de flujo de Calor Total

La caída de presión a lo largo de la tubería se describe mediante la gráfica de la figura 7.12 calculada por el software. Se puede apreciar en la misma grafica el comportamiento lineal a lo largo de toda la tubería. El valor de la máxima caída de presión para esta geometría adoptada es de 3471,63 Pascales.

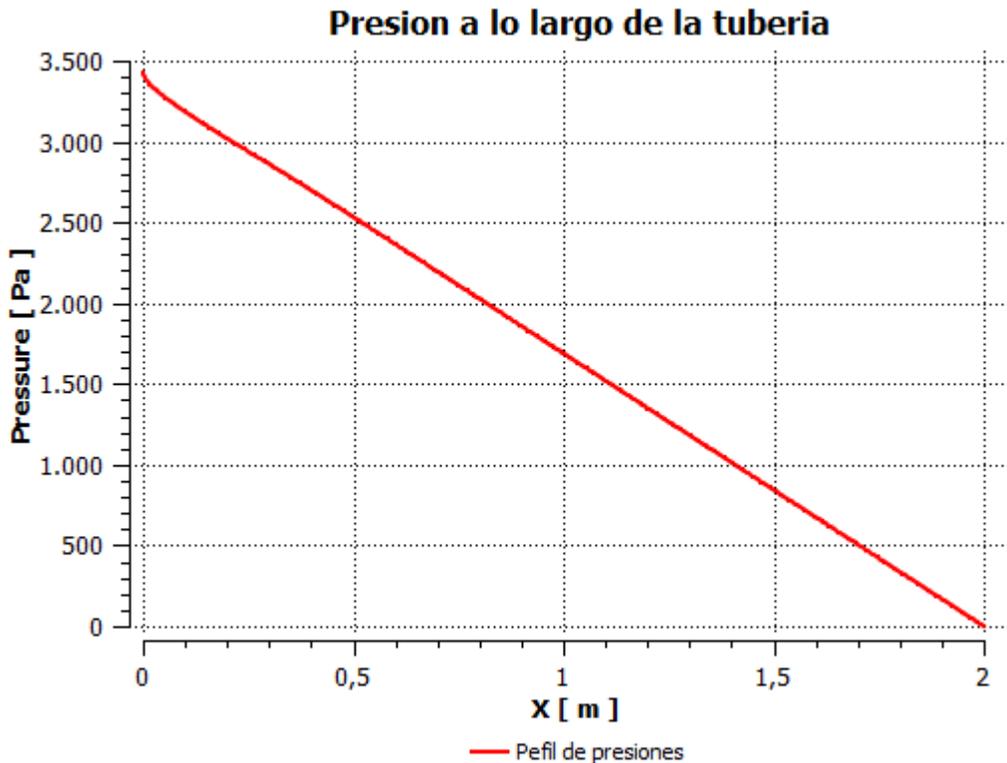


Figura 7.12: Caída de Presión a lo largo de la Tubería de 1/2"

Al aplicar a ecuación de pérdida de carga presentada por la expresión 1.8, a modo de corroborar los resultados computacionales arrojados por el Solver:

$$\Delta P = f * \frac{L}{D} * \frac{1}{2} \rho V^2$$

Se tiene para las condiciones físicas impuestas y para tubería de 1/2":

$$\Delta P = 0,03 * \frac{2m}{0,0125m} * \frac{1}{2} 1000 * \left(1,1 \frac{m}{s}\right)^2 = 3025 Pa$$

El factor de fricción a partir del Diagrama de Moody utilizado en la ecuación se tomó para la condición de $Re=10000$ para tuberías lisas. Esto es importante ya que pequeñas variaciones en el valor de este factor afecta considerablemente en el resultado final del ΔP . Analizando el error entre el resultado de la solución computacional y la analítica aproximada se tiene:

$$\frac{|\Delta[\Delta P]|}{\Delta P_0} (\%) = \frac{|\Delta P_{analitica} - \Delta P_{solver}|}{\Delta P_{solver}} = \frac{446,63}{3471,63} = 13 \%$$

Se podría mejorar este valor, es decir, achicarlo. El factor de fricción se eligió en base al número de Reynolds y la curva que corresponde a tuberías lisas, pero aplicando el concepto de rugosidad relativa (ϵ) que relaciona la rugosidad media de la superficie interna (λ) con el diámetro interno de tubería (D) como lo expresa la 1.16, se puede

seleccionar una curva más alta dentro del mismo diagrama, de acuerdo al resultado de la relación, que me aumente el factor.

$$\epsilon = \frac{\lambda}{D} \quad (1.16)$$

La relación se mide en mm/mm y $\lambda = 0,0015 \text{ mm}$ para el HDPE [7] y el diámetro interno de la tubería de $\frac{1}{2}$ " es 12,5 mm quedando luego:

$$\epsilon = \frac{0,0015 \text{ mm}}{12,5 \text{ mm}} = 0,0012$$

Entrando al diagrama de Moody con este valor se obtiene para mismo número de Reynolds un factor de fricción de aproximadamente 0,0315 y aplicando nuevamente la 1.16 se tiene:

$$\Delta P = 0,0315 * \frac{2 \text{ m}}{0,0125 \text{ m}} * \frac{1}{2} 1000 * \left(1,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 3176 \text{ Pa}$$

No hubo mucho aumento desde el último resultado pero calculando el error relativo:

$$\frac{|\Delta[\Delta P]|}{\Delta P_0} (\%) = \frac{|\Delta P_{analitica} - \Delta P_{solver}|}{\Delta P_{solver}} = \frac{295,4}{3471,63} = 8 \%$$

Como se puede ver un aumento pequeño en el factor de fricción de 0,03 a 0,0315 (5%), disminuye el error relativo de 13% a 8%, es decir, disminuye un 38%.

Igualmente, veamos cuanto significa esta caída de presión en términos de altura, lo que se conoce en la ecuación de Bernoulli como h_f o altura de pérdidas. Este valor es importante porque además de ser congruente con las unidades de pérdidas de todo el circuito también es comparable con dichas longitudes y con las especificaciones de bomba. Para obtener este valor se divide la presión en Pascales por la densidad y gravedad, entonces:

$$h_f = \frac{\Delta P_{solver}}{\rho * g} = \frac{3471,63 \text{ Pa}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,36 \text{ metros}$$

La elección de la caída de presión se hizo de manera conservadora, es decir, la que dio, entre los dos métodos de resolución, un resultado mayor, en este caso, el del Solver arrojó el mayor valor. Es importante saber que a pesar de la diferencia entre los resultados arrojados de ambos métodos para el cálculo de esta variable, la caída de presión en términos de altura es muy baja, prácticamente puede compararse esta pérdida con la que ocasionaría un accesorio codo a 90° .

Hasta aquí se tiene los resultados de la tubería de $\frac{1}{2}$ ". A continuación se mostraran los resultados de Perfil de Temperaturas a la entrada y la salida, el flujo de calor o calor ganado por el fluido en la unidad de tiempo, y la caída de presión para los diámetros restantes. Para estos casos solo se contemplará los resultados arrojados por el Solver.

No se harán verificaciones analíticas sobre estos diámetros (3/4"-1"). El primer caso fue a modo de análisis, comparativo y con espíritu de corroborar los resultados.

Las dos primeras variables (perfil de temperaturas y Calor), como se pudo apreciar, presentaron muy bajas diferencias, no es el caso del error en la caída de presión pero, aunque no tenga mucho sentido por lo que significa estas pérdidas de presión en términos de altura, de igual manera se analizará más adelante las posibles causas de este hecho.

A continuación se presenta el perfil de temperaturas de la tubería de 3/4" y el flujo de calor ganado por el fluido. Las condiciones de flujo se consideraron iguales que para el caso de 1/2", es decir, $Re=10000$ y propiedades de fluido a temperatura media de $30,25^{\circ}C$, el Prandtl no cambia. Entonces, al aumentar el diámetro, indefectiblemente por la condición de Re y propiedades de fluido, la velocidad de fluido debe bajar a $0,73$ m/s aproximadamente. Esta velocidad es la que se cargó en el programa como Velocidad de entrada en la condición de contorno (Inlet).

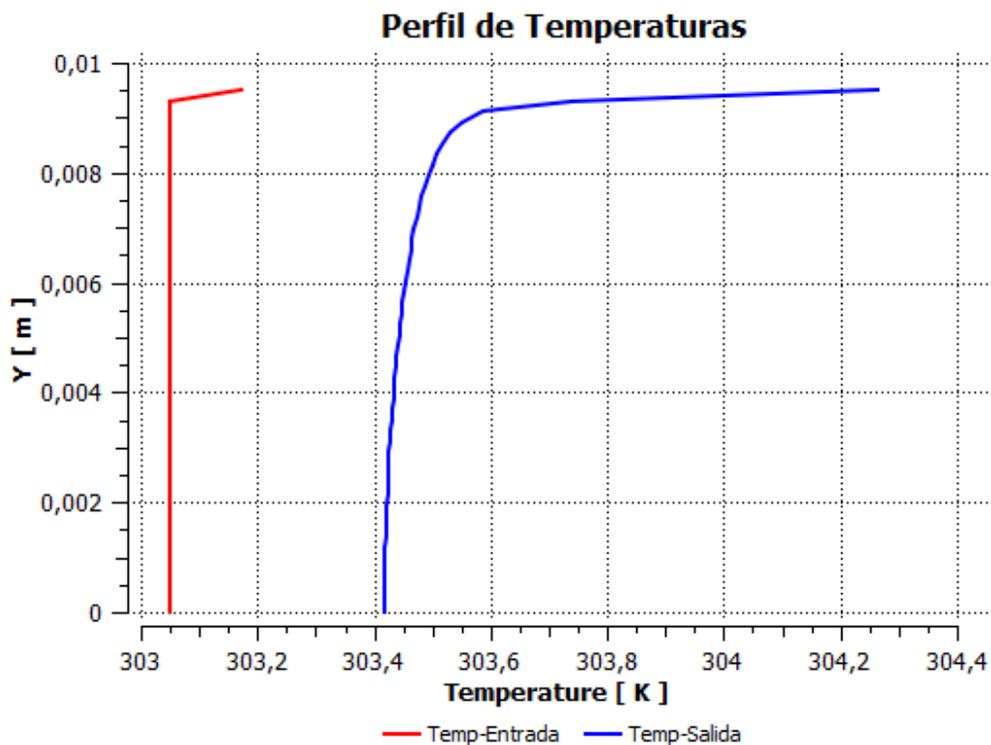


Figura 7.13: Perfil de Temperaturas a la Entrada y Salida de Tubería de 3/4"

El valor medio de la temperatura a la salida que arrojó el software es de $303,474$ K o bien $30,324^{\circ}C$. Recordando que la temperatura del agua descendía una décima de grado cuando se estudió las pérdidas en la piscina, este último valor de temperatura supera ampliamente esta pérdida al igual que la tubería de 1/2". Luego, el flujo de calor total arrojado por el software dio un valor de 363 Watts.

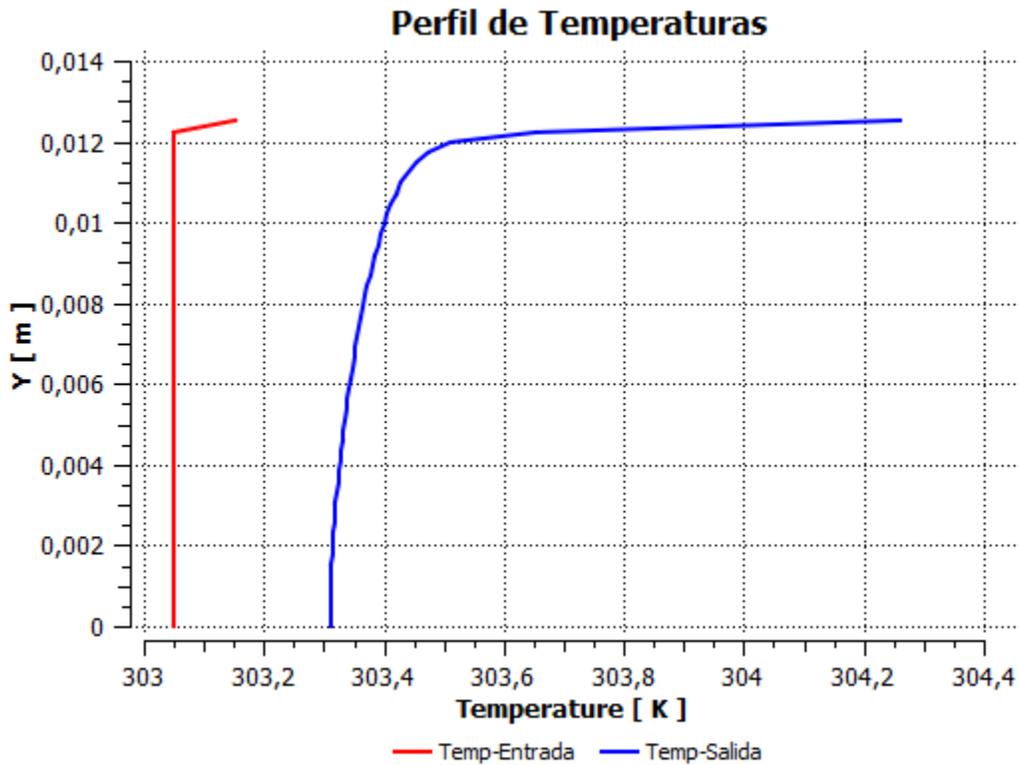


Figura 7.16: Perfil de Temperaturas a la Entrada y Salida de Tubería de 1”

El valor medio de la temperatura a la salida que arrojo el software es de 303,382 K o bien 30,232 °C. Este último valor sigue por encima del valor deseado de la temperatura del agua de 30 °C deseada en la piscina. El flujo de calor total arrojado por el software por medio de la figura 7.17, dio un valor de 373 Watts.

Console			
Mass Flow	outlet	tal Heat	
Rate	-0.2699806	Transfer	
(kg/s)		Rate	
		(w)	wall
			372.94514
	Net		
inlet	1.7365754e		
0.26998062	-08		

Figura 7.17: Valores de Flujo Másico y Tasa de flujo de Calor Total para 1”

En los tres diámetros los flujos másicos nos dan una idea de los caudales que se van a estar manejando en cada uno de ellos con las condiciones impuestas. Este valor de caudal volumétrico del fluido operante sale de manera directa, es decir 1kg=1l de fluido.

7.6 Análisis de los Resultados Obtenidos por la Simulación.

Los resultados de flujo de calor y Temperatura media de salida del fluido obtenido por los dos métodos, es decir, tanto analíticamente aproximado como el Computacional, para la tubería de ½" de diámetro, arrojaron valores muy cercanos o matemáticamente con muy bajo error relativo entre ellos. No se recurrió de manera estricta al concepto de error relativo pues, según éste, el resultado teórico sería el resultado de la solución analítica pero, la solución analítica para este trabajo es una solución aproximada.

Lo que hace que esta solución analítica no sea exacta es que algunas de las ecuaciones que la modelan contemplan factores empíricos y semiempíricos. Estos factores, ya conocidos, como lo es el factor de fricción en la caída de presión, el cálculo del convectivo 'h', entre otras, hacen que el resultado difiera bastante a la exacta. Además, hay que sumarle el error de redondeo y de truncamiento de la calculadora, errores visuales como lo es el factor de fricción a partir de un diagrama, errores acumulados por cortar dígitos significativos en cada ecuación y de iterar.

Por ello, el error relativo se utilizó de manera no estricta, y la solución más exacta para este trabajo se tomó como la solución que arrojó el Solver. El motivo de esta elección es por los errores asociados explicados anteriormente y aunque el error del método computacional tenga asociado un error de método numérico en sí, si el programa resuelve de manera satisfactoria el problema, en general y en la gran mayoría de los casos va a ser con menos error que el que introduce el usuario manualmente.

Por otro lado a medida que se aumentó el diámetro también lo hizo el flujo de calor y disminuyó la presión. Como se puede apreciar los tres casos de estudio ofrecen buenas prestaciones. De acuerdo a las necesidades energéticas de la piscina en el permanente (1604 W/m² piscina) se podría calcular cuantas de estas tuberías cubren dicha necesidad entonces:

Para el caso de la tubería de ½" se tiene:

$$n_{tuberias} = \frac{1604 \frac{W}{m^2 pisc}}{318 \frac{W}{tuberia}} = 5,04 = 5 \frac{tuberias}{m^2 pisc}$$

Para el caso de la tubería de 3/4" se tiene:

$$n_{tuberias} = \frac{1604 \frac{W}{m^2 pisc}}{363 \frac{W}{tuberia}} = 4,5 = 5 \frac{tuberias}{m^2 pisc}$$

Para el caso de la tubería de 1" se tiene:

$$n_{tuberias} = \frac{1604 \frac{W}{m^2 pisc}}{372 \frac{W}{tuberia}} = 4,3 = 5 \frac{tuberias}{m^2 pisc}$$

Como se puede ver en los resultados, uno por exceso y otros por defecto, de igual manera los tres diámetros cubrirían las necesidades energéticas de la piscina con, aproximadamente, 5 tuberías de 2 metros cada una. Entonces la elección del diámetro que mejor ajusta a las necesidades no viene dado por cual genera mejores prestaciones a nivel energético, por lo menos para estas condiciones de fluido dadas.

Ahora bien, si los tres diámetros con misma longitud cubren los requerimientos entonces una variable importante es a que caudal (Q) lo hacen. Se analiza para los tres diámetros:

Para 1/2" el flujo másico por tubería extraído de la figura:

$$Q_{panel} = 0,1244 \frac{l}{s} * 5 \frac{tuberias}{colector} = 0,622 \frac{l}{s}$$

Para 3/4" el flujo másico por tubería extraído de la figura:

$$Q_{panel} = 0,20697 \frac{l}{s} * 5 \frac{tuberias}{colector} = 1,03 \frac{l}{s}$$

Para 1" el flujo másico por tubería extraído de la figura:

$$Q_{panel} = 0,26997 \frac{l}{s} * 5 \frac{tuberias}{colector} = 1,35 \frac{l}{s}$$

Si extrapolamos este valor al de una piscina tipo de 32 m² entonces se tiene que el caudal de diseño o caudal del circuito será:

$$Q_{total\ diseño}^{1/2"} = Q_{panel} * 32 m^2 piscina = 19 \frac{l}{s}$$

$$Q_{total\ diseño}^{3/4"} = Q_{panel} * 32 m^2 piscina = 33 \frac{l}{s}$$

$$Q_{total\ diseño}^{1"} = Q_{panel} * 32 m^2 piscina = 43 \frac{l}{s}$$

Como se puede apreciar los valores de estos resultados son demasiado elevados en términos de rango de caudales de bomba típicos, los cuales suelen oscilar entre los 2 y 5 lts/s para el caso de, por ejemplo, recirculación de filtrado en piscinas residenciales. Lo que significa que a pesar de que el sistema completo tiende a cubrir las necesidades calóricas de la piscina lo hacen a un costo elevado de energía mecánica puesto que en estas condiciones fluidodinámicas las necesidades de caudal se deberán cubrir con más

de una bomba o en tal caso el reemplazo de una de mayor porte, lo que lo hace antieconómico.

Para subsanar esta situación se debió bajar la velocidad media de entrada de fluido a valores tales que coincidan con un caudal de diseño que esté en un rango acorde. Por ejemplo, los caudales de bombas de recirculación típicas de piscinas familiares van de 0-7 l/s las más chicas. A continuación se calculó una velocidad para la tubería de ½" que verifique este rango. Recordando que la cantidad de tuberías de ½" por panel que cubren cada m² de piscina y que se obtuvo del cálculo anterior, se tiene que el total de tuberías para una piscina tipo de 32 m² es de:

$$Cant. Tub. Piscina Tipo (n) = 5 \frac{tuberias}{m^2 piscina} * 32 m^2 piscina = 160 tuberias$$

La velocidad media de fluido en cada tubería para un caudal de diseño de, por ejemplo, 3 l/s será entonces:

$$V_{media} = \frac{Q_{diseño}}{n} = \frac{3 \frac{lbs}{s}}{160 tuberias} = 0,02 \frac{m}{s}$$

Si analizamos el Reynolds para esta velocidad entonces:

$$Re = \frac{\rho * V * D}{\mu} = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} * 0,02 \frac{m}{s} * 0,0125 m}{0,0013058 \frac{kg}{m s}} = 192$$

Como se puede ver, el resultado de esta velocidad ya no afecta al convectivo 'h' puesto que el valor de Re es menor a 2300, régimen laminar. Para diámetro de 1", al ser el doble del diámetro de ½", el Reynolds será el doble, es decir, Re=384. Este es el máximo valor de Reynolds para este diámetro y velocidad pero se verificará su valor más adelante, cuando los resultados en cuanto prestaciones sean satisfactorios.

Recordando la expresión de convectivo para régimen laminar en tuberías de sección circular:

$$h = \frac{48}{11} * \frac{k}{D} \quad (1.17)$$

Como se puede apreciar en la expresión 1.17, el convectivo en régimen laminar es función de la conductividad térmica del fluido y el diámetro interno de tuberías. Como el fluido en este trabajo es agua y no cambia, se tiene que $k=0,6315 W/m.K$ para dicho fluido y temperatura media de 30°C.

Para ½" el convectivo será:

$$h = \frac{48}{11} * \frac{0,6315 \frac{W}{m^{\circ}K}}{0,0125 m} = 220 \frac{W}{m^2^{\circ}K}$$

Este resultado es muchísimo más bajo que los valores típicos de convectivo estudiados al principio, como el caso turbulento. Por otro lado, como el límite a la transferencia de calor a través de las paredes de la tubería lo define, en este caso, el polímero entonces los valores de este convectivo suenan acordes a esta problemática.

Ahora bien, sabiendo que el flujo es laminar y la mayoría de las condiciones de contorno no cambiaron excepto la velocidad de entrada, se procedió a simular la tubería de 1/2" para la longitud de 2 mt propuesta, y longitudes extras de 4 y 6 m También, como caso extremo, se simuló la tubería de 1" y longitud de 2 y 6 m Las velocidades ingresadas al programa fueron de 0,01 y 0,05 m/s. Se hizo un mejorado de la Geometría a través del agregado del material de la tubería a la misma. La figura 7.18 muestra el mallado para la geometría mejorada de 1/2" con los dos materiales, agua y tubería.

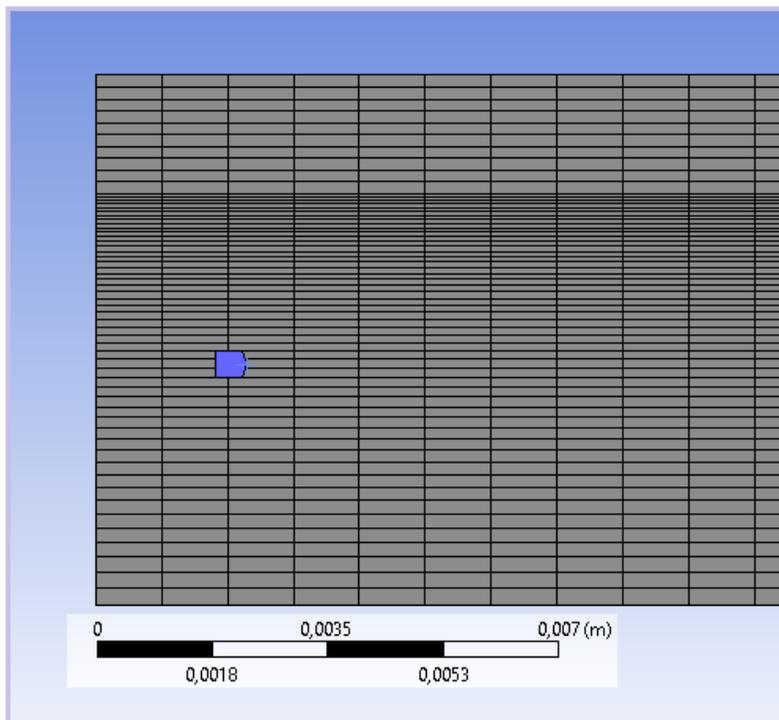


Figura 7.18: Detalle de mallado de fluido y pared de tubería de 1/2"

La malla que muestra el refinado cerca de la pared es del fluido y tiene el doble que el mallado de la figura 7.9, 50000. En la longitud tiene 2000 divisiones y en alto 50 divisiones, dando como resultado 100000 nodos para el fluido. El mallado de la pared de la tubería tiene 10 divisiones en altura y 2000 en largo dando un mallado de 20000. Los valores de residuos para la ecuación de energía y momentun se tomaron iguales que el caso anterior, 1E-05. Se realizó una inicialización hibrida y se corrió el programa sin dificultades, dando los siguientes resultados mostrados en tablas.

Vi [m/s]	mi [kg/s]	Qi [W/tubo]	N [ntubos/panel]	Mt/panel [kg/s]	Mdiseño [kg/s]	Dimensiones		Long. tot tubería [m]	Costo material [\$/panel]
						w[m]	A[m2]		
Diámetro interno tubería=12,5 mm ; L=2 m									
0,01	1,227E-03	85	19	0,023	0,73	0,48	0,95	38	323
0,05	6,136E-03	168	10	0,06136	1,96	0,25	0,5	20	170
Diámetro interno tubería=12,5 mm ; L=4 m									
0,01	1,227E-03	99	17	0,021	0,66	0,45	1,8	68	578
0,05	6,136E-03	269	6	0,0368	1,17	0,15	0,6	24	204
Diámetro interno tubería=12,5 mm ; L=6 m									
0,05	6,136E-03	340	5	0,03066	0,98	0,125	0,75	30	255

Tabla 7.1: Resultados arrojados por el Solver para tubería de ½” y distintas longitudes.

Vi [m/s]	mi [kg/s]	Qi [W/tubo]	N [ntubos/panel]	Mt/panel [kg/s]	Mdiseño [kg/s]	Dimensiones		Long. tot tubería [m]	Costo material [\$/panel]
						w[m]	A[m2]		
Diámetro interno tubería=25 mm ; L=2 m									
0,01	4,904E-03	180	9	0,04418	1,42	0,45	0,9	18	153
0,05	2,454E-02	283	6	0,147826	4,7	0,3	0,6	12	102
Diámetro interno tubería=25 mm ; L=6 m									
0,05	2,454E-02	639	3	0,0736	2,35	0,15	0,9	18	522

Tabla 7.2: Resultados arrojados por el Solver para tubería de 1” y longitudes extremas.

Las variables descriptas en cada tabla son:

Vi: velocidad media de entrada de fluido en [m/s].

mi: es el caudal másico medido en kg/s coincide con el caudal volumétrico [l/s].

Qi: calor promedio entregado por cada elemento o tubería en [W/tubo].

n: cantidad de tuberías que componen el colector para cubrir las necesidades energéticas de la piscina en régimen permanente (1600 W/m²piscina).

Mt: Caudal másico total por panel, surge del producto de n tuberías por panel y caudal por tubería, medidos en [kg/s].

Mdiseño: Caudal másico determinado por la cantidad de paneles que cubren las necesidades energéticas para una piscina tipo familiar de 32 m^2 , medidos en $[\text{Kg/s}]$.

Dimensiones: son las medidas aproximadas del panel modular, w : es el ancho del panel y surge del producto de las n tuberías que lo componen con la separación entre cada una de ellas de un diámetro de distancia, medidas en $[\text{m}]$ y A : es el área de ocupación total aproximada que tiene cada panel, surge del producto del ancho w y el largo de la tubería, medidos en m^2 . Este valor da una idea del tamaño del módulo panel.

Longitud total de tubería: es la cantidad de metros que se necesitan para armar un módulo panel, surge del producto de los n -tubos que componen el panel y largo de tubería en $[\text{m}]$.

Costo de Material: Es el costo aproximado por panel, en lo que respecta a cantidad de tuberías caloportadoras, aquí no se tienen cuenta el material de las tuberías colectoras. Surge del precio unitario de la tubería y la Longitud total de tuberías por panel. (Aclaración: el costo de material se averiguó en una casa de sanitarios conocida en la ciudad de MdP, $8,5 \text{ \$/ml}$ de $1/2''$ y $28 \text{ \$/ml}$ para el de $1''$).

Según estos resultados de tablas se seleccionó el que mejor ajustaba en cuanto a costos, caudal de diseño, y área de colector. Como se puede ver en las tablas los más económicos se marcaron en amarillo. El colector modular más económico para el mismo largo de 2 m es el de $1''$ pero, tiene el problema de un alto caudal de diseño con respecto al de $1/2''$, además que no difiere en área de ocupación de techo. En conclusión, se seleccionó éste último como mejor diseño a utilizar en el diseño.

Se realizó el cálculo computacional de este equipo para verificar la convergencia de malla. Esto consiste en correr nuevamente el proyecto seleccionado sin variar absolutamente nada excepto el mallado. El mallado debe cambiarse de tamaño, en lo posible, hacer levemente más grosera la malla en cuanto a cantidad de divisiones. En este caso se hizo, para la misma geometría, 30 divisiones en altura y 1000 divisiones a lo largo para el fluido dando 30000 nodos. Para la pared de tubería se dividió en 5 en altura y 1000 a lo largo dando 5000 nodos.

Se llegó al mismo resultado del caso anterior. En la figura 7.19 se muestra el mallado para la verificación de convergencia de la misma.

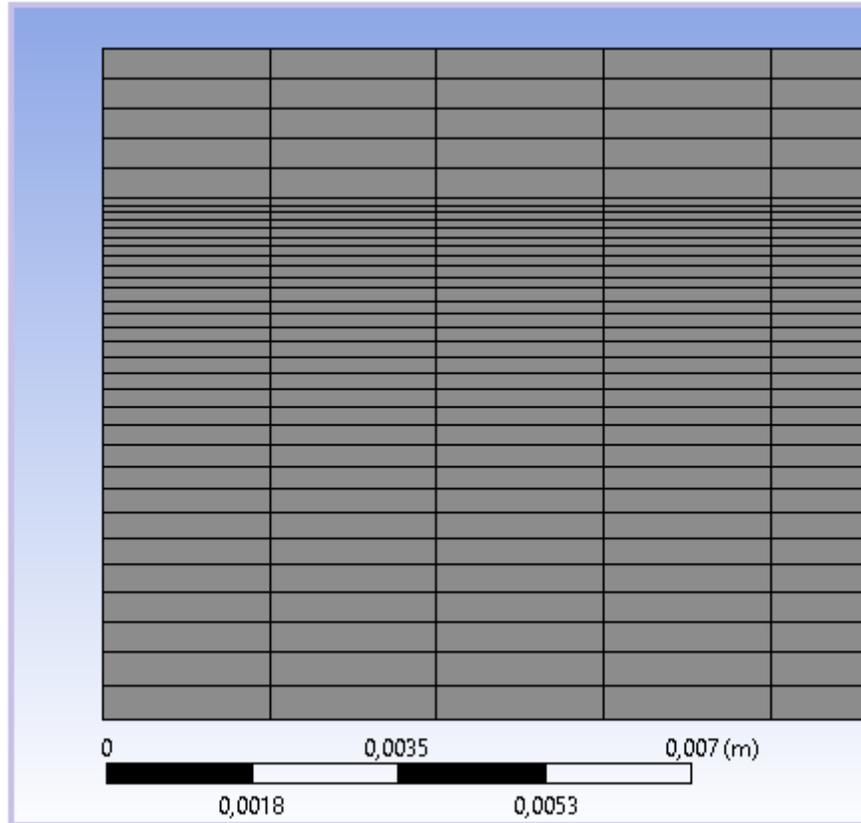


Figura 7.19: Mallado Grosero para verificación de convergencia

A continuación se realizó el cálculo analítico aproximado para corroborar el resultado arrojado por el Solver.

Como se comentó el régimen del fluido es laminar dando un valor de Reynolds de:

$$Re = \frac{\rho * V * D}{\mu} = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} * 0,05 \frac{m}{s} * 0,0125 m}{0,0013058 \frac{kg}{m s}} = 478,6$$

Con este valor se calculó la caída de presión en régimen laminar de Darcy-Weisbach, donde el factor de fricción es $64/Re$:

$$\Delta P = f * \frac{L}{D} * \frac{\rho V_m^2}{2} = \frac{64}{Re} * \frac{L}{D} * \frac{\rho V_m^2}{2}$$

Aplicando para las condiciones impuestas:

$$\Delta P = \frac{64}{478,6} * \frac{2m}{0,0125m} * \frac{1000 \frac{kg}{m^3} * \left(0,05 \frac{m}{s}\right)^2}{2} = 26,74 Pa$$

Comparado con el resultado arrojado por el Solver, 28,9677 Pa se calculó el error relativo entre los valores arrojados por los dos métodos:

$$\frac{|\Delta[\Delta P]|}{\Delta P_0} (\%) = \frac{|\Delta P_{analitica} - \Delta P_{solver}|}{\Delta P_{solver}} = \frac{2,223}{28,9677} = 7,67 \%$$

Como se ve, este resultado parece estar dentro del orden del resultado obtenido para 1,1 m/s, que dio un 8%.

Ahora bien, recordando la expresión el calor suministrado por la pared de la tubería de forma más completa será:

$$\dot{Q}_{total} = \frac{T_{wext} - T_{mfluido}}{R_{tuberia} + R_{fluido}}$$

Con

$$R_{tuberia} = \frac{\ln\left(\frac{D_{ext}}{D_{int}}\right)}{2 * \pi * L * k} \text{ y } R_{fluido} = \frac{1}{\pi * D_{int} * L * h}$$

Reemplazando los valores en cada resistencia térmica:

$$R_{tuberia} = \frac{\ln\left(\frac{16,1 \text{ mm}}{12,5 \text{ mm}}\right)}{2 * \pi * 2 \text{ m} * 0,4 \frac{W}{m^{\circ}K}} = 0,0503501 \frac{K}{W}$$

$$R_{fluido} = \frac{1}{\pi * 0,0125 \text{ m} * 2 \text{ m} * 220 \frac{W}{m^2^{\circ}K}} = 0,0578745 \frac{K}{W}$$

$$R_{total} = R_{tuberia} + R_{fluido} = 0,1082246 \frac{K}{W}$$

Se tiene entonces:

$$\dot{Q}_{total} = \frac{50^{\circ}C - T_{mfluido}}{0,1082246 \frac{K}{W}}$$

Como se dijo que la tasa de transferencia de calor ya no depende de la velocidad en régimen laminar y en consecuencia del convectivo 'h', entonces se debe determinar a qué temperatura media sale el fluido de la tubería. Esta temperatura se consideró como la arrojada por el Solver con un valor de 38,845°C y que se muestra en la figura 7.20.

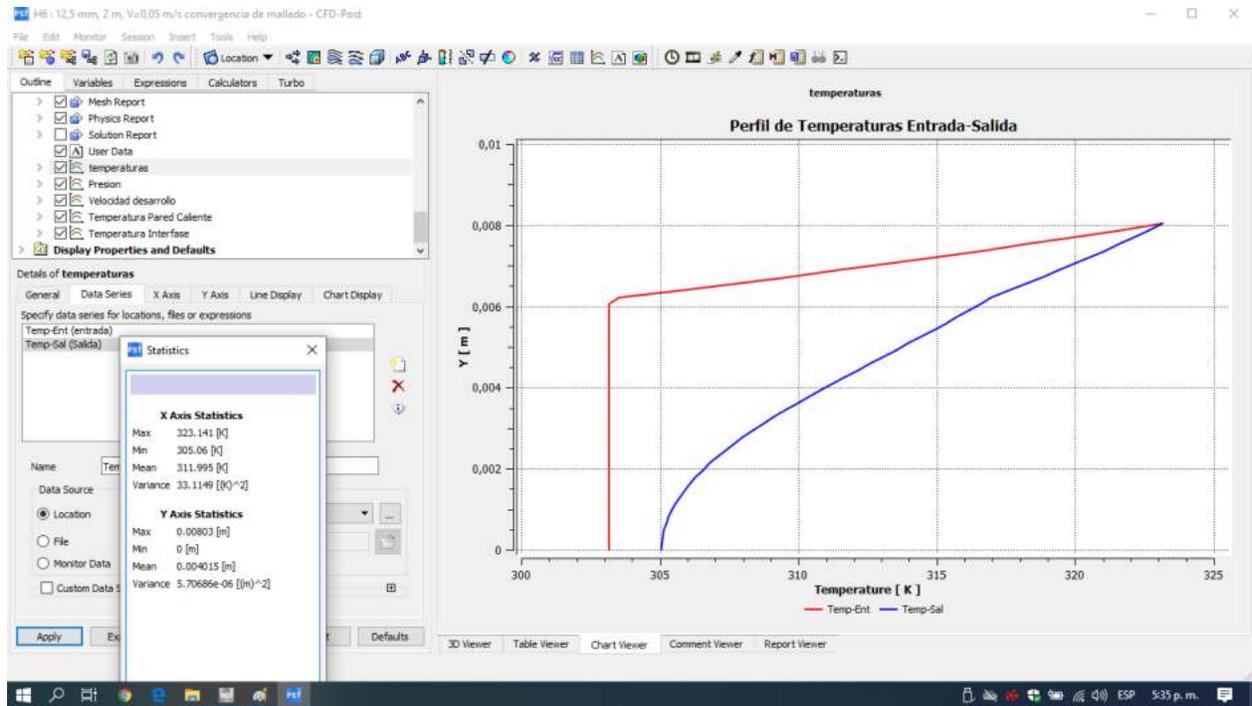


Figura 7.20: Perfil de Temperatura a la Entrada y Salida.

La temperatura media del fluido que se ve en la expresión como $T_{mfluido}$ es el promedio entre la temperatura de entrada y salida.

$$T_{mfluido} = \frac{T_{entrada} + T_{salida}}{2} = \frac{29,9^{\circ}C + 38,845^{\circ}C}{2} = 34,3725^{\circ}C$$

Volviendo a la expresión de calor transferido a través de las paredes y especializando este último resultado se tiene:

$$\dot{Q}_{total} = \frac{50^{\circ}C - 34,3725^{\circ}C}{0,1082246 \frac{K}{W}} = 144 W$$

El error relativo entre ambos métodos dio como resultado:

$$\frac{|\Delta Q|}{Q_0} (\%) = \frac{|Q_{total} - Q_{solver}|}{Q_{total}} = \frac{24 W}{144 W} = 16,6 \%$$

Un error considerable a pesar de que el resultado del Solver fue el mismo para los dos mallados, es decir, para un mallado grosero y uno más refinado.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

[1] Software ANSYS

<https://es.wikipedia.org/wiki/ANSYS>

Fecha de consulta: marzo de 2020

[2] Limitaciones del Software

<https://studentcommunity.ansys.com/thread/geometry-limits-1/>

Fecha de consulta: marzo de 2020

[3] Ozisik, M. Necati, (1980) *Transferencia de Calor; Concepto de Resistencia Térmica*. pp 48-53. Bogotá: McGRAW-HILL LATINOAMERICANA, S.A.

[4] Ozisik, M. Necati, (1980) *Transferencia de Calor; Formulas Empíricas de Transferencia de Calor y Fricción para Flujo Turbulento*, pp 254. Bogotá: McGRAW-HILL LATINOAMERICANA, S.A.

[5] Ozisik, M. Necati, (1980) *Transferencia de Calor; Caída de presión en conductos y Fricción para Flujo Turbulento*, pp 179. Bogotá: McGRAW-HILL LATINOAMERICANA, S.A.

[6] Ozisik, M. Necati, (1980) *Transferencia de Calor; Caída de presión en conductos y Fricción para Flujo Turbulento*, pp 247. Bogotá: McGRAW-HILL LATINOAMERICANA, S.A.

[7] Rugosidad Absoluta de Materiales para Tuberías Plásticas

<https://www.tigre.com.ar/themes/tigre2016/downloads/catalogos-tecnicos/argentina/catalogo-pehd.pdf>

Fecha de consulta: abril de 2020

Capítulo 8

CONCLUSIONES

En aclimatado de piscinas se debió determinar previamente las pérdidas térmicas en régimen permanente. Aquí es importante determinar las pérdidas según clima, latitud y época del año a utilizar la piscina. Luego, se propuso cubrir estas pérdidas térmicas mediante la aplicación de un sistema alternativo como colectores solares térmicos diseñados con materiales de bajo costo.

A pesar de la baja calidad de estos materiales, en cuanto a transmisión de calor, se comportan de manera aceptable para tal fin. Se propuso un diseño de colector similar a los existentes en el mercado. Las secciones circulares propuestas de las tuberías son de diámetros comerciales y de fácil acceso en el mercado local haciendo de este sistema una buena solución no solo para aclimatado de piscinas sino también para agua caliente sanitaria.

El análisis de flujo de fluido es bastante complejo. No obstante, el uso de recursos como la simulación computacional para el análisis de transmisión de calor de fluidos dentro de tuberías brinda una gran ayuda a la hora de obtener resultados rápidamente. A su vez, se debe prever que los resultados numéricos arrojados por el Solver acarrearán cierto error con respecto a la solución exacta de las ecuaciones que gobiernan el problema en cuestión.

Los resultados numéricos obtenidos por el Solver fueron bastante satisfactorios y de comportamientos esperados en cuanto al calor ganado por el fluido, perfil de temperaturas, caída de presión y perfil de velocidades. Según los resultados de las variantes propuestas en diámetro, longitud y velocidad media de fluido se pudo observar que los comportamientos térmicos mejoran al alargar las tuberías en lugar de aumentar el diámetro.

Por otro lado, es lógico pensar que el aumento en área de pared de tubería para el intercambio de calor es mucho mayor cuando se alarga la tubería en lugar de saltar al siguiente diámetro. Otra ventaja es el tiempo de permanencia del fluido en la tubería que equivale a disminuir la velocidad de entrada y se obtiene una mayor temperatura media a la salida (Concepto de tiempo de permanencia en Reactores Tubulares, TUB). Además, esta acción trae aparejada la ventaja de obtener el mismo calor a un mismo caudal. Esto significa que si se desea obtener mayor energía calórica a la salida la idea es no hacerlo a costas de aumento del diámetro sino del alargamiento de la cañería.

Este alargamiento puede requerir una inversión mayor en tuberías, pero no se compara con la amortización a largo plazo de la primera inversión en el sistema por única vez, además del ahorro en energía eléctrica por mantener el mismo caudal.

Como dato de color a lo comentado en este último párrafo, la empresa PEISA utiliza un diámetro mucho menor (4 mm) en las tuberías caloportadoras que componen sus colectores de su catálogo, y si se desea un equipo de mejores prestaciones, según la aplicación, propone modelos con este mismo diámetro pero de mayores longitudes a partir de 1500 mm en adelante. Cabe aclarar que las velocidades también son muy bajas. Según un ejemplo de dimensionamiento dado por el mismo catálogo, las velocidades oscilan en el orden de 0,2 m/s. Las ventajas de este diseño radican en lo compacto, menor relación entre el área de contacto tubería y volumen de fluido, mayor permanecía de fluido en tubería, entre otras.

En un principio, el alargamiento se deseaba evitar debido a las pérdidas de carga a lo largo de la tubería pero, para estas nuevas condiciones de flujo donde la velocidad no superó los 0,05 m/s, en longitudes de 6 m, las pérdidas de presión no alcanzaron los 100 Pascales. Además, constructivamente, el alargamiento tiene como ventaja disminuir el riesgo de pérdidas por cantidad de uniones.

A pesar que el alargamiento de tuberías tiene muchas ventajas, otra cuestión importante es donde irán colocados, y si se piensa que el objetivo principal del diseño de este equipo se orientó a piscinas de viviendas unifamiliares, generalmente, se utilizan los techos de las mismas como base de apoyo para ubicar los colectores. Generalmente un techo a un agua suele tener en promedio una longitud de pendiente de 3 m y un poco más también dependiendo de la pendiente, por ello la elección de diseño de colector con tuberías de 2 m no es capricho, es a modo de guardar la relación donde irán ubicados los mismos y espacio libre de trabajo para colocarlos.

El caudal de diseño es fácilmente lograble mediante un caudalímetro que mida la alimentación del sistema de colectores y mediante un By-pass entre la alimentación y el retorno de dicho sistema para generar una caudal de recirculación parasita. Este sistema es para cuando se dispone de una bomba adicional para el aclimatado además de la de filtrado y que funcionan independientemente.

Otra forma de hacerlo, y la que se propuso en este trabajo es, utilizando la misma bomba de filtrado. Con la salida de bomba se debe agregar un accesorio tee y en una de esas dos salidas una válvula esférica, donde posteriormente se alimentará nuevamente el sistema de filtrado intervenido. La otra salida de la tee tendrá su respectiva válvula esférica y el caudalímetro para regular el caudal de diseño que dará el mejor funcionamiento el sistema de colectores.

Síntesis del Trabajo Realizado

Se estudió la potencia que suministra a diario esta gran fuente de energía, el Sol. A pesar del extenso estudio con el objetivo de obtener una potencia específica de la misma a nivel del mar y utilizarla como condición de contorno de la geometría propuesta en la etapa de simulación, se utilizaron datos experimentales. Estos datos son datos de temperatura la medidos en la superficie del material propuesto (HDPE) irradiado por esta energía específica estudiada.

Estos se midieron a lo largo de la temporada de verano 2019-20 en la Ciudad de Mar del Plata, por alumnos en la optativa *Energías Alternativas Termomecánicas*, arrojando un valor promedio de 50°C en condiciones de cielo parcialmente nublado. Para simplificar el problema en cuestión se recurrió a este dato medio como condición de contorno en la superficie exterior de la pared de la tubería caloportadora.

Se realizó un estudio de los tipos de piscinas existentes y de las pérdidas térmicas que están presentes en una piscina descubierta con las condiciones climáticas típicas de época de verano en la ciudad de Mar del Plata. Para dichas pérdidas se utilizaron correlaciones experimentales las cuales arrojaron como valor estimado de 1600 W/m² en régimen permanente.

Se investigaron los colectores existentes en el mercado actual, con el fin de conocer sus aplicaciones y así clasificarlos. Los colectores enfocados a aclimatado de piscinas son los de menor rendimiento pero lo amortizan con el bajo costo de inversión inicial. De este tipo en su clasificación se presentaron algunos de los más conocidos con sus características y costos aproximados. Por una entrevista realizada al personal de mantenimiento del natatorio Rosso, afirmaron que en época de verano se requiere una temperatura de agua de 30°C, temperaturas que suficientemente pueden alcanzarse con estos colectores de bajo rendimiento.

Se propuso un diseño de colector de características similares al del mercado de bajo costo en materiales y de armado versátil. El material propuesto surgió de aplicar una matriz de decisión al comparar con otros materiales las prestaciones térmicas, el costo, resistencia a la corrosión, entre otras. Como resultado se obtuvo que el HDPE es el material más conveniente para la aplicación de aclimatado de piscinas. A raíz de esto se realizó una investigación sobre este material polimérico tan utilizado en la vida cotidiana.

Finalmente se realizó la simulación de la geometría propuesta con el fin de determinar las prestaciones de la misma y extrapolar los resultados a los n -elementos que cubrirán las pérdidas térmicas de la piscina. Luego de varias pruebas entre diámetros y largo de tuberías se concluyó que el colector que mejor funciona para los requerimientos térmicos obtenidos tiene las siguientes características:

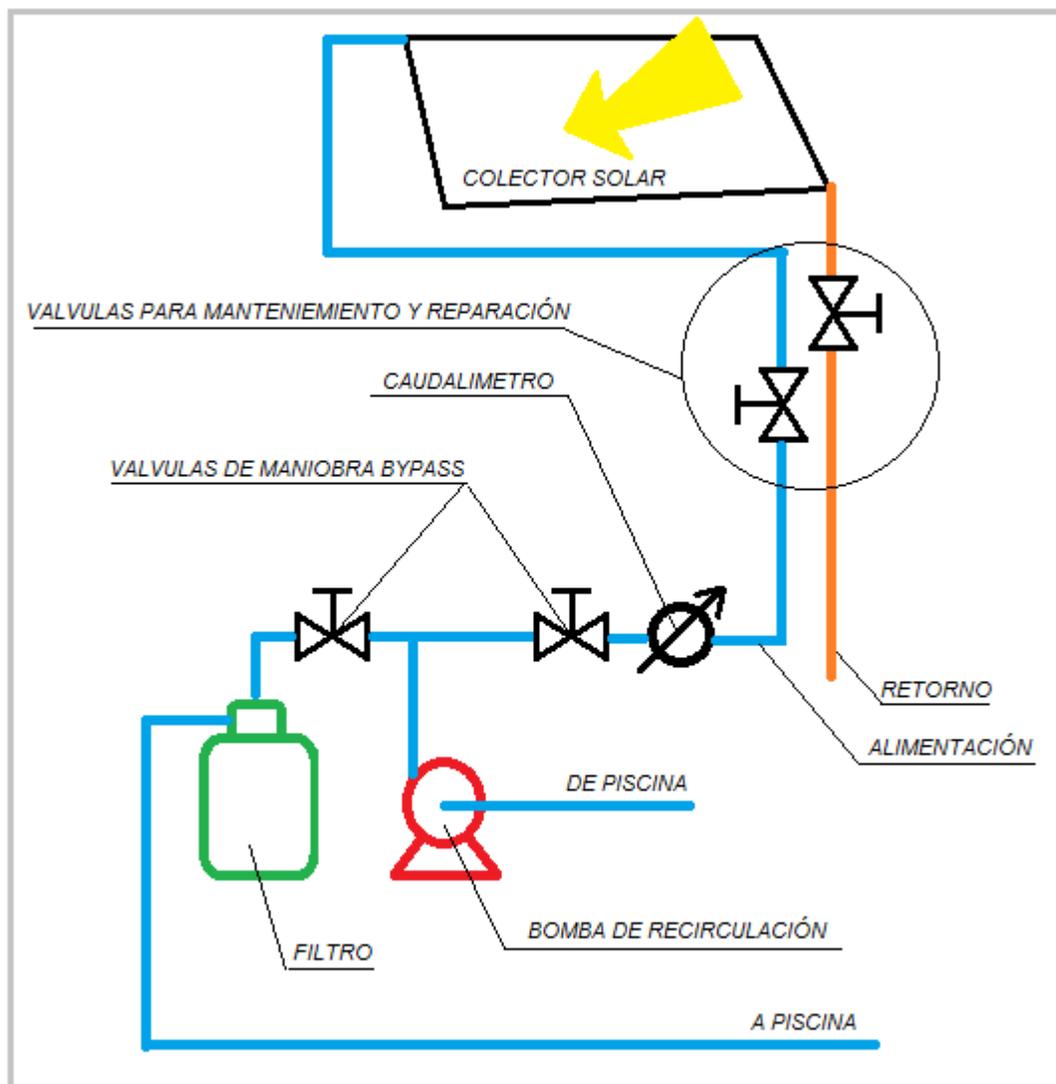
- Longitud de tubería: 2 m.
- Diámetro Interno de la tubería: 12,5 mm, (Diámetro comercial: 1/2")
- Cantidad de tuberías por colector: 30 tuberías

- Dimensiones aproximadas ensamblado: Ancho: 1,3 m
Largo: 1,1 m
Área de ocupación: 1,43 m²
- Material: HDPE (Polietileno de Alta Densidad)
- Prestaciones por Panel Colector: 3 m² de piscina.

Las condiciones fluidodinámicas son:

- Velocidad media dentro de la tubería: 0,05 m/s
- Caída de presión aproximada en la tubería caloportadora: 28 Pa
- Caudal de diseño aproximado del sistema: 2 l/s

El ajuste de caudal de diseño se realiza mediante maniobra las válvulas esféricas ubicadas en un bypass y la visualización del caudalímetro como se muestra a continuación:



El caudal de diseño fue seleccionado a partir de caudales típicos de bombas recirculadoras existentes para filtrado. Estos caudales oscilan entre 0-7 l/s y el caudal de diseño del sistema propuesto entra holgadamente en dicho rango con 1,96 l/s. Es por ello que no se realizó una selección de bomba de acuerdo a la curva de pérdidas del circuito completo. Dicha selección dependerá de la magnitud del sistema completo como en el caso de complejos vacacionales o natatorios.

En este trabajo no se le dedicó un capítulo al estudio de costos. Esto se debe a la sencillez del equipo en cuanto a materiales y cantidades unitarias de los mismos. Para tener una orientación de costos se muestra mediante el siguiente cuadro una breve contabilidad de los mismos al armar un módulo equipo colector:

Estimación de costos por cada colector ensamblado				
Elemento	Cantidad p/panel	\$/unidad	\$/ml	Subtotal
Tuberías Caloportadoras [2 m]	30	-	9	540
Tuberías Maestras [1 m]	2	-	110	220
Unión Espiga-Espiga 1/2"	60	9	-	540
Unión Espiga-RM 2"	4	42	-	168
Costo total de materiales por panel colector				1468

Si se desea aclimatar una piscina tipo de 32 m², entonces se debe contar con 10 Colectores Solares del tipo propuesto, dando un costo aproximado de \$ 14680, o 158 usd a la fecha de cotización 12/06/2020. Este valor no contempla los costos de la distribución de tuberías de alimentación y retorno, accesorios, válvulas y sujeciones, los cuales dependerán de cada caso particular donde este equipo sea colocado.

Por último se realizaron los planos correspondientes para realizar el correcto armado de cada módulo panel colector. Los planos son a nivel orientativo ya que es para ser armado por un usuario con mínimos conocimientos de fontanería. La idea es que forme parte de un manual de armado si este llega a ser susceptible de venta, si se lo desea. En los mismos se mostraron las dimensiones generales del equipo y detalles de armado, como acoples y cotas a respetar.