



**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

**DISEÑO DE UN COLECTOR SOLAR PARA  
REDUCIR EL IMPACTO TÉRMICO OCASIONADO  
POR LA INCIDENCIA SOLAR EN LA ESCUELA DE  
MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO  
PÁEZ**

**Autores:  
Manuel Escobar  
Erika Ibañez**



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA**  
**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE MECÁNICA**  
**CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO DE UN COLECTOR SOLAR PARA REDUCIR EL IMPACTO  
TÉRMICO OCASIONADO POR LA INCIDENCIA SOLAR EN LA ESCUELA  
DE MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ.**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de

**INGENIERO MECÁNICO**

**Autores:**

Escobar, Manuel

C.I: 26.162.864

Ibañez, Erika

C.I: 24.329.411

**Tutor:** Ing. Alicia De Pizzella

San Diego, Julio 2018



Universidad José Antonio Páez  
Facultad de Ingeniería

FI-M -005-2018-IICR

Valencia, 13 de Noviembre de 2018.

Ciudadanos:  
Manuel Escobar  
C.I.:26.162.864  
Erika Ibáñez  
24.329.411  
Presente.-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 01-2018 de fecha 13-11-2018 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado **DISEÑO DE UN COLECTOR SOLAR PARA REDUCIR EL IMPACTO TÉRMICO OCASIONADO POR LA INCIDENCIA SOLAR EN LA ESCUELA DE MÉCANICA DE LA UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**. Presentado por usted(es) como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Se ratifica la designación de la Ing. Alicia Yáñez, C.I.: 4.598.880 como Tutora Académico y Metodológico quien los asesorara en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

Prof. Luis Lira

Decano de la Facultad de Ingeniería



c. c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).

LI/lc.



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA**

**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE MECÁNICA**

**CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA**

### **ACEPTACIÓN DEL TUTOR**

Quien suscribe, Ingeniero ALICIA TERESA YANEZ DE PIZZELLA, portador de la cédula de identidad N° 4.598.880, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el(los) ciudadano(s), Escobar Reyes Manuel José, Ibañez Nuñez Erika Michelle, portador(es) de la cédula de identidad N° 26.162.864 y 24.329.411, (respectivamente), titulado **DISEÑO DE UN COLECTOR SOLAR PARA REDUCIR EL IMPACTO TÉRMICO OCASIONADO POR LA INCIDENCIA SOLAR EN LA ESCUELA DE MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**, Presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, Julio del 2018.

**Ing. Alicia De Pizzella**

**4.598.880**

**Tutor Académico**

## ÍNDICE

<b>CONTENIDO</b>	<b>pp.</b>
<b>LISTA DE ANEXOS</b>	xi
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	Xii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	xv
<b>RESUMEN INFORMATIVO</b>	xvii
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1

### **CAPÍTULO**

#### **I EL PROBLEMA**

1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Formulación del problema.....	4
1.3 Objetivos .....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Justificación del problema.....	4
1.5 Alcance de la Investigación.....	5

#### **II MARCO TEÓRICO**

2.1 Antecedentes.....	6
2.2 Bases Teóricas.....	8
2.2.1 Energía.....	8
2.2.2 Energía Solar.....	8
2.2.3 Sol.....	10
2.2.4 Luminosidad tipo V.....	10
2.2.5 Luminosidad.....	11
2.2.6 Luz solar.....	12
2.2.7 Tipos de Radiación.....	12

2.2.8 Luz visible.....	14
2.2.9 Tipos de Rayos.....	14
2.2.10 Calor.....	16
2.2.11 Calor Específico.....	16
2.2.12 Rendimiento térmico teórico.....	16
2.2.13 Capacidad calorífica.....	17
2.2.14 Termodinámica.....	17
2.2.15 Transferencia de Calor.....	19
2.2.16 Mecanismo de Transferencia.....	19
2.2.17 Coeficiente de conductividad térmica.....	21
2.2.18 Coeficiente de convección.....	22
2.2.19 Ley de Fourier.....	22
2.2.20 Comodidad térmica.....	23
2.2.21 Expansión térmica.....	23
2.2.22 Colector Solar.....	24
2.2.23 Introducción a la Mec. De los Fluidos.....	25
2.2.24 Conceptos básicos de la Mec. De Fluidos.....	26
2.2.25 Aceleración de la gravedad.....	28
2.2.26 Manómetro.....	28
2.2.27 Introducción a la Estática de los Fluidos.....	29
2.2.28 Flotación.....	30
2.2.29 Líneas de corriente.....	30
2.2.30 Conservación de la masa.....	30
2.2.31 Principio de conservación de la masa.....	30
2.2.32 Flujo incompresible.....	31
2.2.33 Pérdida de Disponibilidad.....	31
2.2.34 Número de Reynolds.....	31
2.2.35 Ecuación de <u>Bernoulli</u> .....	33

2.2.36 Ecuación de Darcy-Weisbach.....	33
2.2.37 Ley de Poiseuille.....	34
2.2.38 Turbomáquinas.....	34
2.2.39 Bomba centrífuga.....	35
2.2.40 Fuerza centrífuga.....	36
2.2.41 Tipos de energía.....	36
2.2.42 Flujo Unidimensional.....	38
2.2.43 Parámetros del colector.....	38
2.3 Definición de términos básicos .....	43

### **III MARCO METODOLÓGICO**

3.1 Tipo de Investigación.....	49
3.2 Diseño de la Investigación.....	50
3.3 Nivel de Investigación.....	50
3.4 Población y Muestra.....	51
3.5 Instrumentos de Recolección de Datos.....	52
3.6 Fases Metodológicas.....	52

### **IV RESULTADOS**

4.1 Determinar los req. necesarios para evaluar el impacto solar.....	54
4.1.1 Análisis del área.....	54
4.1.2 Análisis de factores físicos.....	55
4.1.3 Distribución de los colectores.....	57
4.1.4 Trayectoria Solar.....	60
4.2 Diseñar el colector Solar más eficiente.....	60
4.2.1 Cálculos del Colector Solar.....	68
4.2.1.1 Radiación global incidente promedio.....	68
4.2.1.2 Diseño del colector.....	69

4.2.1.3 Coeficiente global de pérdida de transferencia de calor.....	69
4.2.1.4 Eficiencia geométrica de una sup. Plana.....	74
4.2.1.5 Densidad y temp. Media dentro de la parrilla.....	76
4.2.1.6 Caudal y flujo másico .....	76
4.2.1.7 Numero de Prandtl y Grashof.....	77
4.2.1.8 Coeficiente Convectivo de la tubería.....	78
4.2.1.9 Factor de eficiencia del colector.....	79
4.2.1.10 Temperatura de salida del fluido.....	80
4.2.1.11 Temperatura máxima del fluido.....	81
4.2.1.12 Factor de remoción de calor.....	82
4.2.1.13 Calor útil aprovechado por el colector.....	83
4.2.1.14 Eficiencia del colector solar.....	83
4.2.1.15 Cálculos de pérdidas de calor.....	84
4.2.2 Diseño del deposito.....	85
4.2.2.1 Coeficiente global de perdidas en el deposito.....	87
4.2.2.2 Flujo interno.....	88
4.2.2.3 Flujo Externo.....	89
4.2.2.4 Temperatura del agua en el deposito.....	94
4.2.3 Diseño de la base de los colectores.....	97
4.2.3.1 Peso del colector.....	97
4.2.3.2 Análisis de equilibrio en la base del panel.....	98
4.2.3.3 Flexión y fuerza Axial.....	100
4.2.4 Diseño de la red de suministro de agua.....	108
4.2.4.1 Selección de Bomba.....	109
4.3 Factibilidad del Diseño.....	112
<b>V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>113</b>
5.1 Conclusiones.....	113

5.2 Recomendaciones.....	114
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	116
<b>APÉNDICE</b>	117
A Resultados de análisis de las tuberías.....	118
B Valores resultantes de la bomba.....	121
C Plano de aislante.....	127
D Plano de la cubierta de vidrio.....	128
E Plano de la parrilla de tubos.....	129
F Plano del cuerpo del colector.....	130
G Plano del colector solar.....	131
H Plano del colector solar armado.....	132
I Plano del tanque.....	133
J Plano del soporte de los colectores solares.....	134
K Diseño final del colector.....	135

<b>ANEXOS</b>		<b>Pag.</b>
A	Características de la cubierta de vidrio.....	137
B	Características de los tubos de cobres.....	138
C	Características del aislante Lana de Roca.....	139
D	Emisivilidad de las pinturas térmicas .....	140
E	Propiedades del agua 1.....	141
F	Propiedades del agua 2.....	142
G	Propiedades del aluminio.....	143
H	Absortividad por color de pintura.....	144
I	Correlaciones del número Nusselt para tubos circulares.....	145
J	Número de Nusselt para flujo laminar .....	146
K	Correlaciones del Número de Nusselt para flujos ext.....	147
L	Coficiente de fricción.....	148
M	Diagrama de cargas distribuido uniformemente .....	149
N	Propiedades del acero.....	150
Ñ	Curva de la bomba.....	151
O	Relación del coeficiente de Esbeltez.....	152
P	Perfil de viga soporte.....	153

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>		<b>Pag.</b>
1	Panel solar.....	9
2	Colector solar.....	9
3	Sol.....	10
4	Región del diagrama de Hertzsprung-Russel.....	11
5	Sirius A es uno de los planetas más brillante.....	11
6	Luz solar.....	12
7	Tipos de radiaciones electromagnética.....	13
8	Espectro visible por el ojo humano.....	14
9	Rayos gamma.....	15
10	Calor específico.....	16
11	Esquema básico de la 1era Ley de termodinámica .....	18
12	Proceso de transferencia de calor.....	19
13	Variables y partes que ocurren en la convección.....	20
14	Esquema de la conducción.....	21
15	Coefficiente de conductividad térmica en aislante.....	22
16	Concepto básico de la expansión térmica .....	24
17	Colector solar tubular .....	25
18	Agua .....	26
19	Flujos en tuberías con caudalímetro .....	27
20	Diferentes niveles de viscosidad .....	28
21	Manómetro simple .....	29
22	Representación esquemática de un flujo laminar.....	32
23	Representación esquemática de un flujo turbulento.....	32
24	Ley de Pousille.....	34
25	Bomba de doble turbina.....	35
26	Bomba centrífuga.....	35

27	Partes generales de una bomba centrífuga.....	35
28	Ejemplo donde se puede presentar la fuerza centrífuga.....	36
29	Transformación de energía térmica.....	37
30	Explicación energía cinética .....	37
31	Energía potencial.....	38
32	Ancho del colector vs Eficiencia.....	39
33	Largo del colector vs Eficiencia.....	40
34	Diámetro interno del tubo vs Eficiencia.....	40
35	Material del tubo vs Eficiencia.....	41
36	Número de cubierta de vidrio vs Eficiencia.....	42
37	Espesor del aislamiento vs Eficiencia.....	42
38	Panorámica del techo de la escuela de Ing. Mecánica.....	54
39	Vista satelital de la Escuela de Ing. Mecánica.....	55
40	Temp. Máxima alcanzada en el 2017.....	56
41	Incidencia solar de la superficie de forma horizontal.....	56
42	Velocidad del viento.....	57
43	Espaciamientos dimensionales del techo .....	57
44	Espaciamientos listos desde otra perspectiva.....	58
45	Esquemas de las dimensiones útiles .....	58
46	Distribución real de los colectores.....	59
47	Trayectoria solar promedio.....	60
48	Modelado de la cubierta externa del colector.....	61
49	Modelado de la cubierta superior del colector .....	62
50	Modelado de la tubería interna.....	64
51	Modelado de la placa absorbidora .....	65
52	Modelado del aislante.....	68
53	Circuito térmico de un colector solar con 2 cubiertas.....	69
54	Variación de la eficiencia geométrica .....	75

55	Circuito térmico para determinar las pérdidas del depósito.....	87
56	Diagrama de cuerpo libre de la viga estructural.....	99
57	Diagrama del esfuerzo cortante y momento flector de la base...	101
58	Sección transversal del tubo cuadrado.....	102
59	Esquema real del suministro de agua de los colectores.....	109
60	Bomba VOGT Serie N modelo 610.....	110
61	Corte transversal de la bomba seleccionada.....	110
62	Partes de la bomba.....	111
63	Curva característica de la bomba seleccionada.....	111

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA</b>		<b>Pag.</b>
1	Materiales para la estructura externa.....	61
2	Materiales para la cubierta superior.....	62
3	Materiales para la tubería interna.....	63
4	Elección del material para la tubería interna.....	63
5	Elección del material para la placa absorbadora.....	64
6	Características principales del aluminio.....	65
7	Elección del material para la tubería externa.....	66
8	Opciones de fluido caloportador.....	66
9	Opciones de material aislante.....	67
10	Simbología para la radiación global incidente.....	68
11	Simbología para la conductancia de la parte superior.....	70
12	Simbología para la conductancia de la parte lateral.....	71
13	Simbología para la conductancia de la parte superior y temperatura real de la placa absorbadora.....	73
14	Simbología para la eficiencia geométrica de una sup. Plana....	75
15	Simbología para el cálculo de caudal y flujo másico.....	77
16	Simbología para el cálculo de Prandtl y Grashof.....	78
17	Simbología para el coeficiente convectivo.....	78
18	Simbología para el factor de eficiencia del colector.....	80
19	Simbología para la temperatura de salida del flujo.....	80
20	Simbología para la temperatura máxima de salida del flujo....	82
21	Simbología para la temperatura de salida del flujo.....	82
22	Simbología para el calor útil.....	83
23	Simbología para la eficiencia.....	84
24	Simbología para las pérdidas de energía interna del colector...	85
25	Simbología para el almacenamiento requerido.....	86

26	Simbología para el flujo interno en el cilindro.....	88
27	Simbología para el almacenamiento requerido.....	89
28	Simbología para el almacenamiento requerido.....	90
29	Simbología para el almacenamiento requerido.....	91
30	Simbología para el cálculo de las resistencias.....	92
31	Simbología para las pérdidas de calor en el depósito.....	93
32	Simbología para las pérdidas de calor en el depósito .....	95
33	Temperatura que adquiere el agua respecto al tiempo.....	95
34	Temperatura que adquiere el agua con respecto al tiempo.....	96
35	Simbología para el vol. De agua máximo para el colector.....	97
36	Simbología para la carga distribuida y esfuerzo máximo.....	101
37	Simbología para momento flector máximo.....	102
38	Simbología para el esfuerzo de flexión.....	103
39	Simbología para la relación de Esbeltez.....	105
40	Simbología para patín y alma compacta.....	107
41	Factibilidad del proyecto.....	112



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DISEÑO DE UN COLECTOR SOLAR PARA REDUCIR EL IMPACTO  
TÉRMICO OCASIONADO POR LA INCIDENCIA SOLAR EN LA ESCUELA  
DE MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

**Autor:**

Escobar, Manuel

Ibañez, Erika

**Tutor:** Ing. Alicia T. Yanez de Pizzella

**Fecha:** Julio, 2018

**RESUMEN**

En el presente trabajo de grado se diseñó un colector solar con el propósito de lograr reducir el impacto térmico actual y a futuro ocasionado por la incidencia solar en la escuela de Ingeniería mecánica en la Universidad José Antonio Páez. En estos días, el mundo se encuentra a merced del efecto invernadero, lo que conlleva al aumento sustancial de la temperatura promedio anual en el país, a falta del conocimiento del uso de energías renovables, y el factor de ser un país con potencial petrolero, no se aprecia en un futuro cercano que Venezuela deje de contribuir al efecto invernadero, por lo cual se requirió la necesidad de implantar colectores térmicos que pudieran crear habitáculos con comodidad térmica para las personas. Para el diseño del colector se tomó en cuenta las diferentes variables que se pueden presentar a lo largo de la vida útil del colector térmico, para así poder finalizar con un diseño del colector térmico más eficiente, económico y amigable con el ambiente.

Se puede concluir que, el estudio de un área potencial para la implementación de un sistema de colectores solares para un aprovechamiento energético limpio, es prácticamente sencillo, con la ayuda del programa de la Nasa para la obtención de la incidencia solar en una zona específica, y con un estudio minucioso de la trayectoria del sol sobre la zona de estudio, se puede llegar a una conclusión rápida de si vale la

pena o no, realizar un proyecto de sistema de colectores solares, tomando en cuenta la aplicación y la demanda del mismo. A pesar de esos aspectos, el análisis de campo es de vital importancia para decidir si el proyecto es factible, por lo tanto, el análisis de campo debe de ser la primera tarea por realizar si se dispone a realizar cualquier tipo de proyecto donde se quiera aprovechar energía solar.

Una vez se haya probado la factibilidad del proyecto, se procede a la selección o diseño de este, para el caso de la selección, simplemente se busca un colector que cumpla con las características mínimas para el entorno de trabajo y luego se procede al cálculo de los resultados de la selección. Si se escoge diseño, se tienen que tomar unos parámetros mínimos para el mismo, como la selección de materiales idóneos, capacidad volumétrica, dimensiones; y a partir de estos valores seguir normas estandarizadas para el diseño de colectores solares, las cuales pueden resultar algo complejas, pero con un procedimiento ordenado y cuidadoso, se puede diseñar un colector solar eficiente y confiable de manera segura. Posteriormente, se realizan todos los cálculos necesarios para el diseño, y se analiza cada resultado para asegurarse de que no haya ningún error de cálculo o que evitar la existencia de resultados incoherentes.

Palabras clave: Colector solar, Transferencia de calor, impacto solar, comodidad térmica.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, las energías renovables se han convertido en una de las mejores innovaciones del hombre, ya que se están creando formas más viables y limpias de generar energía, con el fin de poder ser independientes de los hidrocarburos. Una de las energías renovables más usadas de todas es la energía solar, esta puede ser aprovechada para la generación de energía térmica o energía eléctrica. Una de las formas diferentes de utilizar la energía térmica, es en la forma de colector térmico, la cual cumple el propósito de reducir el impacto térmico o convertir la energía térmica en energía eléctrica.

El calentamiento global es una de las preocupaciones más significativas del hombre actualmente, a nivel mundial el panorama de aplicaciones de energías renovables se está acrecentando, lo que significa una gran contribución para la disminución del efecto invernadero, ya en la mayoría de los procesos industriales está presente la combustión que buscan la generación de energía a partir de la quema de hidrocarburos. En Venezuela, la aplicación de energías renovables aún es muy escasa, esto se debe a la poca cultura del tema, y con el beneficio de ser una potencia petrolera, no se aprecia el uso de energías renovables en un futuro cercano, por lo cual representa un problema significativo para la población venezolana.

Además, también se presenta otro problema con la falta de producción de energía eléctrica, debido tanto a la falta de mantenimiento como nuevas inversiones, lo que conlleva a constantes apagones, aplicación de racionamiento, generando pérdidas de horas de trabajo.

La Universidad José Antonio Páez no escapa a esta realidad. La escuela de Ingeniería Mecánica se ve afectada por esta problemática.

Es por ello que esta investigación tiene como objetivo el diseño de colectores solares para mejorar los efectos del calentamiento del techo de la escuela además de poder usar el agua de la misma para uso en los baños, y en la escuela de Odontología.

La presente investigación está estructurada en cinco capítulos los cuales son:

Capítulo I: Está constituido por el planteamiento del problema formulación del mismo, objetivos de la investigación, justificación de la investigación, alcance del problema. Su objetivo es establecer el objeto de estudio de esta investigación

Capítulo II: Marco Teórico, este capítulo se presentan investigaciones similares en las cuales se basa el desarrollo de este proyecto. Su objetivo es presentar los fundamentos teóricos de las técnicas y herramientas a utilizar en el desarrollo de esta investigación.

Capítulo III: Marco Metodológico este capítulo, se indica el tipo de investigación, así como su diseño metodológico, y nivel de investigación, señalando el procedimiento a realizar en este trabajo, también se mencionan las técnicas e instrumentos de investigación, se describe la población y muestra seleccionada y se establecen las fases metodológicas que permitirá conocer el cómo se obtendrán y analizará los datos para el logro del objetivo general de la investigación.

Capítulo IV: Resultados del diagnóstico realizado en la planta por parte del investigador.

Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones finales

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1 Planteamiento del problema**

Venezuela es un país que geográficamente pertenece al trópico o también conocido como zona cálida de la tierra, esto causa el efecto que todos los países que estén dentro de esta zona poseerán un clima tropical, con una temperatura media anual cercana a los 24°C, y también tiene la peculiaridad que sin importar si es árido o húmedo la zona, la temperatura no decae de los 18°C, y la incidencia solar en el trópico se puede considerar que es una de la más fuerte en todo el globo terráqueo, sin embargo la exposición a este mismo no es perjudicial a la salud mientras ésta no sea prolongada o a menos que la incidencia sea más intensa.

El 25 de abril del año 2015, el canal de periodismo Globovisión, emitió una noticia sobre el estado del clima, en el municipio Coro del estado Falcón, se registró una temperatura de 40°C, representando un nuevo máximo histórico en el clima de Venezuela. Actualmente en Carabobo, la media anual ronda los 29°C, y con un crecimiento gradual de la temperatura cada año, la realidad muestra que cada año hace más calor, y la incidencia solar va en aumento, trayendo con él consecuencias para las personas, como daño muscular o circulatorio, puede producir cefaleas, puede provocar cuadros de confusión y en el peor caso insolación o golpes de calor.

A causa del crecimiento progresivo de la temperatura, ha aumentado el uso del aire acondicionado. Pero debido a la problemática por la que atraviesa el país, los constantes racionamientos de electricidad y apagones, en algunos casos ha ocasionado la inhabilitación de los aires acondicionados, y a consecuencia de esto, los recintos elevan su temperatura muy cercana a la temperatura ambiente o superior, originado una incomodidad térmica.

La situación climática de Venezuela se debe a su posición geográfica, ya que al pertenecer a una zona tropical, la incidencia solar es prácticamente perpendicular con respecto a la superficie de la tierra, lo que ocasiona estaciones muy calientes y largas, se traduce en seis meses de clima caliente y seis meses de clima lluvioso que pueden

variar por diversos fenómenos climatológicos, además del hecho de ser un país petrolero, esto incide en un aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> que se expiden al ambiente contribuyendo al efecto invernadero, lo que ocasiona un fuerte aumento de la temperatura del ambiente, y debido a la fuerte incidencia solar, las casas y edificios sufren aumentos considerables de temperatura.

## **1.2 Formulación del problema:**

¿Cómo se podría reducir el impacto térmico ocasionado por el espectro solar en la escuela de Mecánica en la universidad José Antonio Páez?

## **1.3 Objetivos de la investigación.**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar un colector solar para reducir el impacto térmico ocasionado por la incidencia solar en la escuela de Ingeniería mecánica en la Universidad José Antonio Páez.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- 1- Determinar los requerimientos necesarios para evaluar el impacto solar que ocurre en la escuela de Ing. Mecánica en la Universidad José Antonio Páez.
- 2- Diseñar el colector solar más eficiente para la escuela de Ing. Mecánica en la Universidad José Antonio Páez.
- 3- Determinar la factibilidad técnica, operativa y económica del diseño del colector solar.

## **1.4 Justificación**

Los colectores solares buscan como fin primordial, mejorar la temperatura de un edificio u hogar, dependiendo de la aplicación de este, con ellos se lograrán un menor desgaste en los aires acondicionados, ya que los compresores de estos tendrán que trabajar menos para poder enfriar y mantener la temperatura de una habitación recinto u área, además de reducir el costo de la luz, y promoviendo un menor deterioro de los equipos climatizadores.

Uno de los beneficios que ofrecen los colectores solares, es que ellos trabajan con un fluido refrigerante económico y de fácil acceso como es el agua, puede ser reciclada durante todo el ciclo del sistema, además que posee buenas propiedades, no toxicas ni dañinas para el hombre y el ambiente, lo que lo vuelve un diseño limpio y amigable con el ecosistema.

Por otro lado, los colectores solares convierten hogares y edificios de poca altura en zonas de mayor comodidad térmica, ya que dentro de ellos la transferencia de calor con respecto del sol se ve absorbida por los mismos colectores, y con el inevitable aumento de las temperaturas y la incidencia solar en un futuro no muy lejano, no será de extrañarse que los colectores solares se vuelvan más una necesidad que una opción. ya que, a diferencia de los paneles solares, tienen la finalidad de aprovechar la energía. Sin embargo, no reducen el impacto térmico provocado por la incidencia solar como lo logran los colectores solares.

### **1.5. Alcance de la investigación**

La siguiente investigación se basa en proponer el diseño de un colector solar, en el cual contempla la disminución de la incidencia solar que ocurre dentro de la Escuela de Ing. Mecánica, así mismo disminuyendo la carga térmica que existe dentro de esta.

La ejecución del estudio y diseño se realizará únicamente dentro de las instalaciones del Campus de la Universidad José Antonio Páez específicamente en la escuela de Ing. Mecánica, con el fin de solucionar esta problemática solar.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

En este trabajo se hablará de estudios anteriores con relación a esta investigación, las cuales servirán como aporte y soporte a la realización de este trabajo de grado.

Busquets Elliot, Carlos Alfredo (2018) su trabajo de grado titulado **“Diseño de panel enfriado para aplicación en cobertura de techo de 42m<sup>2</sup> en la región de Arequipa, Perú”** realizado en la Pontificia Universidad Católica del Perú, para optar por el título de Ingeniero Mecánico, en este trabajo se busca dar una solución a los dueños de recintos de escasos recursos, de ahí se origina el planteamiento de diseñar un panel enfriado que tendría como característica principal el ser una única estructura alivianada provista de canales de refrigeración, capaz de sustituir el sistema convencional de techo de fibras naturales o láminas metálicas. Tras el diseño térmico y las comprobaciones mecánicas, se logra determinar que es posible evitar hasta un 61% de la carga térmica del recinto a través del techo, utilizando un caudal de agua de refrigeración de 270 l/h.

Se logró realizar el diseño gracias al apoyo de su tutor de tesis Ing. Enrique Peña, y con sus conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera y con soporte bibliográfico correcto. Según se puede interpretar la aplicación de un techo enfriado, bajo las condiciones utilizadas para el diseño, sería capaz de reducir la carga térmica de 125 W/m<sup>2</sup>, a 48 W/m<sup>2</sup>, con un caudal de 270 l/h (disminución del 61%). Por lo tanto, se concluye que si sería posible evitar carga térmica mediante la aplicación de un techo enfriado. De este trabajo de grado como aporte se basa en su metodología de estudio y estructura de diseño para el beneficio de quienes se encuentran en las instalaciones, aporta un diseño muy completo para cubrir en lo mayor posible cualquier aspecto de este diseño propio.

Así mismo González, Sergio Lorenzo (2017) su trabajo de tesis doctoral titulada “**Optimización del uso de los colectores solares térmicos de aire para la reducción del consumo de energía en edificios**” realizado en la Universidad de Valladolid, España, del programa de doctorado de ingeniería industrial. El presente trabajo de Tesis Doctoral se centra en el estudio de la tecnología de los colectores térmicos solares de aire, a través de su caracterización y análisis de comportamiento y ahorros de energía obtenidos bajo diferentes condiciones de operación esperables. El análisis de los sistemas de colectores térmicos solares de aire se basa en la caracterización de un captador comercial (TwinSolar 4.0-SLK del fabricante Grammer Solar) instalado en un banco de ensayos equipado de tal forma que permite la experimentación del colector en diferentes condiciones de operación esperables.

Este equipamiento permite controlar y regular los factores considerados como determinantes en el comportamiento y realizar ensayos con diferentes niveles de estos. Los resultados permiten definir una serie de parámetros que definen el comportamiento del colector. El comportamiento observado del colector para estos parámetros sigue una tendencia definida que permite plantear expresiones que representen su comportamiento a partir de los factores estudiados, las cuales se han utilizado a lo largo del trabajo. De este trabajo se pudieron extraer conceptos básicos acerca de energía y bienestar dentro de edificaciones, fundamentos primordiales acerca de la transferencia de calor y un análogo eléctrico para estudiar la transferencia de calor en el colector térmico diseñado por nosotros.

Por último, Cetina-Quñones, A. J.; Bassam, A.; Hernández-Chan, G.; Hernández Benítez, J.; Hernández Reyes, I.; Lugo Chávez, D. (2017) el trabajo de grado titulado “**Modelación térmica de un colector solar de canal parabólico mediante el método de elementos finitos**” realizado en la Universidad Autónoma de Yucatán, para optar por la Licenciatura de Ingeniería en Energías Renovables, El presente trabajo tiene como propósito presentar el modelo de un Colector Solar de Canal Parabólico (CCP) empleando el Método de Elementos Finitos con el fin de predecir el comportamiento térmico del fluido de trabajo a lo largo del tubo receptor

del colector. Así mismo, se estima la eficiencia térmica con base a las ecuaciones gobernantes que intervienen en los procesos de transferencia de calor. Para validar los resultados del modelo, se realizó una simulación térmica del fluido empleando el software SolidWorks. El error máximo obtenido de la comparación de la modelación con la simulación fue del 7.6% a un caudal de 1 l/min. De acuerdo a los resultados obtenidos de los errores estadísticos, el método puede predecir eficazmente la temperatura del fluido en caudales altos. El modelo desarrollado puede ser útil como herramienta de diseño, en la optimización del tiempo empleado en las simulaciones generadas por el software y en la minimización de los costos de manufactura referentes a Colectores Solares de Canal Parabólico. De este proyecto se pudo extraer como guía el diseño de los conductos y el estudio de flujo realizado para poder estudiar mejor el proyecto y poder realizarlo de una manera más eficiente y provechosa.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Energía**

Según Richard Feynman, físico teórico describe la Energía como la capacidad que posee un cuerpo para realizar una acción o trabajo, o producir un cambio o una transformación, y es manifestada cuando pasa de un cuerpo a otro. Una materia posee energía como resultado de su movimiento o de su posición en relación con las fuerzas que actúan sobre ella.

### **2.2.2 Energía Solar**

Según el francés Alexandre Edmond Becquerel la energía solar es una energía renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la electromagnética procedente del sol. La radiación solar que alcanza la tierra ha sido aprovechada por el ser humano desde la antigüedad, mediante diferentes tecnologías que han ido evolucionando. Hoy en día, el calor y la luz del sol puede aprovecharse por medio de diversos captadores como células fotoeléctricas, heliostatos o colectores solares, pudiendo transformarse en energía eléctrica o térmica. Es una de las llamadas energías renovables o energías limpias, que podrían ayudar a resolver algunos de los problemas más urgentes que afronta la humanidad.

Las diferentes tecnologías solares se pueden clasificar en pasivas o activas según como capturan, convierten y distribuyen la energía solar. Las tecnologías activas incluyen el uso de paneles fotovoltaicos para recolectar energía y colectores solares térmicos para reducir el impacto solar que ejerce el sol, por lo tanto, reduciendo el uso de electricidad (Ver figura 1) (Ver figura 2).



**Figura 1.** Panel Solar.

Fuente: <https://lideresmexicanos.com/innovacion/conoce-los-beneficios-de-los-paneles-solares-en-tu-negocio/>



**Figura 2.** Colector Solar.

Fuente: <https://guiadelacalefaccion.com.ar/files/news/detalle/imagen-techo-con-panels-tubos.png>

### 2.2.3 Sol

Es una estrella de tipo-G de la secuencia principal y clase de luminosidad V que se encuentra en el centro del sistema solar y constituye la mayor fuente de radiación electromagnética de este sistema planetario. Es una esfera casi perfecta de plasma, con un movimiento convectivo interno que genera un campo magnético a través de un proceso de dinamo (Ver figura 3).

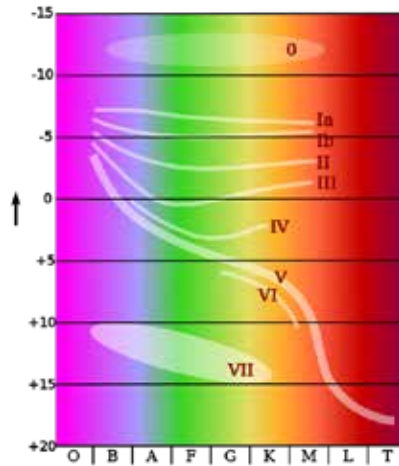


**Figura 3. Sol.**

Fuente: <https://www.muyinteresante.es/ciencia/articulo/que-ocurrira-cuando-el-sol-muera-971525864559>

#### **2.2.4 Luminosidad tipo V**

Hace referencia a estrellas enanas de la secuencia principal, la región del diagrama de Hertzsprung-Russell en la que se encuentran la mayor parte de las estrellas. Por esta razón, estas estrellas son llamadas de secuencia principal. Las estrellas más frías de esta banda o curva son las enanas rojas, de masa baja, mientras que las estrellas que se ubican hacia las altas temperaturas son las supermasivas gigantes azules (Ver figura 4).

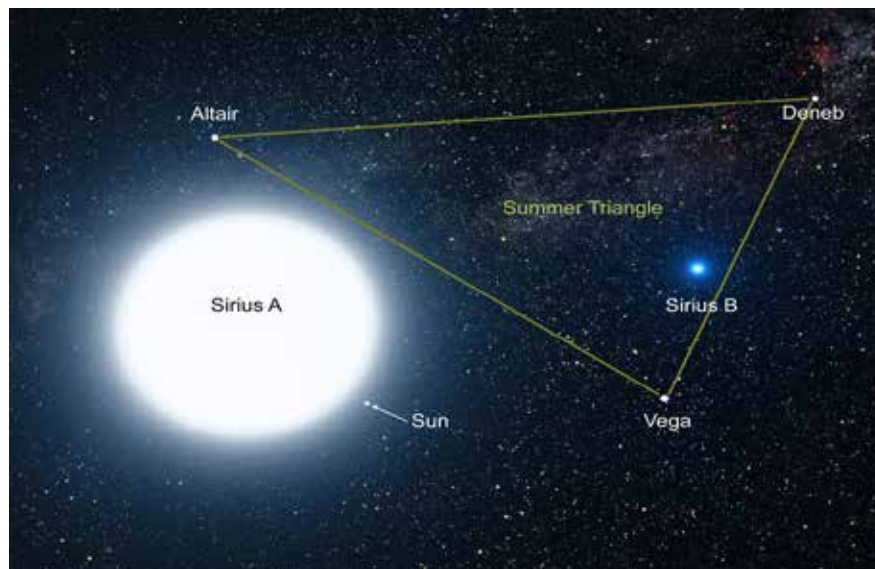


**Figura 4.** Región del diagrama de Hertzsprung-Russell.

Fuente: [http://chandra.harvard.edu/edu/formal/variable\\_stars/bg\\_info.html](http://chandra.harvard.edu/edu/formal/variable_stars/bg_info.html)

### 2.2.5 Luminosidad

En astronomía, la luminosidad es la potencia emitida en todas direcciones por un cuerpo celeste. Está directamente relacionada con la magnitud absoluta del astro. Este valor no es constante si se consideran períodos suficientemente largos, ya que la estrella va cambiando su luminosidad según el estado en que se encuentre, pero se mantiene constante en períodos usuales para el humano (Ver figura 5).



**Figura 5.** Sirius A en uno de los planetas más brillantes del universo descubierto hasta ahora

Fuente: <http://hubblesite.org/image/1821/news/68-multiple-star-systems>

### **2.2.6 Luz Solar**

La luz solar, en el más amplio sentido, es el espectro total de radiación electromagnética proveniente del Sol. Esto es usualmente durante las horas consideradas como día. Cerca de los polos geográficos durante el verano, la luz solar también ocurre en las horas que definen la noche y en los inviernos en estas zonas la luz solar podría simplemente no llegar. La radiación térmica producida directamente por la radiación del sol es diferente del incremento en la temperatura atmosférica debido al calentamiento radiactivo de la atmósfera por la radiación solar (Ver figura 6).



**Figura 6.** Luz Solar.

Fuente: <https://www.intramed.net/contenidover.asp?contenidoID=85289>

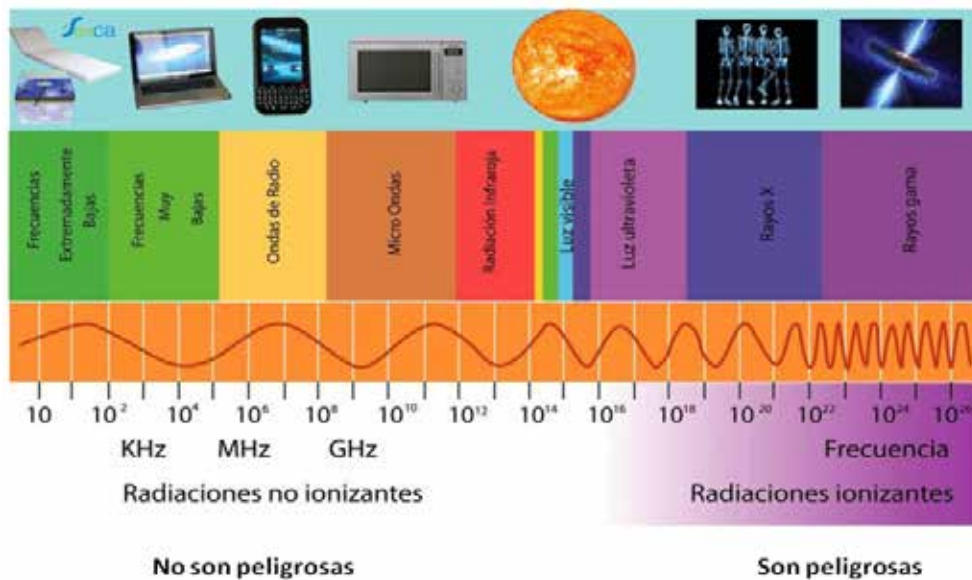
### **2.2.7 Tipo de radiación**

- **Radiación Electromagnética**

La radiación electromagnética es un tipo de campo electromagnético variable, es decir, una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro. Desde el punto

de vista clásico la radiación electromagnética son las ondas electromagnéticas generadas por las fuentes del campo electromagnético y que se propagan a la velocidad de la luz. La generación y la propagación de estas ondas son compatibles con el modelo de ecuaciones matemáticas definido en las ecuaciones de Maxwell.

La radiación de tipo electromagnético puede manifestarse de diversas maneras como radiación infrarroja, luz visible, rayos X o rayos gamma. (Ver figura 7).



**Figura 7.** Tipos de radiaciones electromagnéticas. Las de baja frecuencia y elevada longitud de onda tienen muy poca energía y no ionizan por lo que no son peligrosas. Las de alta frecuencia y baja longitud de onda sí son muy energéticas y son también ionizantes: son peligrosas.

Fuente: <https://gigantesencasa.com/2016/11/25/mi-cuerpo-emite-radiacioneselectromagneticas-y-el-tuyo-tambien/>

• **Radiación Infrarroja**

La radiación infrarroja, o radiación IR es un tipo de radiación electromagnética y térmica, de mayor longitud de onda que la luz visible, pero menor que la de las microondas. Consecuentemente, tiene menor frecuencia que la luz visible y mayor que las microondas. Su rango de longitudes de onda va desde unos 0,7 hasta

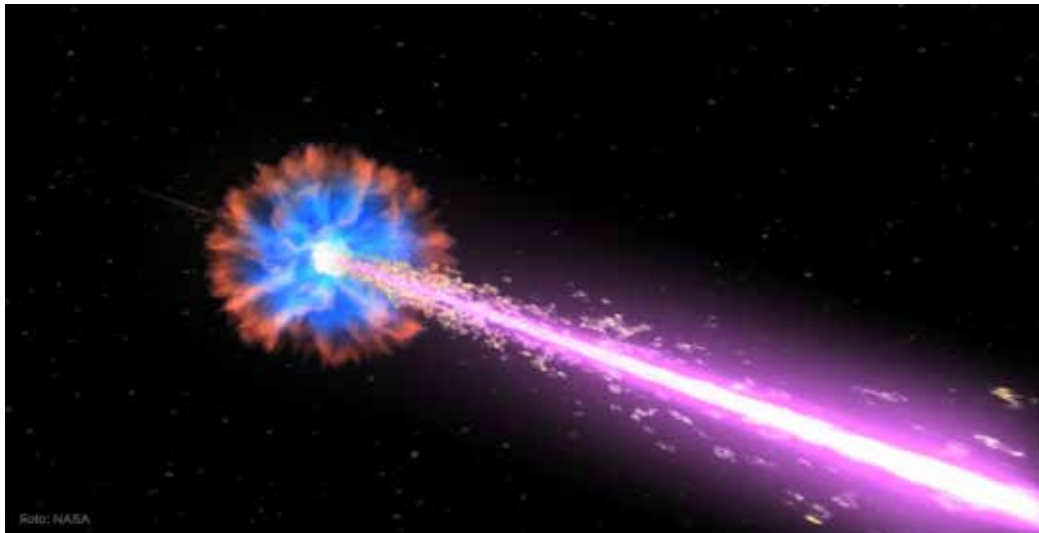
los 1000 micrómetros. La radiación infrarroja es emitida por cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor que 0

ionizante porque al interactuar con la materia produce la ionización de los átomos de la misma, es decir, origina partículas con carga (iones).

- **Rayos Gamma**

La radiación gamma o rayos gamma (electromagnética, y por tanto constituida por fotones, producida generalmente por elementos radiactivos o por procesos subatómicos como la aniquilación de un par positrón-electrón. También se genera en fenómenos astrofísicos de gran violencia. Los rayos gamma se producen por desexcitación de un nucleón de un nivel o estado excitado a otro de menor energía y por desintegración de isótopos radiactivos.

Debido a las altas energías que poseen, los rayos gamma constituyen un tipo de radiación ionizante capaz de penetrar en la materia más profundamente que la radiación alfa y la beta. Pueden causar grave daño al núcleo de las células, por lo cual se usan para esterilizar equipos médicos y alimentos (Ver figura 9).

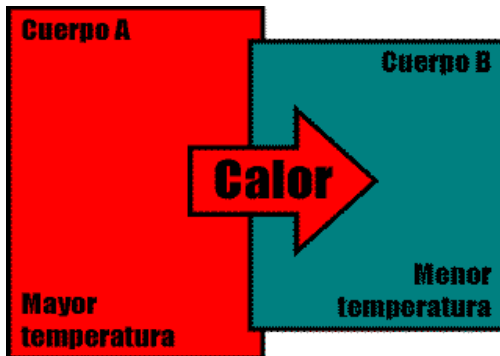


**Figura 9.** Rayos Gamma.

Fuente: <https://www.eluniversal.com.mx/%2Fciencia-y-salud%2Flos-rayos-gamma-arrojados-como-formas-de-agujero-negro-podrian-revertir-el-tiempo-0&psig=AOvVaw1QsDuFbNoEosReRfQv5P6w&ust=1547832091068436>

### 2.2.10 Calor

Energía que se manifiesta por un aumento de temperatura y procede de la transformación de otras energías; es originada por los movimientos vibratorios de los átomos y las moléculas que forman los cuerpos. (Ver figura 10).



**Figura 10.** Representación esquemática del calor, el cual está presente en la transferencia de dos medios.

Fuente:

<https://www.slideshare.net/BreymerM/transferencia-de-calor-72754391>

### 2.2.11 Calor Específico

El calor específico se define como la energía requerida para elevar en un grado la temperatura de una unidad de masa de una sustancia. En general, esta energía depende de la manera en que se ejecuta el proceso. Suele tenerse interés en dos tipos de calores específicos: el calor específico a volumen constante,  $c_v$  y el calor específico a presión constante,  $c_p$ .

### 2.2.12 Rendimiento térmico teórico

El rendimiento es, en general, la relación existente entre el beneficio obtenido y lo que se ha puesto en juego para obtenerlo. En toda máquina térmica se cumple:  $T_{teor} = \eta_t \cdot Q_1$ , siendo  $Q_1$  el calor aplicado. El rendimiento de cualquier máquina térmica, es de la forma:

$$\eta_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_{teor}}{Q_1}; \quad T_{teor} = \eta_t \cdot Q_1 \quad \text{Ec. (1)}$$

$\eta_t$  = Rendimiento térmico teórico

$T_{teor}$  = Temperatura teórica

$Q_1$  = Calor entrante

$Q_2$  = Calor saliente

### 2.2.13 Capacidad calorífica

Al considerar un sistema cuyo estado viene especificado por su temperatura  $T$  y por un conjunto de parámetros macroscópicos, como la presión  $p$  y el volumen  $V$ . Si el sistema está inicialmente a la temperatura  $T$  y absorbe una cantidad infinitesimal  $dQ$  en tanto permanece constante el parámetro  $p$ , la temperatura del sistema  $T_2$  que dependerá de la naturaleza del sistema, y también, en general, de los parámetros  $T$  y  $V$  que definen el estado macroscópico inicial del mismo.

Se define la capacidad calorífica como la cantidad de calor necesaria para modificar la temperatura del sistema desde  $T_1$  a  $T_2$ .

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{Q_2 - Q_1}{T_2 - T_1} \quad \text{Ec. (2)}$$

$T_1$  = Temperatura en la entrada

$T_2$  = Temperatura en la salida

$Q_1$  = Calor entrante

$Q_2$  = Calor saliente

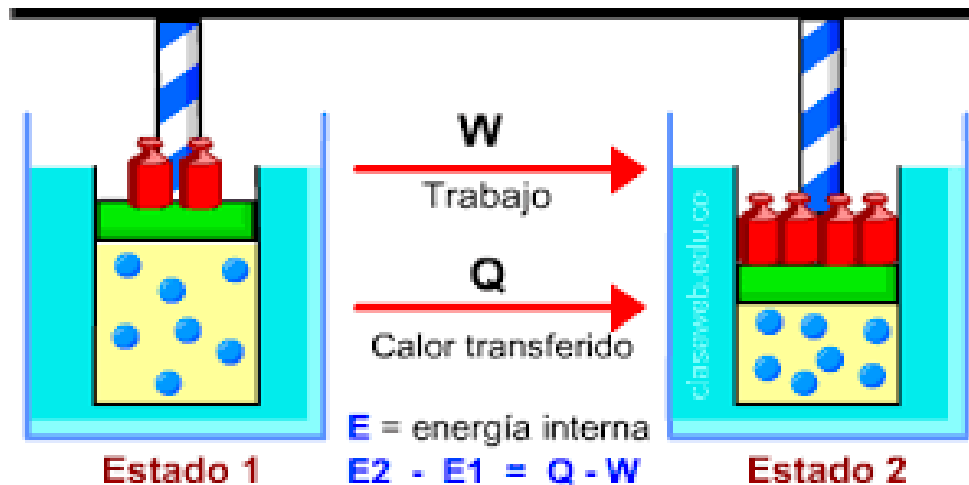
$C$  = Capacidad Calorífica

### 2.2.14 Termodinámica

La termodinámica es la rama de la física que estudia los efectos de los cambios de temperatura, presión y volumen de un sistema físico como un material, un líquido, un conjunto de cuerpos, entre otros, a un nivel macroscópico. La raíz termo significa calor y dinámica se refiere al movimiento, por lo que la termodinámica estudia el movimiento del calor en un cuerpo. La materia está compuesta por diferentes partículas que se mueven de manera desordenada. La termodinámica estudia este movimiento desordenado. La importancia práctica de la termodinámica radica fundamentalmente en la diversidad de fenómenos físicos que describe.

- **Primera ley de termodinámica**

La primera ley de la termodinámica, también conocida como principio de conservación de la energía, expresa que en el curso de un proceso, la energía no se puede crear ni destruir; sólo puede cambiar las formas. Por lo tanto, toda pequeña cantidad de energía debe tomarse en cuenta en el curso de un proceso. El principio de conservación de la energía (o balance de energía) para cualquier sistema que pasa por cualquier proceso se puede expresar como sigue: El cambio neto (aumento o disminución) en la energía total de un sistema en el curso de un proceso es igual a la diferencia entre la energía total que entra y la energía total que sale en el desarrollo de ese proceso.



**Figura 11.** Esquema básico de la primera Ley de Termodinámica y ecuaciones.

Fuente: <https://deisysegura.wordpress.com/fisica-termodinamica/calor/4-e-la-primera-ley-de-la-termodinamica-aplicaciones-de-la-primera-ley/>

### · Segunda ley de termodinámica

Los enunciados de Kelvin-Planck y Clausius son equivalentes en sus consecuencias y cualquiera de ellos es útil como la expresión de la segunda ley de la termodinámica. Cualquier dispositivo que viole el enunciado de Kelvin-Planck viola también el de Clausius y viceversa.

#### **Enunciado de Kelvin-Planck:**

Es imposible para cualquier dispositivo que funcione en un ciclo recibir calor de un depósito y producir una cantidad neta de trabajo.

### Enunciado de Clausius:

Es imposible construir un dispositivo que funcione en un ciclo y cuyo único efecto sea producir la transferencia de calor de un cuerpo de temperatura más baja a un cuerpo de temperatura más alta.

### 2.2.15 Transferencia de calor

La transferencia de calor es el proceso de propagación del calor en distintos medios. La parte de la física que estudia estos procesos se llama a su vez transferencia de calor o transmisión de calor. La transferencia de calor se produce siempre que existe un gradiente térmico o cuando dos sistemas con diferentes temperaturas se ponen en contacto. El proceso persiste hasta alcanzar el equilibrio térmico, es decir, hasta que se igualan las temperaturas. Cuando existe una diferencia de temperatura entre dos objetos o regiones lo suficientemente próximas, la transferencia de calor no puede ser detenida, solo puede hacerse más lenta (Ver figura 12).



**Figura 12.** Procesos de Transferencia de Calor.

Fuente: <https://o4uxrk33.com/wf2wbab8?key=0f22c1fd609f13cb7947c8cabfe1a90d&psid=14260811>

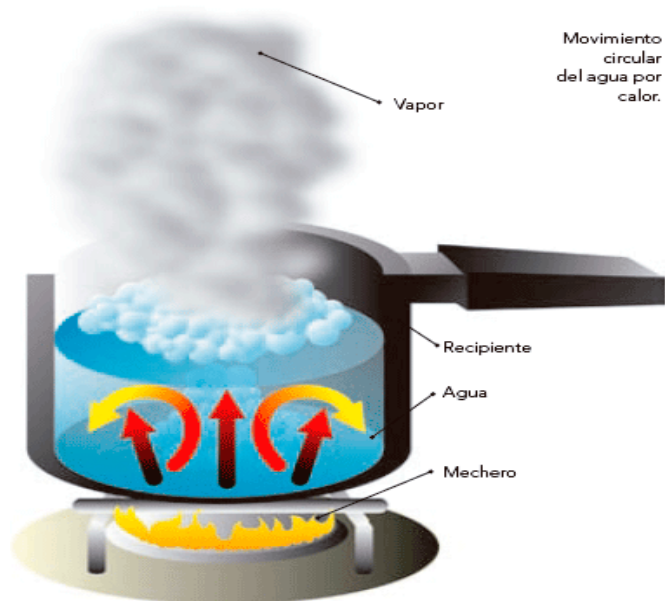
### 2.2.16 Mecanismos de transferencia de calor

El calor se transfiere por los mecanismos de conducción, convección y radiación y, a menudo, el calor cambia de vehículos a medida que se transfiere de un medio a otro. Por ejemplo, el calor conducido hasta la superficie exterior de la pared

de una casa en invierno es transferido por convección, por el aire frío del exterior, conforme es irradiado hacia los alrededores fríos.

### · **Convección**

La convección es el mecanismo de transferencia de calor por movimiento de masa o circulación dentro de la sustancia. Si existe una diferencia de temperatura en el interior de un líquido o un gas, es casi seguro que se producirá un movimiento del fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra. La convección transfiere calor por el intercambio de moléculas frías y calientes. Este proceso llamado convección puede ser natural producida solo por las diferencias de densidades de la materia; o forzada, cuando la materia es obligada a moverse de un lugar a otro. Sólo se produce en líquidos y gases donde los átomos y moléculas son libres de moverse en el medio (Ver figura 13).



**Figura 13.** Variables y partes que ocurren en la Convección de una Olla

Fuente:

[https://es.123rf.com/photo\\_80715775\\_diagrama-de-infogr%C3%A1fico-de-los-m%C3%A9todos-de-transferencia-de-calor-que-incluye-la-convecci%C3%B3n-de-la-conducci%C3%B3n-y-.html](https://es.123rf.com/photo_80715775_diagrama-de-infogr%C3%A1fico-de-los-m%C3%A9todos-de-transferencia-de-calor-que-incluye-la-convecci%C3%B3n-de-la-conducci%C3%B3n-y-.html)

### · **Conducción**

Es el mecanismo de transferencia de calor en escala atómica a través de la materia por actividad molecular, por el choque de unas moléculas con otras, donde las

partículas más energéticas le entregan energía a las menos energéticas, produciéndose un flujo de calor desde las temperaturas más altas a las más bajas.

La conducción es una transferencia de calor entre los cuerpos sólidos. La conducción de calor sólo ocurre si hay diferencias de temperatura entre dos partes del medio conductor (Ver figura 14).



**Figura 14.** Esquema de la Conducción.

Fuente: <https://nergiza.com/radiacion-conduccion-y-conveccion-tres-formas-de-transferencia-de-calor/>

## · **Radiación**

La radiación térmica es energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura dada, se produce directamente desde la fuente hacia afuera en todas las direcciones. Esta energía es producida por los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivos y transportada por ondas electromagnéticas o fotones, por lo recibe el nombre de radiación electromagnética.

### **2.2.17 Coeficiente de conductividad térmica**

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

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

Conductividad térmica de diferentes aislantes comúnmente [9]		
Material	Temperatura (°C)	K (W/m.K)
Corcho Corrugado	32	0.064
Corcho Aglomerado	32	0.045
Fibra de Vidrio	20	0.038
Poliestireno expandido – 20	30	0.033
Fieltro semi rígido	147	0.063
Oxido de magnesio	147	0.061
Cascarilla de arroz (authors)	50	0.036
Lana mineral	50	0.030

**Figura 15.** Coeficientes de conductividad térmica de algunos aislantes

Fuente: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/rt/prINTERfriendly/37679/53957>

### 2.2.18 Coeficiente de Convección

Representa la razón de la transferencia de calor entre una superficie sólida y un fluido por unidad de área superficial por unidad de diferencia en la temperatura.

Además, indica la razón o velocidad a la cual los fluidos que tienen una variedad de propiedades físicas y bajo diferentes grados de agitación, transfieren calor.

### 2.2.19 Ley de Fourier

Esta ley nos permite cuantificar el flujo de Calor conducido a partir del conocimiento de la distribución de la temperatura en el medio. Esta ley establece que el flujo de calor entre dos cuerpos es directamente proporcional a la diferencia de temperatura entre ambos, y solo puede ir en un sentido: el calor sólo puede fluir del cuerpo más caliente hacia el más frío. Las trayectorias mecánicas, por el contrario, son reversibles: siempre puede imaginarse el proceso inverso. En su Teoría

Analítica del Calor, Fourier dice: “Hay una variedad de fenómenos que no se producen por fuerzas mecánicas, sino que resultan exclusivamente de la presencia y acumulación del calor. Esta parte de la Filosofía Natural no puede explicarse bajo las teorías dinámicas, sino que posee principios suyos particulares, utilizando un método similar a las otras ciencias.

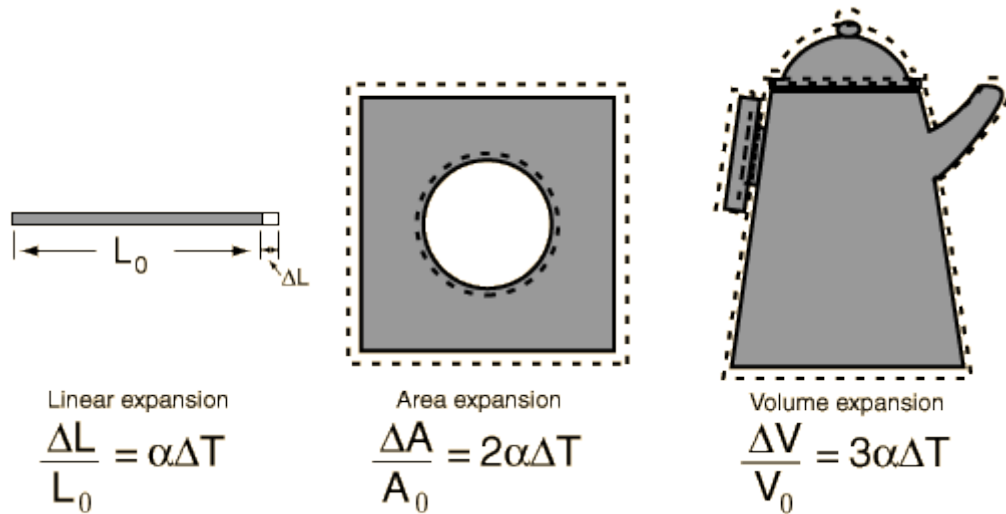
#### **2.2.20 Comodidad Térmica**

A diferencia de los animales como una zorra o un oso, que nacen con abrigo de piel integrados, los seres humanos venimos a este mundo con poca protección contra las condiciones ambientales severas. Por lo tanto, se afirma que la búsqueda de la comodidad térmica se remonta hasta los principios de la historia humana. Se cree que los primeros seres humanos vivieron en cuevas que les proporcionaban refugio y protección contra las condiciones térmicas extremas. Es probable que el primer sistema de calentamiento usado fuera el hogar abierto, seguido por el fuego en moradas, mediante el uso de una chimenea para dar salida a los gases de la combustión.

El término acondicionamiento del aire suele usarse en sentido restringido para implicar el enfriamiento pero, en su sentido amplio, significa acondicionar el aire hasta tener el nivel deseado de calentamiento, enfriamiento, humidificación, deshumidificación, limpieza y desodorización. La finalidad del sistema de acondicionamiento del aire de un edificio es proporcionar una comodidad térmica completa para sus ocupantes.

#### **2.2.21 Expansión Térmica**

La expansión térmica es el incremento en el volumen de un material a medida que aumenta su temperatura, por lo general, se expresa como un cambio fraccionario en las medidas por unidad de cambio de temperatura. Cuando el material es sólido, la expansión térmica se describe en términos de cambio de longitud, altura o grosor. Si el material es líquido, por lo general se describe como un cambio de volumen. Debido a que las fuerzas de unión entre átomos y moléculas varían de material a material, los coeficientes de expansión son característicos de los elementos y compuestos (Ver figura 16).



**Figura 16.** Concepto básico de la expansión térmica.

Fuente: Transferencia de calor y masa: un enfoque práctico Libro de Yunus A. Çengel

### 2.2.22 Colector Solar

Un colector solar o captador solar es cualquier dispositivo diseñado para recoger ó colectar la energía recibida del sol y elevar la temperatura de un fluido con vistas a su aprovechamiento. Los colectores se dividen en dos grandes grupos: los captadores de baja temperatura, utilizados fundamentalmente en sistemas domésticos de calefacción, agua caliente sanitaria y climatización de piscinas, fundamentalmente, y los colectores de alta temperatura, conformados mediante espejos, y utilizados generalmente para producir vapor que mueve una turbina que generará energía eléctrica (Ver figura 17).



**Figura 17.** Colector de tipo tubular, empleado para el aprovechamiento de agua sanitaria.

Fuente: <https://hidrobalea.net/v2/energia-solar/colector-tubular-vacio-r1/>

### **2.2.23 Introducción a la mecánica de los fluidos**

La Mecánica de Fluidos es la disciplina que estudia el comportamiento estático y dinámico de un fluido. Entenderemos como fluido cualquier sustancia líquida o gaseosa que se deforma en forma continua cuando se ejerce sobre ella un esfuerzo. Los fluidos se diferencian de los sólidos básicamente por su estructura molecular. Estos últimos poseen una gran densidad molecular con fuerzas intermoleculares cohesivas fuertes que permiten que los sólidos mantengan su forma y que sea muy difícil deformarlos. Los líquidos poseen un espacio intermolecular mayor que el de los sólidos con fuerzas cohesivas menores por lo que las partículas tienen mayor libertad de movimiento. Además, ocupan un volumen fijo independiente de la forma de este. Los Gases poseen un espacio intermolecular aún mayor. La atracción intermolecular es prácticamente despreciable por lo que se deforman fácilmente, son compresibles y llenan el volumen del recipiente que los contiene.

Si bien la estructura molecular de los fluidos es importante no sirve para describir el comportamiento de estos en reposo o movimiento. Es por esto que el estudio de los fluidos se realiza caracterizando el valor medio o macroscópico de la variable de interés como la velocidad, presión, etc., donde este valor medio se evalúa en un volumen pequeño con un gran número de moléculas. Supondremos además que las propiedades del fluido como las variables del flujo varían en forma continua y homogénea de un punto a otro del fluido

### 2.2.24 Conceptos básicos de la Mecánica de Fluidos

#### · **Fluido**

Una sustancia en la fase líquida o en la gaseosa se conoce como fluido. La diferencia entre un sólido y un fluido se hace con base en la capacidad de la sustancia para oponer resistencia a un esfuerzo cortante (o tangencial) aplicado que tiende a cambiar su forma (Ver figura 18).



**Figura 18.** El agua es muy bien conocida como el solvente universal

Fuente: [https://es.123rf.com/photo\\_66191975\\_gota-de-agua-y-cae-sobre-gotas-de-agua-salpicaduras-de-agua-y-c%C3%ADrculos-de-agua-fina-en-la-superficie-d.html](https://es.123rf.com/photo_66191975_gota-de-agua-y-cae-sobre-gotas-de-agua-salpicaduras-de-agua-y-c%C3%ADrculos-de-agua-fina-en-la-superficie-d.html)

#### · **Caudal**

En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, etc.) por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo (Ver figura 19).



**Figura 19.** Flujo en tubería con caudalímetro.

Fuente: <https://www.industriaquimica.es/articulos/20170612/flujo-vapor-gases-tuberia-ro>

#### · **Viscosidad**

Cuando dos cuerpos sólidos en contacto se mueven uno con respecto al otro, se crea una fuerza de fricción en la superficie de contacto en la dirección opuesta al movimiento. Por ejemplo, para mover una mesa sobre el piso, se le debe aplicar una fuerza en dirección horizontal, suficientemente grande como para vencer la fricción. La magnitud de la fuerza necesaria para mover la mesa depende del coeficiente de fricción entre la mesa y el piso. La situación es semejante cuando un fluido se mueve con respecto a un sólido o cuando dos fluidos se mueven uno con respecto al otro. Es posible moverse con relativa facilidad en el aire, pero no en el agua. Moverse en aceite sería inclusive más difícil, como se puede observar por el movimiento muy lento hacia abajo de una bola de vidrio que se deja caer en un tubo lleno con aceite. Parece que existe una propiedad que representa la resistencia interna de un fluido al movimiento o la “fluidez”, y esa propiedad es la viscosidad (Ver figura 20).



**Figura 20.** Diferentes niveles de viscosidad en distintos aceites de motores

Fuente: <https://definicionyque.es/viscosidad/>

#### · **Presión**

La presión se define como una fuerza normal ejercida por un fluido por unidad de área. Se habla de presión sólo cuando se trata de un gas o un líquido. La contraparte de la presión en los sólidos es el esfuerzo normal. Puesto que la presión se define como fuerza por unidad de área, tiene la unidad de newton por metro cuadrado (N/m<sup>2</sup>), la cual se llama pascal (Pa); es decir,

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ Nm}^2$$

#### **2.2.25 Aceleración de la gravedad**

Es la fuerza gravitatoria específica que actúa sobre un cuerpo en el campo gravitatorio de otro; esto es, como la fuerza gravitatoria por unidad de masa del cuerpo que la experimenta. Se representa como “g” y se expresa en Newtons/Kilogramo (N/Kg.) en el Sistema Internacional de Unidades.

#### **2.2.26 El Manómetro**

Es un instrumento de medición para la presión de fluidos contenidos en recipientes cerrados. Se distinguen dos tipos de manómetros, según se empleen para medir la presión de líquidos o de gases (Ver figura 21).



**Figura 21.** Manómetro simple con presión Max de 3 bares

Fuente: <https://www.ma-gaco.es/MANOMETRO-PARA-FILTRO-PISCINA-3-Bar-40-psi-1/8>

### **2.2.27 Introducción a la Estática de los fluidos**

La estática de fluidos trata de los problemas relacionados con los fluidos en reposo. El fluido puede ser gaseoso o líquido. En general, la estática de fluidos se llama hidrostática cuando el fluido es un líquido y aerostática, cuando el fluido es un gas. En la estática de fluidos no se tiene movimiento relativo entre capas adyacentes del fluido y, por lo tanto, no se tienen esfuerzos cortantes (tangenciales) en éste que traten de deformarlo. El único esfuerzo que se trata en la estática de fluidos es el esfuerzo normal, el cual es la presión, y la variación de ésta sólo se debe al peso del fluido. Por lo tanto, el tema de la estática de fluidos únicamente tiene significado en campos de gravedad y las relaciones de fuerzas que se formaron de manera natural incluyen la aceleración gravitacional  $g$ . La fuerza que se ejerce sobre una superficie por un fluido en reposo es normal a esa superficie en el punto de contacto, puesto que no existe movimiento relativo entre el fluido y la superficie sólida y, como consecuencia, no pueden actuar fuerzas cortantes paralelas a la superficie. La estática de fluidos se utiliza para determinar las fuerzas que actúan sobre cuerpos flotantes o sumergidos y las fuerzas que generan algunos dispositivos como las prensas hidráulicas y los gatos para automóvil. El diseño de muchos sistemas de ingeniería, como las presas para agua y

los tanques de almacenamiento de líquidos, exige determinar las fuerzas que actúan sobre las superficies aplicando la estática de fluidos.

### **2.2.28 Flotación**

Es un hecho común que un objeto se sienta más ligero y pese menos en un líquido que en el aire. Esto se puede demostrar con facilidad si se pesa un objeto denso en el agua, con una balanza de resorte impermeable. Asimismo, los objetos hechos de madera o de otros materiales ligeros flotan en el agua. Éstas y otras observaciones sugieren que un fluido ejerce una fuerza hacia arriba sobre un cuerpo sumergido en él. Esta fuerza que tiende a levantar el cuerpo se llama fuerza de flotación.

### **2.2.29 Líneas de Corriente**

Las líneas de corriente son útiles como indicadores de la dirección instantánea del movimiento del fluido en todo el campo de flujo. Por ejemplo, las regiones de recirculación del flujo y de separación de un fluido de una pared sólida se identifican con facilidad por el patrón de líneas de corriente. Las líneas de corriente no se pueden observar directamente de manera experimental, excepto en los campos de flujo estacionario, en los cuales coinciden con las líneas de trayectoria y las líneas de traza

### **2.2.30 Conservación de la masa**

La relación de conservación de la masa para un sistema cerrado que pasa por un cambio se expresa como  $m_{sist} = \text{constante}$   $dm_{sist}/dt = 0$ , lo cual es un enunciado del hecho obvio que la masa del sistema permanece constante durante un proceso. Para un volumen de control (VC), el balance de masa se expresa en la forma de razón como:

$$m_{ent} - m_{sal} = \frac{dm_{vc}}{dt} \quad \text{Ec. (3)}$$

### **2.2.31 Principio de conservación de masa**

Este principio para un volumen de control se puede expresar como: la transferencia neta de masa hacia dentro un volumen de control, o hacia fuera de éste durante un intervalo  $\Delta t$  es igual al cambio neto (aumento o disminución) en la masa total que está dentro de ese volumen en el transcurso de  $\Delta t$ ; es decir:

$$m_{ent} - m_{sal} = \Delta m_{vc} \quad \text{Ec. (4)}$$

### 2.2.32 Flujo incompresible

En mecánica de fluidos, un flujo se clasifica en compresible e incompresible, dependiendo del nivel de variación de la densidad del fluido durante ese flujo. La incompresibilidad es una aproximación y se dice que el flujo es incompresible si la densidad permanece aproximadamente constante a lo largo de todo el flujo. Por lo tanto, el volumen de todas las porciones del fluido permanece inalterado sobre el curso de su movimiento cuando el flujo o el fluido son incompresibles. En esencia, las densidades de los líquidos son constantes y así el flujo de ellos es típicamente incompresible.

### 2.2.33 Pérdidas de Disponibilidad

La pérdida de disponibilidad en una tubería o canal es la pérdida de presión que se produce en un fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce. Las pérdidas pueden ser continuas, a lo largo de conductos regulares, o accidentales o localizadas, debido a circunstancias particulares, como un estrechamiento, un cambio de dirección, la presencia de una válvula, etc.

### 2.2.34 Número de Reynolds

El número de Reynolds proporciona una indicación de la pérdida de energía causada por efectos viscosos. Observando la siguiente ecuación, cuando las fuerzas viscosas tienen un efecto dominante en la pérdida de energía, el número de Reynolds es pequeño y el flujo se encuentra en el régimen laminar.

$$R_e = \frac{\text{Fuerzas inerciales}}{\text{Fuerzas Viscosas}} = \frac{\rho D v}{\mu} = \frac{v D}{\nu} \quad \text{Ec. (5)}$$

$\rho$  = Densidad del Fluido

$v$  = Velocidad del fluido

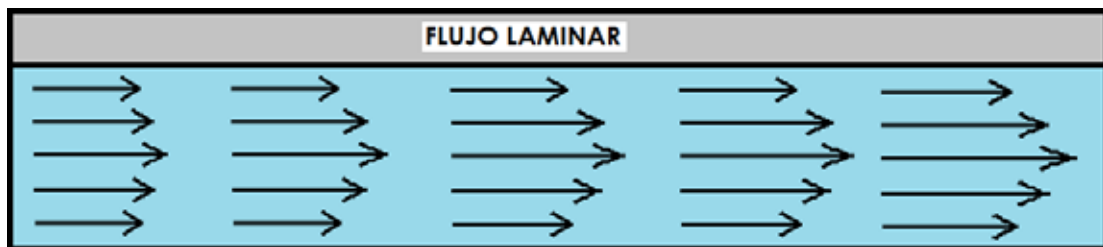
$\mu$  = Viscosidad dinámica del Fluido

$\nu$  = Viscosidad cinemática del Fluido

$D$  = Diámetro interno de la tubería

· **Régimen laminar**

Se llama al movimiento de un fluido cuando éste es ordenado, estratificado, suave. En un flujo laminar el fluido se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse y cada partícula de fluido sigue una trayectoria suave, llamada línea de corriente. En flujos laminares el mecanismo de transporte lateral es exclusivamente molecular (Ver figura 22).

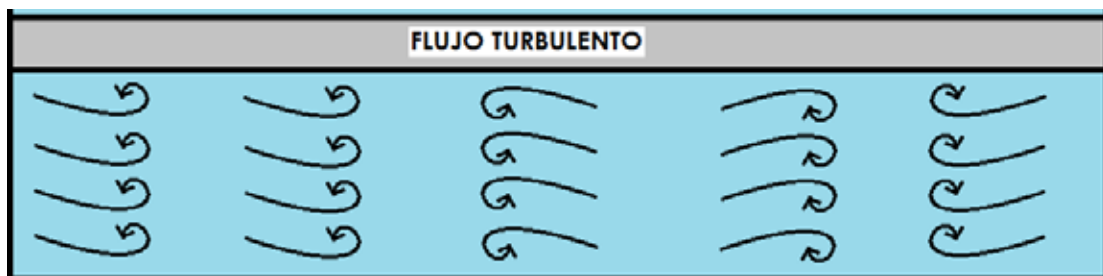


**Figura 22.** Representación esquemática de un flujo laminar.

Fuente: [https://es.wikiversity.org/wiki/ProgramacionIngenieriaMecanicaUPB:Grupo\\_1510\\_02](https://es.wikiversity.org/wiki/ProgramacionIngenieriaMecanicaUPB:Grupo_1510_02)

#### · Régimen turbulento

Se llama flujo turbulento o corriente turbulenta al movimiento de un fluido que se da en forma caótica, en que las partículas se mueven desordenadamente y las trayectorias de las partículas se encuentran formando pequeños remolinos periódicos, (no coordinados). Debido a esto, la trayectoria de una partícula se puede predecir hasta una cierta escala, a partir de la cual la trayectoria de la misma es impredecible, más precisamente caótica. (Ver figura 23).



**Figura 23.** Representación esquemática de un flujo turbulento.

Fuente: [https://es.wikiversity.org/wiki/ProgramacionIngenieriaMecanicaUPB:Grupo\\_1510\\_02](https://es.wikiversity.org/wiki/ProgramacionIngenieriaMecanicaUPB:Grupo_1510_02)

### 2.2.35 La ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli es una relación aproximada entre la presión, la velocidad y la elevación, y es válida en regiones de flujo estacionario e incompresible en donde las fuerzas netas de fricción son despreciables. Pese a su simplicidad la ecuación de Bernoulli demostró que es un instrumento muy potente en mecánica de fluidos. En esta sección, se deduce la ecuación de Bernoulli a partir del principio de conservación de momento lineal, se demuestra su utilidad y se analizan sus limitaciones. La aproximación clave en la deducción de la ecuación de Bernoulli es que los efectos viscosos son despreciablemente pequeños en comparación con los efectos de inercia, gravitacionales y de la presión. Puesto que todos los fluidos tienen viscosidad (no existe un “fluido no viscoso”), esta aproximación no puede ser válida para todo un campo de flujo de interés práctico. En otras palabras, no se puede aplicar la ecuación de Bernoulli en todas partes en un flujo, sin importar qué pequeña sea la viscosidad del fluido. Sin embargo, resulta que la aproximación es razonable en ciertas regiones de muchos flujos prácticos.

Debe tenerse cuidado cuando se utiliza la ecuación de Bernoulli, porque es una aproximación que sólo se aplica a las regiones no viscosas del flujo. En general, los efectos de la fricción siempre son importantes muy cerca de las paredes sólidas (capas límite) y directamente corriente abajo de los cuerpos (estelas). Por tanto, la aproximación de Bernoulli es útil por lo general en regiones del flujo por fuera de las capas límite y estelas, en donde el movimiento del fluido lo rigen los efectos combinados de la presión y la gravedad.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + Z_2 \quad \text{Ec. (6)}$$

### 2.2.36 Ecuación de Darcy-Weisbach

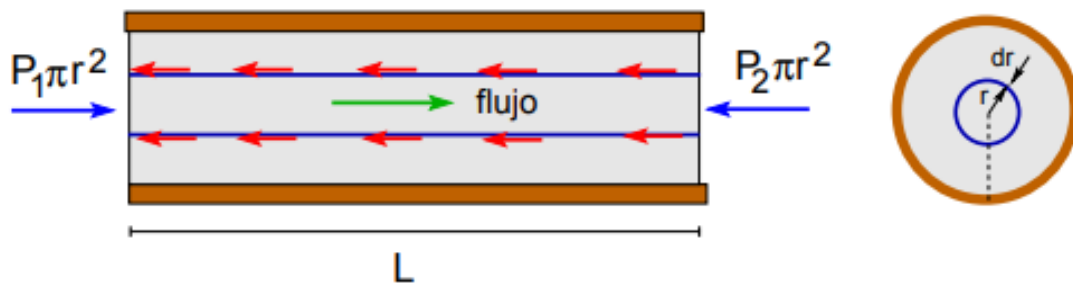
En dinámica de fluidos, la ecuación de Darcy-Weisbach es una ecuación empírica que relaciona la pérdida de carga hidráulica (o pérdida de presión) debido a la fricción a lo largo de una tubería dada con la velocidad media del flujo del fluido. La ecuación obtiene su nombre en honor al francés Henry Darcy y al

alemán Julius Weisbach (ingenieros que proporcionaron las mayores aportaciones en el desarrollo de tal ecuación).

$$f = f\left(\frac{L}{D}\right)\frac{v^2}{2g} = f\left(\frac{L}{D}\right)\frac{Q^2}{2gA^2} \quad \text{Ec. (7)}$$

### 2.2.37 Ley de Poiseuille

Cuando un fluido se mueve en un tubo de sección circular, su velocidad de flujo es diferente en distintos puntos de una misma sección transversal. La capa más externa se adhiere a las paredes del tubo y su velocidad es cero. La pared del tubo ejerce un arrastre sobre esta capa que a su vez arrastra hacia atrás a la adyacente, etc. Para velocidades no muy grandes el flujo es laminar con una velocidad que es máxima en el centro del tubo y disminuye hasta anularse en las paredes. El flujo es análogo a una serie de tubos o capas coaxiales que se deslizan unas sobre otras, estando la capa o tubo más externo en reposo (Ver figura 24).



**Figura 24.** Ley de Poiseuille

Fuente: <http://www.sabelotodo.org/fisica/poiseuille.html>

### 2.2.38 Turbomáquinas

Una turbomáquina es una máquina cuyo elemento principal es un rodete a través del cual pasa un fluido de forma continua, cambiando éste su cantidad de movimiento por acción de la máquina. Se da así una transferencia de energía entre la máquina y el fluido a través del momento del rotor sea en sentido máquina-fluido (como en el caso de una bomba hidráulica) o fluido-máquina (como en el caso de una turbina) (Ver figura 25 y 26).



**Figura 25.** Bomba de Doble turbina

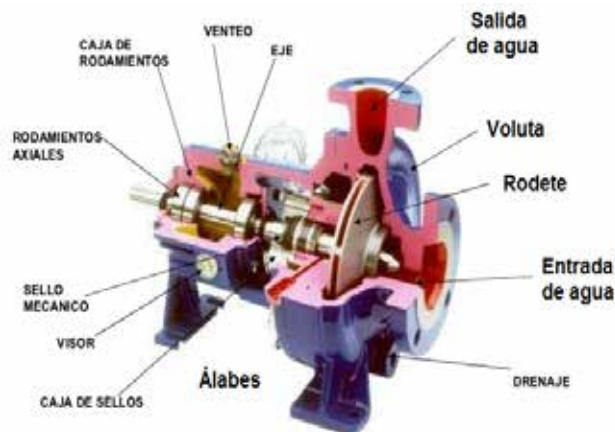


**Figura 26.** Bomba centrífuga

Fuente: <https://www.sodimac.com.pe/sodimac-pe/product/2408546/Bomba-Centrifuga-0.75-HP/2408546>

### 2.2.39 Bomba Centrífuga

La bomba centrífuga, también denominada bomba rotodinámica, es actualmente la máquina más utilizada para bombear líquidos en general. Las bombas centrífugas son siempre rotativas y son un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor en energía cinética o de presión de un fluido incompresible. El fluido entra por el centro del rodete o impulsor, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba. Debido a la geometría del cuerpo, el fluido es conducido hacia las tuberías de salida o hacia el siguiente (Ver figura 27).



**Figura 27.** Partes generales de una bomba centrífuga

Fuente: <https://elbombernumero13.wordpress.com/2015/08/20/los-alabes-en-nuestras-bombas/>

### 2.2.40 Fuerza Centrifuga

En la mecánica clásica o mecánica newtoniana, la fuerza centrífuga es una fuerza ficticia que aparece cuando se describe el movimiento de un cuerpo en un sistema de referencia en rotación, o equivalentemente la fuerza aparente que percibe un observador no inercial que se encuentra en un sistema de referencia rotatorio.

El calificativo de "centrífuga" significa que "huye del centro". En efecto, un observador no inercial situado sobre una plataforma giratoria siente que existe una fuerza que actúa sobre él, que le impide permanecer en reposo sobre la plataforma a menos que él mismo aplique otra fuerza dirigida hacia el eje de rotación (Ver figura 28).



**Figura 28.** Ejemplo cotidiano donde se puede presentar la fuerza centrífuga

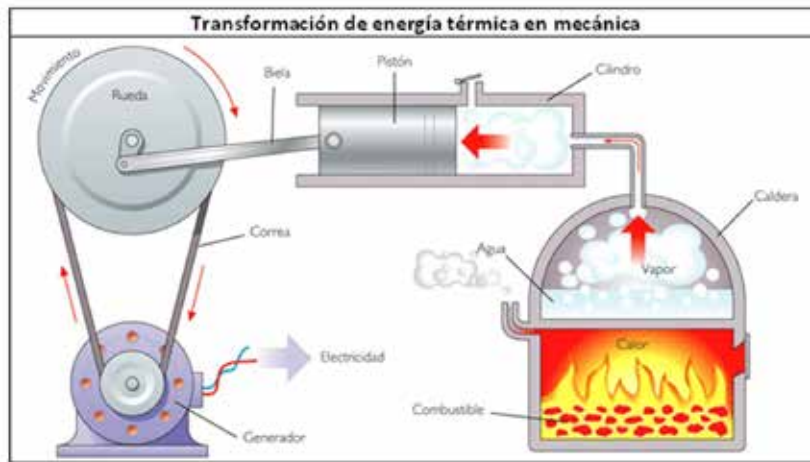
Fuente: <https://okdiario.com/curiosidades/2018/10/03/que-fuerza-centrifuga-3184100>

### 2.2.41 Tipos de energías

#### · Energía Mecánica

La energía mecánica se puede definir como la capacidad de producir un trabajo mecánico, el cual posee un cuerpo, debido a causas de origen mecánico, como su

posición o su velocidad. Existen dos formas de energía mecánica que son la energía cinética y la energía potencial (Ver figura 29).



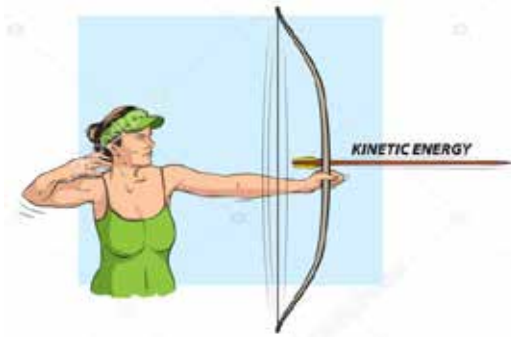
**Figura 29.** Transformación de la energía térmica a Mecánica, aprovechando la presión ejercida dentro de un cilindro, volviendo un movimiento rectilíneo en uno radial, para hacer girar un generador.

Fuente:

[http://www.iesdmjac.educa.aragon.es/departamentos/fq/temasweb/FQ4ESO/FQ4ESO%20Tema%206%20Energia/81\\_mquinas\\_trmicas.html](http://www.iesdmjac.educa.aragon.es/departamentos/fq/temasweb/FQ4ESO/FQ4ESO%20Tema%206%20Energia/81_mquinas_trmicas.html)

### • **Energía Cinética**

En física, la energía cinética de un cuerpo es aquella energía que posee debido a su movimiento. Se define como el trabajo necesario para acelerar un cuerpo de una masa determinada desde el reposo hasta la velocidad indicada. Una vez conseguida esta energía durante la aceleración, el cuerpo mantiene su energía cinética salvo que cambie su velocidad (Ver figura 30).



**Figura 30.** La flecha al ser soltada, esta empieza a utilizar la energía cinética cargada cuando esta se encontraba en tensión.

Fuente:

[https://es.123rf.com/photo\\_77714767\\_transformando-potencial-en-energ%C3%ADa-cin%C3%A9tica.html](https://es.123rf.com/photo_77714767_transformando-potencial-en-energ%C3%ADa-cin%C3%A9tica.html)

### · **Energía Potencial**

La energía potencial es la energía mecánica asociada a la localización de un cuerpo dentro de un campo de fuerzas (gravitatoria, electrostática, etc.) o a la existencia de un campo de fuerzas en el interior de un cuerpo (energía elástica). La energía potencial de un cuerpo es una consecuencia de la que el sistema de fuerzas que actúa sobre un cuerpo sea conservativo (Ver figura 31).



**Figura 31.** La energía potencial, es toda aquella energía que se almacena en la tensión de la flecha contra la cuerda del arco.

Fuente:

[https://es.123rf.com/photo\\_77714767\\_transformando-potencial-en-energ%C3%ADa-cin%C3%A9tica.html](https://es.123rf.com/photo_77714767_transformando-potencial-en-energ%C3%ADa-cin%C3%A9tica.html)

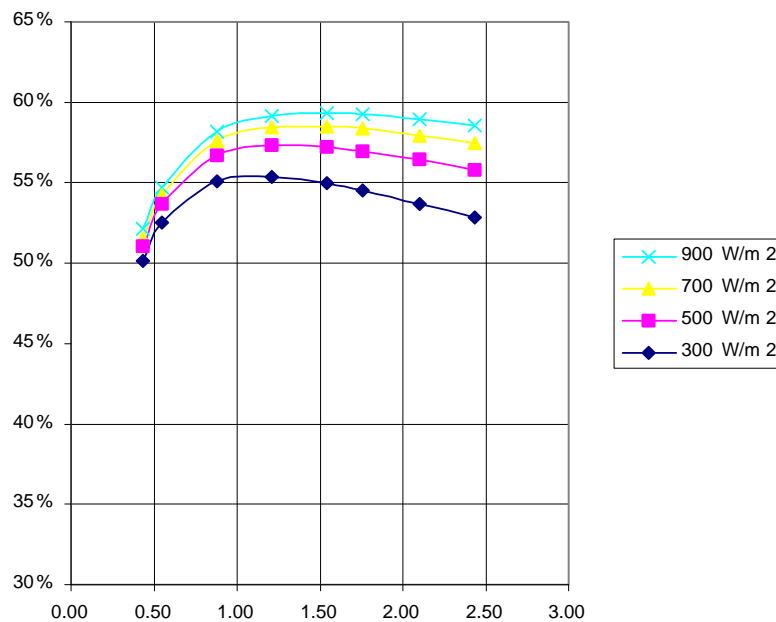
### **2.2.42 Flujo Unidimensional**

Es un flujo en el que el vector de velocidad sólo depende de una variable espacial, es decir que se desprecian los cambios de velocidad transversales a la dirección principal del escurrimiento. Dichos flujos se dan en tuberías largas y rectas o entre placas paralelas.

### 2.2.43 Parámetros del colector

- **Ancho del Colector**

Como se observa en la siguiente figura, la eficiencia del colector se incrementa significativamente hasta que el ancho del colector se aproxime a 2 m. Sin embargo, para valores mayores a 1,5 m la eficiencia empieza a decrecer paulatinamente. Es oportuno anotar que el ancho del colector depende también del número de tubos (Ver figura 32).

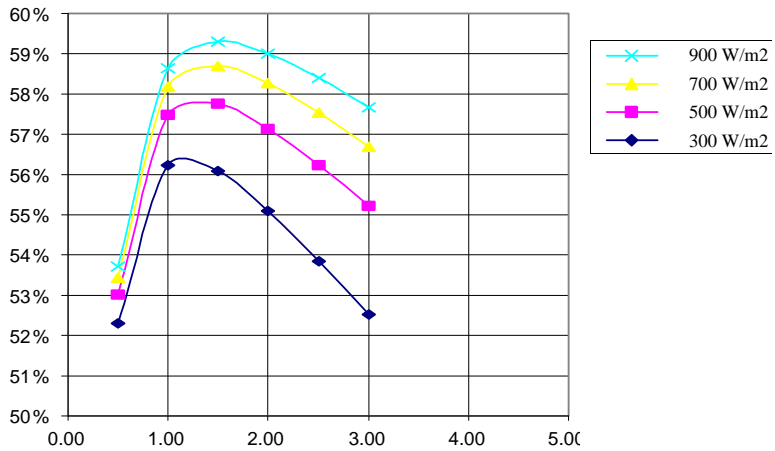


**Figura 32.** Ancho del colector vs. Eficiencia.

Fuente: DISEÑO DE COLECTORES SOLARES -Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente

- **Largo del colector**

Como se muestra en la figura 33, la eficiencia del colector se incrementa rápidamente hasta que el largo del colector se aproxime a un valor de 1 m. La selección de 1 m para el largo es óptima por cuanto a menor longitud aumentan los costos de construcción (Ver figura 33).

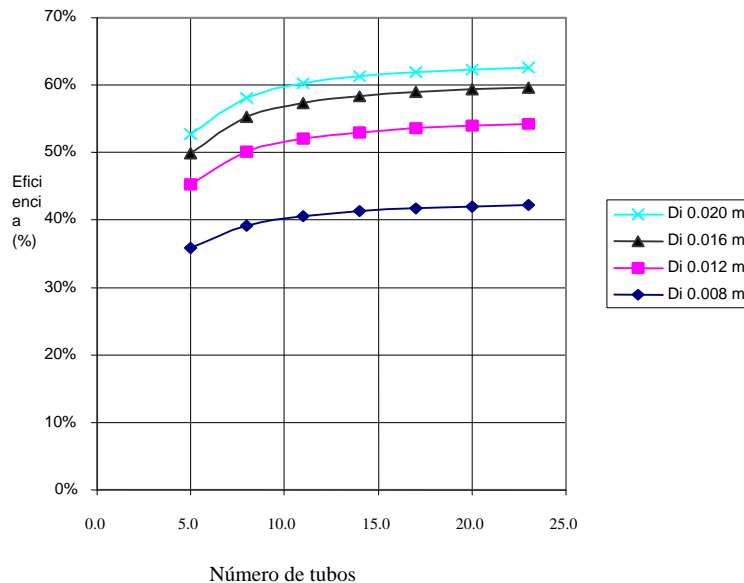


**Figura 33.** Largo del colector vs. Eficiencia.

Fuente: DISEÑO DE COLECTORES SOLARES -Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente

· **Diámetro de los tubos**

En la figura 34 se muestra la tendencia de la eficiencia en función del diámetro interno de los tubos para distintos números de ellos. A partir de este gráfico puede seleccionarse un diámetro interior de 1,6 cm por ser el más comercial y económico (Ver figura 34).

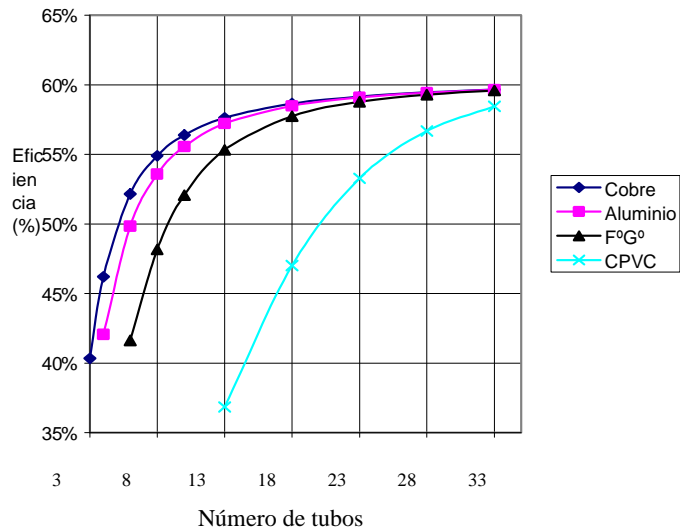


**Figura 34.** Diámetro interior del tubo vs. Eficiencia.

Fuente: DISEÑO DE COLECTORES SOLARES -Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente

- **Material y número de tubos**

Este es uno de los parámetros más importantes. En la figura 35 se muestra una relación entre la eficiencia y el material del tubo. A partir de este gráfico se observa que tanto con ocho tubos de cobre como con 13 tubos de fierro galvanizado se obtienen una eficiencia aceptable; estos materiales son los más comerciales. Cierto es que los tubos de aluminio tienen buenas características de conductividad térmica, pero su alta corrosividad limita su aplicación (Ver figura 35).

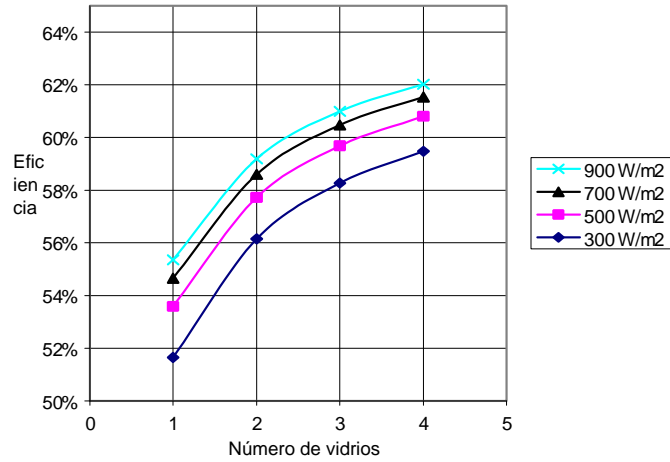


**Figura 35.** Material del tubo vs. Eficiencia

Fuente: DISEÑO DE COLECTORES SOLARES -Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente

- **Número de cubiertas de vidrio**

Los resultados mostrados en la figura 36 indican que la colocación de dos vidrios es una buena elección a pesar de que con un mayor número se obtienen mejores eficiencias. No obstante, este mayor número de vidrios hace más difícil su construcción incrementando, además, su costo (Ver figura 36).

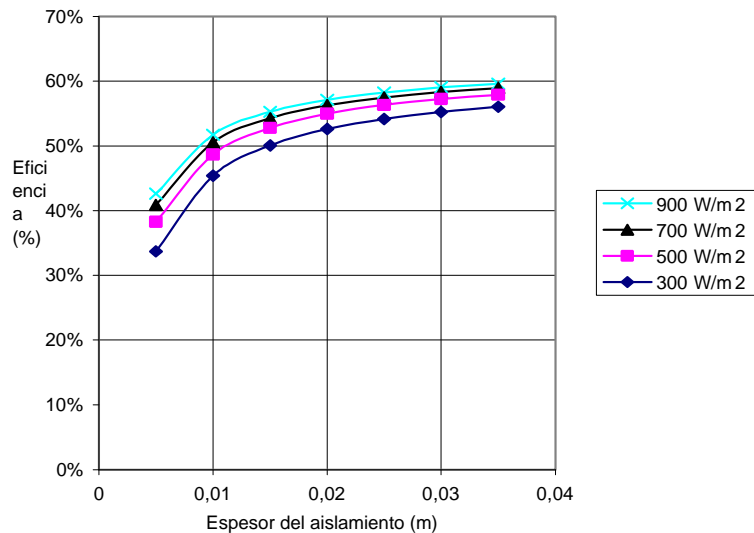


**Figura 36.** Número de cubiertas de vidrio vs. Eficiencia

Fuente: DISEÑO DE COLECTORES SOLARES -Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente

· **Espesor del aislamiento**

En la gráfica 37 se muestra la influencia del espesor del aislamiento en la eficiencia del colector. Puede verse que a partir de 1 cm a medida que aumenta el espesor la eficiencia aumenta en menor proporción. Puede elegirse un espesor de una pulgada (2,54 cm), por ser la más económica y fácil disponibilidad en el mercado (Ver figura 37).



**Figura 37.** Espesor del aislamiento vs. eficiencia

Fuente: DISEÑO DE COLECTORES SOLARES -Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente

## **2.3 Definición de términos básicos**

### **Sistemas abiertos**

Son aquellos que interaccionan a través de la pared cerrada que los limita, flujos de materia y/o energía, con el medio exterior.

### **Sistemas cerrados**

Son aquellos que tienen un número de partículas constante. A través de la pared cerrada que les limita puede haber flujo de energía, pero no de materia.

### **Sistemas aislados**

Son aquellos que no intercambian ni masa ni energía a través de su superficie.

### **Cuerpo negro**

Es un concepto idealizado que se define como un emisor y absorbedor perfecto de la radiación. Este cuerpo o superficie absorbe toda la radiación incidente sin importar la longitud de onda ni la dirección, así mismo emite de manera uniforme en todas las direcciones toda la energía que absorbe (es independiente de la dirección).

### **Cuerpo gris**

En un cuerpo gris las propiedades de emisión y absorción dependen de la dirección de la radiación, de la temperatura y de la longitud de onda. Además en estos cuerpos, una parte de la radiación incidente es absorbida, otra transmitida hacia el cuerpo y otra más reflejada.

### **Cuerpo transparente**

Es aquel que deja pasar casi toda la luz que incide en él. La intensidad de la luz incidente es muy parecida a la transmitida (la que lo atraviesa).

### **Cuerpo traslucido**

Son los que dejan pasar una porción de la luz incidente. El cuerpo traslucido dejaría pasar aproximadamente la mitad de la luz que incide sobre él.

### **Cuerpo Opaco**

Son aquellos que no dejan pasar la luz, a simple vista.

### **Emisividad**

La emisividad, llamada antiguamente emitancia, es la proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debido a su temperatura. La emisividad direccional espectral se define como la razón entre la intensidad emitida por la superficie en una dirección particular y la intensidad que sería emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura y longitud de onda.

### **Absortividad**

Se denomina absortividad a la medida de la cantidad de luz absorbida por una disolución, definida como la unidad de absortancia por unidad de concentración por unidad de longitud de la trayectoria de luz.

### **Reflectancia**

La reflectancia es la fracción de la radiación incidente que es reflejada por la superficie.

### **Transmitancia**

La transmitancia es la fracción de la radiación incidente que es transmitida hacia la superficie.

### **Radiación solar directa**

Esta es la componente de la radiación solar que no ha sido dispersada y/o reflejada por la atmosfera. Se podría decir que son los rayos que directamente llegan del Sol.

### **Radiación solar difusa**

Esta es la componente de la radiación solar que ha sido dispersada, reflejada y re-emitida por la atmosfera después de entrar a la Tierra.

### **Radiación solar total**

Esta es la suma de las componentes de radiación directa y difusa. Cuando esta es medida sobre una superficie horizontal se le llama radiación global total.

### **Irradiancia**

Es la razón a la cual la energía radiante por unidad de área incide en una superficie, con unidades de W/m<sup>2</sup>.

**Irradiación**

Es la energía incidente por unidad de área sobre una superficie, que se calcula mediante integración sobre un periodo de tiempo específico, usualmente es una hora o un día.

**Refractario**

El término refractario se refiere a la propiedad de ciertos materiales de resistir altas temperaturas sin descomponerse.

**Latitud**

Es la locación angular hacia el norte o sur desde el ecuador. Se denota con la letra griega  $\varphi$  y toma valores entre  $-90^\circ$  (polo sur) y  $90^\circ$  (polo norte).

**Altitud Solar**

Es el ángulo entre la horizontal y una línea directa al Sol. Es el complemento del ángulo cenit y se denota con la letra griega y el subíndice:  $\alpha_s$ . Este ángulo es pequeño durante el verano, y crece hacia el invierno (para el hemisferio norte, en el sur es al contrario) llevando la posición del Sol en el cielo más alta en estos meses.

**Ángulo de incidencia**

Es el ángulo entre el rayo de luz directa que incide sobre una superficie y una línea normal a esta. Se denota con la letra griega  $\theta$ . Este ángulo es muy utilizado en cálculos de colectores solares, tanto de placa plana como concentradores, o de tubos de vidrio al vacío.

**Agua**

El agua es una sustancia cuya molécula está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno ( $H_2O$ ). El término agua generalmente se refiere a la sustancia en su estado líquido, aunque la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo y en su forma gaseosa denominada vapor.

**Refrigerante**

Refrigerante es una sustancia que actúa como agente de enfriamiento, con propiedades especiales de punto de evaporación y condensación. Mediante cambios de

presión y temperatura absorben calor en un lugar y lo disipa en otro mediante un cambio de líquido a gas y viceversa.

### **Volumen Específico**

El recíproco de la densidad es el volumen específico  $v$ , el cual se define como volumen por unidad de masa. Es decir,  $v = V/m = 1/\rho$ . Para un elemento diferencial de volumen de masa  $dm$  y volumen  $\delta V$ , la densidad se puede expresar como  $\rho = \delta m/\delta V$ .

### **Densidad**

La densidad se define como masa por unidad de volumen. Es decir, Densidad es iguala:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (\text{kg/m}^3) \quad \text{Ec. (8)}$$

### **Potencia emisiva o de emisión ( $E_b$ )**

Es la razón a la cual la energía radiante por unidad de área sale de una superficie únicamente por emisión con  $\text{W/m}^2$ .

### **Trabajo**

El trabajo es la transferencia de energía a través de las fronteras entre un sistema (abierto o cerrado) y sus alrededores, asociada a una fuerza ( $\mathbf{F}$ ) que actúa a lo largo de una distancia ( $\mathbf{s}$ ). La fuerza aplicada a un sistema, proviene de otras formas de energía como el calor y la electricidad.

### **Potencia**

Potencia es la cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo.

### **Masa**

La masa, como la energía, es una propiedad conservativa, y no puede crearse ni destruirse, se conserva incluso en aun en reacciones químicas.

### **Tazas de Flujo Másico**

La cantidad de masa que fluye a través de una sección transversal por unidad de tiempo se denomina tasa de flujo másico y se denota con,  $\dot{m}$  y es proporcional al área transversal del ducto, a la densidad y velocidad media del fluido.

### **Esfuerzo interno**

Los esfuerzos internos sobre una sección transversal plana de un elemento estructural se definen como un conjunto de fuerzas y momentos estáticamente equivalentes a la distribución de tensiones internas sobre el área de esa sección.

### **Tubería**

Es un conducto que cumple la función de transportar agua u otros fluidos. Se suele elaborar con materiales muy diversos. También sirven para transportar materiales que, si bien no son propiamente un fluido, se adecuan a este sistema: hormigón, cemento, cereales, documentos encapsulados, etcétera.

### **Tanque de Almacenamiento**

Los tanques de almacenamiento son estructuras de diversos materiales, por lo general de forma cilíndrica, que son usadas para guardar y/o preservar líquidos o gases a presión ambiente, por lo que en ciertos medios técnicos se les da el calificativo de tanques de almacenamiento atmosféricos.

### **Sello**

Un sello mecánico es un dispositivo que permite unir sistemas o mecanismos, evitando la fuga de fluidos, conteniendo la presión, o no permitiendo el ingreso de contaminación.

### **Válvula**

Es un dispositivo mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

### **Brida**

Brida es el elemento que une dos componentes de un sistema de tuberías, permitiendo ser desmontado sin operaciones destructivas, gracias a una circunferencia de agujeros a través de los cuales se montan pernos de unión.

**Pernos de Unión**

Es una pieza metálica que puede tener diferentes largos. Es un elemento de unión. Básicamente este elemento metálico con cabeza pasa por perforaciones que permiten unir y fijar cosas.

**Rodete**

Un rodete es un tipo de rotor situado dentro de una tubería o un conducto y encargado de impulsar un fluido. Generalmente se utiliza este término para referirse al elemento móvil de una bomba centrífuga, pero en ocasiones también se utiliza para referirse al elemento móvil de turbinas y ventiladores.

**Motor Eléctrico**

El motor eléctrico es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. Son máquinas eléctricas rotatorias compuestas por un estator y un rotor.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Tipo de Investigación**

La investigación está concebida dentro de la modalidad de proyecto factible según el Manual de Tesis de Grado y Especialización y Maestría y Tesis Doctorales de la Universidad Pedagógica Libertador (2003) plantea: “Consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos necesidades de organizaciones o grupos sociales que pueden referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos, o procesos. El proyecto debe tener el apoyo de una investigación de tipo documental, y de campo, o un diseño que incluya ambas modalidades” (p. 16).

Del mismo modo, Arias (2006) señala: “Que se trata de una propuesta de acción para resolver un problema práctico o satisfacer una necesidad. Es indispensable que dicha propuesta se acompañe de una investigación, que demuestre su factibilidad o posibilidad de realización” (p. 134).

Un proyecto factible es una propuesta operativa que está ideada para la solución de un problema específico y que se sustenta en una investigación para probar su pertinencia y viabilidad. Está conformado según diversos autores por tres etapas principales: diagnóstico, factibilidad y diseño de la propuesta. Según Labrador y Otros (2002), expresan: “El diagnóstico es una reconstrucción del objeto de estudio y tiene por finalidad, detectar situaciones donde se ponga de manifiesto la necesidad de realizarlo” (p. 186).

Según Gómez (2000), la factibilidad indica la posibilidad de desarrollar un proyecto, tomando en consideración la necesidad detectada, beneficios, recursos humanos, técnicos, financieros, estudio de mercado, y beneficiarios (p. 24).

#### **3.2 Diseño de la Investigación**

Según Arias (2006), define el diseño de la investigación como “la estrategia que adopta el investigador para responder al problema planteado” (p.30). Este trabajo de

grado se enmarca en un diseño de campo, el cual es definido por la normativa para la elaboración de trabajos de grado de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2.003) como: “El análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoques de investigación conocidos o en desarrollo. Los datos de interés son recogidos en forma directa de la realidad; en este sentido se trata de investigaciones a partir de datos originales” (p.67).

Para muchos autores existen muchas maneras de clasificar los tipos de diseños de investigación, según Balestrini (2006) de manera primaria, en relación al tipo de datos que se deben recolectar, estos se pueden clasificar en diseños de campo y diseños bibliográficos. Sin embargo, es posible situar dentro de los diseños de campo, otra clasificación, los no experimentales, en el cual se ubican los estudios exploratorios, descriptivos, diagnósticos, evaluativos, los causales y los proyectos factibles (p. 131).

Para el autor Fidias G. Arias (2012), define: La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de todos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variables algunas, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes.

### **3.3 Nivel de Investigación**

Según Arias, (2006) “el nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio” (p.23). Es factible efectuar una conveniente percepción del comportamiento de los distintos procesos de una manera específica, estableciendo los diferentes procesos de una forma particular y determinando los diferentes componentes que lo forman.

Sánchez Carlessi H. y Reyes Meza C. (2006) manifiestan que siguiendo a Selltiz, Jahoda y otros (1965) podemos identificar tres niveles o esquemas básicos de investigación según la profundidad y objetivo, que pueden relacionarse a los tipos de investigación anteriormente descritos. Estos son:

- a) Investigación exploratoria ó formulativa.

b) Investigación descriptiva.

c) Investigación explicativa ó de comprobación de hipótesis casuales.

El estudio de esta investigación se basa en el diseño de un colector solar para reducir el impacto térmico, la cual requiere un dominio y una profunda investigación acerca de los estudios relacionados con transferencia de calor, mecánica de los fluidos, termodinámica, resistencia de los materiales y SolidWorks, para así lograr a realizar el diseño del colector solar, obteniendo resultados visibles cercanos a los de la realidad por la que se ve afectada el fenómeno solar por lo cual es ejecutable realizar un hipótesis, lo cual conlleva a que este trabajo de grado sea de investigación exploratoria.

### **3.4 Población y muestra**

La población es un conjunto de individuos de la misma clase, limitada por el estudio. Según Tamayo y Tamayo, (1997), “La población se define como la totalidad del fenómeno a estudiar donde las unidades de población poseen una característica común la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación” (p.114). Entonces, una población es el conjunto de todas las cosas que concuerdan con una serie determinada de especificaciones.

La muestra es la que puede determinar la problemática ya que le es capaz de generar los datos con los cuales se identifican las fallas dentro del proceso. Según Tamayo, T. Y Tamayo, M (1997), afirma que la muestra “Es el grupo de individuos que se toma de la población, para estudiar un fenómeno estadístico” (p.38).

Para este caso de estudio la población y muestra está conformada por los estudiantes, personal docente, personal administrativo y personal de mantenimiento.

### **3.5 Instrumentos de recolección de datos**

Para lograr llevar a cabo la recolección de datos es necesario optar por un recurso de obtención que permita acercarse a los fenómenos y así extraer información de total validez. Se establecieron técnicas e instrumentos para dicha recolección para la ejecución del trabajo de investigación, estas modalidades fueron las que lograron permitir el análisis, desarrollo y problemática del problema para realizar conclusiones y concretar una solución viable para el mismo.

Según Hurtado “La selección de técnicas e instrumentos de recolección de datos implica determinar por cuáles medios o procedimientos el investigador obtendrá la información necesaria para alcanzar los objetivos de la investigación” (2000) (p.164).

Según Sabino (1992) “Un instrumento de recolección de datos es, en principio, cualquier recurso de que se vale el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información” (p.114).

Los instrumentos usados para la extracción de datos cinta métrica, termómetro, transportador, veleta, cámara fotográfica.

### **3.6 Fases Metodológicas**

#### **Fase I: Determinar los requerimientos necesarios para evaluar el impacto solar que ocurre en la escuela de Ing. Mecánica en la Universidad José Antonio Páez.**

Para determinar la incidencia de esta, se utilizaron los registros de incidencia solar registrados por la Nasa, de esta manera se puede obtener cuanto calor es irradiado hacia la región de estudio, en este caso, el campus de la Universidad José Antonio Páez, por medio del uso de las coordenadas donde se localiza este.

#### **Fase II: Determinar la factibilidad técnica, operativa y económica del diseño del colector solar.**

Se realizará el diseño con los componentes más económicos pero viables, para poder realizar un colector térmico que pueda operar de manera óptima y que no resulte tan costoso, ya que se están cubriendo todas las variables posibles para que el diseño opere de manera adecuada y con una vida útil prolongada, y comparando los beneficios físicos y económicos con respecto a las desventajas, podremos determinar su factibilidad económica.

#### **Fase III: Diseñar el colector solar más eficiente para la escuela de Ing. Mecánica en la Universidad José Antonio Páez.**

Se puede lograr un diseño eficiente realizando un estudio completo de las variables que pueden afectar el diseño del colector térmico, como por ejemplo, fatiga térmica, resistencia de los soportes, pérdidas en las tuberías, etc. Seleccionar la bomba

más adecuada y los materiales más pertinentes definirán el éxito del diseño, por medio de cálculos de pérdidas, estudio de resistencia de los materiales y análisis de transferencia de calor, se podrá realizar el colector solar más eficiente para la escuela de Ing. Mecánica de la Universidad José Antonio Páez.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

**4.1 Determinar los requerimientos necesarios para evaluar el impacto solar que ocurre en la escuela de Ing. Mecánica en la Universidad José Antonio Páez.**

#### **4.1.1 Análisis del área.**

Con la premisa establecida, los colectores solares serán colocados en el techo de la escuela de Ingeniería Mecánica, de la Universidad José Antonio Páez, en el municipio San Diego, estado Carabobo, Venezuela. (Ver figura 38)



**Fig. 38.** Panorámica del techo de la Escuela de Ingeniería Mecánica

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Como primer punto de estudio, se tiene que ubicar cartográficamente donde se encuentra ubicado los puntos de estudios, por tratarse de un área, se buscan los dos puntos de coordenadas que encierren nuestra área de estudio, para lograrlo, se utiliza una herramienta muy útil que provee Google de manera gratuita, llamada Google Maps, como se muestra a continuación en la figura 39:



**Fig. 39.** Vista Satelital de la Escuela de Mecánica.

Fuente: <https://www.google.com/maps>

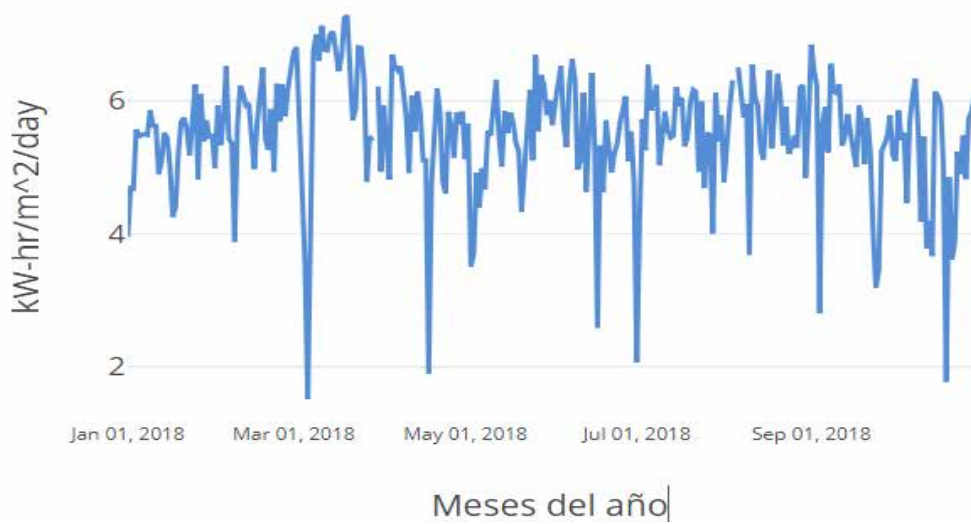
#### **4.1.2 Análisis de Factores Físicos.**

Una vez ubicados con la herramienta Google Maps, se constata que las coordenadas mostradas en la Fig 39, son las correctas, por lo tanto, con este dato, se usa una segunda herramienta, un programa satelital de la NASA, que provee información suficiente para tomar acción sobre los parámetros de diseño del colector térmico. Seleccionando valores en el grupo de coordenadas dentro del parámetro marcado de estudio, el programa de la NASA arroja las siguientes gráficas. (Ver figura 40)



**Fig. 40.** Temperatura máxima a los 2 m. sobre el suelo (2018).

Fuente: <https://power.larc.nasa.gov/>



**Fig. 41.** Toda la incidencia solar en la superficie de forma horizontal.

Fuente: <https://power.larc.nasa.gov/>



**Fig. 42** Velocidad del viento a los 10 m.

Fuente: <https://power.larc.nasa.gov/>

#### 4.1.3 Distribución de los Colectores

Con los siguientes datos se obtiene una estructura sólida para comenzar a tomar acción en el diseño del colector solar. Se comienza tomando las mediciones en el techo de la escuela, para así lograr dimensionar el espacio de trabajo útil para colocar los colectores térmicos. (Ver figura 43 y 44)



**Fig. 43.** Espaciamientos dimensionados de las zonas de trabajo útil para colocar los colectores térmicos en vista satelital.

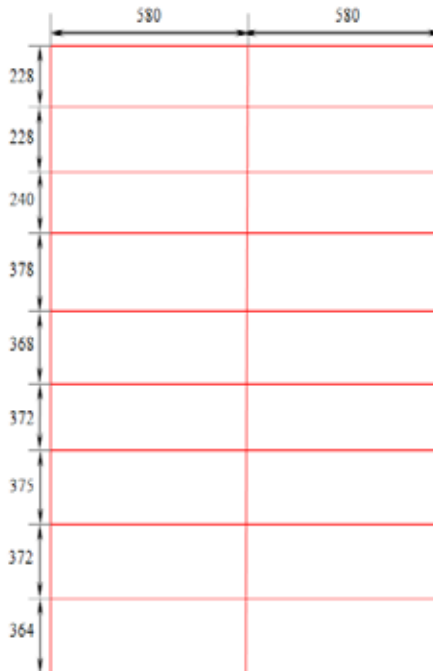
Fuente: <https://www.google.com/maps>



**Fig. 44.** Espaciamientos vistos desde una perspectiva superior (Foto propia).

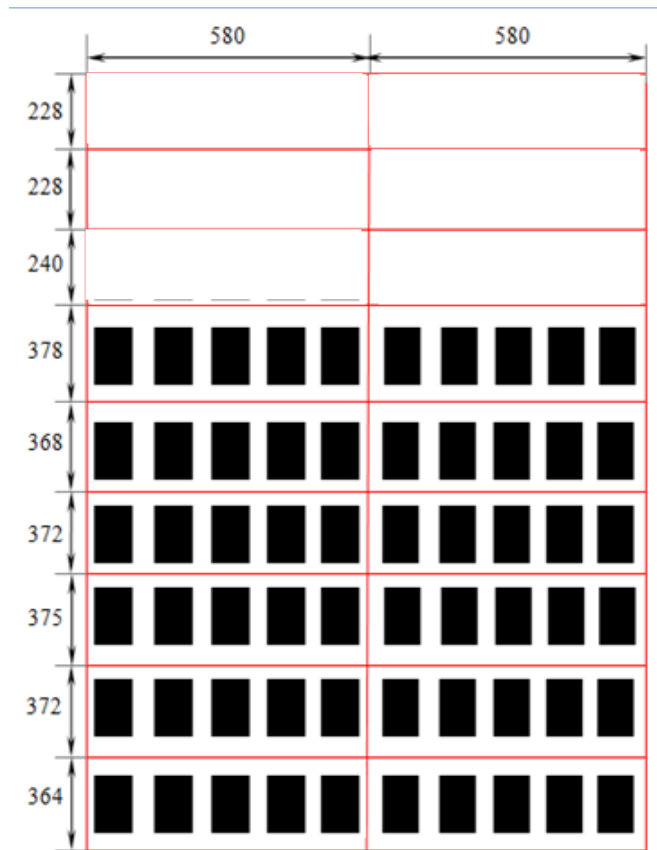
Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Cabe destacar que todas las mediciones se tomaron con la mayor precisión posible y cumpliendo todas las normas de seguridad necesarias para poder tener acceso a la parte superior del edificio de la Escuela de Ingeniería Mecánica. (Ver figura 45 y 46).



**Fig. 45.** Esquema de las dimensiones de las áreas útiles para la instalación.

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

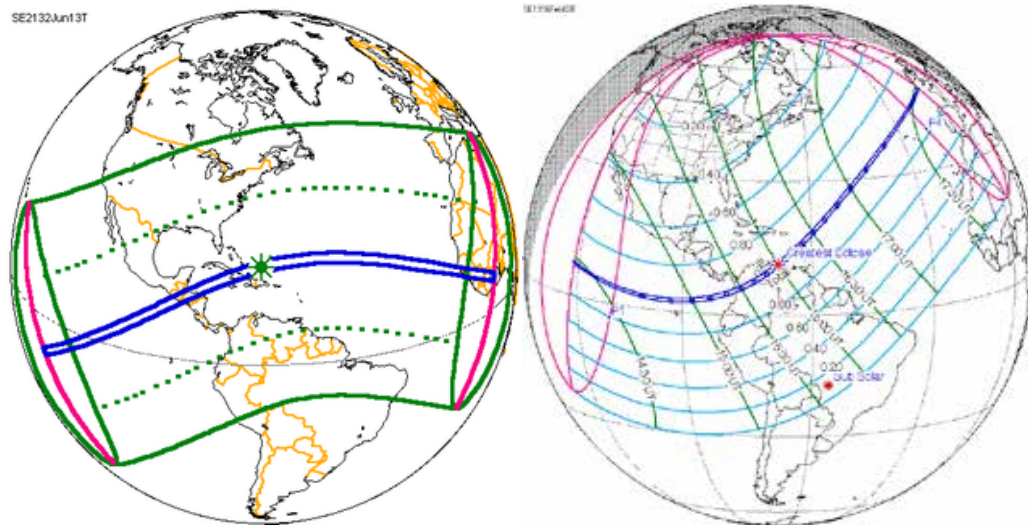


**Fig. 46.** Distribución real de los colectores solares en el techo de la Escuela de Ingeniería mecánica

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Una vez definido la distribución real de los colectores, se procede a realizar un estudio más profundo del colector que se implementará y sobre sus características térmicas, aplicaciones y análisis de los materiales que lo componen, para poder definir el diseño térmico, posteriormente al estudio térmico, se procede a realizar un estudio del flujo y la pérdidas del mismo dentro del sistema de tuberías, junto con los componentes y accesorios que forman parte dentro de todo el conjunto de este sistema. Cabe destacar que se realizara una mención de los cálculos necesarios para futuras investigaciones relacionadas con este tema para estudios mas amplios o diferentes aplicaciones del mismo.

#### 4.1.4 Trayectoria solar



**Fig. 47.** Trayectoria solar promedio

Tomando en cuenta que la trayectoria solar favorece bastante cualquier equipo que genere energía a partir de la incidencia solar, para el diseño del colector solar se tendrá que asumir trabajar con un ángulo pequeño, entre 10 -20 ya que la incidencia solar es relativamente perpendicular a la superficie, lo que representa una buena oportunidad para un diseño eficiente del colector solar.

#### **4.2 Diseñar el colector solar más eficiente para la escuela de Ing. Mecánica en la Universidad José Antonio Páez.**

Constará de los siguientes elementos:

##### **Estructura Externa del Colector**

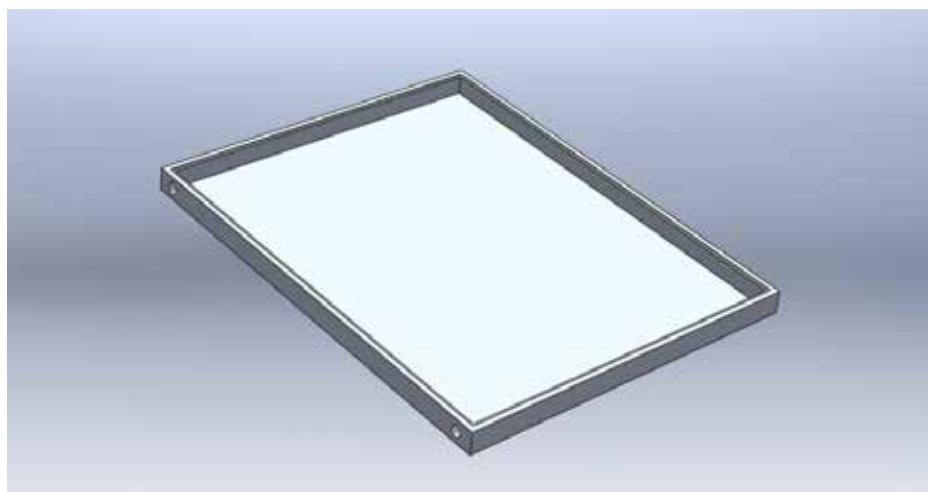
En la **Tabla 1**, se encuentra los materiales con sus propiedades, éstos son los que poseen las mejores cualidades para la construcción de la estructura externa del colector.

**Tabla 1.** Materiales para la estructura externa.

<b>Materiales</b>	<b>Densidad (kg m<sup>3</sup>)</b>	<b>Calor Especifico (J Kg.K)</b>	<b>Conductividad Térmica (W m.K)</b>
Aluminio	2770	903	209-230
Acero Galvanizado	7850	460	47-58
Acero Negro	7861	284	44-65
Madera	3600	1760	0,8

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

El material debe poseer las siguientes características: buena resistencia a la intemperie, alta conductividad térmica, alto calor específico, ser ligero y ensamblaje sencillo. Por lo tanto, la selección más idónea resultaría ser el aluminio como material de la carcasa externa. (Ver fig. 45)



**Fig. 48.** Modelado de estructura externa del colector.

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

### Cubierta Superior del Colector

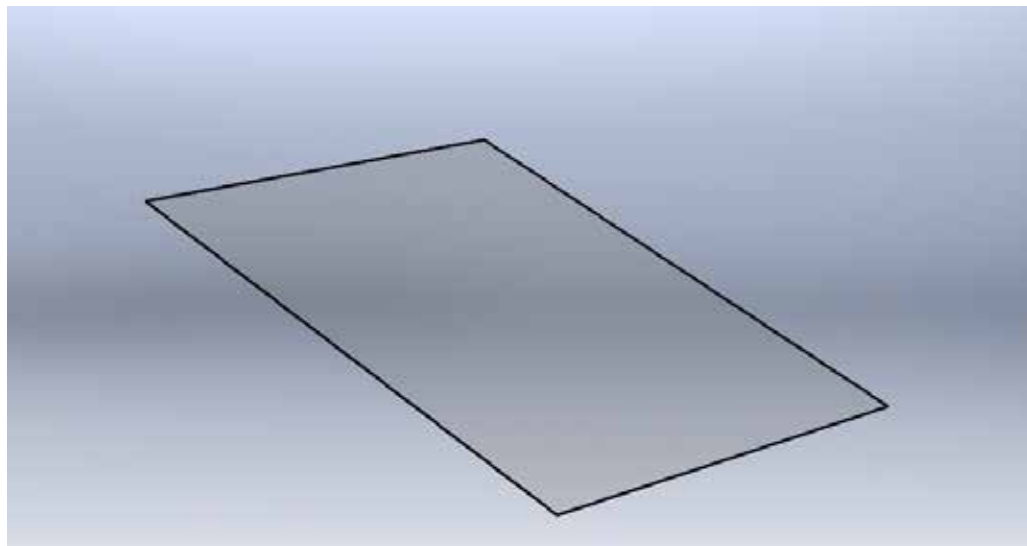
En la **Tabla 2**, se encuentran los materiales con sus propiedades, éstos son los que poseen mejores cualidades para la construcción de la cubierta superior.

**Tabla 2.** Materiales para la cubierta superior

<b>Materiales</b>	<b>Densidad</b> ( <i>kg m<sup>3</sup></i> )	<b>Calor Específico</b> ( <i>J Kg .K</i> )	<b>Conductividad Térmica</b> ( <i>W m.K</i> )	<b>Índice de refracción</b>
Vidrio	2500	833	0,81	1,51
Policarbonato	1200	1200	0,21	1,585
Acrílico	1190	1450	0,18	1,49

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Las características del material deben ser las siguientes: soportar inclemencias del ambiente, alta conductividad térmica, de preferencia ser ligero y mayor índice de refracción. Por lo tanto, la selección más idónea resultaría ser el vidrio como material para la cubierta superior. (Ver fig. 49)



**Fig. 49.** Modelado de la cubierta superior.

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

### Tubería interna del Colector

En la **Tabla 3** se encuentra los materiales con sus propiedades, estos son los que tienen las mejores cualidades para la construcción de la tubería interna.

**Tabla 3.** Materiales para la tubería interna.

<b>Materiales</b>	<b>Densidad</b> ( <i>kg m<sup>3</sup></i> )	<b>Calor Especifico</b> ( <i>J Kg .K</i> )	<b>Conductividad Térmica</b> ( <i>W m.K</i> )
Aluminio Corrugado	2700	909	209-232
Acero Galvanizado	7850	460	47-58
Cobre	8960	385	372-385
PVC	1370	1000-1500	0,12-0,25

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Las características del material deben ser las siguientes: resistir la intemperie, alta conductividad térmica, fácil ensamble, bajo calor específico. Se seleccionó el Cobre como material idóneo para la tubería interna.

Para ensamblar la parrilla se seleccionó tubos rígidos de cobre tipo M de ½ y 1 [pulgada] (**Anexo B**), como indica Chacón, (2015), “Los modelos de colectores solares del mercado por lo general presentan esta dimensión de tubería”. En la Tabla 4, se identifican las características.

**Tabla 4.** Elección de material para tubería interna.

<b>Medida Nominal</b> ( <i>pulg.</i> )	<b>Diámetro Exterior</b> ( <i>pulg.</i> )	<b>Espesor de Pared</b> ( <i>pulg.</i> )	<b>Peso por Tramo</b> ( <i>lb.</i> )	<b>Presión Máxima</b> ( <i>lb. pulg.<sup>2</sup></i> )
½	0,625	0,028	4,083	4,032

1	1,125	0,035	9,310	2,800
---	-------	-------	-------	-------

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Para el diseño de la parrilla, “La distancia entre tubos paralelos suele estar en el rango de 100 a 120 (mm) y resulta del compromiso entre maximizar la transferencia de calor al fluido de trabajo y minimizar los costos de materiales y de fabricación” (Quinteros, 2012).

En la **Figura 50**, se encuentra el prototipo realizado en software CAD.



**Fig. 50.** Modelado de la tubería interna.

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

### Placa Absorbedora

Se encarga de transformar la radiación solar en energía térmica. Es una superficie metálica plana, en la que se encuentra colocada la parrilla. En la **Tabla 5**, se encuentra los materiales con sus propiedades, éstos son los materiales que tienen mejor características para utilizarlos como placa Absorbedora.

**Tabla 5.** Elección de material para la placa Absorbedora

<b>Materiales</b>	<b>Densidad</b> ( <i>kg m<sup>3</sup></i> )	<b>Calor Especifico</b> ( <i>J Kg . K</i> )	<b>Conductividad</b> <b>Térmica</b> ( <i>W m. K</i> )
Acero Galvanizado	7850	460	47-58
Aluminio	2770	903	209-230

Acero Negro	7861	284	44-65
-------------	------	-----	-------

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

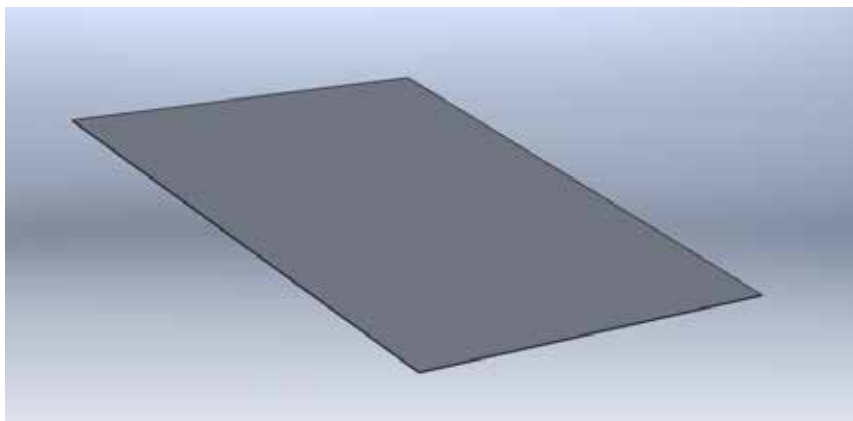
Las características del material deben ser las siguientes: resistir la intemperie, alta conductividad térmica, bajo calor específico. Se seleccionará el Aluminio, ya que este posee una buena resistencia a la intemperie y buena conductividad termica, en la **Tabla 6** se identifican sus características principales, y la información completa:

**Tabla 6.** Características principales del Aluminio.

Material	Densidad ( $kg\ m^3$ )	Calor Especifico ( $J\ Kg.K$ )	Conductividad Térmica ( $W\ m.K$ )
Aluminio	2770	903	209-230

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

En la Figura 51, se encuentra el prototipo de la placa Absorbedora realizado en software CAD.



**Fig. 51.** Modelado de la placa Absorbedora.

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

### Tubería Externa

En la **Tabla 7**, se encuentra los materiales con sus propiedades, éstos son los que tienen mejores cualidades para la construcción de la tubería externa.

**Tabla 7.** Elección de material para la tubería externa.

<b>Material</b>	<b>Densidad</b> ( <i>kg cm<sup>3</sup></i> )	<b>Calor Especifico</b> ( <i>J Kg .K</i> )	<b>Conductividad</b> <b>Térmica</b> ( <i>W m.K</i> )
Acero Galvanizado	7850	460	47-58
Cobre	8960	385	372-385
PVC	1370	1000-1500	0,12-0,25

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

El material debe tener las siguientes características: resistir la intemperie, tener baja conductividad térmica, ser liviano, alto calor específico y fácil ensamble. Se selecciona el PVC como el material más ideal para las tuberías externas.

Para ensamblar la tubería externa se seleccionó tubos de ½ [pulgada], por su bajo costo y para que el flujo del líquido entre correctamente al interior del contenedor.

### **Fluido Caloportador**

En la **Tabla 8**, se encuentra los diferentes fluidos con sus propiedades, éstos son los que tienen mejores cualidades para mantener la temperatura en la tubería interna.

**Tabla 8.** Opciones de fluidos Caloportador.

<b>Opciones</b>	<b>Densidad</b> ( <i>kg m<sup>3</sup></i> )	<b>Viscosidad</b> ( <i>kg m.s</i> )	<b>Conductividad</b> <b>Térmica</b> ( <i>W m.K</i> )	<b>Calor</b> <b>Específico</b> ( <i>J Kg .K</i> )
Texatherm 46	868	$46 \times 10^{-3}$	0,1330	1960,67
Regal R&O 46	867	$48 \times 10^{-3}$	0,1168	2764,13
Heliothermo 2250 UF	865	$25 \times 10^{-3}$	0,0865	2093,4

Multigrado Térmico	875	$37 \times 10^{-3}$	0,6922	4605,48
Multigrado Térmico sintético	873	$16 \times 10^{-3}$	0,0173	3655,08
Agua (24 C)	997	$91 \times 10^{-3}$	0,6052	4180,4

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Las características del fluido deben ser las siguientes: baja viscosidad, alta conductividad térmica, bajo calor específico. Se selecciona agua, ya que un objetivo del diseño es poder aprovechar el agua caliente del colector para otras funciones, aunque, sin embargo, posee unas buenas características para el diseño del colector. También se muestra otros tipos de fluidos caloportadores para estudios comparativos o datos para investigaciones posteriores.

### **Aislante**

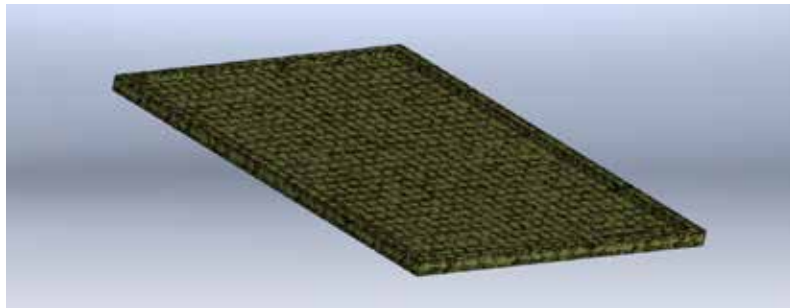
En la **Tabla 9**, se encuentra los diferentes tipos de aislante que se pueden conseguir en el mercado.

**Tabla 9.**

<b>Materiales</b>	<b>Densidad (<math>kg\ m^3</math>)</b>	<b>Conductividad Térmica(<math>W\ m.K</math>)</b>	<b>Calor Específico (<math>J\ Kg.K</math>)</b>	<b>Absorción de Agua (<math>kg\ m^2</math>)</b>
Lana de Roca	80	0,035	1840	<1.0
Lana de Vidrio	12,1	0,040-0,053	795	<1.0
Espuma de Poliuretano	25	0,037-0,040	1674	<1.0
FoamGlas	115	0,041	1000	<1.0
Poliestireno Expandido	50	0,038	1300	<1.0

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

El material debe de poseer las siguientes características: baja conductividad térmica, repelente al agua, resistente a altas temperaturas. Se selecciona como aislante lana de roca, ya que presenta muy buenas propiedades para el diseño del colector térmico. En la **Figura 52**, se muestra el prototipo elaborado en software CAD.



**Fig. 52.** Modelado del aislante

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

#### 4.2.1 Cálculos del Colector Solar

##### 4.2.1.1 Radiación Global Incidente promedio

Por medio de la herramienta de apoyo aportado por la NASA, de la gráfica 2 se puede extraer la energía solar promedio incidente sobre la escuela de Ingeniería Mecánica.

$$H_t = G_T \cdot t \quad (\text{Ec. 8})$$

Despejando:

$$G_T = \frac{H_t}{t} \quad (\text{Ec. 9})$$

En la **Tabla 10**, se muestra el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 10.** Simbología para la Radiación Global incidente promedio

Símbolo	Valor	Unidad	Definición
$H_T$	5800	$W \ m^2$	Incidencia solar promedio anual por h
$t$	12	H	Horas de luz promedio

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 10** en la ecuación [9], se obtiene como resultado:

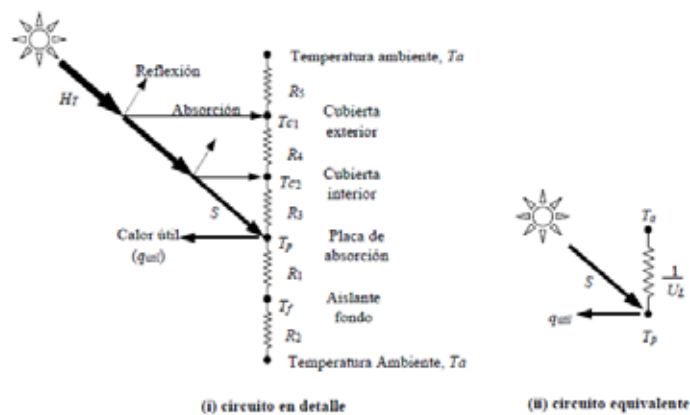
$$G_T = 483,333 \text{ W/m}^2$$

#### 4.2.1.2 Diseño del Colector

Para la obtención de resultados teóricos se seguirán los pasos propuestos en el Manual de teoría para el diseño de Calentadores solares de agua, elaborado por Organización Panamericana de la salud en el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del ambiente y el volumen 1 de Colectores solares planos tratamiento teórico de Genaro Carlos Paz. Luego de realizar algunas consideraciones para el modelo matemático del sistema, se enumera el proceso metodológico a seguir.

#### 4.2.1.3 Calcular coeficiente global de pérdidas de transferencia de calor

La evaluación numérica del coeficiente total de transferencia de calor  $U_L$  requiere determinar las conductancias inferior, superior y lateral en el colector solar. En la **figura 53** se muestra el circuito térmico de un colector solar plano que ayuda a visualizar los fenómenos físicos que se producen en el colector solar y así, a partir de este circuito se plantean las ecuaciones de las conductancias. (Ver fig. 53)



**Fig. 53.** Circuito térmico de un colector solar plano con dos cubiertas

Fuente: DISEÑO DE COLECTORES SOLARES -Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente

### Conductancia en la parte inferior $U_{fo}$

La conductancia se evalúa conociendo la resistencia térmica conductiva  $R_1$  y la resistencia térmica convectiva  $R_2$ .

$$U_{fo} = \frac{1}{R_1 + R_2} \quad (\text{Ec. 10})$$

$R_1$  está dado por la conductividad del aislante  $k_a$  y la longitud transversal del mismo;  $R_2$  está dado por el coeficiente convectivo de transferencia de calor entre la placa de absorción y el ambiente de fondo, el cual en colectores bien aislados es despreciable. Por lo tanto, si  $R_2 \ll R_1$   $R_2$  se desprecia; por lo que la conductancia en la parte inferior sería:

$$U_{fo} = \frac{1}{R_1} = \frac{k_a}{e_a} \quad (\text{Ec. 11})$$

En la **Tabla 11**, se muestra el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 11.** Simbología para la conductancia de la parte inferior

Símbolo	Valor	Unidad	Definición
$k_a$	0,035	W m.K	Coficiente conductivo del aislante
$e_a$	0,04	M	Espesor de la capa de aislante de fondo

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 11** en la ecuación [11], se obtiene como resultado:

$$U_{fo} = 0,875 \frac{W}{m^2.K}$$

### Conductancia en la parte lateral $U_{la}$

Las pérdidas de calor a través de los lados del colector se evalúan de manera similar, aplicando la siguiente ecuación:

$$U_{la} = \frac{k_a \cdot P_l \cdot h}{e_l \cdot A_{cs}} \quad (\text{Ec. 12})$$

En la **Tabla 12**, se visualiza el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.  
(Ver tabla 12)

**Tabla 12.** Simbología para la conductancia de la parte lateral

Símbolo	Valor	Unidad	Definición
$k_a$	0,035	W m.K	Coeficiente conductivo del aislante
$P_l$	6,6	M	Perímetro del colector solar
	0,125	M	Altura del colector
$e_l$	0,04	M	Espesor de la capa de aislante lateral
$A_{cs}$	2,52	m <sup>2</sup>	Área del colector solar

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 12** en la ecuación [12]; se obtienen como resultado:

$$U_{la} = 0,2864 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

### Conductancia en la parte superior $U_{sup}$

Esta conductancia se evalúa determinando las resistencias térmicas  $R_3, R_4$ , y  $R_5$ , las cuales se muestran en la figura 50. El calor se transfiere entre la placa de absorción y la cubierta interior por convección y radiación en forma paralela; esto mismo, también ocurre entre las dos cubiertas, interior y exterior. Los mismos mecanismos de transferencia son igualmente importantes en la disipación de calor por parte de la cubierta exterior hacia el ambiente.

$$U_{sup} = \frac{1}{R_3 + R_4 + R_5} \quad (\text{Ec. 13})$$

El proceso de cálculo de  $R_3, R_4$  y  $R_5$  es iterativo, además requiere de datos como las temperaturas de las cubiertas y los coeficientes convectivos de transferencia de calor, que por lo general son difíciles de evaluar; esto hace que el cálculo de estas resistencias térmicas sea complicado.

La ecuación propuesta por Hottel y Wertz para el cálculo de la conductancia por la parte superior, simplifica el procedimiento indicado anteriormente. Esta ecuación se utiliza para temperaturas de la placa de absorción entre 25 y 225 °C, con un margen de error aproximado de  $\pm 0,3$  W/m<sup>2</sup>.

$$U_{sup} = \left[ \frac{N}{\left(\frac{c}{T_p}\right) \left(\frac{T_p - T_a}{N+f}\right)^e} + \frac{1}{h_v} \right]^{-1} + \frac{\sigma(T_p + T_a)(T_p^2 + T_a^2)}{[p + 0,00591Nh_v]^{-1} + \frac{(2N+f-1)}{c} - N} \quad (\text{Ec. 14})$$

Donde:

$$\bar{v} = 5,7 + 3,8 \times v_v \quad (\text{Ec. 15})$$

$$f = \left(1 - 0,04 \bar{v} + 0,0005 \bar{v}^2\right) (1 + 0,058N) \quad (\text{Ec. 16})$$

$$c = 520(1 - 0,000051\theta^2) \quad (\text{Ec. 17})$$

$$e = 0,43 \left(1 - \frac{100}{T_p}\right) \quad (\text{Ec. 18})$$

Para el cálculo de la temperatura de la placa absorberdora, “se realizará una sucesión de cálculos para poder determinar la temperatura real de la placa absorbedora, por lo tanto, primero asumiremos una temperatura de la placa para realizar los cálculos y finalmente con el resultado final, iteraremos hasta que el valor asumido y el resultado se asemejen” (Paz, 2006).

Se supone:

$$T_c = \frac{T_p + T_a}{2} \quad (\text{Ec. 19})$$

El coeficiente de pérdidas de la superficie superior es el resultado de la convección y radiación entre placas paralelas. La transferencia de energía entre la placa a  $T_p$  y la cubierta de vidrio a  $T_c$  es exactamente la misma que entre la cubierta y el ambiente. Y se expresa en la siguiente ecuación:

$$r_{c-p} = \frac{\sigma(T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \quad (\text{Ec. 20})$$

Para el caso de placas horizontales, flujo de calor hacia arriba:

$$p_{-c} = 1,638 \cdot \frac{T^{0,281}}{l^{0,157}} \cdot e^{-0,00105183 \cdot \bar{T}} \quad (\text{Ec. 21})$$

Donde:

$$T = T_p \quad T_c \quad (\text{Ec. 22})$$

$$\bar{T} = \frac{T_p + T_c}{2} \quad (\text{Ec. 23})$$

Finalmente:

$$T'_c = T_p \frac{U_{sup} \cdot (T_p - T_a)}{h_{p-c} + h_{rc-p}} \quad (\text{Ec. 24})$$

Una vez calculado el valor de la  $T'_c$ , de ser similar al asumido al comienzo, se procederá a usar ese valor como la temperatura real de la placa absorbadora, de no serlo, se debe de iterar los resultados de la temperatura hasta que estos sean similares.

En la **Tabla 13**, se muestra el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 13.** Simbología para la conductancia de la parte superior y Temperatura real de la placa absorbadora.

Símbolo	Valor	Unidad	Definición
N	2	-	Número de cubiertas en el panel
$T_p$	373,15	K	Temperatura promedio de la placa asumida
$T_a$	304,27	K	Temperatura del ambiente
$\sigma$	$5,76 \times 10^{-8}$	W m <sup>2</sup> K <sup>4</sup>	Constante de Stefan-Boltzman
p	0,88	-	Emitancia de la placa Absorbadora

$c$	0,88	-	Emitancia de la cubierta
$\theta$	0,1745	Radianes	Angulo de inclinación del colector
$v_v$	4	m/s	Velocidad promedio del viento

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 13** en las ecuaciones [14-24]; se obtienen como resultados:

$$U_{sup} = 3,8716 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$T_p = 322,15 K$$

$$v = 20,9$$

$$f = 0,4267$$

$$C = 519,999$$

$$e = 0,2965$$

Una vez calculado todas las conductancias presentes en el colector solar, se procede a realizar la adición de todas para calcular el coeficiente global de pérdidas de transferencia de calor.

$$U_L = U_{sup} + U_{sup} + U_{la} \quad (\text{Ec. 25})$$

$$U_L = 5,0330 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

#### 4.2.1.4 Eficiencia geométrica de una superficie plana

Se define F como la eficiencia geométrica de una superficie plana. Así:

$$F = \frac{\tanh[c(W-D)/2]}{c(W-D)/2} \quad (\text{Ec. 26})$$

Donde:

$$c = \sqrt{\frac{U_L}{k_p \cdot \delta}} \quad (\text{Ec. 27})$$

En la **Tabla 14**, se visualiza el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 14.** Simbología para la eficiencia geométrica de una superficie plana

Símbolo	Valor	Unidad	Definición
W	0,1	M	Separación entre los tubos de la parrilla
D	0,01587	M	Diámetro externo de la tubería
$U_L$	5,0330	$W \ m^2 \cdot K$	Coefficiente global de pérdidas por TC
$k_p$	237	$W \ m \cdot K$	Conductividad térmica de la placa absorbidora
$\delta$	0,001	M	Espesor de la placa absorbidora

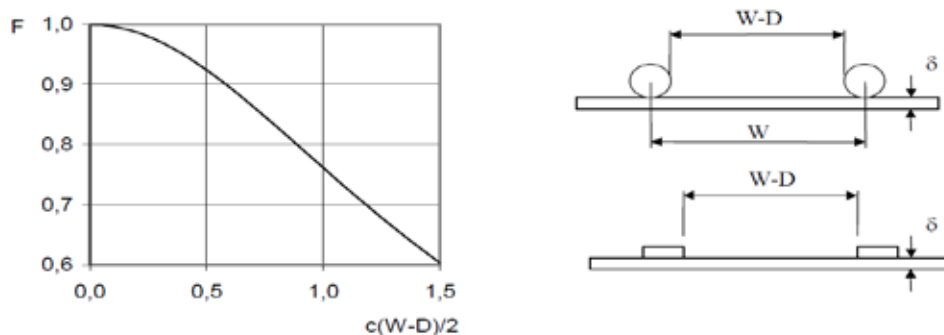
Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la Tabla 15 en las ecuaciones [26] y [27], se obtiene como resultados:

$$F = 0,9876$$

$$c = 4,6083$$

La eficiencia geométrica  $F$  varía de acuerdo con el parámetro  $c(W - D)/2$ , según se muestra en la **figura 54**.



**Fig. 54.** Variación de la eficiencia geométrica en función del parámetro  $c(W - D)/2$

Fuente: DISEÑO DE COLECTORES SOLARES -Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente

#### 4.2.1.5 Densidad y Temperatura media del fluido dentro de la parrilla

La temperatura del agua potable de la red generalmente oscila entre 22 y 24°C en el día en San Diego. Por esta razón tomando un margen de seguridad se puede considerar que no será menor a los 20°C (temperatura de entrada del agua al colector). “La temperatura máxima a esperar en un colector solar plano teóricamente bordea los 70°C, tomando cierto margen de seguridad se puede diseñar para 80°C” (Miguel, 2011). Entonces, con los siguientes valores del agua, se determina su densidad (**Anexo F y G**):

$$T_{fe} = \quad ,FS: T'_{fe} = \quad \rho_e = 998,23 \text{ kg/m}^3$$

$$T_{fs} = \quad ,FS: T'_{fs} = \quad \rho_s = 971,23 \text{ kg/m}^3$$

Donde:

$$\rho_{ag} = \frac{\rho_e + \rho_s}{2} \quad (\text{Ec. 28})$$

$$\rho_{ag} = 984,915 \text{ kg/m}^3$$

Interpolando:

$$998,23 \text{ kg m}^3$$

$$984,915 \text{ kg m}^3 \quad 55,932$$

$$971,23 \text{ kg m}^3$$

$$T_{pa} = 55, \quad = 329,082$$

#### 4.2.1.6 Caudal y flujo másico

Se asume una velocidad de circulación del agua dentro del panel basado en los siguientes criterios: la velocidad del flujo de líquidos dentro de tuberías no sobrepasa los 3m/s según el “Manual del Ingeniero de Planta de Robert Rosaler”, la circulación del fluido es natural por ello la velocidad debe ser baja y el régimen de flujo debe ser laminar y para ello la velocidad se asume de 0.1 m/s.

$$Q = v_f \cdot \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \quad (\text{Ec. 29})$$

$$m = Q \cdot \rho_{ag} \quad (\text{Ec. 30})$$

En la **Tabla 15**, se muestra el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 15.** Simbología para el cálculo de caudal y flujo másico.

Símbolo	Valor	Unidad	Definición
$D_i$	0,01384	M	Diámetro interno de la tubería
$v_f$	0,1	$m/s$	Velocidad del fluido
$\rho_{ag}$	984,915	$kg/m^3$	Densidad promedio del agua

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 15** en las ecuaciones [29] y [30], se obtienen como resultados:

$$Q = 15,0504 \times 10^{-8} m^3/s$$

$$m = 0,01482 kg/s$$

#### 4.2.1.7 Número de Prandtl y Grashof

$$P_r = \frac{c_p \cdot \mu}{k_{ag}} \quad (\text{Ec. 31})$$

$$G_r = \frac{D^3 \cdot \rho_{ac}^2 \cdot \beta \cdot g \cdot (T_p - T_{prom})}{\mu^2} \quad (\text{Ec. 32})$$

Donde:

$$\beta = \frac{1}{T_{prom}} \quad (\text{Ec. 33})$$

El valor de la temperatura promedio se asume basándose en la teoría de (Bérriz & Manuel, 2008) que indica “Para colectores solares de placa plana un valor

considerable de temperatura promedio se encuentra hasta  $T_p$  menos (-) 10 [°C] de la temperatura de la placa”.

En la **Tabla 16**, se muestra el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 16.** Simbología para el cálculo de Prandtl y Grashof.

Símbolo	Valor	Unidad	Definición
D	0,01587	M	Diámetro externo de la tubería
$k_{ag}$	0,6052	$W m.K$	Conductividad térmica del Agua
$c_p$	4180,4	$J Kg.K$	Calor específico del Agua
$\mu$	$91 \times 10^{-3}$	$kg m.s$	Viscosidad del Agua
$\rho_{ag}$	<b>984,915</b>	$kg m^3$	Densidad promedio del Agua
G	9,81	$m s^2$	Constante gravitacional
$T_p$	322,15	K	Temperatura promedio de la placa asumida
$T_{prom}$	312,15	K	Temperatura promedio del colector

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 16** en las ecuaciones [31], [32] y [33], se obtienen como resultados:

$$P_r = 628,5796$$

$$G_r = 147,135$$

$$\beta = 3,2035 \times 10^{-3} K^{-1}$$

#### 4.2.1.8 Coeficiente convectivo de la tubería con respecto al fluido Caloportador.

$$a = \frac{Nu \cdot k_{ag}}{D} \quad (\text{Ec. 34})$$

Donde:

Para cuando  $G_r, P_r$  se encuentra debajo de  $\times 10^8$  el **Flujo es Laminar**:

$$N_u = 0,56 (G_r \cdot P_r)^{0,25} \quad (\text{Ec. 35})$$

Para cuando  $G_r \cdot P_r$  se encuentre sobre  $\times 10^8$  el **Flujo es Turbulento**:

$$N_u = 0,13 (G_r \cdot P_r)^{0,33} \quad (\text{Ec. 36})$$

En la **Tabla 17**, se muestra el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 17** Simbología para el coeficiente convectivo

Símbolo	Valor	Unidad	Definición
$k_{ag}$	0,6052	$W \ m.K$	Conductividad térmica del Agua
$D$	0,01587	M	Diámetro nominal de la tubería
$G_r$	147,135	-	Número de Grashof
$P_r$	628,5796	-	Numero de Prandtl

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 17** en las ecuaciones [34] y [36], se obtiene como resultados:

$$N_u = 9,7657 [\text{Flujo laminar}]$$

$$a = 372,299 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

#### 4.2.1.9 Factor de eficiencia del colector

$F'$  se conoce como el factor de eficiencia del colector y está dado por la relación:

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{W \left[ \frac{1}{U_L [D + ((W-D) F)]} + \frac{1}{\pi D_i h_a} \right]} \quad (\text{Ec. 37})$$

Físicamente, el numerador corresponde a la resistencia térmica entre la superficie del colector y el aire ambiente, mientras que el denominador constituye la resistencia térmica entre el fluido y el ambiente. El factor de eficiencia del colector  $F'$  es una función de  $F$ ,  $a$  y  $U_L$  dependen ligeramente de la temperatura, por ello,  $F'$  se considera un parámetro de diseño.

En la **Tabla 18**, se muestra el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 18.** Simbología para el Factor de eficiencia del colector

Símbolo	Valor	Unidad	Definición
F	0,9876	-	Eficiencia geométrica de una superficie plana
$D_i$	0,01384	M	Diámetro interno de la tubería
$U_L$	5,0330	$W \ m^2.K$	Coefficiente global de pérdidas por TC
W	0,1	M	Separación entre los tubos de la parrilla
$a$	372,299	$W \ (m^2.K)$	Coefficiente convectivo Tubo-Fluido

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 18** en la ecuación [37], se obtiene como resultado:

$$F' = 0,96008$$

#### 4.2.1.10 Temperatura de salida del fluido

$$T_{fs} = \left[ e^{\left( \frac{-A_e U_L F'}{m c_p} \right)} \left( T_{pa} \quad T_a \quad \frac{S}{U_L} \right) \right] + \frac{S}{U_L} + T_a \quad (\text{Ec. 38})$$

Donde:

$$S = G_t \tau \alpha \quad (\text{Ec. 39})$$

En la **Tabla 19**, se visualiza el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 19** Simbología para la temperatura de salida del flujo

Símbolo	Valor	Unidad	Definición
$A_e$	2,355	$m^2$	Área efectiva del colector solar
$m$	0,01482	$kg \ s$	Flujo en la tubería del colector
$U_L$	5,0330	$W \ (m^2.K)$	Coefficiente global de pérdidas por TC

$F'$	0,96008	-	Factor de eficiencia del colector
$c_p$	4180,4	$J Kg . K$	Calor especifico del agua
$T_{pa}$	329,082	K	Temperatura promedio del agua
$T_a$	304,27	K	Temperatura ambiente
$G_t$	483,333	$W m^2$	Radiación Global incidente promedio
$\tau$	0,89	-	Transmitancia de la cubierta
$\alpha$	0,88	-	Absortividad del recubrimiento de la placa Absorbedora

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 19** en las ecuaciones [38] y [39]; se obtienen como resultados:

$$T_{fs} = 337,825 \text{ K} = 64,68$$

$$S = 387,15 \text{ W } m^2$$

#### 4.2.1.11 Temperatura máxima que puede alcanzar el fluido

Mediante la siguiente ecuación se determina la temperatura máxima que puede alcanzar un colector plano. Este valor es importante en la selección de los materiales que constituyen un colector. Si bien la eficiencia térmica del colector es igual a cero a esta temperatura, su importancia radica en que en condiciones de estancamiento (o flujo igual a cero), la temperatura que puede alcanzarse en el interior del colector sobrepasaría el límite de operación del aislante, empaques, etc. Se expresa de la siguiente manera:

$$T_{fs,máx.} = T_a + \frac{S}{U_i} \quad (\text{Ec. 40})$$

En la **Tabla 20**, se muestra el valor, unidad y lo que representa cada símbolo. (Ver tabla 20)

**Tabla 20.** Simbología para la temperatura máxima de salida del flujo

Símbolo	Valor	Unidad	Definición
$T_a$	304,27	K	Temperatura ambiente
$U_L$	5,0330	$W (m^2.K)$	Coefficiente global de pérdidas por TC
$S$	387,15	$W m^2$	Radiación absorbida

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 20** en la ecuación [40], se obtiene como resultado:

$$T_{fs,máx.} = 381,191 K = 108,$$

#### 4.2.1.12 Factor de Remoción de Calor

Al conocer la distribución de la temperatura en el fluido, se define el factor de remoción de calor  $F_r$  como el parámetro que relaciona el calor de calentamiento que se obtiene efectivamente en el colector, con el que se obtendría si toda la superficie del colector se encontrara a la temperatura del fluido a la entrada.

$$F_r = \frac{m c_p}{U_L A_e} \left[ 1 - e^{\left( -\frac{U_L F' A_e}{m c_p} \right)} \right] \quad (\text{Ec. 41})$$

En la **Tabla 21**, se muestra el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 21.** Simbología para la temperatura de salida del flujo

Símbolo	Valor	Unidad	Definición
$m$	0,01482	$kg s$	Flujo en la tubería del colector
$c_p$	4180,4	$J Kg.K$	Calor específico del agua
$A_e$	2,355	$m^2$	Área efectiva del colector solar
$U_L$	5,0330	$W (m^2.K)$	Coefficiente global de pérdidas por TC

$F'$	0,96008	-	Factor de eficiencia del colector
------	---------	---	-----------------------------------

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 21** en la ecuación [41], se obtiene como resultado:

$$F_r = 0,8770$$

#### 4.2.1.13 Calor útil aprovechado por el colector

$$|Q_u| = A_e F_r [S - U_L(T_{ent} - T_a)] \quad (\text{Ec. 42})$$

En la **Tabla 22**, se visualiza el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 22**

Símbolo	Valor	Unidad	Definición
$A_e$	2,355	$m^2$	Área efectiva del colector solar
$F_r$	0,8770	-	Factor de Remoción de Calor
$S$	387,15	$W m^2$	Radiación absorbida
$U_L$	5,0330	$W (m^2 \cdot K)$	Coefficiente global de pérdidas por TC
$T_{ent}$	296,15	K	Temperatura de entrada del fluido
$T_a$	304,27	K	Temperatura ambiente

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 22** en la ecuación [42], se obtiene como resultado:

$$|Q_u| = 884,2325 W$$

#### 4.2.1.14 Eficiencia del Colector Solar

$$\eta_{cs} = \frac{Q_u}{A_{cs} G_t} \quad (\text{Ec. 43})$$

$$e = \frac{Q_u}{A_e G_t} \quad (\text{Ec. 44})$$

En la **Tabla 23**, se visualiza el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 23.** Simbología para la eficiencia

<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Definición</b>
$Q_u$	666,0525	$W$	Calor útil
$A_{cs}$	2,52	$m^2$	Área bruta del colector solar
$A_e$	2,355	$m^2$	Área efectiva del colector solar
$G_t$	483,333	$W m^2$	Radiación solar

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 23** en la ecuación [43] y [44] se obtiene como resultado:

$$c_{cs} = 0,7559 = 75,59\%$$

$$e = 0,7766 = 77,66\%$$

#### 4.2.1.15 Cálculo de Pérdidas de calor

El balance de energía permite determinar el calor útil transmitido al agua para establecer la eficiencia del colector solar o las pérdidas de calor hacia el ambiente por conducción, convección y radiación en el panel  $q_{pcs}$ . La energía solar recibida se denomina irradiación global (irradiación directa más irradiación difusa). La radiación global que incide sobre el colector solar  $G_t A_e$ , disminuye su valor como resultado de las características propias de reflexión y absorción de la cubierta del colector; por ello, solo parte de esta radiación,  $G_t A_e (\tau\alpha)$ , es empleada como calor para calentar el agua  $q_{\text{útil}}$ ; la otra parte se escapa en forma de pérdidas y la parte restante constituye el almacenamiento de energía interna en el colector mismo  $dU dt$ , que usualmente es despreciable.

Este balance de energía se expresa analíticamente de la siguiente manera:

$$E_{ent} - E_{sal} = 0 \quad (\text{Ec. 45})$$

En el panel, el balance es de la siguiente manera:

$$G_t A_e = q_{\text{útil}} + q_{\text{pcs}} + \frac{dU}{dt} \quad (\text{Ec. 46})$$

Donde:

$$\frac{dU}{dt} = 0$$

Sustituyendo y despejando:

$$q_{\text{pcs}} = G_t A_e - q_{\text{útil}} \quad (\text{Ec. 47})$$

En la **Tabla 24**, se visualiza el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 24.** Simbología para las pérdidas de energía del colector solar

Símbolo	Valor	Unidad	Definición
$G_t$	483,333	$W \ m^2$	Radiación Global incidente promedio
$A_e$	2,355	$m^2$	Área efectiva del colector solar
$q_{\text{útil}}$	884,2325	$W$	Calor útil

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 24** en la ecuación [47], se obtiene como resultados:

$$q_{\text{pcs}} = 251,017 \ W$$

#### 4.2.2 Diseño del depósito

##### Almacenamiento

Se debe partir considerando dos aspectos fundamentales que condicionan el diseño, a saber:

- Recurso energético disponible (cantidad de radiación solar incidente).
- Necesidad o demanda energética (necesidad de agua caliente).

Para el caso de la radiación solar incidente se utiliza el programa de la NASA para conocer el recurso energético disponible, más adelante se estudiará diferentes casos con límites climatológicos, para poder conocer la capacidad máxima del colector.

En referencia a la aplicación que tendrá el sistema propuesto se requiere tomar en consideración lo siguiente:

Se asumirá una cantidad comercial de contenedores, lo cual supondría  $1 \text{ m}^3$ , pero se supondrá un factor de seguridad de 2; por lo tanto, se diseñará para una cantidad de  $2 \text{ m}^3$  por suministro total entre todos los depósitos.

La capacidad de almacenamiento térmico CAT depende específicamente de las capacidades caloríficas del material utilizado y de los cambios de temperatura que suceden en el mismo. El agua es un medio ideal de almacenamiento porque tiene una gran capacidad calorífica y por lo tanto una muy buena CAT.

Considerando que la CAT del agua puede ser de  $300 \text{ KJ}/^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2$  de área de colección (Santiago Cabrera, 2011), se puede conocer cuál debe ser el volumen del tanque de almacenamiento por  $\text{m}^2$  de área del colector con la siguiente relación:

$$Vol_t = \frac{CAT}{\rho \cdot c_p} \cdot A_{cs} \quad (\text{Ec. 48})$$

En la **Tabla 25**, se visualiza el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 25.** Simbología para el almacenamiento requerido

Símbolo	Valor	Unidad	Definición
	300	$\text{kJ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	Capacidad de almacenamiento térmico del agua
$\rho$	997	$\text{kg m}^3$	Densidad del agua
$c_p$	4,1804	$\text{kJ Kg} \cdot ^\circ\text{C}$	Calor específico del agua
$A_{cs}$	2,52	$\text{m}^2$	Área bruta del colector solar

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 25** en las ecuaciones [48], se obtiene como resultados:

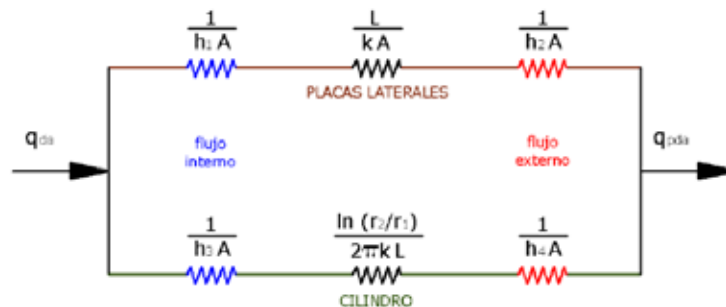
$$Vol_t = 0,18138 m^3 = 181,38 lt.$$

El volumen de diseño es de 181,38 lt. Además, es adecuado incrementar ligeramente este valor para no trabajar con el depósito completamente lleno. Todo esto implica que la temperatura a alcanzar decrezca, pero no se debe olvidar que el rango idóneo tiene como límite inferior de temperatura los 40°C.

Por lo tanto, el depósito diseñado tendrá un .

#### 4.2.2.1 Coeficiente global de pérdidas en el Depósito

Para hallar el valor del coeficiente global de pérdidas de calor en el depósito  $U_{da}$  se requiere examinar el circuito térmico del depósito en forma minuciosa, como se muestra en la figura 55.



**Fig. 55.** Circuito térmico para determinar las pérdidas en el depósito  
Escobar, Ibañez (2019)

#### Suposiciones

- La transferencia de calor desde el depósito hacia el exterior se presenta por
- Se desprecian las pérdidas por radiación puesto que el aislante minimiza ostensiblemente su efecto.
- En todos los casos se supone condiciones completamente desarrolladas.

- El análisis es en estado estable y considerando que no exista consumo doméstico, es decir en circuito cerrado.

#### 4.2.2.2 Flujo interno

- **Flujo interno en el Cilindro**

$$Re = \frac{4.m}{\pi.D_{id}.\mu} \quad (\text{Ec. 49})$$

$$Nu = 4,36 \quad \text{Anexo X} \quad (\text{Ec. 50})$$

$$q_3 = \frac{Nu.k_{ag}}{D_{id}} \quad (\text{Ec. 51})$$

En la **Tabla 26**, se visualiza el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 26.** Simbología para el Flujo interno en el Cilindro

Símbolo	Valor	Unidad	Definición
$m$	0,01482	$kg \ s$	Flujo en la tubería del colector
$D_{id}$	0,493	$m$	Diámetro interno del deposito
$k_{ag}$	0,6052	$W \ m. K$	Conductividad térmica del Agua
$\mu$	$5,96 \times 10^{-4}$	$kg \ m. s$	Viscosidad dinámica del agua a 45

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 26** en las ecuaciones [49] y [51] se obtiene como resultados:

$$Re = 64,219 \quad \text{Flujo laminar}$$

$$q_3 = 5,6335 \ W/m^2K$$

- **Flujo interno en las placas laterales**

$$a \begin{array}{|c|} \hline b \\ \hline \end{array} \begin{cases} b = \pi.D_{id} \\ a = L \end{cases}$$

$$\frac{b}{a} = \frac{1,548}{1,05} = 1,47 \quad 1,43 \quad \text{Anexo J} \quad (\text{Ec. 52})$$

$$Nu = 3,73 \quad \text{Anexo J} \quad (\text{Ec. 53})$$

$$D_h = \frac{4A}{P} = \frac{4(a)(b)}{2a+2b} \quad (\text{Ec. 54})$$

$$1 = \frac{Nu.k_{ag}}{D_h} \quad (\text{Ec. 55})$$

En la **Tabla 27**, se visualiza el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 27.** Simbología para el almacenamiento requerido

Símbolo	Valor	Unidad	Definición
$k_{ag}$	0,6052	$W \ m.K$	Conductividad térmica del Agua
$L_i$	1,05	M	Longitud interna del deposito

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 27** en las ecuaciones [52], [54] y [55] se obtiene como resultados:

$$D_h = 1,2512 \ m$$

$$1 = 1,898 \ W/m^2K$$

#### 4.2.2.3 Flujo externo

##### · Flujo externo en el Cilindro

$$Re = \frac{v_v.D_{ed}}{v} \quad (\text{Ec. 56})$$

Si  $Re.Pr > 0,2$  entonces:

Relación de Churchill (Anexo K)

$$\overline{Nu} = 0,3 + \frac{0,62.Re^{\frac{1}{2}}.Pr^{\frac{1}{3}}}{\left[1 + \left(\frac{0,4}{Pr}\right)^{\frac{2}{4}}\right]^{\frac{1}{4}}} \left[1 + \left(\frac{Re}{282000}\right)^{\frac{5}{8}}\right]^{\frac{4}{5}} \quad (\text{Ec. 57})$$

$$4 = \frac{\overline{Nu}.K'}{D_{ed}} \quad (\text{Ec. 58})$$

En la **Tabla 28**, se visualiza el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 28.** Simbología para el almacenamiento requerido

<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Definición</b>
$D_{ed}$	0,543	$m$	Diámetro externo del deposito
$L_e$	1,1	M	Longitud externa del deposito
$v_v$	4	m/s	Velocidad promedio del viento
$P_a$	1	Atm.	Presión atmosférica
$T_a$	304,27	K	Temperatura ambiente
$\nu$	$4,825 \times 10^{-5}$	$m^2/s$	Viscosidad Cinemática a temp. Ambiente
$K'$	0,0444	$W m. K$	Conductividad térmica del agua a temp. Ambiente
$Pr'$	0,6935	-	Numero de Prandtl a temp. ambiente

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 28** en las ecuaciones [56], [57] y [58] se obtiene como resultados:

$$Re = 45015,544 \quad \text{Flujo turbulento}$$

$$\overline{Nu} = 127,582$$

$$h = 10,432 \frac{W}{m^2 K}$$

· **Flujo externo en las placas**

Del Anexo K  $Re < 10^8$ ;  $0,6 < Pr < 60$ , por lo tanto, se cumple la desigualdad.

Entonces:

$$Nu = 0,0296 Re^{\frac{4}{5}} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Ec. 59})$$

$$2 = \frac{Nu.K'}{(2D_{ed})} \quad (\text{Ec. 60})$$

El diámetro se multiplicará por dos a razón de que son dos placas.

En la **Tabla 29**, se visualiza el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 29.** Simbología para el almacenamiento requerido

Símbolo	Valor	Unidad	Definición
$D_{ed}$	0,543	$m$	Diámetro externo del deposito
$Re$	45015,544		Numero de Reynolds
$K'$	0,0444	$W \ m. K$	Conductividad térmica del agua a temp. Ambiente
$Pr'$	0,6935	-	Numero de Prandtl a temp. Ambiente

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 29** en las ecuaciones [59] y [60] se obtiene como resultados:

$$Nu = 138,355$$

$$2 = 5,656 \ W/m^2K$$

Una vez ya calculado todos los coeficientes convectivos, se procede a resolver el circuito térmico para calcular el coeficiente de pérdidas globales en el depósito de agua del colector solar. Para el cálculo de las resistencias,  $e_d$  es el espesor del aislante de lana de vidrio, que es de 2.5 cm (1 plg. Disponibilidad en el mercado) y  $k_{ad}$  la conductividad de este ( $k_{ad} = 0.038 \ W/m \ K$ ).  $D_{ed}$  es el diámetro mayor y  $D_{id}$  el menor. Por lo tanto, las ecuaciones se escriben de la siguiente manera:

$$R_{PL} = \frac{1}{h_1.A_i} + \frac{e_d}{k_{ad}.A_e} + \frac{1}{h_2.A_e} \quad (\text{Ec. 61})$$

$$R_c = \frac{1}{h_3.A_{ci}} + \frac{\ln(D_{ed}/D_{id})}{2.\pi.k_{ad}.e_d} + \frac{1}{h_4.A_{ce}} \quad (\text{Ec. 62})$$

Donde:

$$A_{ci} = \pi \cdot D_{id} \cdot L_i \quad (\text{Ec. 63})$$

$$A_{ce} = \pi \cdot D_{ed} \cdot L_e \quad (\text{Ec. 64})$$

En la **Tabla 30**, se visualiza el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 30.** Simbología para el cálculo de las resistencias

Símbolo	Valor	Unidad	Definición
1	1,898	$W \ m^2 \cdot K$	Convección de flujo interno en las placas
2	5,656	$W \ m^2 \cdot K$	Convección de flujo externo en las placas
3	5,6335	$W \ m^2 \cdot K$	Convección de flujo interno en el cilindro
4	10,432	$W \ m^2 \cdot K$	Convección de flujo externo en el cilindro
$D_{id}$	0,493	$m$	Diámetro interno del deposito
$D_{ed}$	0,543	$m$	Diámetro externo del deposito
$L_i$	1,05	$m$	Longitud interna del deposito
$L_e$	1,1	$m$	Longitud externa del deposito
$e_d$	0,025	$m$	Espesor de aislante en el deposito
$k_{ad}$	0,038	$W \ m \cdot K$	Conductividad térmica del aislante dentro del deposito

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 30** en las ecuaciones [61-64], se obtiene como resultados:

$$R_{PL} = 3,182 \ K/W$$

$$R_c = 16,343 \ K/W$$

De la figura 45, se puede concluir que el circuito térmico queda simplificado de la siguiente manera:

$$U_{da} = \frac{1}{A_{da} \cdot R_{eq}} \quad (\text{Ec. 65})$$

Despejando:

$$U_{da} \cdot A_{da} = \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_{PL}} + \frac{1}{R_c} \quad (\text{Ec. 66})$$

Las pérdidas del depósito se expresan en la siguiente ecuación:

$$q_{da} = U_{da} \cdot A_{da} (T_{md} - T_a) \quad (\text{Ec. 67})$$

Sustituyendo:

$$q_{da} = \frac{1}{R_{eq}} (T_{md} - T_a) \quad (\text{Ec. 68})$$

Ha de tomarse en cuenta que la temperatura mínima que se espera en el depósito es de 23 °C, y por cuestiones de diseño el agua no debería superar los 45 °C para usos sanitarios (Santiago Cabrera, 2011), conociendo esos dos límites se concluye que la temperatura media del tanque  $T_{md}$  será 35 °C.

En la **Tabla 31**, se visualiza el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 31.** Simbología para las pérdidas de calor en el depósito

<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Definición</b>
$T_{md}$	308,15	K	Temperatura media del deposito
$T_a$	304,27	K	Temperatura ambiente
$R_{PL}$	3,182	K W	Resistencia térmica de las placas laterales
$R_c$	16,343	K W	Resistencia térmica del cilindro

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 31** en las ecuaciones [67-68], se obtiene como resultados:

$$\frac{1}{R_{eq}} = 0,375 \text{ W/K}$$

$$q_{da} = 1,455 \text{ W}$$

#### 4.2.2.4 Temperatura del agua en el depósito al final del intervalo de tiempo

La energía almacenada es igual al cambio de energía interna  $U$  que sufre el material (agua) al cambiar su temperatura y viene a ser igual al calor sensible, es decir, al calor entregado al agua en el depósito de almacenamiento  $q_{da}$ , que se define como se indica:

$$U = q_{da} = mc_p \Delta T \quad (\text{Ec. 69})$$

Para conocer el cambio de temperatura con respecto al tiempo la ecuación anterior se puede expresar también como:

$$q_{da} = mc_p \frac{dT}{dt} = (q_{util} - q_{pcx}) - q_{cons} - q_{pda} \quad (\text{Ec. 70})$$

Como la ecuación anterior es función del tiempo se puede calcular por diferencias finitas después de transcurrido un intervalo de tiempo  $t$ . Así conociendo la temperatura inicial hallamos la temperatura final en el depósito para dicho lapso:

$$T_{df} = T_{da_o} + \frac{t}{mc_p} \cdot [(q_{util} - q_{pcx}) - q_{cons} - q_{pda}] \quad (\text{Ec. 71})$$

Donde:

$$m = \rho \cdot Vol \quad (\text{Ec. 72})$$

Las pérdidas en las conexiones  $q_{pcx}$  pueden despreciarse, ya que estas suelen ser muy pequeñas, y no causarían una gran variación del resultado final. Las pérdidas de calor por consumo  $q_{cons}$  deben de considerarse 0, ya que el análisis necesita un circuito cerrado, por lo tanto, no debe de haber consumo.

En la **Tabla 32**, se visualiza el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 32.** Simbología para las pérdidas de calor en el depósito.

<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Definición</b>
$T_{da_o}$	296,15	$K$	Temperatura inicial del fluido al deposito
$c_p$	4180,4	$J Kg .K$	Calor especifico del agua
$q_{\acute{u}til}$	884,2325	$W$	Calor \acute{u}til
$q_{pda}$	1,455	$W$	Perdidas de calor en el deposito
$\rho$	997	$kg m^3$	Densidad del agua
$Vol$	200	Lt.	Volumen del dep\acute{o}sito de agua

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 32** en las ecuaciones [69-72], se obtiene como resultados:

$$m = 199,4 kg$$

En la siguiente tabla se puede apreciar los intervalos de tiempo necesarios para elevar el agua a una respectiva temperatura para el caso de un solo colector conectado a un tanque.

**Tabla 33.** Temperatura que adquiere el agua con respecto a un intervalo de tiempo

<b>Tiempo <math>t</math> (s)</b>	<b>Tiempo [h]</b>	<b>Temperatura [ °C ]</b>
<b>1800</b>	0,5	24,90
<b>3600</b>	1	26,81
<b>5400</b>	1,5	28,71
<b>7200</b>	2	30,62

<b>9000</b>	2,5	32,53
<b>10800</b>	3	34,43
<b>12600</b>	3,5	36,34
<b>14400</b>	4	38,25
<b>16200</b>	4,5	40,15
<b>18000</b>	5	42,06
<b>19800</b>	5,5	43,96
<b>21600</b>	6	45,87

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Como se pudo apreciar en la tabla anterior, se necesitará aproximadamente 6 horas para poder alcanzar la temperatura deseada en el tanque, considerando una incidencia solar constante y promedio. Estos valores no se consideran lo suficientemente eficientes para el diseño, por lo tanto, se realizará una modificación que consiste en agregar dos colectores más al sistema, esta modificación triplicaría el calor útil, por lo tanto, se obtienen los siguientes resultados:

**Tabla 34.** Temperatura que adquiere el agua con respecto a un intervalo de tiempo

<b>Tiempo <math>t</math> (s)</b>	<b>Tiempo [h]</b>	<b>Temperatura [ °C ]</b>
<b>1800</b>	0,5	28,72
<b>3600</b>	1	34,45
<b>5400</b>	1,5	40,17
<b>7200</b>	2	45,90

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

### 4.2.3 Diseño de la base de los Colectores

#### 4.2.3.1 Peso del colector

Conociendo la masa total del colector, para poder diseñar la base, hay que tener en cuenta que el peso total ha de considerarse con el volumen de agua total que puede almacenar el colector. Para encontrar el volumen máximo (panel lleno con agua) se considera el volumen dentro de los 10 tubos colectores y 2 tubos laterales, como sigue:

$$V = \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot L \cdot n \quad (\text{Ec. 73})$$

Para el caso del diseño del colector, se seleccionaron 12 tubos de 1/2" y 2 tubos laterales de 1". Finalmente, la adición de los volúmenes resulta en el volumen total de agua que puede contener el colector solar.

$$V_t = V_{1/2"} + V_{1"} \quad (\text{Ec. 74})$$

Y posteriormente multiplicamos ese volumen final por la densidad del agua y podemos obtener la masa de agua que ocupa en el colector, para luego adicionarla a la masa total del colector, y finalmente obtener su peso.

$$W_p = g \cdot (V_t \cdot \rho + m_{cs}) \quad (\text{Ec. 75})$$

En la **Tabla 35**, se visualiza el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 35.** Simbología para el volumen máximo de agua que puede contener el colector

Símbolo	Valor	Unidad	Definición
$D_{i1}$	0,01384	m	Diámetro interno de la tubería de 1/2"
$D_{i2}$	0,02603	m	Diámetro interno de la tubería de 1"

$L_1$	1,9628	m	Largo de la tubería de 1/2"
$L_2$	1,260	$W m^2$	Largo de la tubería 1"
$n_1$	12	-	Numero de tubos principales
$n_2$	2	-	Numero de tubos laterales
$g$	9,81	$m s^2$	Constante gravitacional
$\rho$	997	$kg m^3$	Densidad del agua
$m_{cs}$	73,1102	Kg	Masa total del colector solar

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 35** en las ecuaciones [73], [74] y [75] se obtiene como resultados:

$$V_t = 4,8843 \times 10^{-3} m^3$$

$$W_p = 764,9818 N$$

$$V_{1/2''} = 3,5433 \times 10^{-3} m^3$$

$$V_{1''} = 1,341 \times 10^{-3} m^3$$

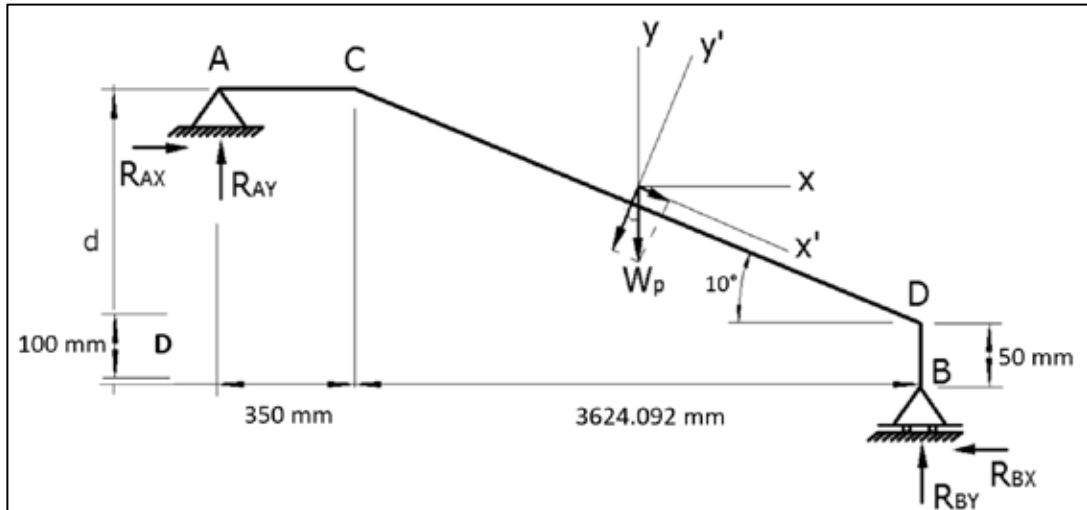
#### 4.2.3.2 Análisis Estático o de Equilibrio en la base del Panel

Para conocer las cargas, fuerzas y/o reacciones inherentes al estudio estático de la base del panel se requieren considerar los siguientes datos:  $W_p = 764,9818 N$ . Este peso total un panel, pero como se diseñará un sistema de 3 colectores para un tanque, por lo tanto, el  $W_p = 2294,921 N$  se puede distribuir en dos partes iguales para cada viga diagonal de la estructura (ver fig. 48), por consiguiente, el peso a considerar será la mitad.

$$W_p = \frac{2294,921 N}{2} = 1147,4609 N$$

El perfil elegido para la base del panel es un tubo estructural cuadrado galvanizado ASTM A 500 de 1 1/2'', espesor de 2 mm.

Los extremos superior e inferior de las vigas de la estructura van articulados.



**Fig. 56.** Diagrama de cuerpo libre de la viga estructural que soportara los colectores.

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Escribiendo el Diagrama de cuerpo libre

$$d = (3624,092 \text{ mm} \times \tan 10) + 50 \text{ mm} \quad 100 \text{ mm}$$

$$d = 589,0252 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} F_x &= 0 \quad + \\ R_{ax} \quad R_{bx} &= 0 \\ R_{ax} &= R_{bx} \text{ (Ec. 69)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_y &= 0 \quad + \\ R_{ay} + R_{by} \quad W_p &= 0 \\ R_{ay} + R_{by} &= W_p \\ R_{ay} + R_{by} &= 1147,4609 \text{ N (Ec. 70)} \end{aligned}$$

$$\sum M_a = 0 \quad \circlearrowright +$$

$$\begin{aligned} W_p \left( 350 \text{ mm} + \frac{3624,092 \text{ mm}}{2} \right) \quad R_{bx} (589,0252 \text{ mm}) + R_{by} (350 \text{ mm} + 3624,092 \text{ mm}) &= 0 \\ W_p (2162,046 \text{ mm}) \quad R_{bx} (589,0252 \text{ mm}) + R_{by} (3974,092 \text{ mm}) &= 0 \\ (1147,4609 \text{ N}) (2,162 \text{ m}) \quad R_{bx} (0,58902 \text{ m}) + R_{by} (3,97409 \text{ m}) &= 0 \\ 2480,8565 \text{ N} \cdot \text{m} \quad R_{bx} (0,58902 \text{ m}) + R_{by} (3,97409 \text{ m}) &= 0 \\ R_{by} (3,97409 \text{ m}) \quad R_{bx} (0,58902 \text{ m}) &= 2480,8565 \text{ N} \cdot \text{m} \quad \text{(Ec. 76)} \end{aligned}$$

Se requiere emplear una ecuación adicional además de las ecuaciones de equilibrio y por eso se recurre a relacionar la fuerza de rozamiento con el coeficiente de rozamiento estático y con la normal en el punto B en contacto con el piso.

$$F_r = \mu_s \cdot N \quad (\text{Ec. 77})$$

El coeficiente de rozamiento cinemático entre el acero y el concreto es 0.45, el coeficiente de rozamiento estático del acero sobre acero es 0.74. Es obvio que el coeficiente de rozamiento estático es mayor que el cinético por ello se puede estimar el coeficiente estático del acero sobre concreto en 0.80, considerando que si el valor se sobre dimensiona se incrementará el factor de seguridad.

Para las condiciones del punto B, de la ecuación [78] se tiene:

$$R_{bx} = 0.8R_{by} \quad (\text{Ec. 79})$$

Por consiguiente, el sistema a resolver es el siguiente:

$$R_{ax} = R_{bx} \quad (\text{Ec. 80})$$

$$R_{ay} + R_{by} = 1147,4609 \text{ N} \quad (\text{Ec. 81})$$

$$R_{by} (3,97409 \text{ m}) - R_{bx} (0,58902 \text{ m}) = 2480,8565 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (\text{Ec. 82})$$

$$R_{bx} = 0.8R_{by} \quad (\text{Ec. 83})$$

Del sistema de ecuaciones se obtienen los siguientes resultados

$$R_{by} = 708,24004 \text{ N}$$

$$R_{bx} = 566,59203 \text{ N}$$

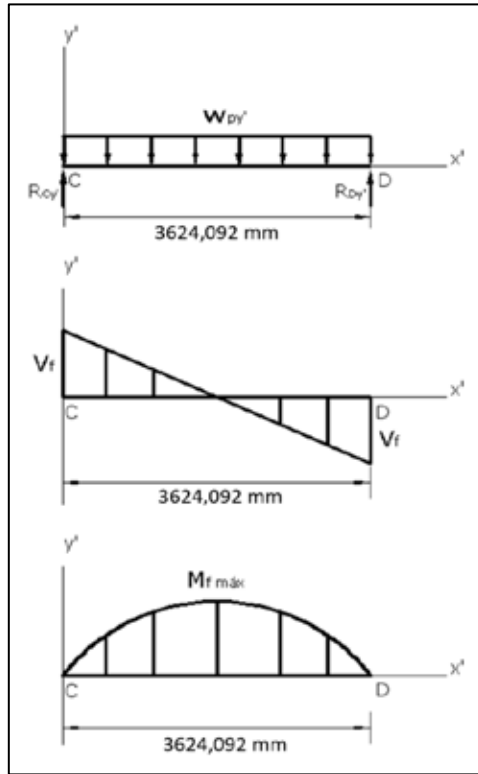
$$R_{ay} = 439,2208 \text{ N}$$

$$R_{ax} = 566,59203 \text{ N}$$

#### 4.2.3.3 Flexión y fuerza axial

##### Flexión

Solo el tramo CD está sometido a flexión, porque este soporta directamente el peso de los paneles.



**Fig. 57.** Diagrama de Esfuerzo cortante y Momento flector de la base

Escobar, Ibañez (2019)

Para hallar el momento flector máximo primero se requiere conocer la carga distribuida  $W_{py}$  y la fuerza cortante  $V_f$ , para lo que se emplea las siguientes ecuaciones:

$$W_{py} = \frac{W_{py}}{l_B} \quad (\text{Ec. 84})$$

$$V_f = \frac{W_{py} \cdot l_B}{2} \quad (\text{Ec. 85})$$

En la **Tabla 36**, se visualiza el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 36.** Simbología para la carga distribuida y el esfuerzo cortante.

Símbolo	Valor	Unidad	Definición
$W_{py}$	1130,0283	N	Componente en $y'$ del peso de los colectores

$l_B$	3,68	m	Largo de la viga de trabajo
-------	------	---	-----------------------------

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 36** en las ecuaciones [84] y [85] se obtiene como resultados:

$$W_{py} = 307,0729 \text{ N/m}$$

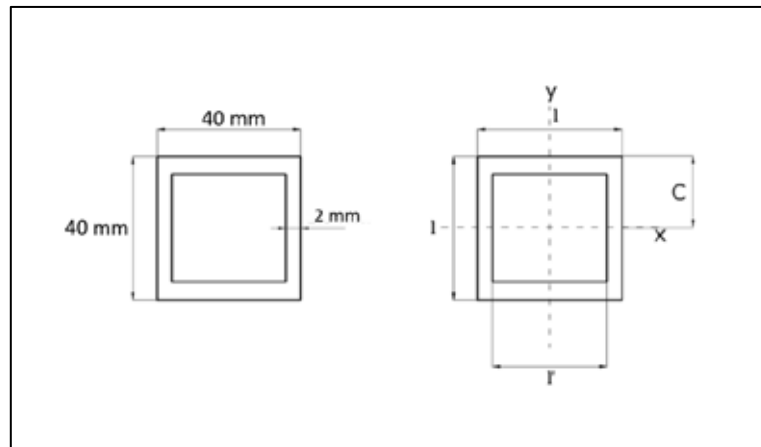
$$V_f = 565,0142 \text{ N}$$

Procederemos al cálculo del momento flector máximo, el área transversal del perfil seleccionado y la inercia de este mismo.

$$M_{fmax} = \frac{W_{py} \cdot l_b^2}{8} \quad (\text{Ec. 86})$$

$$A_{pe} = l^2 \quad l^2 \quad (\text{Ec. 87})$$

$$I = \frac{1}{12} (l^4 \quad l'^4) \quad (\text{Ec. 88})$$



**Fig. 58.** Sección transversal del tubo cuadrado ASTM A 500 de 1 1/2''

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

En la **Tabla 37**, se visualiza el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 37.** Simbología para momento flector máximo

Símbolo	Valor	Unidad	Definición
$W_{py}$	307,0729	N/m	Componente en y' del peso de los colectores

$l_B$	3,68	m	Largo de la viga de trabajo
	0,040	m	Largo transversal externo
	0,036	m	Largo transversal interno

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 37** en las ecuaciones [86], [87] y [88] se obtiene como resultados:

$$M_{fmax} = 519,8131 \text{ N.m}$$

$$A_{pe} = 0,000304 \text{ m}^2$$

$$I = 7,3365 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Esfuerzo de Flexión está dado por la siguiente ecuación:

$$f_b = \frac{M_{fmax} \cdot C}{I} \quad (\text{Ec. 89})$$

En la **Tabla 38**, se visualiza el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 38.** Simbología para el esfuerzo de flexión.

<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Definición</b>
$M_{fmax}$	519,8131	$N.m$	Momento Flector máximo
$C$	0,02	$m$	Distancia del centro de masa al punto más extremo
	$7,3365 \times 10^{-8}$	$m^4$	Inercia se la sección transversal cuadrada

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 38** en la ecuación [89] se obtiene como resultados:

$$f_b = 141,7053 \text{ MPa}$$

El esfuerzo admisible de flexión  $F_b$  depende del límite de fluencia  $F_y$  del elemento, se puede considerar que el (más adelante se

comprobara la veracidad de esta suposición), para este caso se establece la siguiente relación:

$$F_b = 0,66 \cdot F_y \quad (\text{Ec. 90})$$

Donde:

$$F_y = 33 \text{ ksi} = 230 \text{ MPa} \quad \text{ASTM A 500 Grado A.}$$

$$F_b = 0,66 \cdot (230 \text{ MPa}) = 151,8 \text{ MPa}$$

### **Carga Axial**

Se puede hallar el valor de las reacciones  $R_{cy'}$  y  $R_{dy'}$ , mostradas en la figura (54) del modo siguiente:

$$R_{cy'} = R_{dy'} = \frac{W_{py}}{2} = \frac{1147,4609 \text{ N}}{2} = 573,7304 \text{ N} \quad (\text{Ec. 91})$$

La fuerza axial sobre el elemento ACDB se puede descomponer en tres partes (Tramos), a saber, AC, CD y BD.

#### Viga AC

La carga axial está determinada por la reacción  $R_{ax}$  y conociendo el área de la sección transversal del perfil se encuentra el esfuerzo axial  $f_{ax}$ , como sigue:

$$f_{ax} = \frac{R_{ax}}{A_{pe}} = \frac{566,59203 \text{ N}}{0,000304 \text{ m}^2} = 1,8637 \text{ MPa} \quad (\text{Ec. 92})$$

#### Viga BD

La carga axial está determinada por la reacción  $R_{by}$  y conociendo el área de la sección transversal del perfil se encuentra el esfuerzo axial  $f_{ay}$ , como sigue:

$$f_{ay} = \frac{R_{by}}{A_{pe}} = \frac{708,24004 \text{ N}}{0,000304 \text{ m}^2} = 2,3297 \text{ MPa} \quad (\text{Ec. 93})$$

#### Viga CD

La carga axial está determinada por la componente del peso del panel en el eje  $x'$   $W_{px}$  y conociendo el área de la sección transversal del perfil se encuentra el esfuerzo axial  $f_{ax}$ , como sigue:

$$f'_{ax} = \frac{W_{pxl}}{A_{pe}} = \frac{1147,4609 N \times \sin 10}{0,000304 m^2} = 0,6554 MPa \quad (\text{Ec. 94})$$

Para el caso de los tramos AC y CD los apoyos se pueden considerar como de empotramiento por estar fijamente sujetos o soldadas las juntas, respectivamente, por ello se puede tomar un valor de  $k = 0.65$ , para el tramo BD el apoyo será empotrado y articulado con un  $k = 0.8$ . La relación de esbeltez se define como:

$$\frac{kl_t}{r} \quad (\text{Ec. 95})$$

Donde el Radio de giro se escribe:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (\text{Ec. 96})$$

En la **Tabla 39**, se visualiza el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 39.** Simbología para la relación de Esbeltez

Símbolo	Valor	Unidad	Definición
<i>Tramo AC</i>	0,35	<i>m</i>	Longitud del tramo AC
<i>Tramo BD</i>	0,05	<i>m</i>	Longitud del tramo BD
<i>Tramo CD</i>	3,68	<i>m</i>	Longitud del tramo CD
k	0,65		Para puntos empotrados fijamente (AC y CD)
k	0,8		Para puntos articulados (BD)

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 39** en la ecuación [95] y [96] se obtiene como resultados:

$$r = 0,015534 m$$

Tramo AC

$$\frac{kl_t}{r} = 14,6444 \quad F_{ax} = 19,1977 ksi = 132,3634 MPa \quad (\text{Ver Tabla Anexo O})$$

### Tramo BD

$$\frac{kl_t}{r} = 2,5748 \quad F_{ay} = 19,7070 \text{ ksi} = 135,8749 \text{ MPa} \quad (\text{Ver Tabla Anexo O})$$

### Tramo CD

$$\frac{kl_t}{r} = 153,9758 \quad F'_{ax} = 6,3019 \text{ ksi} = 43,45 \text{ MPa} \quad (\text{Ver Tabla Anexo O})$$

Finalmente, para determinar si el elemento seleccionado es satisfactorio se aplica la fórmula que combina los esfuerzos axiales y de flexión, como se indica a continuación:

$$\frac{f_{ax}}{F_{ax}} + \frac{f'_{ax}}{F'_{ax}} + \frac{f_{ay}}{F_{ay}} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1 \quad (\text{Ec. 97})$$

Sustituyendo [92], [93], [94] y [95] en [97], se obtiene la siguiente desigualdad:

$$0,9798 \leq 1$$

**El elemento resiste los esfuerzos de flexión y axial generados.** Resta por verificar si la  $\lambda_p$ , para lo que el patín y el alma deber ser compactos a la vez. Las condiciones para cumplir según la AISC son:

### Patín compacto

Debe cumplirse, según corresponda, una de las siguientes condiciones:

$$\frac{b_f}{2t_f} < \frac{65}{\sqrt{F_y}} \quad \text{Patines no atiesados} \quad (\text{Ec. 98})$$

$$\frac{b_f}{2t_f} < \frac{190}{\sqrt{F_y}} \quad \text{Patines atiesados} \quad (\text{Ec. 99})$$

### Alma Compacta

Si se cumple:

$$\frac{f_a}{F_y} \leq 0,16 \quad (\text{Ec. 100})$$

Entonces:

$$\frac{d_{epth}}{2t_w} < \frac{640}{\sqrt{F_y}} \quad (\text{Ec. 101})$$

En la **Tabla 40**, se visualiza el valor, unidad y lo que representa cada símbolo.

**Tabla 40.** Simbología para patín y alma compacta.

Símbolo	Valor	Unidad	Definición
$b_f$	40	<i>mm</i>	Longitud del patín
$t_f$	2	<i>mm</i>	Espesor del patín
$d_{epth}$	40	<i>mm</i>	Longitud del Alma
$t_w$	2	<i>mm</i>	Espesor del Alma
$F_y$	33 / 230	<i>ksi</i> <i>/MPa</i>	Límite de Fluencia del elemento (ksi para las raíces y en MPa para las demás)
$f_{ax}$	1,8637	<i>MPa</i>	Esfuerzo Axial de Compresión AC
$f'_{ax}$	0,6554	<i>MPa</i>	Esfuerzo Axial de Compresión CD
$f_{ay}$	2,3297	<i>MPa</i>	Esfuerzo Axial de Compresión BD

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Sustituyendo los valores de la **Tabla 40** en las ecuaciones [98-101] se obtiene como resultados:

- Patín:

$$10 < 11,31 \quad \text{Patines no atiesados}$$

$$10 < 33,07 \quad \text{Patines atiesados}$$

- Alma:

Se tienen 3 esfuerzos axiales de compresión:

$$\frac{f_{ax}}{F_y} = 0,0081 < 0,16$$

$$\frac{f_{ax}}{F_y} = 0,0028 < 0,16$$

$$\frac{f_{ay}}{F_y} = 0,01 < 0,16$$

Por lo tanto:

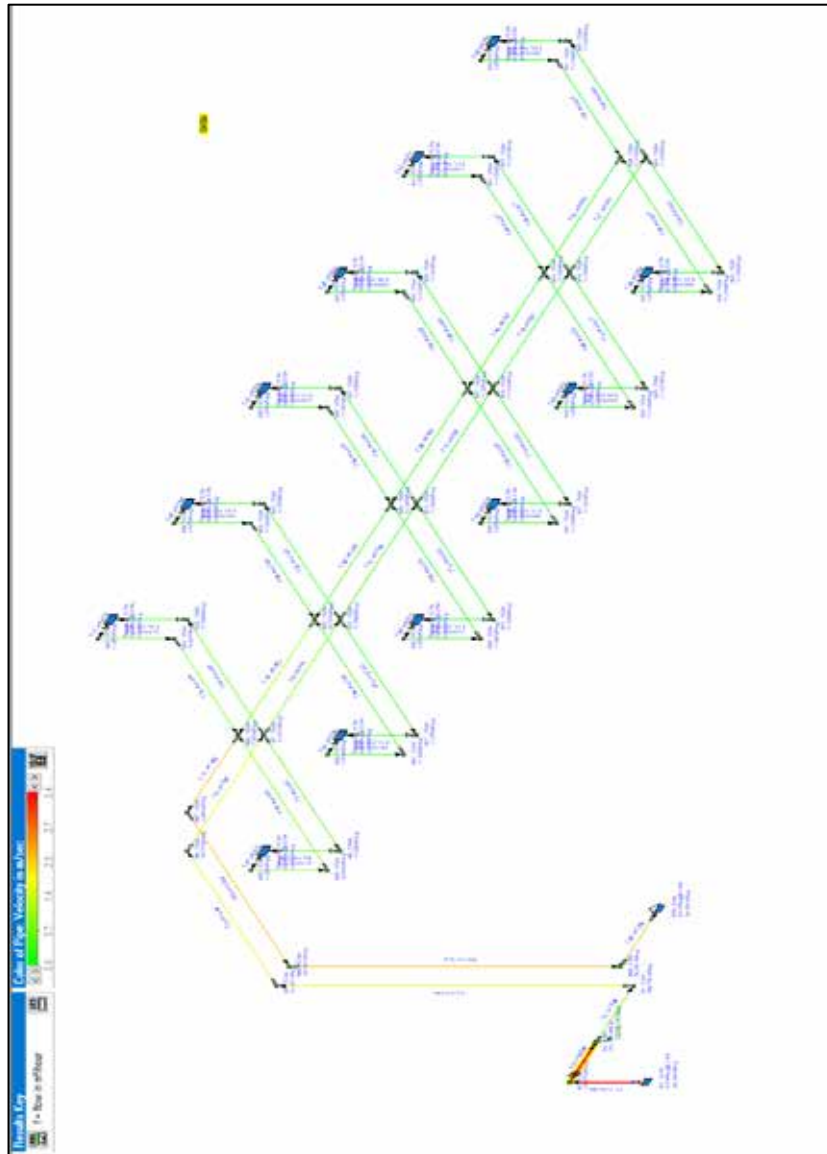
$$10 < 111,41$$

El diseño es satisfactorio con la opción seleccionada (tubo estructural cuadrado galvanizado ASTM A 500 de 1 ½'', espesor de 2 mm), se puede apreciar que en los resultados no hay sobredimensionamiento.

#### **4.2.4 Diseño de la red de suministro de agua**

##### **Red de tuberías**

Con la ayuda del programa PipeFlow, y las mediciones previamente realizadas, se puede diseñar un sistema óptimo y real para el suministro de agua de los colectores. (Ver figura 59)



**Fig. 59.** Esquema real del suministro de agua a los colectores

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

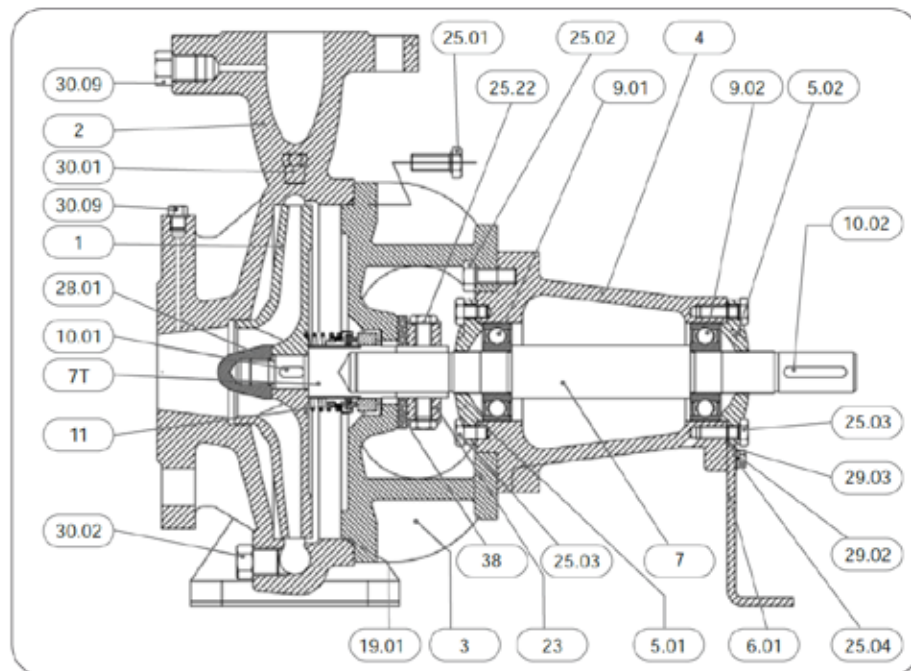
#### 4.2.4.1 Selección de Bomba.

Se seleccionó la siguiente bomba marca Vogt Modelo 610: (ver apéndice B)



**Fig. 60.** Bomba Vogt Serie N Modelo 610

Fuente: <https://www.globalriego.cl/pdf/bomba-vogt.pdf>



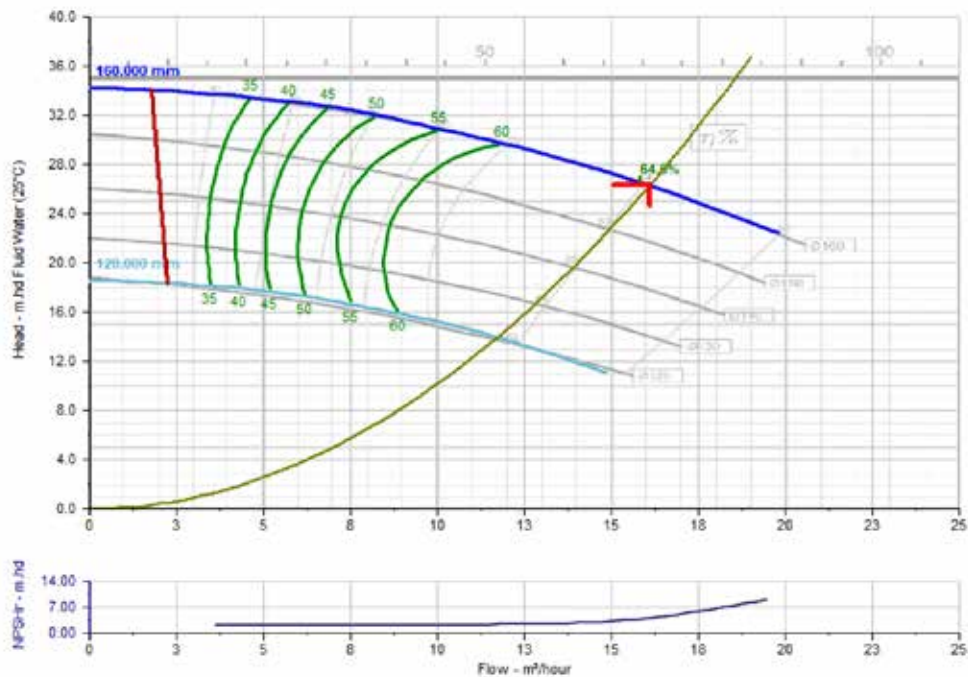
**Fig. 61.** Corte trasversal de la bomba seleccionada

Fuente: <https://www.globalriego.cl/pdf/bomba-vogt.pdf>

NUM	DENOMINACIÓN	NUM	DENOMINACIÓN
1	Impulsor	19.01	O'Ring Cuerpo Bomba / Cuerpo Unión
2	Cuerpo Bomba	23	Abrazadera
3	Cuerpo Unión	25.01	Perno Cuerpo Bomba / Cuerpo Unión
4	Cuerpo Rodamiento	25.02	Perno Cuerpo Unión / Cuerpo Rodamiento
5.01	Tapa Cuerpo Rodamiento Lado Bomba	25.03	Perno Tapa Cuerpo Rodamiento
5.02	Tapa Cuerpo Rodamiento Lado Motor	25.04	Perno Pata Soporte Cuerpo Rodamiento
6.01	Pata Soporte Cuerpo Rodamiento	25.22	Perno Abrazadera
7	Eje Cuerpo Rodamiento	28.01	Tuerca Eje
7T	Eje Postizo	29.02	Golilla Presión Pata Soporte C.R.
9.01	Rodamiento Lado Bomba	29.03	Golilla Plana Perno Pata Soporte C.R.
9.02	Rodamiento Lado Motor	30.01	Tapón Cebado
10.01	Chaveta Impulsor	30.02	Tapón Drenaje
10.02	Chaveta Machón	30.09	Tapón Toma de Presión
11	Sello Mecánico	38	Golilla Corta Agua

**Fig. 62.** Denominación de las partes de la bomba centrífuga seleccionada

Trabajando con la curva característica de la bomba (Anexo Ñ), y colocandola en la simulacion de las tuberias disemada, se obtiene el siguiente resultado:



**Fig. 63.** Curva característica de la bomba seleccionada.

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

Para ver planos y diseño final dirigirse al apéndice C hasta el apéndice K.

#### 4.3 Determinar la factibilidad técnica, operativa y económica del diseño del colector solar.

Para el análisis de la factibilidad del proyecto a nivel económico, se decidió realizar un cálculo de los equipos necesarios para el diseño de los colectores solares basado en dólares (\$), ya que la mayoría de los equipos y accesorios son importados, así para que dichos costos puedan prevalecer estables o tener una mínima variación.

Se recuerda que estos costos tienen el valor total del diseño y viene incluido con el sistema de tubería, almacenamiento, soportes y bomba.

**Tabla 41.** Factibilidad económica.

Descripción	Precio Unitario	Unidad	Cantidad necesaria	Total
Lana de Roca	1.5\$	m <sup>2</sup>	86,4	\$129,6
Chapa de Aluminio Puro Abs	5.2\$	Kg	6,109	\$31,76
Chapa de Aluminio Para Carcasa	5.2\$	Kg	17,726	\$92,17
Vidrio Estándar	13\$	m <sup>2</sup>	86.4	\$1.123,2
Tubos de Cobre 1"	3\$	m	91	\$273
Tubos de Cobre ½"	6.2\$	m	848	\$5.257,6
Chapa de Aluminio Para el Tanque	5,2\$	Kg	232.86	\$1210,88
Bomba VOGT Serie N 610	550\$	Und.	1	\$500
Tubo cuadrado estructural galvanizado 1 ½"	3\$	m	192,6	\$578
Tubos PVC	1,1\$	m	256	\$281.6
Reducción de 1" a ½"	5\$	Und.	2	\$10
Válvula de alivio	27\$	Und.	12	\$324
Válvula de bola	8\$	Und.	24	\$192
Manómetro	6\$	Und.	12	\$72
<b>Total</b>				<b>\$10.075,81</b>

Fuente: Escobar, Ibañez (2019)

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

Se puede concluir para el primer objetivo, el estudio de un área potencial para la implementación de un sistema de colectores solares para un aprovechamiento energético limpio, es prácticamente sencillo, con la ayuda del programa de la Nasa para la obtención de la incidencia solar en una zona específica, y con un estudio minucioso de la trayectoria del sol sobre la zona de estudio, se puede llegar a una conclusión rápida de si vale la pena o no, realizar un proyecto de sistema de colectores solares, tomando en cuenta la aplicación y la demanda del mismo. A pesar de esos aspectos, el análisis de campo es de vital importancia para decidir si el proyecto es factible, por lo tanto, el análisis de campo debe de ser la primera tarea por realizar si se dispone a realizar cualquier tipo de proyecto donde se quiera aprovechar energía solar.

Una vez se haya probado la factibilidad del proyecto, se procede a la selección o diseño de este, para el caso de la selección, simplemente se busca un colector que cumpla con las características mínimas para el entorno de trabajo y luego se procede al cálculo de los resultados de la selección. Si se escoge diseño, se tienen que tomar unos parámetros mínimos para el mismo, como la selección de materiales idóneos, capacidad volumétrica, dimensiones; y a partir de estos valores seguir normas estandarizadas para el diseño de colectores solares, las cuales pueden resultar algo complejas, pero con un procedimiento ordenado y cuidadoso, se puede diseñar un colector solar eficiente y confiable de manera segura. Posteriormente, se realizan todos los cálculos necesarios para el diseño, y se analiza cada resultado para asegurarse de que no haya ningún error de cálculo o que evitar la existencia de resultados incoherentes.

Finalmente, para concluir con la factibilidad del proyecto. La factibilidad técnica se comprueba logrando refutar el diseño con el resultado de los cálculos, si

estos resultados están dentro de parámetros coherentes, se puede comprobar la factibilidad técnica, siempre y cuando, apoyados en el manual de diseño utilizado, tal cual como se ha procedido en este proyecto. La factibilidad operativa se comprobó demostrando nuevamente en los cálculos que los elementos no fallaban, para el caso del diseño del soporte, para el caso de las tuberías y tanque, se utiliza el programa de diseño PipeFlow, para demostrar en que rangos de presión se trabajaban, y poder demostrar la factibilidad operativa del mismo, es decir, la comprobación de que el proyecto funciona, y mediante los resultados se puede garantizar que si funciona. La factibilidad económica se aprecia enfrentado el precio neto del proyecto con respecto al beneficio de este, a juzgar por el beneficio ambiental, y la larga durabilidad de este equipo, además de su eficiencia, el precio a pagar por este proyecto es relativamente elevado, pero con respecto al beneficio que se puede obtener, puede representar un precio considerable a pagar, de ahí se comprueba la factibilidad económica.

La distribución de los colectores solares se realizó en base a la arquitectura existente en el Edificio de la Escuela de Mecánica, sin considerar modificación alguna. Se corroboró con datos de la NASA que su orientación se presenta como la que mayormente aprovecha la incidencia solar para lograr un buen rendimiento. Los materiales fueron seleccionados según la disponibilidad del mercado local/nacional y para lograr que el diseño tenga una mejor eficiencia.

## 5.2 Recomendaciones

Las recomendaciones para futuros trabajos a realizarse en este mismo campo pueden ser los siguientes:

Instalado ya el sistema de colectores solares, debe de realizarse un plan de mantenimiento preventivo debido a su exposición directa al medio ambiente, el cual presenta alta cantidad de partículas de polvo, tierra, hojas, etc. Que puede contribuir a la disminución de la eficiencia de los equipos. Además, requiere limpieza del sistema hidráulico para evitar proliferación de algas, bacterias, etc.

El agua caliente proveniente de los colectores solares puede ser utilizada para varios propósitos como su uso en los baños de la escuela de Ingeniería Mecánica logrando así una mayor higiene para los mismo por el control de bacterias, también lográndose aplicar este mismo sistema tanto para el edif. 1 como edificio 4 de la universidad José Antonio Paéz.

Otro Uso similar podría darse en el Edif. 4 en la Escuela de Odontología ya que sería de uso para la esterilización de instrumentos, consultorios y/o laboratorios. Así mismo sería de gran aporte para la preparación de alimentos en la feria de comida aumentando así la higiene.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, (2006). **La estrategia que adopta el investigador para responder al problema planteado**, trabajo de grado elaborado en la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2003).
- Balestrini, (1997). **La muestra es obtenida con el fin de investigar, a partir del conocimiento de sus características particulares, las propiedades de una población**, presentado en la Universidad del Zulia. Facultad Ingeniería.
- Sabino, C (1992). **El proceso de investigación**. 1ra edición. Caracas, Venezuela Panapo.
- Yunus Cengel, (2011). **Transferencia de calor y masa**, 4ta edición. España. McGraw-Hill Interamericana.
- Incropera Frank, (2009). **Fundamentos de Transferencia de Calor**, 4ta edición. España. Prentice Hall.
- Yunus Cengel, (2006). **Mecánica Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones**, 1era Edición. México D.F. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Manrique José Alberto, (1984). **Energía Solar: Fundamentos y Aplicaciones fototérmicas**. México. Harla.
- García G, (2008). **Energías del siglo XXI**. Madrid, España. Mundi – Prensa.

# ÁPENDICE

## APÉNDICE A

### Resultados del análisis tuberías

Pipe Name	Inner Diameter	Length	Mass Flow	Vol Flow	Velocity	Friction Loss	dP Total Loss	Entry Pressure	Exit Pressure
Unid.	mm	M	kg/hour	m <sup>3</sup> /hour	m/sec	m.hd	kPa	kPa.g	kPa.g
T1	40.894	5	16036.1	16.084	3.402	1.244	84.182	39.109	-45.073
T2	26.645	0.5	1081.14	1.084	0.54	0.008	1.423	211.215	209.792
P3	40.894	0.3	16036.1	16.084	3.402	0.075	-256.288	-45.073	211.215
T4	15.799	15	1081.14	1.084	1.537	2.839	175.368	209.792	34.424
T5	15.799	7.4	1081.14	1.084	1.537	1.401	14.647	34.424	19.777
T6	15.799	3.17	1081.14	1.084	1.537	0.6	6.537	19.777	13.241
T7	15.799	5.778	325.492	0.326	0.463	0.132	1.548	13.241	11.692
T8	15.799	0.7	325.492	0.326	0.463	0.016	7.117	11.692	4.576
T9	15.799	4.08	408.999	0.41	0.581	0.139	1.451	13.241	11.789
P10	15.799	5.778	121.534	0.122	0.173	0.029	0.319	11.789	11.47
T11	15.799	0.7	121.534	0.122	0.173	0.003	6.894	11.47	4.576
T12	15.799	4.135	165.931	0.166	0.236	0.03	0.304	11.789	11.485
T13	15.799	5.778	52.5634	0.053	0.075	0.005	0.056	11.485	11.429
T14	15.799	0.7	52.5634	0.053	0.075	0.001	6.853	11.429	4.576
T15	15.799	4.135	60.8046	0.061	0.086	0.004	0.043	11.485	11.442
T16	15.799	5.778	19.7977	0.02	0.028	0.002	0.02	11.442	11.422
T17	15.799	0.7	19.7977	0.02	0.028	0	6.847	11.422	4.576
T18	15.799	4.1	21.2091	0.021	0.03	0.001	0.014	11.442	11.428
T19	15.799	5.778	7.3392	0.007	0.01	0.001	0.007	11.428	11.421
T20	15.799	0.7	7.3392	0.007	0.01	0	6.845	11.421	4.576
T21	15.799	4.13	6.5308	0.007	0.009	0	0.004	11.428	11.423
T22	15.799	5.778	3.2654	0.003	0.005	0	0.003	11.423	11.42
T23	15.799	0.7	3.2654	0.003	0.005	0	6.844	11.42	4.576
T24	15.799	5.778	3.2654	0.003	0.005	0	0.003	11.423	11.42
T25	15.799	0.7	3.2654	0.003	0.005	0	6.844	11.42	4.576
T26	15.799	5.778	7.3392	0.007	0.01	0.001	0.007	11.428	11.421
T27	15.799	0.7	7.3392	0.007	0.01	0	6.845	11.421	4.576
T28	15.799	5.778	19.7977	0.02	0.028	0.002	0.02	11.442	11.422
T29	15.799	0.7	19.7977	0.02	0.028	0	6.847	11.422	4.576
T30	15.799	5.778	52.5634	0.053	0.075	0.005	0.056	11.485	11.429
T31	15.799	0.7	52.5634	0.053	0.075	0.001	6.853	11.429	4.576
T32	15.799	5.778	121.534	0.122	0.173	0.029	0.319	11.789	11.47
T33	15.799	0.7	121.534	0.122	0.173	0.003	6.894	11.47	4.576
T34	15.799	5.778	346.657	0.348	0.493	0.147	1.733	13.241	11.508
T35	20.93	0.7	346.657	0.348	0.281	0.005	6.932	11.508	4.576

T36	15.799	0.1	4.6499	0.005	0.007	0	0	4.576	4.576
T37	15.799	0.7	4.6499	0.005	0.007	0	-6.844	4.576	11.419
T38	15.799	5.878	4.6499	0.005	0.007	0	0.004	11.419	11.415
T39	15.799	0.1	4.7886	0.005	0.007	0	0	4.576	4.576
T40	15.799	0.7	4.7886	0.005	0.007	0	-6.844	4.576	11.419
T41	15.799	5.678	4.7886	0.005	0.007	0	0.004	11.419	11.415
T42	15.799	4.13	9.4385	0.009	0.013	0.001	0.006	11.415	11.408
T43	15.799	0.1	10.6762	0.011	0.015	0	0	4.576	4.576
T44	15.799	0.7	10.6762	0.011	0.015	0	-6.843	4.576	11.418
T45	15.799	5.678	10.6762	0.011	0.015	0.001	0.01	11.418	11.408
T46	15.799	0.1	10.3762	0.01	0.015	0	0	4.576	4.576
T47	15.799	0.7	10.3762	0.01	0.015	0	-6.843	4.576	11.418
T48	15.799	5.878	10.3762	0.01	0.015	0.001	0.01	11.418	11.408
T49	15.799	4.1	30.491	0.031	0.043	0.002	0.021	11.408	11.387
T50	15.799	0.1	28.4181	0.029	0.04	0	0.001	4.576	4.575
T51	15.799	0.7	28.4181	0.029	0.04	0	-6.841	4.575	11.416
T52	15.799	5.678	28.4181	0.029	0.04	0.003	0.028	11.416	11.387
T53	15.799	0.1	27.6844	0.028	0.039	0	0.001	4.576	4.575
T54	15.799	0.7	27.6844	0.028	0.039	0	-6.841	4.575	11.416
T55	15.799	5.878	27.6844	0.028	0.039	0.003	0.028	11.416	11.387
T56	15.799	4.135	86.5936	0.087	0.123	0.006	0.062	11.387	11.325
T57	15.799	0.1	74.2915	0.075	0.106	0	0.004	4.576	4.571
T58	15.799	0.7	74.2915	0.075	0.106	0.001	-6.836	4.571	11.407
T59	15.799	5.678	74.2915	0.075	0.106	0.007	0.082	11.407	11.325
T60	15.799	0.1	72.7314	0.073	0.103	0	0.004	4.576	4.571
T61	15.799	0.7	72.7314	0.073	0.103	0.001	-6.836	4.571	11.407
T62	15.799	5.878	72.7314	0.073	0.103	0.007	0.082	11.407	11.325
T63	15.799	4.135	233.616	0.234	0.332	0.053	0.551	11.325	10.774
T64	15.799	0.1	184.484	0.185	0.262	0.001	0.029	4.576	4.547
T65	15.799	0.7	184.484	0.185	0.262	0.006	-6.785	4.547	11.333
T66	15.799	5.678	184.484	0.185	0.262	0.049	0.558	11.333	10.774
T67	15.799	0.1	181.821	0.182	0.258	0.001	0.028	4.576	4.548
T68	15.799	0.7	181.821	0.182	0.258	0.006	-6.787	4.548	11.335
T69	15.799	5.878	181.821	0.182	0.258	0.049	0.561	11.335	10.774
T70	15.799	4.08	599.922	0.602	0.853	0.272	2.862	10.774	7.913
T71	15.799	0.1	476.867	0.478	0.678	0.004	0.179	4.576	4.397
T72	15.799	0.7	476.867	0.478	0.678	0.031	-6.54	4.397	10.937
T73	15.799	5.678	476.867	0.478	0.678	0.252	3.024	10.937	7.913
T74	15.799	0.1	470.426	0.472	0.669	0.004	0.174	4.576	4.402
T75	15.799	0.7	470.426	0.472	0.669	0.03	-6.547	4.402	10.949
T76	15.799	5.878	470.426	0.472	0.669	0.255	3.036	10.949	7.913

T77	15.799	3.07	1547.21	1.552	2.199	1.105	12.181	7.913	-4.268
P78	15.799	7.5	1547.21	1.552	2.199	2.7	28.353	-4.268	-32.621
T79	15.799	15	1547.21	1.552	2.199	5.4	-91.905	-32.621	59.284
T80	15.799	1	1547.21	1.552	2.199	0.36	20.175	59.284	39.109

## APÉNDICE B

### Valores resultantes de la bomba seleccionada

Resulted	Value	Unid.
Speed	1750	rpm
Pref. Op From	11.088	m <sup>3</sup> /hour
Pref. Op To	20.592	m <sup>3</sup> /hour
Flow In/Out	16.084	m <sup>3</sup> /hour
Velocity	3.402	m/sec
Suction Pressure	-45.073	kPa.g
Discharge Pressure	211.945	kPa.g
Pump Head (+)	26.287	m.hd Fluid
Pump NPSHr	4.137	m.hd (absolute)
Pump NPSHa	5.429	m.hd (absolute)
Pump Efficiency	63.98	Percentage
Pump Power	1.7947	Kilowatts

T.	Fitting Position	Description	Imperial Size	Metric Size	Database Ref	K Value	Quantity	K Total	Entry K Total
T1	Start of Pipe	Standard Bend	1-1/2"	40 mm	SB	0.63	1	0.63	
T1	Start of Pipe	Pipe Entry Projecting	1-1/2"	40 mm	EntProj	0.78	1	0.78	
T1	Start of Pipe	Check Swing Valve	1-1/2"	40 mm	ChSw	2.6	1	2.6	
									4.01
T2	Start of Pipe	Sudden contraction	N/A	N/A	SuCon1	6	1	6	
T2	Start of Pipe	Ball Valve Reduced Bore	1"	25 mm	BallRB	2.4	1	2.4	
T2	Start of Pipe	Standard Bend	1/2"	15 mm	SB	0.81	1	0.81	
									9.21
P3	No Fittings								
T4	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	1	0.81	
									0.81
T5	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	1	0.81	
									0.81
T6	Start of Pipe	Cross	0.5"	15 mm	Cross	0.57	1	0.57	
									0.57
T7	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	3	2.43	
									2.43
T8	Start of Pipe	Ball Valve Full Bore	0.50"	15 mm	BallFB	0.09	1	0.09	

T8	End of Pipe	Pipe Exit to Container	0.50"	15 mm	ExitCon	1	1	1	0.09
T9	Start of Pipe	Cross	0.5"	15 mm	Cross	0.57	1	0.57	0.57
P10	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	3	2.43	2.43
T11	Start of Pipe	Ball Valve Full Bore	0.50"	15 mm	BallFB	0.09	1	0.09	
T11	End of Pipe	Pipe Exit to Container	0.50"	15 mm	ExitCon	1	1	1	0.09
T12	Start of Pipe	Cross	0.5"	15 mm	Cross	0.57	1	0.57	0.57
T13	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	3	2.43	2.43
T14	Start of Pipe	Ball Valve Full Bore	0.50"	15 mm	BallFB	0.09	1	0.09	
T14	End of Pipe	Pipe Exit to Container	0.50"	15 mm	ExitCon	1	1	1	0.09
T15	Start of Pipe	Cross	0.5"	15 mm	Cross	0.57	1	0.57	0.57
T16	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	3	2.43	2.43
T17	Start of Pipe	Ball Valve Full Bore	0.50"	15 mm	BallFB	0.09	1	0.09	
T17	End of Pipe	Pipe Exit to Container	0.50"	15 mm	ExitCon	1	1	1	0.09
T18	Start of Pipe	Cross	0.5"	15 mm	Cross	0.57	1	0.57	0.57
T19	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	3	2.43	2.43
T20	Start of Pipe	Ball Valve Full Bore	0.50"	15 mm	BallFB	0.09	1	0.09	
T20	End of Pipe	Pipe Exit to Container	0.50"	15 mm	ExitCon	1	1	1	0.09
T21	Start of Pipe	Branch Tee	0.50"	15 mm	BT	1.62	1	1.62	1.62
T22	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	3	2.43	2.43

T2 3	Start of Pipe	Ball Valve Full Bore	0.50"	15 mm	BallFB	0.09	1	0.09
T2 3	End of Pipe	Pipe Exit to Container	0.50"	15 mm	ExitCon	1	1	1
0.09								
T2 4	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	3	2.43
2.43								
T2 5	Start of Pipe	Ball Valve Full Bore	0.50"	15 mm	BallFB	0.09	1	0.09
T2 5	End of Pipe	Pipe Exit to Container	0.50"	15 mm	ExitCon	1	1	1
0.09								
T2 6	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	3	2.43
2.43								
T2 7	Start of Pipe	Ball Valve Full Bore	0.50"	15 mm	BallFB	0.09	1	0.09
T2 7	End of Pipe	Pipe Exit to Container	0.50"	15 mm	ExitCon	1	1	1
0.09								
T2 8	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	3	2.43
2.43								
T2 9	Start of Pipe	Ball Valve Full Bore	0.50"	15 mm	BallFB	0.09	1	0.09
T2 9	End of Pipe	Pipe Exit to Container	0.50"	15 mm	ExitCon	1	1	1
0.09								
T3 0	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	3	2.43
2.43								
T3 1	Start of Pipe	Ball Valve Full Bore	0.50"	15 mm	BallFB	0.09	1	0.09
T3 1	End of Pipe	Pipe Exit to Container	0.50"	15 mm	ExitCon	1	1	1
0.09								
T3 2	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	3	2.43
2.43								
T3 3	Start of Pipe	Ball Valve Full Bore	0.50"	15 mm	BallFB	0.09	1	0.09
T3 3	End of Pipe	Pipe Exit to Container	0.50"	15 mm	ExitCon	1	1	1
0.09								
T3 4	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	3	2.43
2.43								
T3 5	Start of Pipe	Ball Valve Full Bore	0.50"	20 mm	BallFB	0.08	1	0.08
T3 5	End of Pipe	Pipe Exit to Container	0.50"	20 mm	ExitCon	1	1	1
0.08								

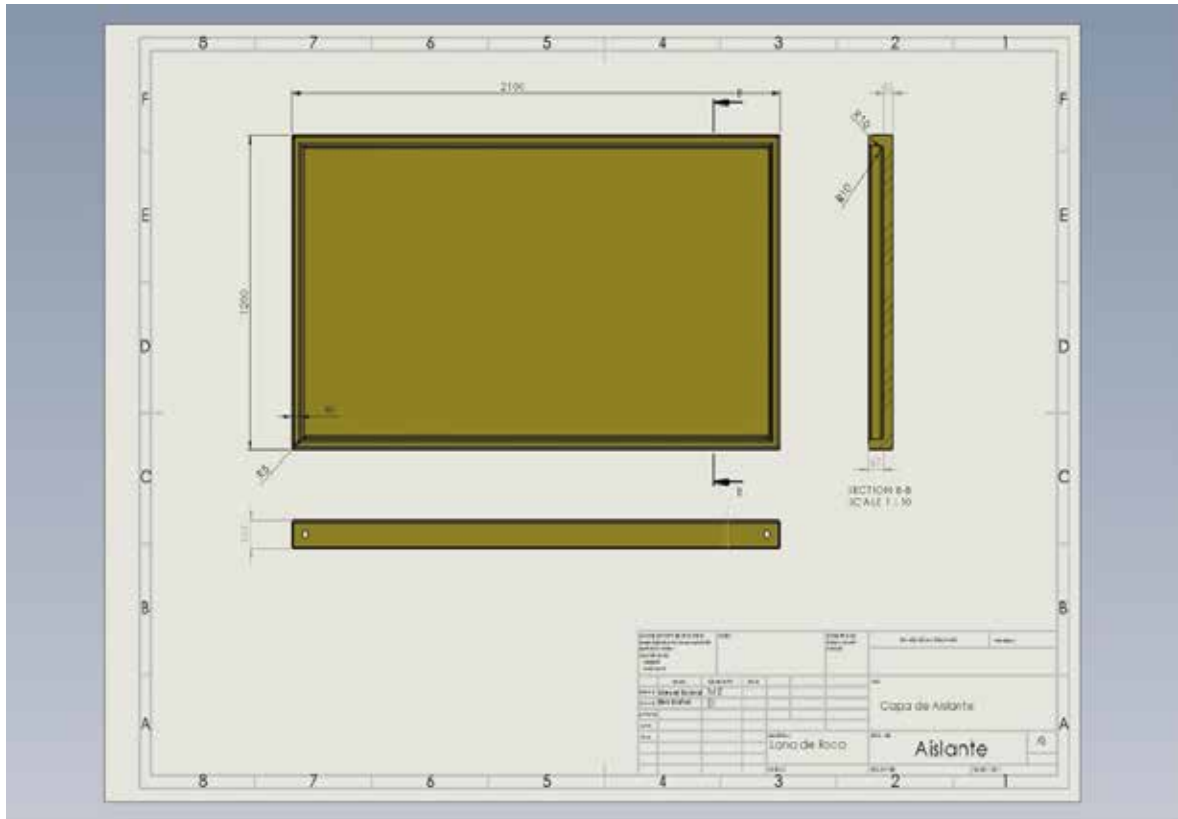
T3 6	Start of Pipe	Pipe Entry Sharp Edged	0.50"	15 mm	EntSharp	0.5	1	0.5
T3 6	Start of Pipe	Ball Valve Full Bore	0.50"	15 mm	BallFB	0.09	1	0.09
0.59								
T3 7	No Fittings							
T3 8	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	3	2.43
2.43								
T3 9	Start of Pipe	Ball Valve Full Bore	0.50"	15 mm	BallFB	0.09	1	0.09
T3 9	Start of Pipe	Pipe Entry Sharp Edged	0.50"	15 mm	EntSharp	0.5	1	0.5
0.59								
T4 0	No Fittings							
T4 1	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	3	2.43
2.43								
T4 2	Start of Pipe	Branch Tee	0.50"	15 mm	BT	1.62	1	1.62
1.62								
T4 3	Start of Pipe	Pipe Entry Sharp Edged	0.50"	15 mm	EntSharp	0.5	1	0.5
T4 3	Start of Pipe	Ball Valve Full Bore	0.50"	15 mm	BallFB	0.09	1	0.09
0.59								
T4 4	No Fittings							
T4 5	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	3	2.43
2.43								
T4 6	Start of Pipe	Ball Valve Full Bore	0.50"	15 mm	BallFB	0.09	1	0.09
T4 6	Start of Pipe	Pipe Entry Sharp Edged	0.50"	15 mm	EntSharp	0.5	1	0.5
0.59								
T4 7	No Fittings							
T4 8	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	3	2.43
2.43								
T4 9	Start of Pipe	Cross	0.5"	15 mm	Cross	0.57	1	0.57
0.57								
T5 0	Start of Pipe	Ball Valve Full Bore	0.50"	15 mm	BallFB	0.09	1	0.09
T5 0	Start of Pipe	Pipe Entry Sharp Edged	0.50"	15 mm	EntSharp	0.5	1	0.5
0.59								
T5 1	No Fittings							
T5 2	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	3	2.43

									2.43
T5 3	Start of Pipe	Pipe Entry Sharp Edged	0.50"	15 mm	EntSharp	0.5	1	0.5	
T5 3	Start of Pipe	Ball Valve Full Bore	0.50"	15 mm	BallFB	0.09	1	0.09	
									0.59
T5 4	No Fittings								
T5 5	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	3	2.43	
									2.43
T5 6	Start of Pipe	Cross	0.5"	15 mm	Cross	0.57	1	0.57	
									0.57
T5 7	Start of Pipe	Pipe Entry Sharp Edged	0.50"	15 mm	EntSharp	0.5	1	0.5	
T5 7	Start of Pipe	Ball Valve Full Bore	0.50"	15 mm	BallFB	0.09	1	0.09	
									0.59
T5 8	No Fittings								
T5 9	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	3	2.43	
									2.43
T6 0	Start of Pipe	Ball Valve Full Bore	0.50"	15 mm	BallFB	0.09	1	0.09	
T6 0	Start of Pipe	Pipe Entry Sharp Edged	0.50"	15 mm	EntSharp	0.5	1	0.5	
									0.59
T6 1	No Fittings								
T6 2	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	3	2.43	
									2.43
T6 3	Start of Pipe	Cross	0.5"	15 mm	Cross	0.57	1	0.57	
									0.57
T6 4	Start of Pipe	Ball Valve Full Bore	0.50"	15 mm	BallFB	0.09	1	0.09	
T6 4	Start of Pipe	Pipe Entry Sharp Edged	0.50"	15 mm	EntSharp	0.5	1	0.5	
									0.59
T6 5	No Fittings								
T6 6	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	3	2.43	
									2.43
T6 7	Start of Pipe	Pipe Entry Sharp Edged	0.50"	15 mm	EntSharp	0.5	1	0.5	
T6 7	Start of Pipe	Ball Valve Full Bore	0.50"	15 mm	BallFB	0.09	1	0.09	
									0.59
T6 8	No Fittings								

T6 9	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	3	2.43
2.43								
T7 0	Start of Pipe	Cross	0.5"	15 mm	Cross	0.57	1	0.57
0.57								
T7 1	Start of Pipe	Pipe Entry Sharp Edged	0.50"	15 mm	EntSharp	0.5	1	0.5
T7 1	Start of Pipe	Ball Valve Full Bore	0.50"	15 mm	BallFB	0.09	1	0.09
0.59								
T7 2	No Fittings							
T7 3	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	3	2.43
2.43								
T7 4	Start of Pipe	Ball Valve Full Bore	0.50"	15 mm	BallFB	0.09	1	0.09
T7 4	Start of Pipe	Pipe Entry Sharp Edged	0.50"	15 mm	EntSharp	0.5	1	0.5
0.59								
T7 5	No Fittings							
T7 6	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	3	2.43
2.43								
T7 7	Start of Pipe	Cross	0.5"	15 mm	Cross	0.57	1	0.57
0.57								
P7 8	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	1	0.81
0.81								
T7 9	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	1	0.81
0.81								
T8 0	Start of Pipe	Standard Bend	0.50"	15 mm	SB	0.81	1	0.81
T8 0	Start of Pipe	Check Swing Valve	0.50"	15 mm	ChSw	5.1	1	5.1
T8 0	End of Pipe	Pipe Exit to Container	0.50"	15 mm	ExitCon	1	1	1
5.91								

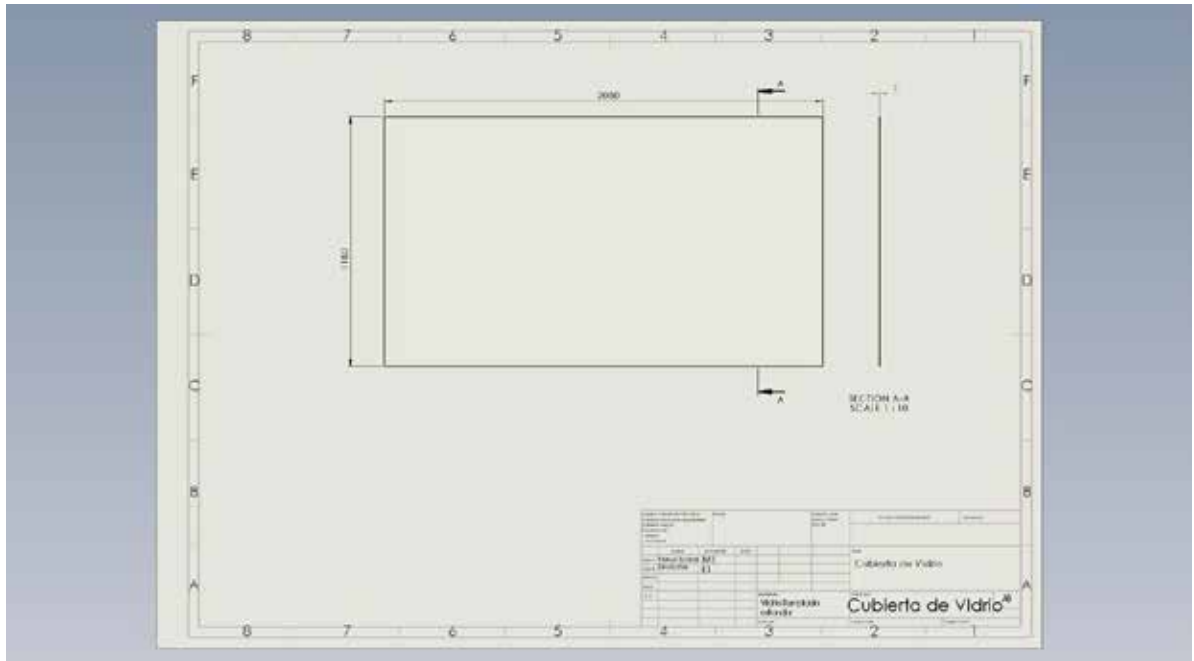
## APÉNDICE C

### Plano del Aislante

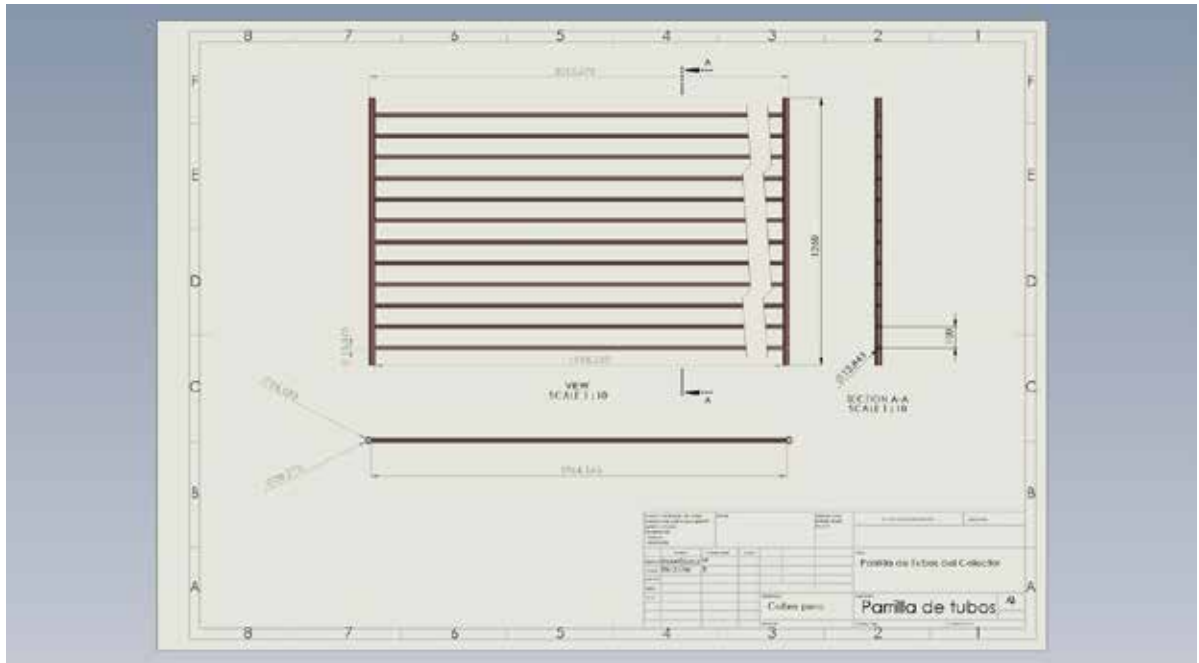


## APÉNDICE D

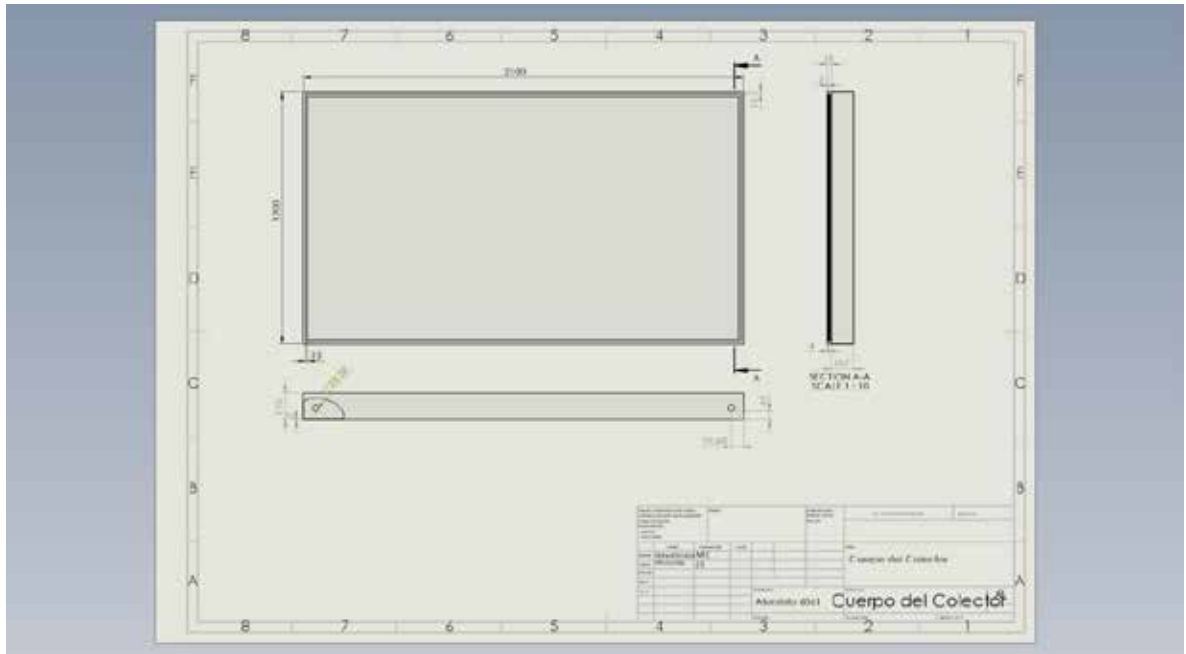
### Plano de la cubierta de vidrio



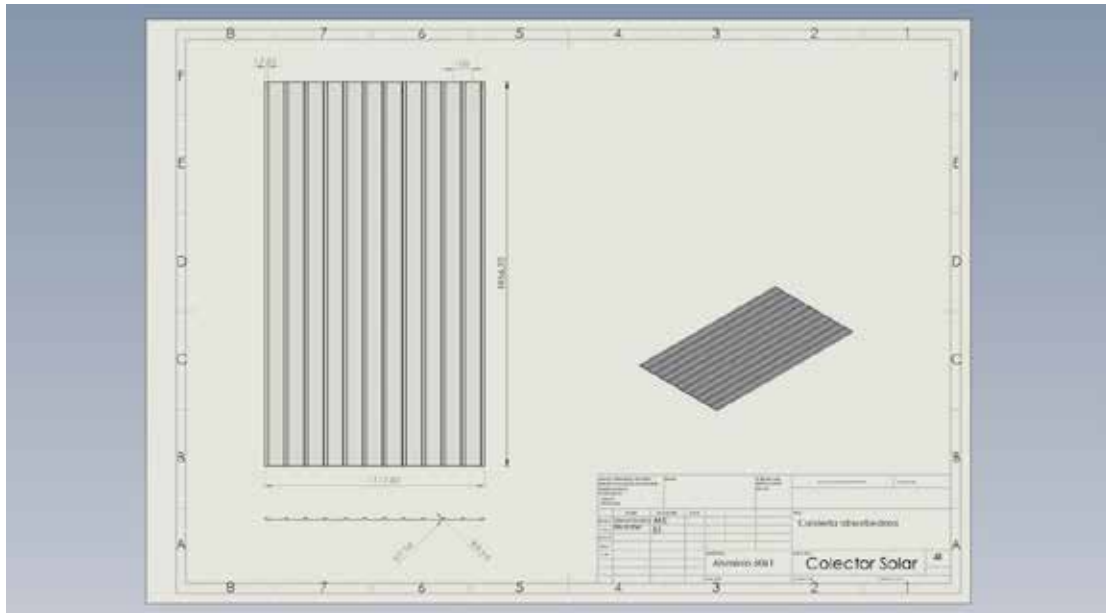
**APÉNDICE E**  
**Plano de la parrilla de tubos**



**APÉNDICE F**  
**Plano del cuerpo del Colector**

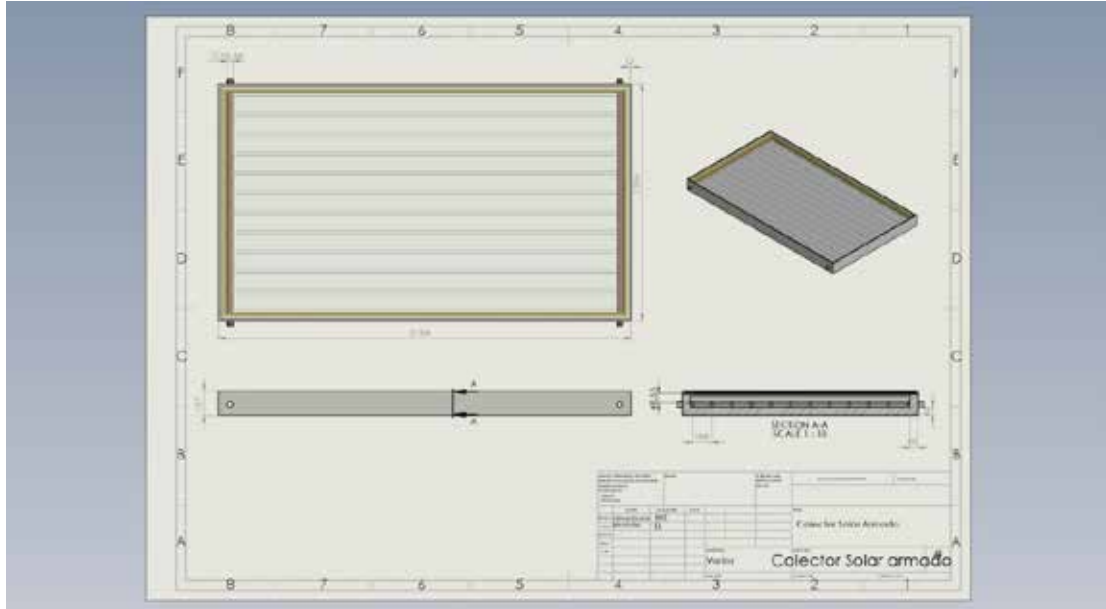


**APÉNDICE G**  
**Plano del Colector Solar**

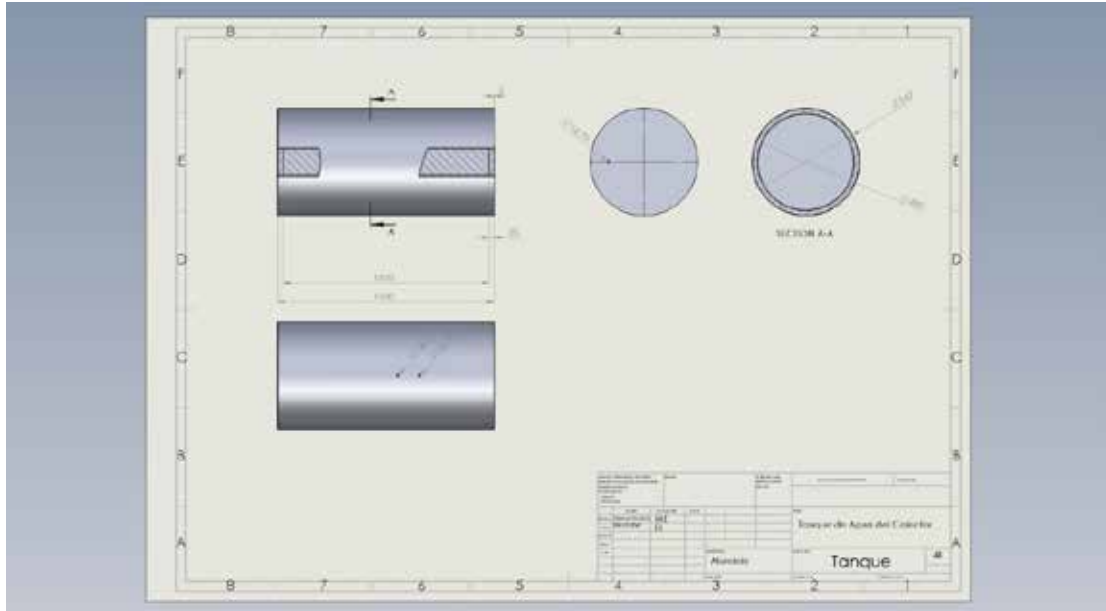


## APÉNDICE H

### Plano del colector solar armado

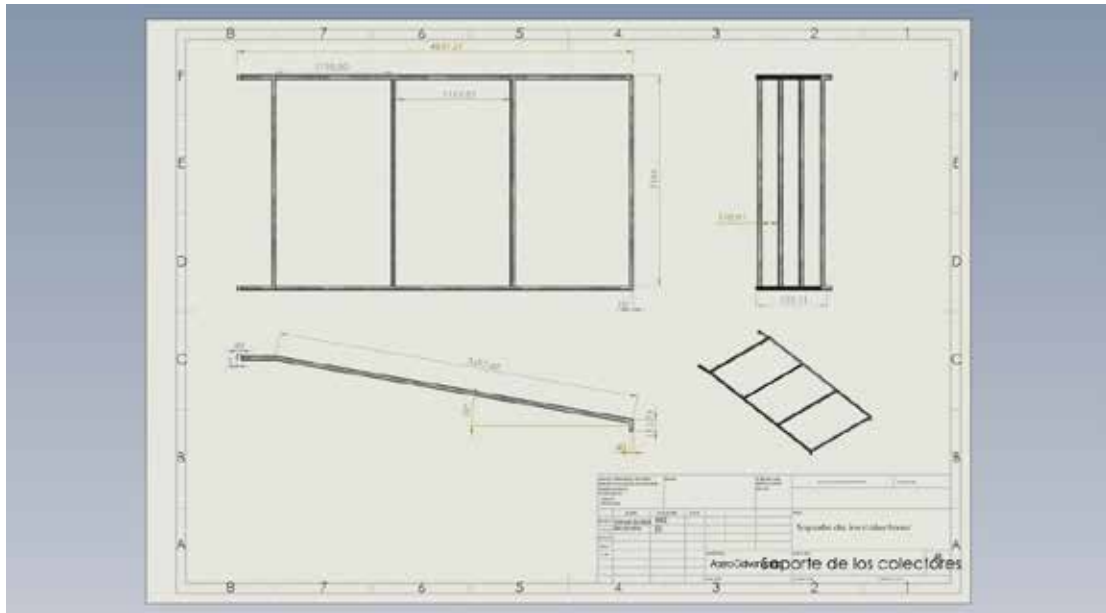


**APÉNDICE I**  
**Plano del Tanque**

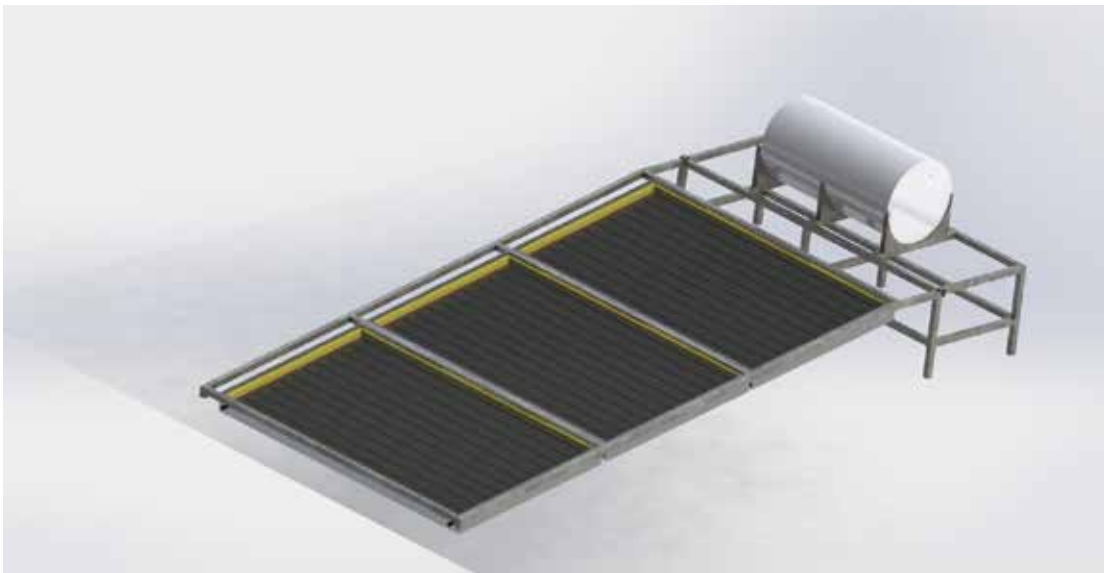
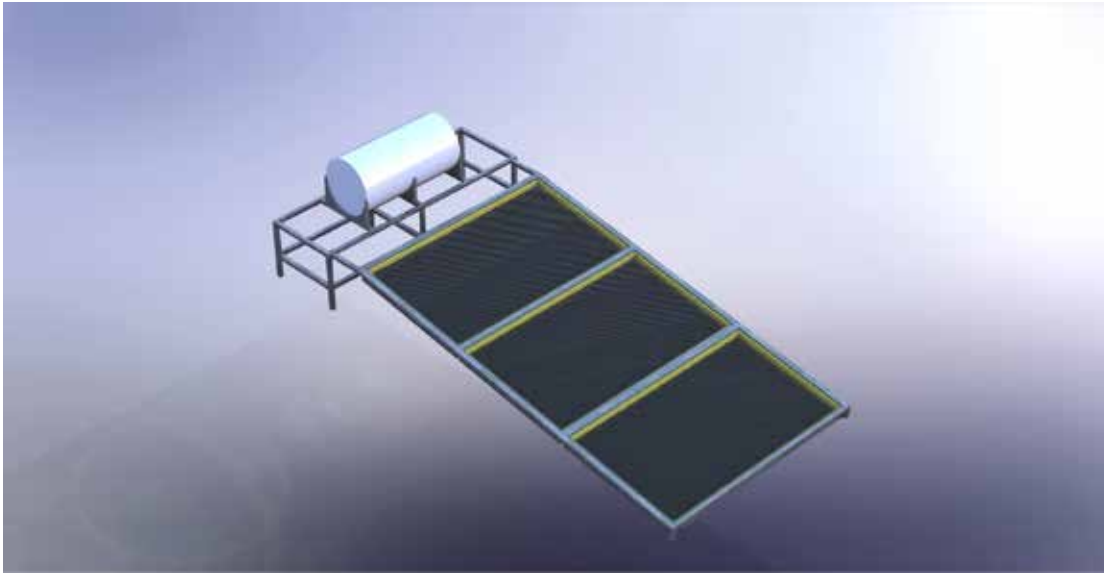


## APÉNDICE J

### Plano del Soporte de los Colectores solares



**APÉNDICE K**  
**Diseño final del Colector**



# ANEXOS

## ANEXO A

### Características de la cubierta de vidrio

GLASS THICKNESS	VISIBLE LIGHT		SOLAR ENERGY			UV
	Transmittance %	Reflectance %	Transmittance %	Reflectance %	Solar Heat Gain Coefficient	Transmittance %
3mm (1/8")	91	8	89	9	.90	77
6mm (1/4")	90	8	87	8	.88	69
10mm (3/8")	89	8	84	7	.86	63
12mm (1/2")	89	8	82	7	.85	59

## ANEXO B

### Características de los tubos de cobre seleccionado

Medida Nominal	Diámetro Exterior	Espesor de Pared			Peso por tramo			Presión Máxima		
		M	L	K	M	L	K	M	L	K
1/8"	0.375"	0.025"	0.030"		2.132 lb	2.524 lb		6.133 lb/psi <sup>2</sup>	7.200 lb/psi <sup>2</sup>	
6.35 mm	9.525 mm	0.635 mm	0.762 mm		0.968 kg	1.146 kg		431.15 kg/cm <sup>2</sup>	506.16 kg/cm <sup>2</sup>	
3/8"	0.500"	0.025"	0.035"	0.049"	2.903 lb	3.965 lb		4.500 lb/psi <sup>2</sup>	6.300 lb/psi <sup>2</sup>	8.820 lb/psi <sup>2</sup>
9.50 mm	12.700 mm	0.635 mm	0.889 mm	1.245 mm	1.318 kg	1.800 kg	5.385 lb	316.35 kg/cm <sup>2</sup>	442.89 kg/cm <sup>2</sup>	620.04 kg/cm <sup>2</sup>
1/2"	0.625"	0.028"	0.040"	0.049"	4.083 lb	5.705 lb	6.890 lb	4.032 lb/psi <sup>2</sup>	5.760 lb/psi <sup>2</sup>	7.056 lb/psi <sup>2</sup>
12.7 mm	15.875 mm	0.711 mm	1.016 mm	1.245 mm	1.854 kg	2.590 kg	3.128 kg	263.45 kg/cm <sup>2</sup>	404.92 kg/cm <sup>2</sup>	406.03 kg/cm <sup>2</sup>
3/4"	0.875"	0.032"	0.045"	0.065"	6.566 lb	9.110 lb	12.813 lb	3.291 lb/psi <sup>2</sup>	4.632 lb/psi <sup>2</sup>	6.085 lb/psi <sup>2</sup>
19 mm	22.225 mm	0.812 mm	1.143 mm	1.651 mm	2.981 kg	4.136 kg	5.817 kg	231.35 kg/cm <sup>2</sup>	325.82 kg/cm <sup>2</sup>	409.95 kg/cm <sup>2</sup>
1"	1.125"	0.035"	0.050"	0.065"	9.310 lb	13.114 lb	16.799 lb	2.900 lb/psi <sup>2</sup>	4.000 lb/psi <sup>2</sup>	5.200 lb/psi <sup>2</sup>
25 mm	28.575 mm	0.889 mm	1.270 mm	1.651 mm	4.227 kg	5.954 kg	7.627 kg	196.84 kg/cm <sup>2</sup>	281.20 kg/cm <sup>2</sup>	290.00 kg/cm <sup>2</sup>
1 1/4"	1.375"	0.042"	0.055"	0.065"	13.696 lb	17.700 lb	20.824 lb	2.749 lb/psi <sup>2</sup>	3.600 lb/psi <sup>2</sup>	4.260 lb/psi <sup>2</sup>
32 mm	34.925 mm	1.067 mm	1.397 mm	1.651 mm	6.200 kg	8.036 kg	9.454 kg	193.25 kg/cm <sup>2</sup>	253.08 kg/cm <sup>2</sup>	209.47 kg/cm <sup>2</sup>
1 1/2"	1.625"	0.049"	0.060"	0.072"	18.821 lb	22.826 lb	27.231 lb	2.713 lb/psi <sup>2</sup>	3.323 lb/psi <sup>2</sup>	3.988 lb/psi <sup>2</sup>
38 mm	41.275 mm	1.245 mm	1.524 mm	1.829 mm	8.545 kg	10.363 kg	12.363 kg	190.72 kg/cm <sup>2</sup>	233.60 kg/cm <sup>2</sup>	280.35 kg/cm <sup>2</sup>
2"	2.125"	0.058"	0.070"	0.083"	29.233 lb	35.042 lb	41.249 lb	2.470 lb/psi <sup>2</sup>	2.965 lb/psi <sup>2</sup>	3.515 lb/psi <sup>2</sup>
51 mm	53.975 mm	1.473 mm	1.778 mm	2.106 mm	13.272 kg	15.909 kg	18.727 kg	173.65 kg/cm <sup>2</sup>	208.43 kg/cm <sup>2</sup>	247.10 kg/cm <sup>2</sup>
2 1/2"	2.625"	0.065"	0.080"		40.647 lb	49.658 lb		2.228 lb/psi <sup>2</sup>	2.742 lb/psi <sup>2</sup>	
64 mm	66.675 mm	1.651 mm	2.032 mm		18.454 kg	22.545 kg		156.62 kg/cm <sup>2</sup>	192.76 kg/cm <sup>2</sup>	
3"	3.125"	0.072"	0.090"		53.663 lb	66.645 lb		2.073 lb/psi <sup>2</sup>	2.592 lb/psi <sup>2</sup>	
76 mm	79.375 mm	1.889 mm	2.286 mm		24.363 kg	30.257 kg		145.73 kg/cm <sup>2</sup>	182.21 kg/cm <sup>2</sup>	
4"	4.125"	0.095"	0.110"		93.310 lb	107.729 lb		2.072 lb/psi <sup>2</sup>	2.400 lb/psi <sup>2</sup>	
102 mm	104.775 mm	2.413 mm	2.794 mm		42.363 kg	48.909 kg		145.65 kg/cm <sup>2</sup>	168.72 kg/cm <sup>2</sup>	

## ANEXO C

### Características del Aislante Lana de Roca

		Denominación	Origen	Conductividad (λ) W/(m.K)	Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua (μ)	Inflamable <sup>3</sup>	Precio aproximado €/m <sup>2</sup>	Formato	Medidas de protección en su instalación	Coste energético de producción M.kWh <sup>2</sup>	Contenido de producto reciclado (0-3) <sup>2</sup>	Biodegradable <sup>4</sup>
 	Lanas minerales (MW)	Lana de roca (SW)	Mineral	0,03 - 0,05	1	NO	6	Panel, rollo y a granel	Ojos, sistema respiratorio y piel	15 - 25	1	No
	Lana de vidrio (GW)	Mineral	0,03 - 0,05	1 - 1,3	NO	6	Panel, rollo y a granel	Ojos, sistema respiratorio y piel	15 - 50	2	No	

## ANEXO D

### Emisividad de las pinturas térmicas

**TABLA A-18**

Emisividades de las superficies (*conclusión*)

b) No metales

Material	Temperatura, K	Emisividad, $\epsilon$	Material	Temperatura, K	Emisividad, $\epsilon$
Alúmina	800-1 400	0.65-0.45	Papel blanco	300	0.90
Aluminio, óxido de	600-1 500	0.69-0.41	Revoque blanco	300	0.93
Asbesto	300	0.96	Porcelana vidriada	300	0.92
Asfalto, pavimento de	300	0.85-0.93	Cuarzo, áspero, vidrio	300	0.93
Ladrillo			Caucho		
Común	300	0.93-0.96	Duro	300	0.93
De arcilla refractaria	1 200	0.75	Suave	300	0.86
Carbono, filamento de	2 000	0.53	Arena	300	0.90
Tela	300	0.75-0.90	Silicio, carburo de	600-1 500	0.87-0.85
Concreto	300	0.88-0.94	Piel humana	300	0.95
Vidrio			Nieve	273	0.80-0.90
De ventana	300	0.90-0.95	Suelo, tierra	300	0.93-0.96
Pyrex	300-1 200	0.82-0.62	Hollín	300-500	0.95
Pyroceram	300-1 500	0.85-0.57	Teflón	300-500	0.85-0.92
Hielo	273	0.95-0.99	Agua profunda	273-373	0.95-0.96
Magnesio, óxido de	400-800	0.69-0.55	Madera		
Mampostería	300	0.80	Haya	300	0.94
Pinturas			Roble	300	0.90
De aluminio	300	0.40-0.50			
Negra, laca, lustrosa	300	0.88			
De aceite, todos los colores	300	0.92-0.96			
De base (primer) roja	300	0.93			
Acrilica blanca	300	0.90			
Esmalte blanco	300	0.90			

## ANEXO E

### Propiedades del agua 1

**TABLA A-2**  
Propiedades en los puntos de ebullición y de congelación

Sustancia	Datos para la ebullición 1 atm		Datos para la congelación		Propiedades del líquido		
	Punto normal de ebullición, °C	Calor latente de vaporización, $h_{fg}$ kJ/kg	Punto de congelación, °C	Calor latente de fusión, $h_{if}$ kJ/kg	Temp., °C	Densidad, $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Calor específico, $C_p$ kJ/kg · °C
Amoniaco	-33.3	1357	-77.7	322.4	-33.3	682	4.43
					-20	665	4.51
					0	639	4.62
					25	603	4.78
Argón	-185.9	161.6	-189.3	28	-185.6	1 394	1.14
Benceno	80.2	394	5.5	126	20	879	1.72
Salmuera (20% de cloruro de sodio por masa)	103.9	—	-17.4	—	20	1 150	3.11
n-Butano	-0.5	385.2	-138.5	80.3	-0.5	601	2.31
Bióxido de carbono	-78.4*	230.5 (a 0°C)	-56.6	—	0	298	0.59
Etanol	78.2	838.3	-114.2	109	25	783	2.46
Etilico, alcohol	78.6	855	-156	108	20	789	2.84
Etilenglicol	198.1	800.1	-10.8	181.1	20	1 109	2.84
Glicerina	179.9	974	18.9	200.6	20	1 261	2.32
Helio	-268.9	22.8	—	—	-268.9	146.2	22.8
Hidrógeno	-252.8	445.7	-259.2	59.5	-252.8	70.7	10.0
Isobutano	-11.7	367.1	-160	105.7	-11.7	593.8	2.28
Queroseno	204-293	251	-24.9	—	20	820	2.00
Mercurio	356.7	294.7	-38.9	11.4	25	13 560	0.139
Metano	-161.5	510.4	-182.2	58.4	-161.5	423	3.49
					-100	301	5.78
Metanol	64.5	1 100	-97.7	99.2	25	787	2.55
Nitrógeno	-195.8	198.6	-210	25.3	-195.8	809	2.06
					-160	596	2.97
Octano	124.8	306.3	-57.5	180.7	20	703	2.10
Aceite (ligero)					25	910	1.80
Oxígeno	-183	212.7	-218.8	13.7	-183	1 141	1.71
Petróleo	—	230-384			20	640	2.0
Propano	-42.1	427.8	-187.7	80.0	-42.1	581	2.25
					0	529	2.51
					50	449	3.12
Refrigerante-134a	-26.1	216.8	-96.6	—	-50	1 443	1.23
					-26.1	1 374	1.27
					0	1 295	1.34
					25	1 207	1.43
Agua	100	2 257	0.0	333.7	0	1 000	4.22
					25	997	4.18
					50	988	4.18
					75	975	4.19
					100	958	4.22

\* Temperatura de sublimación. (A presiones por debajo de la del punto triple de 518 kPa, el bióxido de carbono existe como sólido o gas. Asimismo, la temperatura en el punto de congelación del bióxido de carbono es la temperatura en el punto triple de -56.5°C.)

## ANEXO F

### Propiedades del agua 2



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

#### MECÁNICA DE FLUIDOS II – PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA

Temperatura	Presión de Saturación, $p_v$	Densidad, $\rho$	Viscosidad Dinámica, $\mu$	Viscosidad Cinemática, $\nu$	Temperatura	Presión de Saturación, $p_v$	Densidad, $\rho$	Viscosidad Dinámica, $\mu$	Viscosidad Cinemática, $\nu$
°C	kPa	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m.s	m <sup>2</sup> /s	°C	kPa	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m.s	m <sup>2</sup> /s
0.00	0,611	999,82	1,792E-03	1,792E-06	51.00	12,960	987,56	5,380E-04	5,448E-07
1.00	0,657	999,89	1,731E-03	1,731E-06	52.00	13,612	987,09	5,290E-04	5,359E-07
2.00	0,705	999,94	1,674E-03	1,674E-06	53.00	14,292	986,62	5,210E-04	5,281E-07
3.00	0,757	999,98	1,620E-03	1,620E-06	54.00	15,001	986,14	5,120E-04	5,192E-07
4.00	0,813	1000,00	1,569E-03	1,569E-06	55.00	15,740	985,65	5,040E-04	5,113E-07
5.00	0,872	1000,00	1,520E-03	1,520E-06	56.00	16,510	985,16	4,960E-04	5,035E-07
6.00	0,935	999,99	1,473E-03	1,473E-06	57.00	17,312	984,66	4,880E-04	4,966E-07
7.00	1,001	999,91	1,429E-03	1,429E-06	58.00	18,146	984,16	4,810E-04	4,897E-07
8.00	1,072	999,91	1,386E-03	1,386E-06	59.00	19,015	983,64	4,740E-04	4,819E-07
9.00	1,147	999,85	1,346E-03	1,346E-06	60.00	19,919	983,13	4,670E-04	4,750E-07
10.00	1,227	999,77	1,308E-03	1,308E-06	61.00	20,859	982,60	4,600E-04	4,681E-07
11.00	1,312	999,68	1,271E-03	1,271E-06	62.00	21,837	982,07	4,530E-04	4,613E-07
12.00	1,402	999,58	1,236E-03	1,237E-06	63.00	22,854	981,54	4,470E-04	4,554E-07
13.00	1,497	999,46	1,202E-03	1,203E-06	64.00	23,910	981,00	4,400E-04	4,485E-07
14.00	1,597	999,33	1,170E-03	1,171E-06	65.00	25,008	980,45	4,340E-04	4,427E-07
15.00	1,704	999,19	1,139E-03	1,140E-06	66.00	26,148	979,90	4,280E-04	4,368E-07
16.00	1,817	999,03	1,109E-03	1,110E-06	67.00	27,332	979,34	4,220E-04	4,309E-07
17.00	1,936	998,86	1,081E-03	1,082E-06	68.00	28,561	978,78	4,160E-04	4,250E-07
18.00	2,063	998,68	1,054E-03	1,055E-06	69.00	29,837	978,21	4,100E-04	4,191E-07
19.00	2,198	998,49	1,028E-03	1,030E-06	70.00	31,161	977,63	4,040E-04	4,132E-07
20.00	2,337	998,29	1,003E-03	1,005E-06	71.00	32,533	977,05	3,980E-04	4,084E-07
21.00	2,486	998,08	9,790E-04	9,809E-07	72.00	33,957	976,47	3,940E-04	4,035E-07
22.00	2,642	997,86	9,550E-04	9,570E-07	73.00	35,433	975,88	3,880E-04	3,976E-07
23.00	2,808	997,62	9,330E-04	9,352E-07	74.00	36,963	975,28	3,830E-04	3,927E-07
24.00	2,982	997,38	9,110E-04	9,134E-07	75.00	38,546	974,68	3,780E-04	3,878E-07
25.00	3,166	997,13	8,910E-04	8,936E-07	76.00	40,190	974,08	3,730E-04	3,829E-07
26.00	3,360	996,86	8,710E-04	8,737E-07	77.00	41,890	973,48	3,690E-04	3,791E-07
27.00	3,564	996,59	8,520E-04	8,549E-07	78.00	43,650	972,85	3,640E-04	3,742E-07
28.00	3,779	996,31	8,330E-04	8,361E-07	79.00	45,473	972,23	3,590E-04	3,693E-07
29.00	4,004	996,02	8,150E-04	8,183E-07	80.00	47,359	971,60	3,550E-04	3,654E-07
30.00	4,242	995,71	7,980E-04	8,014E-07	81.00	49,310	970,97	3,510E-04	3,615E-07
31.00	4,491	995,41	7,810E-04	7,846E-07	82.00	51,328	970,33	3,460E-04	3,566E-07
32.00	4,754	995,09	7,650E-04	7,688E-07	83.00	53,415	969,69	3,420E-04	3,527E-07
33.00	5,029	994,76	7,490E-04	7,529E-07	84.00	55,572	969,04	3,380E-04	3,488E-07
34.00	5,318	994,43	7,340E-04	7,381E-07	85.00	57,803	968,39	3,340E-04	3,449E-07
35.00	5,622	994,08	7,200E-04	7,243E-07	86.00	60,107	967,73	3,300E-04	3,410E-07
36.00	5,940	993,73	7,050E-04	7,094E-07	87.00	62,488	967,07	3,260E-04	3,371E-07
37.00	6,274	993,37	6,920E-04	6,966E-07	88.00	64,947	966,41	3,220E-04	3,332E-07
38.00	6,624	993,00	6,780E-04	6,828E-07	89.00	67,486	965,74	3,190E-04	3,303E-07
39.00	6,991	992,63	6,660E-04	6,709E-07	90.00	70,108	965,06	3,150E-04	3,264E-07
40.00	7,375	992,25	6,530E-04	6,581E-07	91.00	72,814	964,38	3,110E-04	3,225E-07
41.00	7,777	991,86	6,410E-04	6,463E-07	92.00	75,607	963,70	3,080E-04	3,196E-07
42.00	8,198	991,46	6,290E-04	6,344E-07	93.00	78,488	963,01	3,040E-04	3,157E-07
43.00	8,639	991,05	6,180E-04	6,236E-07	94.00	81,460	962,31	3,010E-04	3,128E-07
44.00	9,100	990,64	6,070E-04	6,127E-07	95.00	84,525	961,62	2,980E-04	3,099E-07
45.00	9,582	990,22	5,960E-04	6,019E-07	96.00	87,685	960,91	2,950E-04	3,070E-07
46.00	10,085	989,80	5,860E-04	5,920E-07	97.00	90,943	960,20	2,910E-04	3,031E-07
47.00	10,612	989,38	5,760E-04	5,822E-07	98.00	94,301	959,49	2,880E-04	3,002E-07
48.00	11,161	988,92	5,660E-04	5,723E-07	99.00	97,760	958,78	2,850E-04	2,973E-07
49.00	11,735	988,47	5,560E-04	5,625E-07	100.00	101,325	958,05	2,820E-04	2,943E-07
50.00	12,335	988,02	5,470E-04	5,536E-07	101.00	101,300	957,33	2,790E-04	2,914E-07

## ANEXO G

### Propiedades del Aluminio

TABLE A.1 Thermophysical Properties of Selected Metallic Solids\*

Composition	Melting Point (K)	Properties at 300 K				Properties at Various Temperatures (K)												
		$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (J/kg · K)	$k$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$k$ (W/m · K)/ $c_p$ (J/kg · K)												
						100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000				
Aluminum Pure	933	2702	903	237	97.1	302	237	240	231	218								
Alloy 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2770	875	177	73.0	482	798	949	1033	1146								
Alloy 195, Cast (4.5% Cu)		2790	883	168	68.2	473	787	925	1042									
Beryllium	1550	1850	1825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8	78.7						
Bi	545	9780	122	7.86	6.59	16.5	9.69	7.04										
Boron	2573	2500	1107	27.0	9.76	190	55.5	16.8	10.6	9.60	9.85							
Cadmium	594	8650	231	96.8	48.4	203	99.3	94.7										
Chromium	2118	7160	449	93.7	29.1	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4	61.9	57.2	49.4				
Cobalt	1769	8862	421	99.2	26.6	167	122	85.4	67.4	58.2	52.1	49.3	42.5					
Copper Pure	1358	8933	385	401	117	482	413	393	379	366	352	339						
Commercial bronze (90% Cu, 10% Al)	1293	8800	420	52	14	252	356	397	417	433	451	480						
Phosphor gear bronze (89% Cu, 11% Sn)	1104	8780	355	54	17		42	52	59									
Cartridge brass (70% Cu, 30% Zn)	1188	8530	380	110	33.9	75	95	137	149									
Constantan (55% Cu, 45% Ni)	1493	8920	384	23	6.71	17	19	362										
Germanium	1211	5360	322	59.9	34.7	232	96.8	43.2	27.3	19.8	17.4	17.4						

## ANEXO H

### Absortividad por color de pintura

**Tabla E.10 Absortividad del marco para radiación solar  $\alpha$**

Color	Claro	Medio	Oscuro
Blanco	0,20	0,30	---
Amarillo	0,30	0,50	0,70
Beige	0,35	0,55	0,75
Marrón	0,50	0,75	0,92
Rojo	0,85	0,80	0,90
Verde	0,40	0,70	0,88
Azul	0,50	0,80	0,95
Gris	0,40	0,65	---
<b>Negro</b>	0,90	0,96	---

## ANEXO I

### Correlaciones del número de Nusselt para tubo circular

**TABLE 8.4** Summary of convection correlations for flow in a circular tube<sup>a,b,c</sup>











Correlation	Equation	Conditions
$f = 64/Re_D$	(8.19)	Laminar, fully developed
$Nu_D = 4.36$	(8.53)	Laminar, fully developed, uniform $q_w''$
$Nu_D = 3.66$	(8.55)	Laminar, fully developed, uniform $T_s$
$\overline{Nu}_D = 3.66 + \frac{0.0668(D/L)Re_D Pr}{1 + 0.04[(D/L)Re_D Pr]^{0.15}}$	(8.56)	Laminar, thermal entry (or combined entry with $Pr \geq 5$ ), uniform $T_s$
or		
$\overline{Nu}_D = 1.86 \left( \frac{Re_D Pr}{L/D} \right)^{1/3} \left( \frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$	(8.57)	Laminar, combined entry, $0.6 \leq Pr \leq 5$ , $0.0044 \leq (\mu/\mu_s) \leq 9.75$ , uniform $T_s$
$f = 0.316 Re_D^{-1/4}$	(8.20a) <sup>f</sup>	Turbulent, fully developed, $Re_D \leq 2 \times 10^4$
$f = 0.184 Re_D^{-1/5}$	(8.20b) <sup>f</sup>	Turbulent, fully developed, $Re_D \geq 2 \times 10^4$
or		
$f = (0.790 \ln Re_D - 1.64)^{-2}$	(8.21) <sup>f</sup>	Turbulent, fully developed, $3000 \leq Re_D \leq 5 \times 10^6$
$Nu_D = 0.023 Re_D^{0.83} Pr^n$	(8.60) <sup>f</sup>	Turbulent, fully developed, $0.6 \leq Pr \leq 160$ , $Re_D \geq 10,000$ , $(L/D) \geq 10$ , $n = 0.4$ for $T_s > T_m$ and $n = 0.3$ for $T_s < T_m$
or		
$Nu_D = 0.027 Re_D^{0.63} Pr^{1/3} \left( \frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$	(8.61) <sup>f</sup>	Turbulent, fully developed, $0.7 \leq Pr \leq 16,700$ , $Re_D \geq 10,000$ , $L/D \geq 10$
or		
$Nu_D = \frac{(f/8)(Re_D - 1000)Pr}{1 + 12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3} - 1)}$	(8.62) <sup>f</sup>	Turbulent, fully developed, $0.5 \leq Pr \leq 2000$ , $3000 \leq Re_D \leq 5 \times 10^6$ , $(L/D) \geq 10$
$Nu_D = 4.82 + 0.0185(Re_D Pr)^{0.827}$	(8.64)	Liquid metals, turbulent, fully developed, uniform $q_w''$ , $3.6 \times 10^3 \leq Re_D \leq 9.05 \times 10^5$ , $10^2 \leq Pr \leq 10^4$
$Nu_D = 5.0 + 0.025(Re_D Pr)^{0.5}$	(8.65)	Liquid metals, turbulent, fully developed, uniform $T_s$ , $Pr \geq 100$

<sup>a</sup>The mass transfer correlations may be obtained by replacing  $Nu_D$  and  $Pr$  by  $Sh_D$  and  $Sc$ , respectively.

## ANEXO J

### Número de Nusselt para flujo laminar en diferentes secciones

**TABLE 8.1** Nusselt numbers and friction factors for fully developed laminar flow in tubes of differing cross section

Cross Section	$\frac{b}{a}$	$Nu_D = \frac{hD_h}{k}$		$f Re_{D_h}$
		(Uniform $q_w'$ )	(Uniform $T_w$ )	
	—	4.36	3.66	64
	1.0	3.61	2.98	57
	1.43	3.73	3.08	59
	2.0	4.12	3.39	62
	3.0	4.79	3.96	69
	4.0	5.33	4.44	73
	8.0	6.49	5.60	82
	$\infty$	8.23	7.54	96
	$\infty$	5.39	4.86	96
	—	3.11	2.49	53

Used with permission from W. M. Kays and M. E. Crawford, *Convection Heat and Mass Transfer*, 3rd ed. McGraw-Hill, New York, 1993.

## ANEXO K

## Correlaciones del número de Nusselt para flujos externos

TABLE 7.9 Summary of convection heat transfer correlations for external flow<sup>a, b</sup>

Correlation		Geometry	Conditions <sup>c</sup>
$\delta = 5x Re_x^{-1/2}$	(7.19)	Flat plate	Laminar, $T_f$
$C_{f,x} = 0.664 Re_x^{-1/2}$	(7.20)	Flat plate	Laminar, local, $T_f$
$Nu_x = 0.332 Re_x^{1/2} Pr^{1/3}$	(7.23)	Flat plate	Laminar, local, $T_f$ , $Pr \geq 0.6$
$\delta_t = \delta Pr^{-1/3}$	(7.24)	Flat plate	Laminar, $T_f$
$\bar{C}_{f,x} = 1.328 Re_x^{-1/2}$	(7.29)	Flat plate	Laminar, average, $T_f$
$\bar{Nu}_x = 0.664 Re_x^{1/2} Pr^{1/3}$	(7.30)	Flat plate	Laminar, average, $T_f$ , $Pr \geq 0.6$
$Nu_x = 0.565 Pe_x^{1/2}$	(7.32)	Flat plate	Laminar, local, $T_f$ , $Pr \leq 0.05$ , $Pe_x \geq 100$
$C_{f,x} = 0.0592 Re_x^{-1/5}$	(7.34)	Flat plate	Turbulent, local, $T_f$ , $Re_x \leq 10^8$
$\delta = 0.37x Re_x^{-1/2}$	(7.35)	Flat plate	Turbulent, $T_f$ , $Re_x \leq 10^8$
$Nu_x = 0.0296 Re_x^{4/3} Pr^{1/3}$	(7.36)	Flat plate	Turbulent, local, $T_f$ , $Re_x \leq 10^8$ , $0.6 \leq Pr \leq 60$
$\bar{C}_{f,x} = 0.074 Re_x^{-1/2} - 1742 Re_x^{-1}$	(7.40)	Flat plate	Mixed, average, $T_f$ , $Re_{x,c} = 5 \times 10^5$ , $Re_x \leq 10^8$
$\bar{Nu}_x = (0.037 Re_x^{4/3} - 871) Pr^{1/3}$	(7.38)	Flat plate	Mixed, average, $T_f$ , $Re_{x,c} = 5 \times 10^5$ , $Re_x \leq 10^8$ , $0.6 \leq Pr \leq 60$
$\bar{Nu}_D = C Re_D^n Pr^{1/3}$ (Table 7.2)	(7.52)	Cylinder	Average, $T_f$ , $0.4 \leq Re_D \leq 4 \times 10^5$ , $Pr \geq 0.7$
$\bar{Nu}_D = C Re_D^n Pr^m (Pr/Pr_s)^{1/4}$ (Table 7.4)	(7.53)	Cylinder	Average, $T_s$ , $1 \leq Re_D \leq 10^6$ , $0.7 \leq Pr \leq 500$
$\bar{Nu}_D = 0.3 + [0.62 Re_D^{1/2} Pr^{1/3} \times [1 + (0.4/Pr)^{1/4}] \times [1 + (Re_D/282,000)^{5/8}]^{1/4}]$	(7.54)	Cylinder	Average, $T_f$ , $Re_D Pr \geq 0.2$
$\bar{Nu}_D = 2 + (0.4 Re_D^{1/2} + 0.06 Re_D^{2/3}) Pr^{1/4} \times (\mu/\mu_s)^{1/4}$	(7.56)	Sphere	Average, $T_s$ , $3.5 \leq Re_D \leq 7.6 \times 10^4$ , $0.71 \leq Pr \leq 380$
$\bar{Nu}_D = 2 + 0.6 Re_D^{1/2} Pr^{1/3}$	(7.57)	Falling drop	Average, $T_s$
$\bar{Nu}_D = 1.13 C_1 C_2 Re_{D,max}^m Pr^{1/3}$ (Tables 7.5, 7.6)	(7.60), (7.61)	Tube bank <sup>d</sup>	Average, $\bar{T}_f$ , $2000 \leq Re_{D,max} \leq 4 \times 10^4$ , $Pr \geq 0.7$
$\bar{Nu}_D = C C_2 Re_{D,max}^m Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{1/4}$ (Tables 7.7, 7.8)	(7.64), (7.65)	Tube bank <sup>d</sup>	Average, $\bar{T}$ , $1000 \leq Re_D \leq 2 \times 10^6$ , $0.7 \leq Pr \leq 500$

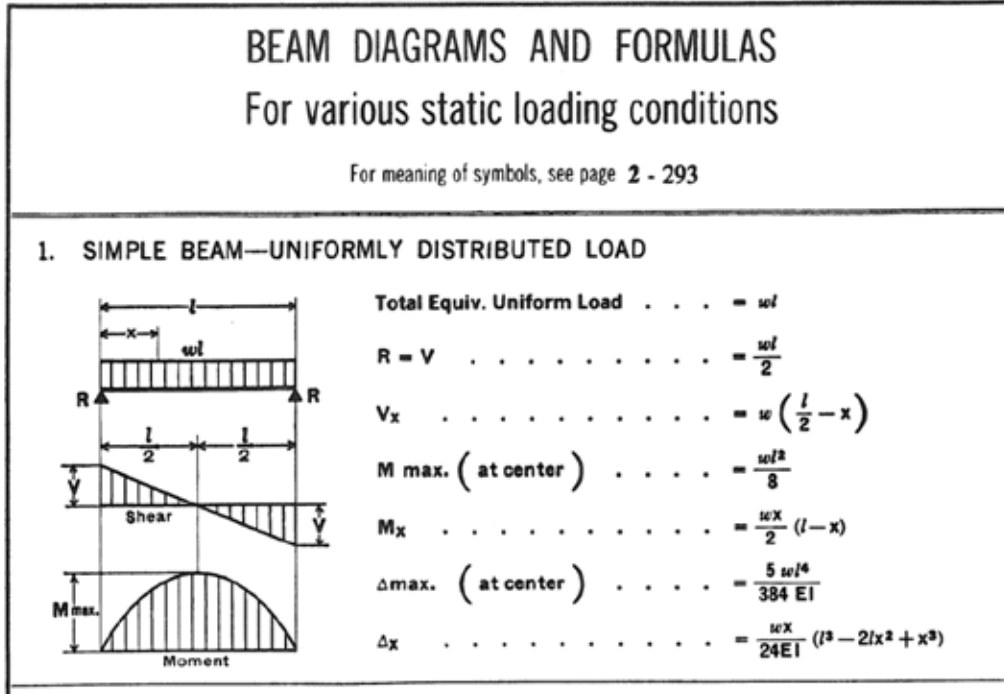
## ANEXO L

### Coeficiente de Fricción

Superficies en contacto	$\mu_s$	$\mu_k$
Cobre sobre acero	0.53	0.36
Acero sobre acero	0.74	0.57
Aluminio sobre acero	0.61	0.47
Caucho sobre concreto	1.0	0.8
Madera sobre madera	0.25-0.5	0.2
Madera encerada sobre nieve húmeda	0.14	0.1
Teflón sobre teflón	0.04	0.04
Articulaciones sinoviales en humanos	0.01	0.003

### ANEXO M

## Superposición de Vigas de carga distribuidas uniformemente

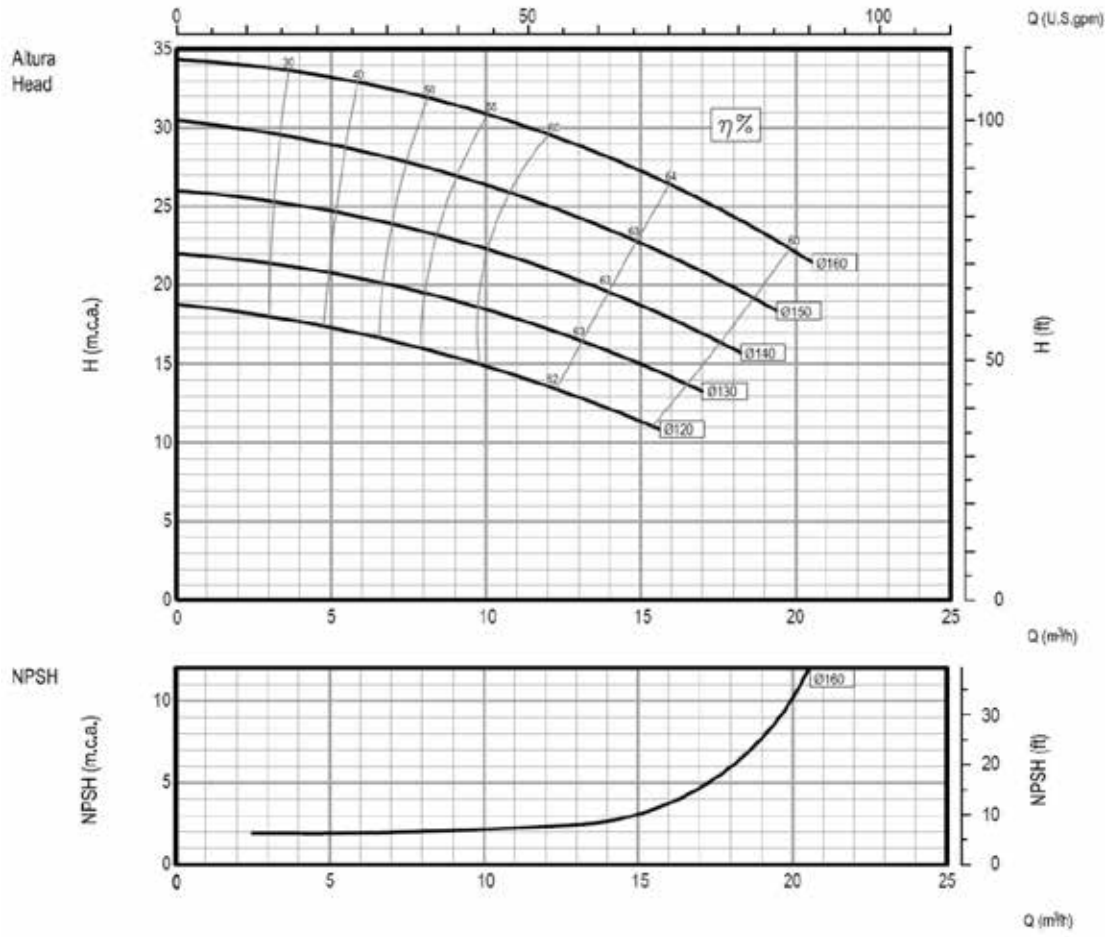


## Propiedades mecánicas del acero

Grade	UNS	Composition (% by weight in heat)					Minimum strength requirements			
		C	Mn	P	S	Cu	tensile	yield (round)	yield (shaped)	elongation
		max %	max %	max %	max %	min %	MPa (ksi)	MPa (ksi)	MPa (ksi)	%
A	K03000	0.26	1.35	0.035	0.035	0.20	310 (45)	230 (33)	270 (39)	25
B	K03000	0.26	1.35	0.035	0.035	0.20	400 (58)	290 (42)	315 (46)	23
C	K02705	0.23	1.35	0.035	0.035	0.20	425 (62)	315 (46)	345 (50)	21
D	K03000	0.26	1.35	0.035	0.035	0.20	400 (58)	250 (36)	250 (36)	23

ANEXO Ñ

## Curva de la bomba seleccionada



## ANEXO O

## Relaciones del coeficiente de Esbeltez

TABLES 6 through 14—Allowable Compressive ( $\sigma_c$ ) Values (1963 AISC), Main Members

$\sigma_a$

*Se usa comúnmente cuando  
haya más económicas*

TABLE 6—33,000 psi yield steel

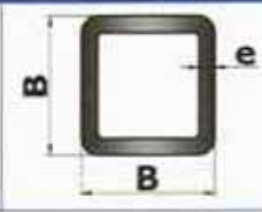
$KL/r$ ratio	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	19,770	19,730	19,690	19,650	19,620	19,580	19,540	19,500	19,460
10	19,410	19,370	19,320	19,280	19,250	19,180	19,130	19,080	18,980
20	18,930	18,880	18,820	18,770	18,710	18,660	18,600	18,540	18,470
30	18,360	18,300	18,240	18,180	18,110	18,050	17,980	17,920	17,850
40	17,710	17,640	17,570	17,500	17,430	17,360	17,290	17,220	17,140
50	16,990	16,920	16,840	16,760	16,680	16,600	16,520	16,440	16,360
60	16,200	16,120	16,050	15,970	15,890	15,810	15,730	15,650	15,570
70	15,340	15,250	15,160	15,070	14,980	14,890	14,800	14,700	14,610
80	14,430	14,320	14,230	14,130	14,030	13,930	13,840	13,740	13,640
90	13,430	13,330	13,230	13,130	13,020	12,920	12,810	12,710	12,600
100	12,380	12,280	12,170	12,060	11,950	11,830	11,720	11,610	11,500
110	11,270	11,150	11,040	10,920	10,800	10,680	10,570	10,450	10,330
120	10,090	9,990	9,880	9,770	9,660	9,540	9,430	9,320	9,200
130	8,830	8,700	8,570	8,440	8,320	8,190	8,070	7,940	7,820
140	7,620	7,510	7,410	7,300	7,200	7,100	7,010	6,910	6,820
150	6,440	6,350	6,260	6,180	6,090	6,020	5,940	5,860	5,780
160	5,330	5,260	5,190	5,120	5,050	4,980	4,920	4,860	4,800
170	4,310	4,250	4,190	4,130	4,070	4,020	3,970	3,920	3,870
180	3,410	3,360	3,310	3,260	3,210	3,160	3,120	3,080	3,040
190	2,610	2,570	2,530	2,490	2,450	2,410	2,370	2,340	2,300
200	1,910	1,880	1,850	1,820	1,790	1,760	1,730	1,700	1,670

TABLE 7—36,000 psi yield steel

$KL/r$ ratio	1	2	3	4	5	6
	21,560	21,520	21,480	21,440	21,390	21,350
10	21,160	21,100	21,050	21,000	20,950	20,890
20	20,600	20,540	20,480	20,410	20,350	20,280
30	19,940	19,870	19,800	19,730	19,650	19,580
40	19,190	19,110	19,030	18,950	18,860	18,780
50	18,350	18,260	18,170	18,080	17,990	17,900
60	17,430	17,330	17,240	17,140	17,040	16,940
70	16,430	16,330	16,220	16,120	16,010	15,900
80	15,360	15,260	15,170	15,070	14,960	14,850
90	14,200	14,090	13,970	13,860	13,750	13,640
100	12,980	12,850	12,730	12,610	12,490	12,370
110	11,670	11,540	11,400	11,260	11,120	10,990
120	10,280	10,140	9,990	9,850	9,700	9,550
130	8,840	8,700	8,570	8,440	8,300	8,160
140	7,420	7,310	7,210	7,100	6,990	6,890
150	6,040	5,950	5,860	5,780	5,690	5,600
160	4,820	4,760	4,690	4,620	4,550	4,480
170	3,770	3,720	3,670	3,620	3,570	3,520
180	2,810	2,770	2,730	2,690	2,650	2,610
190	1,940	1,910	1,880	1,850	1,820	1,790
200	1,160	1,140	1,120	1,100	1,080	1,060

## ANEXO P

## Perfil de Viga del Soporte

TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO			
<b>Largo Normal</b>	6 m		
<b>Recubrimiento</b>	Negro o Galvanizado		
<b>Norma de Fabricación</b>	ASTM A 500, ASTM A 123		
<b>Otras dimensiones:</b>	Largo y dimensiones disponibles, previa consulta		
Dimensiones		Espesor	Peso
Designación	B	e	P
Pig	mm	mm	Kg/6m
3/4	20	1,50	4,98
		2,00	6,30
1	25	1,50	6,36
		2,00	8,16
1 1/4	30	1,50	7,80
		2,00	10,08
1 1/2	40	1,50	10,62
		2,00	13,86
		3,00	19,80
2	50	1,50	13,44
		2,00	17,58
		3,00	25,50
2 3/8	60	1,50	16,26
		2,00	22,44
		3,00	33,30
3	75	2,00	27,00
		3,00	39,60
		4,00	51,54
4	100	2,00	36,42
		3,00	53,76
		4,00	70,38