

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONDENSACIÓN DE AGUA APROVECHANDO LA  
HUMEDAD PRESENTE EN EL AIRE DEL MUNICIPIO DE URIBIA, LA GUAJIRA**

**SEBASTIAN DÍAZ GUTIÉRREZ**

**Proyecto integral de grado para optar el título de  
Ingeniero Mecánico**

**Orientador**

**CLAUDIO ALBERTO MORENO ARIAS**

**Ingeniero Mecánico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERIAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**BOGOTÁ D.C.**

**2021**



## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente Institucional y Rector del Claustro

**Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA**

Consejero Institucional

**Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA – PEÑA**

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

**Dra. ALEXANDRA MEJIA GUZMAN**

Vicerrector administrativo y Financiero

**Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO**

Secretario General

**Dr. JOSE LUIS MACIAS RODRIGUEZ**

Decano Facultad de Ingeniería

**Dr. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI**

Director del Programa de Ingeniería Mecánica

**Ing. MARIA ANGELICA ACOSTA PEREZ**

*Quiero dedicar este proyecto primeramente a Dios por brindarme la salud, la sabiduría y la fortaleza para afrontar en momentos difíciles, para poder llevar a cabo este proyecto de grado y así alcanzar el título de Ingeniero Mecánico*

*Agradezco de corazón a mis padres, Alfredo Díaz y Nubia Gutiérrez, por el gran esfuerzo con el que me apoyaron para la consecución de este logro; por toda su dedicación y sacrificio que fue un impulso para darles este motivo de orgullo. Su constante apoyo me permitió lograr esta meta.*

*Agradezco a mi hermano Andrés Díaz; por estar siempre hay cuando lo necesite y por darme su apoyo en momentos en los que lo necesite, este título también es de él.*

*Por último, agradezco a mi abuela María Natividad, por darme todo su apoyo y fortaleza para verme convertido en ingeniero, este es mi regalo para ella, una muestra de que todo es posible, también agradezco a mi abuelo Luis María, pues, aunque no esté en este mundo, sé que donde quiera que esté siempre me apoyo y me mantuvo firme en el objetivo de convertirme en ingeniero.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la Fundación Universidad de América por brindar todo el apoyo técnico y teórico mediante su cuerpo de orientadores, docentes y cargos administrativos, los cuales, siempre estuvieron al tanto del desarrollo de este proyecto.

Igualmente, agradezco al ingeniero Claudio Alberto Moreno Arias por su compromiso con la realización de este proyecto.

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	19
<b>OBJETIVOS</b>	20
<b>1. ZONA GEOGRAFICA, CONSUMO POBLACIONAL</b>	21
1.1 Municipio de Uribia	21
1.1 Condiciones Climaticas De Uribia	22
1.1.1 <i>Temperatura</i>	22
1.1.2 <i>Aire</i>	23
1.1.3 <i>Humedad</i>	24
1.1.4 <i>Temperatura de punto de rocío</i>	26
1.1.5 <i>Psicrometría</i>	27
1.1.6 <i>Altura</i>	28
1.1.7 <i>Viento</i>	28
1.2 Condiciones Demográficas De Uribia	30
1.2.1 <i>Demanda de agua</i>	30
1.5.2 <i>Población objetivo</i>	32
<b>2. CONDENSACIÓN DEL AGUA</b>	33
2.1 El Agua	33
2.1.1 <i>Cambios de fase</i>	34
2.1.2 <i>Condensación del agua</i>	36
2.2 Métodos De Condensación De Agua	37
2.2.1 <i>Condensación en película</i>	37
2.2.2 <i>Condensación por gotas</i>	38

2.2.3	<b><i>Obtención de la condensación del agua</i></b>	39
2.2.4	<b><i>Ciclos de refrigeración</i></b>	40
2.2.5	<b><i>Módulos de efecto Peltier</i></b>	44
2.2.6	<b><i>Bobinas helicoidales</i></b>	48
<b>3.</b>	<b>PARAMETROS DE DISEÑO Y MODO FUNCIONAL</b>	50
3.2	<b>Parámetros Funcionales</b>	50
3.2.1	<b><i>Sistema estructural</i></b>	51
3.2.2	<b><i>Sistema de alimentación</i></b>	51
3.2.3	<b><i>Sistema térmico</i></b>	51
3.2.4	<b><i>Sistema de almacenamiento</i></b>	52
3.2.5	<b><i>Sistema de control</i></b>	52
3.3	<b>Parametros De Diseño</b>	53
3.3.1	<b><i>Psicrometría de Uribia</i></b>	53
3.3.2	<b><i>Consumo de agua</i></b>	54
3.3.3	<b><i>Tiempo de servicio</i></b>	55
3.3.4	<b><i>Espacio</i></b>	55
3.4	<b>Diseño Conceptual</b>	57
3.5	<b>Alternativas De Solución</b>	58
3.5.1	<b><i>Alternativa 1</i></b>	58
3.5.2	<b><i>Alternativa 2</i></b>	59
3.5.3	<b><i>Alternativa 3</i></b>	60
3.6	<b>Selección De Alternativas</b>	61
3.6.1	<b><i>Espacio</i></b>	62
3.6.2	<b><i>Mantenimiento</i></b>	62
3.6.3	<b><i>Eficiencia</i></b>	62

3.6.4	<b>Consumo de energía</b>	62
3.6.5	<b>Costo</b>	63
3.7	<b>Método De Ponderación Lineal</b>	63
3.8	<b>Selección Del Refrigerante</b>	64
3.8.1	<b>Criterios de selección del refrigerante</b>	65
3.8.2	<b>Método de ponderación lineal</b>	65
4.	<b>DISEÑO DETALLADO DEL SISTEMA</b>	68
4.2	<b>Sistema Térmico</b>	68
4.2.1	<b>Carga térmica</b>	68
4.2.2	<b>Ciclo termodinámico</b>	73
4.2.3	<b>Diseño del intercambiador de calor</b>	75
4.2.4	<b>Selección del compresor</b>	91
4.2.5	<b>Diseño del condensador</b>	98
4.2.6	<b>Selección de la válvula de expansión</b>	107
4.2.7	<b>Selección de tubería para el sistema</b>	108
4.3	<b>Sistema De Almacenamiento</b>	112
4.3.1	<b>Tanque de almacenamiento</b>	112
4.4	<b>Sistema De Alimentación</b>	114
4.4.1	<b>Selección del ventilador</b>	114
4.5	<b>Sistema De Control</b>	117
4.5.1	<b>Variables a controlar</b>	118
4.5.2	<b>Elementos de control</b>	118
4.5.3	<b>Válvulas de control</b>	119
4.5.4	<b>Elementos seleccionados</b>	119

4.5.5 <i>Funcionamiento del sistema de control.</i>	121
4.6 <b>Sistema Estructural.</b>	122
4.6.1 <i>Definición de cargas.</i>	122
4.6.2 <i>Soporte crítico.</i>	123
4.7 <b>Planos.</b>	134
<b>5. MANUALES DE ENSAMBLE, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.</b>	135
5.2 <b>Manual De Ensamble</b>	135
5.2.1 <i>Ensamblaje del intercambiador de calor y del condensador.</i>	135
5.2.2 <i>Montaje del compresor</i>	137
5.2.3 <i>Montaje del ventilador</i>	141
5.2.4 <i>Ensamble del tanque</i>	143
5.2.5 <i>Montaje de las líneas de refrigerante</i>	145
5.2.6 <i>Ensamble del sistema estructural</i>	146
5.2.7 <i>Ensamble final del sistema</i>	149
5.3 <b>Manual De Operación</b>	152
5.4 <b>Manual De Mantenimiento</b>	153
<b>6. IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO</b>	161
6.1 <b>Aspectos ambientales</b>	161
6.1.1 <i>Acciones</i>	161
6.1.2 <i>Parámetros de evaluación de impacto ambiental</i>	162
6.1.3 <i>Matriz de impacto ambiental</i>	163
<b>7. ANALISIS ECONÓMICO</b>	168
7.1 <b>Costos</b>	168
7.1.1 <i>Costos de ingeniería</i>	168
7.1.2 <i>Costos de material</i>	168

7.1.3 <i>Costos de fabricación</i>	170
7.1.4 <i>Costos de construcción del proyecto</i>	171
7.1.5 <i>Costos de operación</i>	171
7.1.6 <i>Costos de mantenimiento.</i>	172
7.2 <b>Análisis Costo-Efectividad.</b>	172
<b>8. CONCLUSIONES</b>	<b>175</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>177</b>

## LISTADO DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Ubicación geográfica de Uribia.	21
Figura 2. Humedad relativa anual Uribia.	26
Figura 3. Carta psicométrica aire a temperatura normal y al nivel del mar	27
Figura 4. Dirección del viento.	29
Figura 5. Formación de la molécula de agua.	33
Figura 6. Representación microscópica de los tres estados de la materia.	34
Figura 7. Diagrama de fases del agua.	35
Figura 8. Condensación en película.	38
Figura 9. Condensación por gotas.	39
Figura 10. Diagrama T-S del ciclo invertido de Carnot.	40
Figura 11. Diagrama T-S ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.	42
Figura 12. Esquema y diagrama T-s ciclo real de refrigeración por compresión devapor.	43
Figura 13. Circuito básico del efecto Peltier.	44
Figura 14. Esquema de un generador termoeléctrico simple.	45
Figura 15. Generador de potencia termoeléctrica.	46
Figura 16. Refrigerador termoeléctrico.	47
Figura 17. Esquema de la bobina helicoidal.	48
Figura 18. Diagrama de subsistemas.	50
Figura 19. Distribución espacial de una ranchería.	56
Figura 20. Diagrama de caja negra.	57
Figura 21. Esquema de la alternativa 1.	59
Figura 22. Esquema de la alternativa 2.	60
Figura 23. Esquema de la alternativa 3.	61
Figura 24. Flujos de materia del sistema.	67
Figura 25. Entrada de aire al sistema.	69
Figura 26. Diagrama de la transformación psicométrica.	72
Figura 27. Ciclo termodinámico (diagrama de P(log) vs s).	74

Figura 28. Propiedades de los flujos.	76
Figura 29. Perfil de temperaturas intercambiador de calor.	77
Figura 30. Arreglo de tubos para evaporadores.	79
Figura 31. Correlaciones del número de Nusselt para flujo cruzado en bancos de tubos	82
Figura 32. Factor de corrección de la LDMT.	84
Figura 33. Factor de corrección.	85
Figura 34. Configuración lado aire del intercambiador.	86
Figura 35. Configuración de la placa frontal del intercambiador.	87
Figura 36. Condiciones iniciales software Coolselector® Danfoss.	91
Figura 37. Compresores marca Danfoss.	92
Figura 38. Compresor DS483-3 Danfoss.	93
Figura 39. Datos iniciales selección del compresor BITZER.	94
Figura 40. Compresor marca BITZER.	95
Figura 41. Datos iniciales software Select 8®.	95
Figura 42. Compresor Copeland.	96
Figura 43. Perfil de temperatura del condensador.	99
Figura 44. Arreglo de tubos para el condensador.	100
Figura 45. Válvula de expansión termostática OZE38GA9X9.	108
Figura 46. Configuración de la tubería hacia la aspiración del compresor.	110
Figura 47. Esquema de conexión de tubería.	111
Figura 48. Tanque de almacenamiento.	114
Figura 49. Selección del ventilador con software EasyVent de Soler & Palau.	116
Figura 50. Dimensiones del ventilador HGTA-800/L-0,75HP/4-725 rpm.	117
Figura 51. Transmisor de temperatura y humedad THDRC de Autonics.	120
Figura 52. Módulo LOGO con sus módulos auxiliares.	121
Figura 53. Diagrama de cuerpo libre.	124
Figura 54. Diagramas de cargas distribuidas para el análisis del soporte crítico	124
Figura 55. Diagrama de fuerza cortante.	126
Figura 56. Diagrama de momento flector.	126
Figura 57. Listado de cargas mayoradas NSR 10.	129

Figura 58. Valores aproximados del factor de longitud efectiva.	132
Figura 59. Paso 1 y 2 ensamblaje Intercambiador de calor (Condensador).	136
Figura 60. Paso 3 y 4 ensamblaje intercambiador de calor (condensador).	136
Figura 61. Paso 5 y 6 ensamblaje del intercambiador de calor (condensador).	137
Figura 62. Medidas de seguridad antes del montaje del compresor.	138
Figura 63. Instrucciones de montaje mecánico del compresor.	139
Figura 64. Instrucciones del montaje de las líneas de refrigerante.	140
Figura 65. Diagrama de conexión para compresores scroll de Danfoss.	141
Figura 66. Disposiciones de conexión eléctrica del ventilador.	142
Figura 67. Disposiciones de instalación de ventiladores Soler & Palau.	143
Figura 68. Ensamble paso a paso del tanque de almacenamiento	144
Figura 70. Proceso de soldadura para tubos de cobre. (Parte 1).	146
Figura 71. Proceso de ensamble del soporte de los intercambiadores.	147
Figura 72. Proceso de ensamble del soporte crítico.	148
Figura 73. Proceso de ensamble del soporte general.	149
Figura 74. Procedimiento de ensamblaje del sistema de condensación paso 1.	150
Figura 75. Procedimiento ensamblaje del sistema de condensación paso 2.	151
Figura 76. Procedimiento ensamblaje sistema de condensación paso 3.	151
Figura 77. Procedimiento ensamblaje sistema de condensación paso 4.	152
Figura 78. Operación del sistema de condensación.	153
Figura 79. Parámetros de evaluación de impacto ambiental.	163

## LISTA DE TABLAS.

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Promedio de temperatura de Uribia últimos 30 años.	23
Tabla 2. Composición del aire atmosférico	23
Tabla 3. Humedad relativa anual de los últimos 7 años.	25
Tabla 4. Tabla concluyente datos Uribia.	30
Tabla 5. Dotación por habitante según nivel de complejidad del sistema.	31
Tabla 6. Propiedades psicométricas del aire en Uribia a temperatura y humedad promedio.	54
Tabla 7. Alternativas de solución.	62
Tabla 8. Criterios de evaluación.	63
Tabla 9. Método de ponderación lineal para el sistema térmico.	64
Tabla 10. Alternativas para el refrigerante.	65
Tabla 11. Criterios de evaluación para el refrigerante.	66
Tabla 12. Método de ponderación lineal para refrigerante.	66
Tabla 13. Resultados transformación psicrométrica.	70
Tabla 14. Resultados punto 2 diagrama psicrométrico.	70
Tabla 15. Calor necesario y vapor condensado en la transformación.	72
Tabla 16. Datos iniciales ciclo termodinámico.	73
Tabla 17. Ciclo termodinámico.	74
Tabla 18. Datos técnicos compresor SH140-3.	97
Tabla 19. Datos iniciales para diseño del condensador.	98
Tabla 20. Relación de dimensiones de aspiración y descarga del sistema térmico.	109
Tabla 21. Relación de longitudes de tubería.	111
Tabla 22. Relación de accesorios	112
Tabla 23. Relación de instrumentos.	118
Tabla 24. Relación de válvulas.	119
Tabla 25. Propiedades del acero ASTM A36.	122
Tabla 26. Definición de cargas.	123
Tabla 27. Información de carga mayorada del sistema.	130

Tabla 28. Relación de áreas requeridas por columnas.	131
Tabla 29. Resultados de esbeltez.	133
Tabla 30. Resistencia de las columnas.	134
Tabla 31. Paso a paso del ensamblaje del intercambiador de calor.	135
Tabla 32. Paso a paso de ensamble del tanque.	145
Tabla 33. Proceso de ensamble del soporte de los intercambiadores.	147
Tabla 34. Proceso de ensamble del soporte crítico.	148
Tabla 35. Proceso de ensamble del soporte general.	149
Tabla 36. Proceso de ensamble del sistema de condensación.	150
Tabla 37. Inspección de mantenimiento sistema de alimentación.	154
Tabla 38. Inspecciones de mantenimiento del sistema estructural.	154
Tabla 39. Inspecciones de mantenimiento del sistema térmico.	155
Tabla 40. Inspecciones de mantenimiento del sistema de almacenamiento.	156
Tabla 41. Inspecciones de mantenimiento del sistema de control.	157
Tabla 42. Procedimiento de mantenimiento.	158
Tabla 43. Evaluación de impacto ambiental para las acciones en fase de construcción.	164
Tabla 44. Evaluación de impacto ambiental durante el funcionamiento del sistema.	165
Tabla 45. Evaluación de impacto ambiental durante las tareas de mantenimiento del sistema.	166
Tabla 46. Relevancia del impacto.	167
Tabla 47. Costos de ingeniería.	168
Tabla 48. Costos de los equipos seleccionados.	169
Tabla 49. Costos de material.	169
Tabla 50. Costos de fabricación.	171
Tabla 51. Costo total del proyecto.	171
Tabla 52. Costos de operación.	172
Tabla 53. Costos de mantenimiento.	172

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
Anexo 1. Catálogo de tubería de cobre nacobre	182
Anexo 2. Catalogo compresores para r-410 <sup>a</sup> de danfoss	183
Anexo 3. Especificaciones ventilador de admición hgta-800l	184
Anexo 4. Especificaciones vavula de expansión termoestatica.	185
Anexo 5. Especificación switch de nivel del tanque de almacenamiento	187
Anexo 6. Especificaciones del sensor de humedad relativa y temperatura ambiente.	188
Anexo 7. Cotización de tubería sistema termico.	189
Anexo 8. Cotización láminas de aluminio	190
Anexo 9 .cotización láminas de acero	191
Anexo 10. Cotización valvula de expansión.	192
Anexo 11. Cotización servicios de electricos mas insumos	193
Anexo 12. Planos del sistema de condensación de agua.	194
Anexo 13. Recomendaciones	195

## RESUMEN

En el presente proyecto se expone el desarrollo de ingeniería de un sistema de condensación de agua aprovechando la humedad presente en el aire del municipio de Uribia, La Guajira, en cual se condensan los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de la carrera de ingeniería mecánica.

Se determinaron las condiciones climáticas y demográficas del municipio en el que planteo el proyecto, posteriormente se determinaron las bases teóricas teniendo en cuenta los métodos mediante los cuales es posible condensar el agua presente en el aire, además de los equipos con los cuales es posible conseguir este fenómeno. Con base en lo anterior, se establecieron los parámetros funcionales y operacionales del sistema, para así proponer 3 alternativas orientadas hacia el sistema térmico. Mediante el método de ponderación lineal se escogió un ciclo de compresión de vapor mediante intercambiador de calor como el corazón del sistema térmico, debido a la utilización de un refrigerante para el ciclo de compresión de vapor, se determinó que el refrigerante óptimo para esta aplicación es el R-410<sup>a</sup>. Con base a esto se desarrolló el diseño detallado del sistema térmico, estructural, de alimentación, de almacenamiento y de control.

Una vez elaborado el diseño detallado del sistema, se procedió a la realización de los manuales de ensamblaje, operación y mantenimiento del sistema de condensación, para finalmente presentar los costos de elaboración del proyecto y la evaluación económica del sistema con el fin de estimar la viabilidad del proyecto.

**Palabras clave:** Condensación, humedad, compresión de vapor, refrigerante, agua.

## INTRODUCCIÓN

El agua es el líquido más importante para el desarrollo de la vida en la tierra, pero no solo sirve para esto, también es importante en el desarrollo económico y social de las comunidades.

La Guajira en unos de los lugares más áridos y con menos disponibilidad de agua en la superficie colombiana, por esta razón el desarrollo de esta región se ha visto truncado y la desigualdad es evidente. Actualmente la situación respecto al suministro del acuífero en el municipio de Uribia es limitado, lo cual trae como consecuencia la desnutrición, los problemas de salud y la muerte.

El desarrollo de este proyecto prevé una solución a este problema mediante la utilización de un recurso natural renovable presente en la toda la superficie terrestre como lo es el aire, el cual trae consigo un cierto porcentaje de agua representado en un parámetro como la humedad relativa. La condensación de este porcentaje de agua es posible mediante varios métodos y con la utilización de varios equipos presentes en diferentes procesos industriales de la cotidianidad.

Finalmente, el proyecto se centra únicamente en el diseño del sistema de condensación de agua y no contempla el tratamiento para la potabilización de la misma.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Diseñar un sistema de condensación de agua aprovechando la humedad presente en el aire del municipio de Uribia, La Guajira.

### **Objetivos específicos**

1. Caracterizar la zona geográfica del proyecto, el consumo de agua de la población y los métodos de condensación de agua.
2. Establecer el diseño conceptual determinando los parámetros de diseño y el modo funcional del equipo.
3. Diseñar detalladamente el equipo de condensación de agua.
4. Elaborar los manuales de ensamble, operación y mantenimiento.
5. Realizar el análisis económico del proyecto y la evaluación de impacto ambiental.

## 1 ZONA GEOGRAFICA, CONSUMO POBLACIONAL

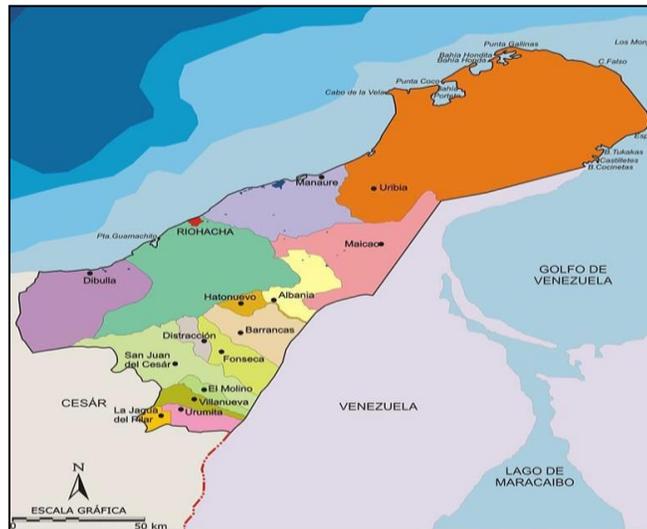
El presente capítulo expondrá los diferentes parámetros que se consideraran para el desarrollo de este proyecto. También se recopilará información acerca de las condiciones demográficas del municipio de Uribia con el fin de establecer la demanda requerida de agua y así determinar la dotación por familia para el municipio.

### 1.1. Municipio de Uribia

El municipio de Uribia se encuentra ubicado al norte del departamento de La Guajira, en Colombia. Tiene una extensión de 8200 Km<sup>2</sup>, cuenta con un total de población de 160711 habitantes. Su economía se basa en la ganadería caprina, el comercio, el turismo, el procesamiento de dividivi una planta utilizada para propósitos medicinales e industriales, además de la explotación de carbón y gas natural. [1]

Figura 1.

*Ubicación geográfica de Uribia.*



**Nota.** Esta imagen muestra la ubicación geográfica del municipio de Uribia en el departamento de La Guajira en Colombia. Tomado de: TODA COLOMBIA. [Sitio web]. Municipios de la Guajira división política. Disponible en: <https://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/la-guajira/municipios-division-politica.html#1> [Acceso: ene.22 2020].

« Actualmente en el municipio cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales en estado de abandono, un hallazgo por parte de Corpoguajira da cuenta de las deficiencias estructurales y fallas en la bocatoma de la planta por lo cual de las 6 lagunas de oxidación solo quedaron funcionales 2, en tanto las otras 4 deberán ser reconstruidas por los daños encontrados, por esta razón la misma entidad en conjunto con el Ministerio de Ambiente sugirieron la búsqueda de sistemas alternativos de suministro de agua para las diferentes comunidades afectadas por el desabastecimiento. » [2]

Por esta razón en este proyecto se busca generar una alternativa sustentable que combata el desabastecimiento de agua para las diferentes comunidades, en su mayoría indígenas wayuu, que sufren del abandono estatal y de la falta de voluntad política por parte de los entes gubernamentales de la región y del país.

## **1.2 Condiciones climáticas de Uribia**

Para realización del proyecto se deben tener en cuenta diferentes parámetros climáticos como lo son la temperatura, la humedad relativa, la composición del aire.

### **1.2.1. Temperatura**

Aunque no existe una definición formal para este término, “suele asumirse que la temperatura una medida de la “concentración de calor” que se encuentra en un cuerpo, por lo cual, cuanto más alta sea la temperatura más con concentración de calor ha de existir en este cuerpo, de modo contrario cuanto menos temperatura tenga un cuerpo, menos concentración de calor ha de existir en él.” [3]

Para este caso, las condiciones en cuanto a temperatura, son favorables pues la variación de los datos es mínima como se muestra en la **Tabla 1**.

**Tabla 1.**

*Promedio de temperatura de Uribia últimos 30 años.*

Nombre	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	prom
Nazaret	25.7	25.8	26.3	26.9	27.5	27.9	27.8	28.3	28.4	27.8	27.1	26.1	27.1
Rancho Grande	27.8	27.8	28.3	29	29.4	29.8	29.9	30.1	29.7	29	28.7	28.1	29
Pto Bolívar	27	27	27.4	28.1	29	29.5	29.3	29.5	29.3	28.8	28.3	27.5	28.4

**Nota.** Esta tabla relaciona los valores promedio de temperatura para el municipio de Uribia, La Guajira durante los últimos 30 años (1989-2019). Tomado de: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. [En Línea]. Disponible: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Car> [Acceso: ene.23, 2020]

### 1.2.2. Aire

El aire atmosférico es una mezcla de varios gases en diferentes proporciones como se expresa en la **Tabla 2.**

**Tabla 2.**

*Composición del aire atmosférico*

Compuesto	Volumen (%)
Nitrógeno	78.08
Oxígeno	20.95
Gases Inertes	0.93
Dióxido de Carbono	0.03
Vapor de Agua	1.00

**Nota.** Esta tabla muestra la composición en porcentaje volumétrico de aire atmosférico en la tierra. Tomado de: Fundación española para la ciencia y la tecnología “UNIDAD DIDÁCTICA METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA”. [En línea]. Madrid 2004. Disponible en: <https://cab.inta-csic.es/uploads/culturacientifica/adjuntos/20130121115236> [Acceso: ene.23 2020]

El porcentaje de vapor de agua en el aire puede variar debido a las características propias de los sitios de estudio, así como de la densidad poblacional y del número de edificaciones presentes en la zona.

### 1.2.3. Humedad.

“Es la cantidad de vapor de agua presente en el aire, no es una propiedad constante pues depende de la cercanía al mar, de las precipitaciones, de las condiciones de flora y fauna y de otros factores.” [4]

“La cantidad de vapor de agua puede variar entre el 0.05% y el 3% en masa, en un rango de temperaturas de entre -17.3°C a 38°C.” [5]

Generalmente el contenido de humedad en la atmosfera es expresada de diferentes maneras, entre las más comunes tenemos:

- Humedad absoluta: Es la relación entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco contenido en la mezcla de aire atmosférico, la cual puede ser calculado con la **Ecuación 1.** [5]

$$w = \frac{m_{agua}}{m_{aire}}$$

- Humedad relativa: Esta es la medida más común utilizada en referencia a las condiciones ambientales utilizados por los meteorólogos, se define como la relación porcentual entre la presión real del vapor de agua contenida en el aire húmedo y la presión del vapor saturado a la misma temperatura como se muestra en la **Ecuación 2.**

$$h = \frac{P_{vapor}}{P_{saturación}} \times 100$$

La posición costera del municipio de Uribia hace que la humedad relativa a lo largo del año sea alta y en promedio sea constante como se observa en la **Tabla 3.**

**Tabla 3.**

*Humedad relativa anual de los últimos 7 años.*

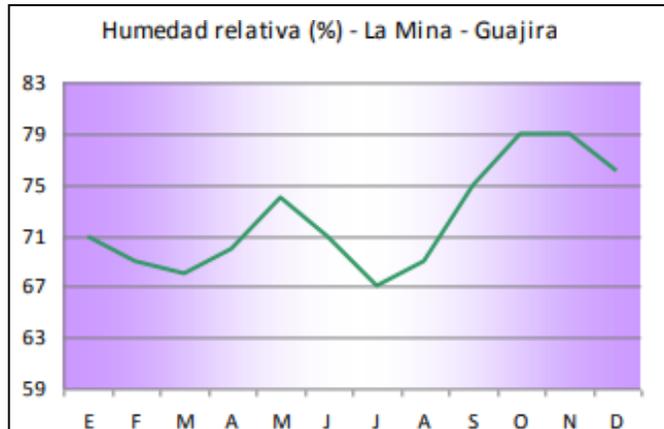
<b>Estación</b>	<b>Altitud</b>	<b>Año</b>	<b>Promedio</b>
Aeropuerto Puerto Bolívar	10	2013	77
Aeropuerto Puerto Bolívar	10	2014	78
Aeropuerto Puerto Bolívar	10	2015	68
Aeropuerto Puerto Bolívar	10	2016	67
Aeropuerto Puerto Bolívar	10	2017	71
Aeropuerto Puerto Bolívar	10	2018	70
Aeropuerto Puerto Bolívar	10	2019	68

**Nota.** Esta tabla muestra el promedio anual en el punto de monitoreo del aeropuerto Puerto Bolívar a una altitud de 10 m.s.n.m en el municipio de Uribia durante los últimos 7 años (2013-2019). Tomado de: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. [En Línea]. Disponible: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Car> [Acceso: ene.23, 2020]

Además, es necesario conocer las épocas del año en las que la humedad es mínima con el fin de hacer un diseño funcional para cualquier condición que se pueda presentar a lo largo del año.

**Figura 2.**

*Humedad relativa anual Uribia.*



**Nota.** Esta figura es una gráfica en la que se representa la variación de la humedad relativa en Uribia durante los 12 meses del año 2019. Tomado de: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. [En Línea]. Disponible: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Car> [Acceso: ene.23, 2020]

En la **Figura 2** vemos un perfil de humedad relativa anual por promedio mensual en un punto de medición ubicado en cercanía al complejo de minería El Cerrejón, de la cual es posible deducir que el mes con menor promedio de humedad relativa es Julio, en el cual se llega a un mínimo anual de aproximadamente 67%.

#### **1.2.4. Temperatura de punto de rocío**

Inicialmente se definirá el punto de rocío como el punto en el cual se llega a la condensación del vapor de agua. [6]

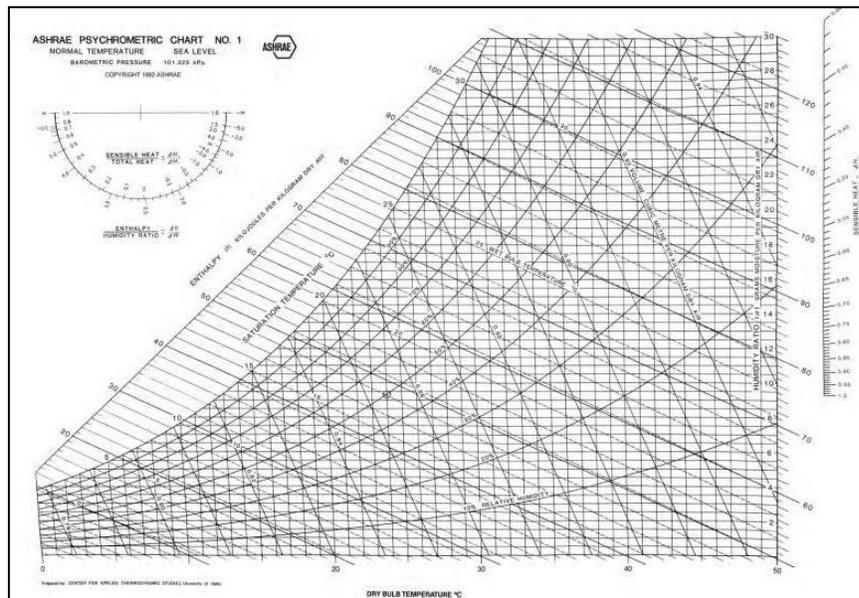
“La temperatura de rocío es entonces, la temperatura a la cual el vapor de agua enfriado isobáricamente llega a la saturación con respecto al agua. Cuando se llega a este punto de saturación, la humedad relativa es 100% y la temperatura del aire y del punto de rocío son iguales.” [7]

### 1.2.5. Psicrometría

Es la ciencia que estudia las propiedades termodinámicas del aire húmedo [7], entonces las cartas psicrométricas no son más que una representación gráfica de un conjunto de propiedades necesarias para el estudio del aire en diferentes escenarios como se puede ver en la **Figura 3**.

**Figura 3.**

*Carta psicrométrica aire a temperatura normal y al nivel del mar*



**Nota.** Esta figura es la carta psicrométrica para condiciones estándar a nivel del mar hasta los 100 m.s.n.m de la ASHRAE. Tomado de ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 41.6-1982, Standard Method for Measurement of Moist Air Properties, Atlanta, GA, 1982

Este grafico es de gran utilidad en momentos en los que la realización extensos cálculos por los métodos tradicionales no es posible, por lo cual mediante el conocimiento de dos propiedades es posible determinar el resto de propiedades que sean necesarias para llevar a cabo algún calculo posterior.

Las propiedades que se encuentran en los cuadros son las siguientes:

- Entalpia.

- Humedad relativa.
- Temperatura de bulbo húmedo.
- Presión atmosférica.
- Temperatura de saturación de vapor de agua.
- Presión de saturación de vapor de agua.
- Volumen específico de humedad.
- Temperatura de rocío.

Existen otras propiedades que se pueden determinar bajo el principio de dependencia de estas con otras propiedades como por ejemplo es posible determinar la densidad de aire mediante el volumen específico de humedad, pues como es sabido estas dos propiedades son recíprocas, como se puede ver en la ecuación a continuación.

$$\rho_{aire} = \frac{1}{v_{humedo}}$$

### **1.2.6. Altura**

El municipio de Uribe se encuentra a una altitud promedio de 10 m.s.n.m, a excepción de ciertos lugares en los cuales más cercanos al caso urbano en los cuales la altitud se eleva a alrededor de 30 o 40 m.s.n.m, en estos lugares existen formaciones rocosas que producen estos desniveles.

En general debido a las condiciones de altimetría de esta región, la gran mayoría del territorio es desértico y con baja vegetación, a excepción de la línea costera en la que existe gran variedad de fauna y flora, principalmente gran variedad de manglares y formaciones coralinas que afectados por la alta exposición solar traen consecuencias sobre las diferentes fuentes hídricas y la producción de precipitaciones, lo cual genera el actual y evidente déficit hídrico de esta región.

### **1.2.7. Viento**

Se refiere al estado del movimiento del aire, el cual es causado por una diferencia de temperaturas en diferentes zonas de la superficie terrestre, por lo cual las masas de

aire de mayor temperatura tienden a ascender y el espacio vacante es ocupado por masas de aire de menor temperatura, y por tanto es más denso, de esta manera se le denomina viento propiamente al aire que se mueve de manera horizontal.

El viento superficial se define mediante varios parámetros entre los cuales encontramos: la velocidad, la dirección sobre el plano horizontal, y los obstáculos que este encuentre a su paso, es decir, la cantidad de edificaciones, árboles y demás formaciones verticales que puedan modificar la dirección y la velocidad del viento.

En el municipio de Uribia, con relación al viento, existe una duración de alrededor de 8 meses, en los cuales se presenta la mayor época ventosa, en la cual los vientos viaja en promedio a 20.4 Km/h y en los meses restantes en los que el viento es más calmado, este corre en un promedio de 15.5 KM/h. Así mismo, en cuanto a la dirección del mismo, existe una predominancia hacia el este con ligeros cambios no muy seguidos en los que la dirección es hacia el noreste o el sureste, esos se presentan más que todo en las épocas de final de año como se puede apreciar en la **Figura 4**.

**Figura 4.**

*Dirección del viento.*

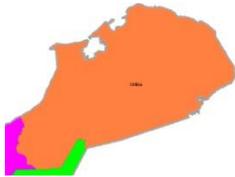


**Nota.** Esta figura muestra la dirección prominente del viento en el municipio de Uribia. Tomado de: Weatherspark. Disponible: <https://es.weatherspark.com/y/25355/Clima-promedio-en-Uribia-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o> [Acceso. Feb.22.2020]

A continuación, se presenta una tabla resumiendo los datos obtenidos y con los cuales se llevará a cabo el diseño del sistema de condensación de agua

**Tabla 4.**

*Tabla concluyente datos Uribia.*

ITEM	Valor
Mapa	 Un mapa del municipio de Uribia, Colombia, con el territorio principal coloreado en naranja. Hay una franja verde en la parte inferior izquierda y una franja magenta en la parte superior izquierda.
Temperatura	28°C
Humedad relativa	67%
Altura	10 m.s.n.m
Viento	15.5 Km/h este

**Nota.** Esta tabla resume los para metros vistos en el desarrollo de esta sección.

## **1.2 Condiciones demográficas de Uribia**

El municipio de Uribia cuenta con una extensión de 8200 km<sup>2</sup>, en el cual habitan, según el censo nacional 2018 realizado por el Dane, 160711 personas, de las cuales alrededor de 14000, algo más de 8% de la población total, hacen parte del casco urbano del municipio, por consiguiente, gran parte de la población de este municipio es reconocida como indígena perteneciente a alguna de las 1769 comunidades registradas.

### **1.2.1. Demanda de agua**

Hace referencia a la cantidad de agua necesaria para satisfacer las necesidades básicas de la población de algún lugar.

1.2.1.a. Dotación neta. Se simboliza como  $d_{neta}$ , y hace referencia a la cantidad de agua que es entregada a los consumidores luego de tener en cuenta el porcentaje de perdidas inherentes al sistema de acueducto, se determina según el nivel de complejidad del sistema según lo mostrado en la **Tabla 5**.

**Tabla 5.**

*Dotación por habitante según nivel de complejidad del sistema.*

<b>Nivel de complejidad del sistema</b>	<b>Dotación neta (L/hab*día) climas templado y frio</b>	<b>Dotación neta (L/hab*día) climas cálido</b>
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio alto	125	135
Alto	140	150

**Nota.** Esta tabla muestra el valor correspondiente a la dotación neta por habitante dependiendo del nivel de complejidad de sistema y el clima de la zona. Tomado de: ministerio de vivienda, ciudad y territorio “REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO, TITULO B, SISTEMAS DE ACUEDUCTO”. [En línea]. [Acceso mar.15 2020].

En la tabla anterior se determina como clima cálido a la zona que se encuentre a menos de 1000 m.s.n.m.

1.2.1.b. Caudal medio diario. Se simboliza como  $Q_{md}$  y hace referencia al caudal que se calcula para una población y corresponde a los consumos diarios durante un año [8], se calcula con la **Ecuación 4**.

$$Q_{md} = \frac{p \times d_{bruta}}{86400}$$

Dónde:

p: habitantes

$d_{bruta}$ : demanda bruta (L/hab\*día)

### **1.3.2 Población objetivo.**

Con base en un documento del Ministerio de Vivienda y Desarrollo Sostenible en conjunto con la Corporación Autónoma Regional de La Guajira, en el cual sostiene que entre los problemas actuales del municipio de Uribia está el total desabastecimiento del recurso hídrico especialmente en cuatro comunidades indígenas Jusaluchon, Pañarrer, Taiguaicat, Limunaca ubicadas en la Alta Guajira de las cuales se escogió la comunidad Limunaca la cual cuenta con alrededor 83 habitantes distribuidos en su mayoría en familias de entre 4 y 5 personas, y cada familia se ubica en una ranchería de su propiedad ancestral.

## 2 CONDENSACIÓN DEL AGUA.

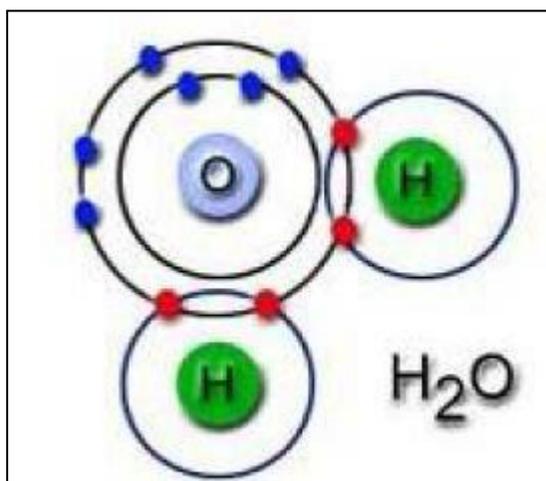
### 2.1. El agua

“Es la sustancia líquida más común en la superficie terrestre, cubriendo la en dos terceras partes, en forma de vapor, está siempre presente en la atmosfera terrestre.” [9]

El agua consiste en la unión de dos partes de hidrógeno por una de oxígeno, por esto su fórmula química  $H_2O$ , la unión entre las dos moléculas se le llama puente de hidrogeno, el cual es el responsable de la resistencia a la separación de esta molécula.

**Figura 5.**

*Formación de la molécula de agua.*



**Nota.** Esta figura muestra la composición molecular del agua. Tomado de: Química 11a. CHANG, Raymond; GOLDSBY, Ken. McGraw Hill México, 2013.

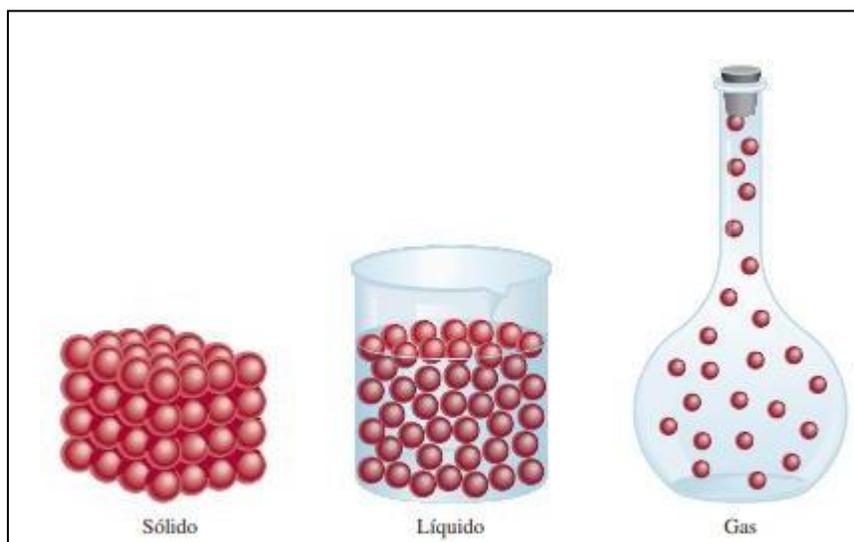
En la **Figura 5** se puede observar la formación de la molécula de agua mediante la inserción de los dos átomos de hidrogeno, “los cuales cuentan con dos electrones en su última capa, los cuales combinados con los cuatro electrones de valencia del oxígeno hacen cumplir la regla del octeto, la cual dice que los iones del sistema periódico tienen la tendencia a completar los electrones de su último nivel de energía con 8 electrones con el fin de adquirir una estabilidad en su configuración.” [10]

### 2.1.1. Cambios de fase.

En el agua es posible distinguir tres estados básicos de la materia, los cuales son: sólido, líquido y gaseoso. Entre ellos se distinguen por los cambios moleculares que ocurren, durante el estado sólido, las moléculas están juntas de manera ordenada y con poca libertad de movimiento, por su parte en el estado líquido las moléculas están juntas entre sí pero no en una posición muy rígida, por lo que existe libertad de movimiento, finalmente en el estado gaseoso, las moléculas están distanciadas por grandes distancias comparadas con el tamaño mismo de las moléculas. [11]

**Figura 6.**

*Representación microscópica de los tres estados de la materia.*



**Nota.** Esta figura muestra los cambios de estado a nivel microscópico. Tomado de: Química 11a. CHANG, Raymond; GOLDSBY, Ken. McGraw Hill México, 2013.

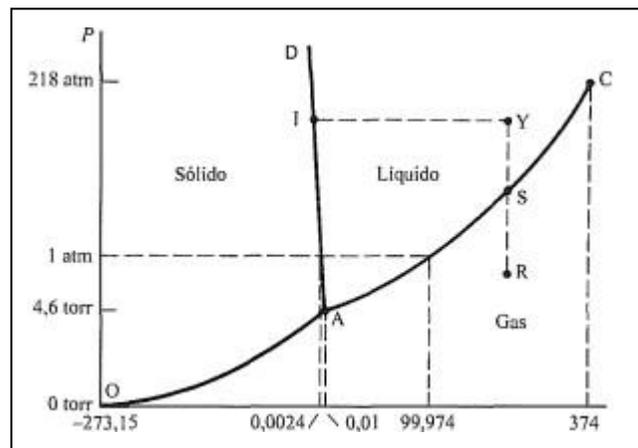
Para la consecución de estos cambios de fases se requieren de distintos procesos, los cuales no alteran la composición de la sustancia, de esta manera para ir del estado sólido al estado líquido es necesario elevar la temperatura del sólido hasta llegar al punto de fusión, en el cual ocurre el cambio de fase, de la misma manera, si se continúa incrementando la temperatura de la sustancia durante su estado líquido es

posible alcanzar la transición al estado gaseoso, la temperatura a la que ocurre esta transición es conocida como punto de ebullición.

De manera análoga es posible llevar una sustancia desde su estado gaseoso hasta su estado sólido mediante la extracción de calor.

**Figura 7.**

*Diagrama de fases del agua.*



**Nota.** Esta figura es el diagrama de fases (T vs P) para el agua. Tomado de Físico química. LEVINE, Ira N. McGraw-Hill Interamericana, 1993.

Los estados de una sustancia son posibles representarlos gráficamente mediante un diagrama de fases, en el cual se muestran las fases de la sustancia respecto a distintos valores de presiones y temperaturas. En la **Figura 7**, se ve el diagrama de fases correspondiente al agua, en el cual se distinguen varios puntos sobre la gráfica los cuales son:

- Punto A: este punto se conoce como el punto triple, aquí conviven los estados sólido, líquido y gaseoso en equilibrio mutuo, por lo cual se encuentra en valores de T y P definidos, para el caso del agua este punto se encuentra a 0.01°C y 0.00605 atm.
- Línea A-D: esta es la línea de equilibrio entre sólido y líquido, es gracias a esta línea que es posible establecer el punto de fusión del hielo, específicamente

para el agua a una presión  $P = 1 \text{ atm}$  el punto de fusión se encuentra a  $0^\circ\text{C}$ , este es también llamado el punto de congelación del agua.

- Línea O-A: esta es la línea de equilibrio entre sólido y gas, para conseguir este cambio de fase es necesario calentar el hielo a una presión inferior a  $0.0602 \text{ atm}$ , a este proceso se le conoce como sublimación.
- Línea A-C: esta es la línea de equilibrio entre líquido y gas, al final de esta línea se encuentra el punto crítico (punto C), en el cual se referencia una presión y una temperatura conocidas como Presión crítica ( $P_c$ ) y Temperatura crítica ( $T_c$ ), para el agua  $T_c = 374^\circ\text{C}$  y  $P_c = 218 \text{ atm}$ . Las fases líquida y gaseosa no pueden coexistir en equilibrio para temperaturas superiores a  $T_c$ , por lo que una compresión isotérmica del gas en esas condiciones no generara condensación alguna como si lo produce por debajo de esta temperatura.

### **2.1.2. Condensación del agua.**

«La condensación es el proceso mediante el cual una sustancia cambia de fase de gas a líquido. Durante este proceso se enfría el vapor de agua a presión constante donde las moléculas se mueven lentamente y su energía cinética disminuye, por lo tanto el volumen disminuye generando atracción entre las moléculas. Si el vapor se enfría a temperatura lo suficientemente baja, la energía cinética media de sus moléculas disminuye tanto y las moléculas se aproximan tanto que se mantienen unidas por las fuerzas de atracción intermoleculares. » [12]

Durante este proceso se libera energía en forma de calor, la cual es conocida como calor latente de condensación.

“El calor latente de condensación, al igual que el de vaporización, es llamado así porque es la energía que se agrega o se retira, la cual no genera un cambio en la temperatura de la sustancia.” [13]

Para que el vapor de agua se condense se requieren las siguientes condiciones:

- El aire debe tener una humedad relativa cercana al 100%.
- Es necesario que exista un enfriamiento, es decir, que la corriente de aire caliente debe estar en contacto con una superficie a baja temperatura, esta

temperatura de estar por debajo de la temperatura de rocío de aire en las condiciones específicas del lugar en el que se encuentre.

El aire atmosférico a alta temperatura al ser enfriado, aumenta su humedad relativa, esto debido a la disminución en el valor de la presión del vapor de agua. Esto quiere decir que, si bien la cantidad de vapor de agua no cambia, la concentración del mismo se acerca a la concentración máxima que puede soportar el aire. [12]

Todo esto se representa en un aumento de la humedad relativa y como se dijo anteriormente si esta se acerca al 100%, lo cual se consigue si la concentración original de vapor de agua es lo suficientemente alta y el enfriamiento es lo suficientemente intenso, entonces el seguir bajando la temperatura conllevaría a la condensación del vapor de agua en forma de rocío sobre una superficie de baja temperatura.

## **8.2. Métodos de Condensación de Agua**

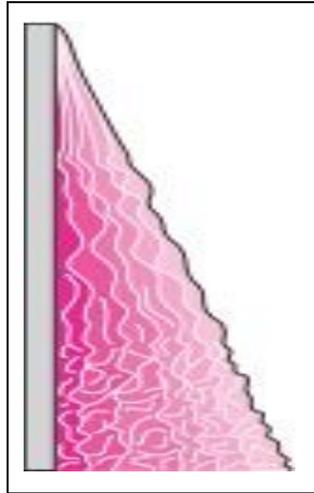
En concordancia con lo expuesto anteriormente expuesto acerca de la forma en cómo se condensa el agua, es posible condensar el agua mediante dos modelos básicos que a continuación serán definidos.

### **8.2.1. Condensación en película**

“Este modelo se obtiene mediante la utilización de una pared plana a una determinada temperatura, la cual depende de la temperatura de rocío del aire atmosférico, por la cual se hace pasar una corriente de aire, la transferencia de calor entre la superficie del aire y la placa se realiza como convección forzada, durante este proceso se obtiene un película delgada sobre la placa.” [14]

**Figura 8.**

*Condensación en película.*



**Nota.** Esta figura muestra una aproximación gráfica a la condensación en película. Tomado de (2003). Termodinámica. (Vol. 10) CENGEL, Yunus. A., BOLES, Michael. A.. São Paulo: McGraw-Hill.

La **Figura 8** es una muestra de cómo se condensa el agua en una película en la cual el espesor de la capa de agua aumenta en sentido en que aumenta la longitud de la placa, esta representación asemeja la condensación de agua en la práctica y que es visible en la naturaleza.

El crecimiento de la pared líquida dificulta la transferencia de calor entre el vapor de agua y la superficie de la pared por lo cual se genera una resistencia a la transferencia de calor.

### **8.2.2. Condensación por gotas**

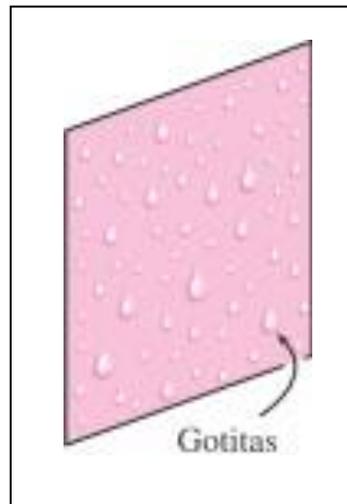
“Existe otra forma de condensación conocida como goteo, en la cual una corriente de aire se hace chocar con una superficie a baja temperatura en la cual se forman

gotas que van creciendo con el paso de la corriente de aire, al adquirir el suficiente tamaño, estas gotas comienzan a correr.” [14]

En esta forma de condensación es posible obtener mayores tasas de transferencia de calor respecto de la forma por película, pues mientras corren las gotas el aire de transferencia de calor se despeja como no ocurre en la condensación por película, como se puede ver en la **Figura 9**.

**Figura 9.**

*Condensación por gotas.*



**Nota.** Esta figura muestra una aproximación gráfica a la condensación por gotas. Tomado de (2003). Termodinámica. (Vol. 10) CENGEL, Yunus. A., BOLES, Michael. A.. São Paulo: McGraw-Hill.

### **8.2.3. Obtención de la condensación del agua**

Para conseguir condensar el agua es necesario tener una superficie por la cual se hará correr el aire para condensar el vapor de agua presente en él. Para poder conseguirlo existen dispositivos en los cuales se puede realizar este proceso se

definirán los métodos por los cuales se conseguirá el objetivo principal de este proyecto.

La consecución de la condensación del vapor de agua es posible obtenerse de tres formas: la primera es mediante la utilización de ciclos de refrigeración, la segunda es utilizando módulos de efecto Peltier y la última es utilizando bobinas helicoidales; estos métodos serán definidos posteriormente.

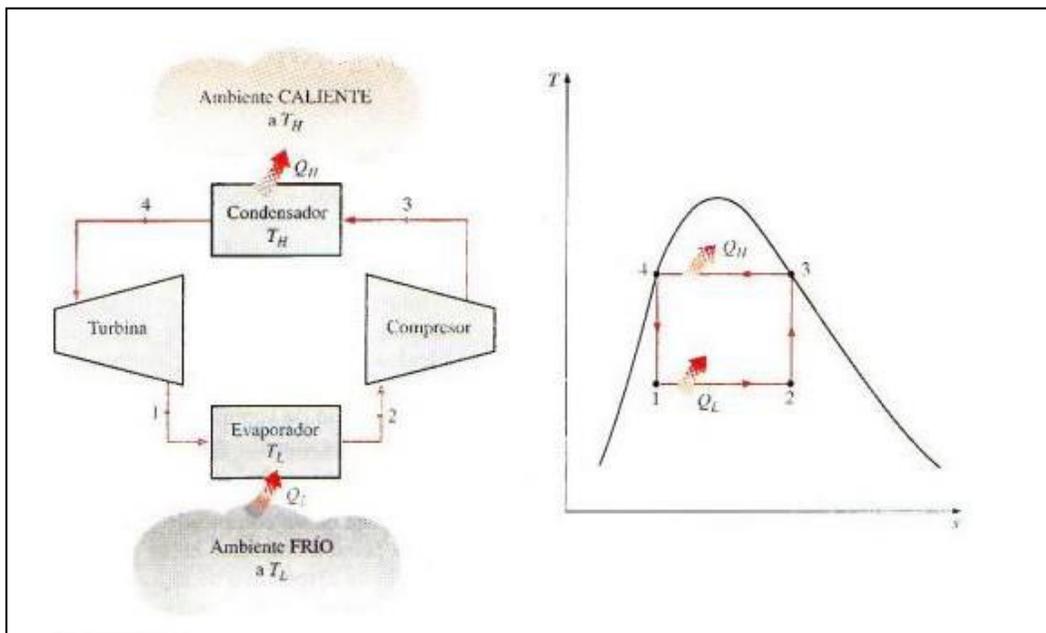
#### 8.2.4. Ciclos de refrigeración

Se definirán los ciclos de refrigeración mediante los cuales es posible condensar el vapor de agua presente en el aire atmosférico.

8.2.4.a. Ciclo invertido de Carnot. Es un ciclo totalmente reversible, del cual hacen parte 4 procesos, los cuales al invertirse cambian la dirección en la que se hacen las interacciones de calor y trabajo.

**Figura 10.**

*Diagrama T-S del ciclo invertido de Carnot.*



**Nota.** Esta figura muestra el esquema de un ciclo invertido de Carnot y su respectiva gráfica de  $T$  vs  $s$ . Tomado de (2003). Termodinámica. (Vol. 10) CENGEL, Yunus. A., BOLES, Michael. A.. São Paulo: McGraw-Hill.

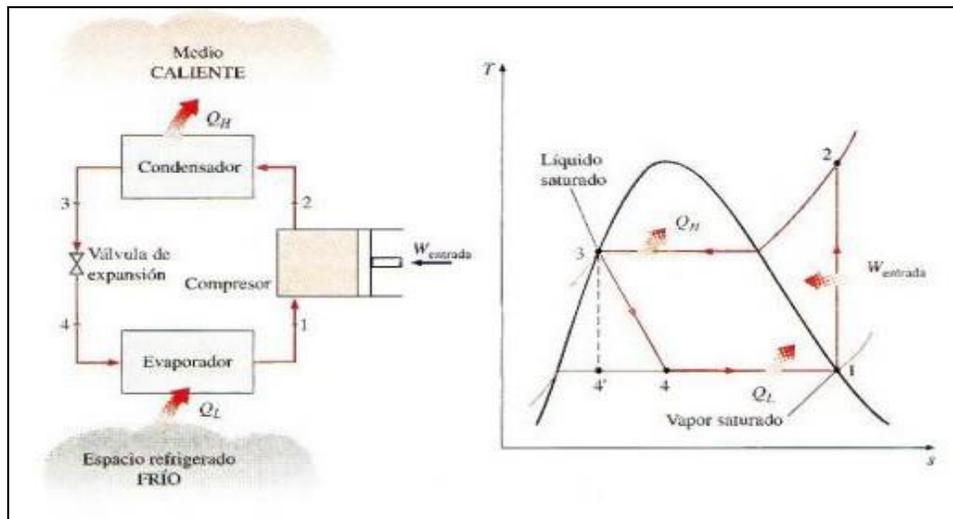
En la **Figura 10**, «el refrigerante entra al evaporador en el cual absorbe calor isotérmicamente de una fuente de baja temperatura (Ambiente frío)  $T_L$ , a una tasa  $Q_L$  seguidamente es comprimido isentrópicamente hasta el estado 3 elevando su temperatura hasta  $T_H$ , luego en el condensador se rechaza calor isotérmicamente hacia el ambiente caliente a una tasa  $Q_H$  y por último se expande isentrópicamente hasta el estado 1. Durante este proceso el refrigerante cambia de vapor saturado a un estado de líquido saturado en el condensador (proceso 3-4). » [14]

El ciclo de Carnot es un ciclo totalmente teórico que sirve de comparativo para los demás ciclos de vapor, para los cuales se cumple la afirmación del mismo Sadi Carnot “*Ninguna máquina térmica que funcione entre dos depósitos de energía puede ser más eficiente que una máquina de Carnot que funcione entre los mismos dos depósitos*”, por esto la utilización práctica de este ciclo es nula y se debe recurrir a otros ciclos de vapor para alcanzar el mismo objetivo.

8.2.4.b. Ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor. Con este ciclo es posible eliminar aspectos imprácticos del ciclo invertido de Carnot, mediante la evaporación completa del refrigerante antes de la compresión y sustituyendo la turbina por un dispositivo de estrangulamiento como una válvula de expansión o un tubo capilar como se muestra en la **Figura 11**.

**Figura 11.**

*Diagrama T-S ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.*



**Nota:** Esta figura muestra el esquema de un ciclo ideal de refrigeración y su respectiva grafica de T vs s. Tomado de (2003). Termodinámica. (Vol. 10) CENGEL, Yunus. A., BOLES, Michael. A.. São Paulo: McGraw-Hill.

Este ciclo comprende 4 procesos básicos enunciados a continuación:

- Compresión iséntropica en un compresor.
- Rechazo de calor a presión constante.
- Estrangulamiento en un dispositivo de expansión.
- Absorción de calor a presión constante en un evaporador.

En este ciclo el refrigerante entra al compresor como vapor saturado y es comprimido iséntropicamente hasta la presión del condensador, durante este proceso la temperatura del refrigerante aumenta hasta un valor mayor al del medio circundante, de esta manera ingresa al condensador como vapor sobrecalentado en el estado 2 y sale como liquido saturado en el estado 3, por razón del rechazo de calor a los alrededores, manteniendo una temperatura superior a la temperatura de este.

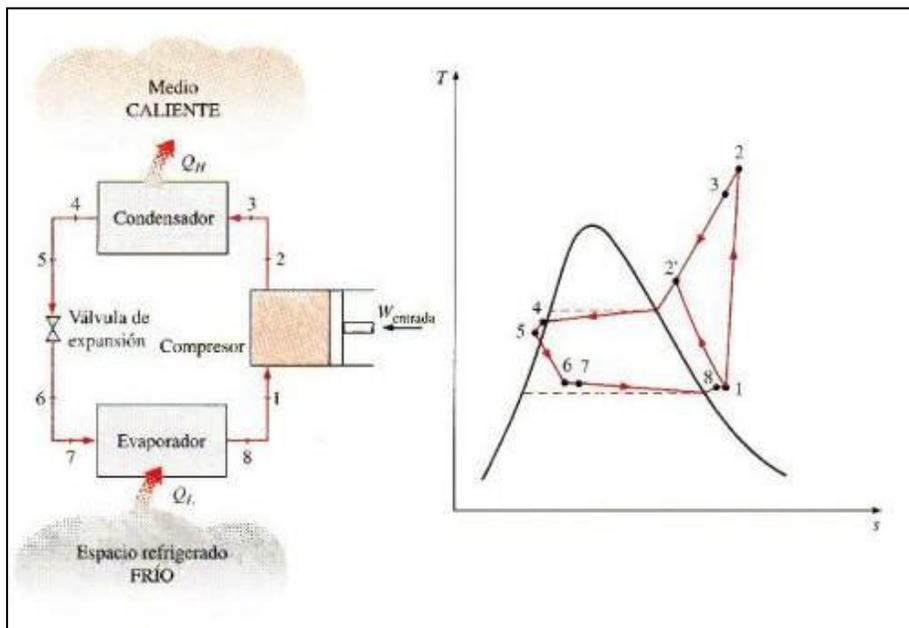
«El refrigerante como liquido saturado del estado 3 es estrangulado hasta la presión del evaporador durante su paso por la válvula de expansión o por un tubo capilar, en este proceso la temperatura del refrigerante desciende por debajo de la temperatura

del espacio refrigerado, entonces entra al evaporador en el estado 4 como vapor saturado de baja calidad y se evapora por completo absorbiendo calor del espacio refrigerado, del evaporador sale el refrigerante como vapor completamente saturado hacia el compresor. » [14]

8.2.4.c. Ciclo real de refrigeración por compresión de vapor. Este ciclo difiere del ciclo ideal en varios aspectos debido a las irreversibilidades que ocurren en varios componentes, algunas de las fuentes de irreversibilidades son la fricción del fluido (caída de presión) y la transferencia de calor desde y hacia los alrededores, el esquema y el diagrama T-s del ciclo son presentados en la Figura 12. [14]

**Figura 12.**

*Esquema y diagrama T-s ciclo real de refrigeración por compresión de vapor.*



**Nota:** Esta figura muestra el esquema de un ciclo real de refrigeración y su respectiva grafica de T vs s. Tomado de (2003). Termodinámica. (Vol. 10) CENGEL, Yunus. A., BOLES, Michael. A.. São Paulo: McGraw-Hill.

“En el ciclo ideal el refrigerante ingresa al compresor como vapor saturado, sin embrago, en la práctica controlar el estado del refrigerante no es posible por lo cual se hace más sencillo diseñar un sistema en el que el refrigerante sobrecaliente

ligeramente antes de ingresar al compresor, este proceso nos asegura una evaporación completa del refrigerante al ingresar al compresor.” [14]

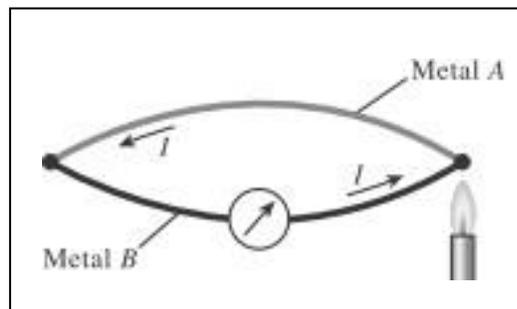
“Además dadas las pérdidas por caídas de presión y por transferencia de calor en la conexión entre el evaporador y el compresor, se produce un significativo aumento en el volumen específico del refrigerante, lo cual se traduce en un incremento en los requerimientos de entrada de potencia en el compresor.” [14]

### 8.2.5. Módulos de efecto Peltier

El efecto Peltier se puede definir como la transformación de la energía eléctrica en energía térmica o viceversa, esto se consigue mediante la conexión de dos alambres de diferentes metales unidos en cuyo extremo se acerca una fuente de calor, lo cual genera un flujo de corriente desde el lado de alta temperatura hacia el lado de baja temperatura como se muestra en la **Figura 13**.

**Figura 13.**

*Circuito básico del efecto Peltier.*



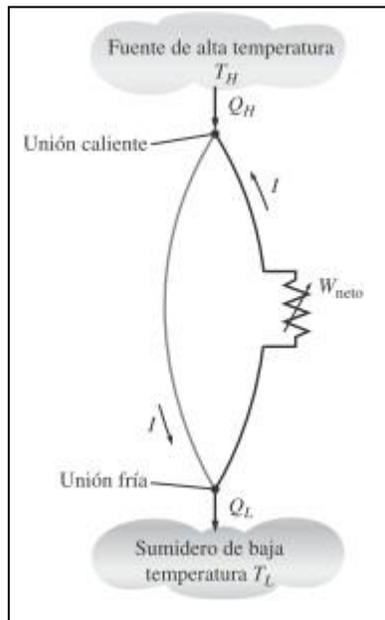
**Nota.** Esta figura muestra el circuito básico en el que se representa el efecto Peltier. Tomado de (2003). Termodinámica. (Vol. 10) CENGEL, Yunus. A., BOLES, Michael. A.. São Paulo: McGraw-Hill.

Luego al abrir el circuito se genera una diferencia de voltaje que está en función de la diferencia de temperatura entre las dos uniones del alambre, de esta forma es posible medir una diferencia de temperatura mediante un voltaje lo cual convierte esta unión en lo que se denomina como termopar. “El efecto anteriormente mostrado es el

conocido como efecto termoeléctrico, ahora llevando esto al campo de la refrigeración es posible hacer un paralelo entre lo dicho anteriormente acerca de los ciclos de compresión mecánica simple y este tipo de módulos, así como se muestra en la **Figura 14.** [14]

**Figura 14.**

*Esquema de un generador termoeléctrico simple.*



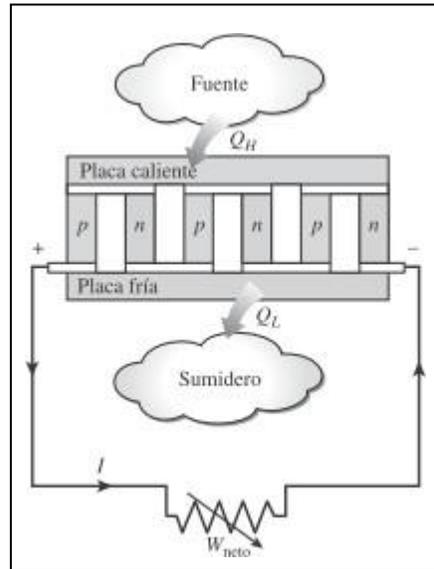
**Nota.** Esta figura muestra un esquema básico de un generador termoeléctrico de efecto Peltier. Tomado de (2003). Termodinámica. (Vol. 10) CENGEL, Yunus. A., BOLES, Michael. A.. São Paulo: McGraw-Hill.

«Al igual que en los ciclos de compresión mecánica, el generador transfiere calor de la fuente de alta temperatura a la unión caliente a una tasa  $Q_H$  y se libera hacia el sumidero de baja temperatura mediante la unión fría a una tasa  $Q_L$ , además el  $W_{neto}$  es el trabajo neto producido. Los electrones que viajan entre las dos uniones son, en este

caso, el fluido de trabajo en paralelo con los refrigerantes utilizados en los ciclos explicados anteriormente.» [14]

**Figura 15.**

*Generador de potencia termoeléctrica.*

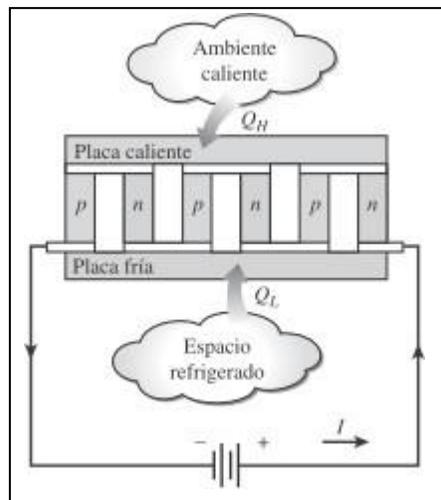


**Nota.** Esta figura muestra un generador termoeléctrico de efecto Peltier. Tomado de (2003). Termodinámica. (Vol. 10) CENGEL, Yunus. A., BOLES, Michael. A.. São Paulo: McGraw-Hill.

8.2.5.a. El refrigerador termoeléctrico. Invertiendo el sentido de flujo de la corriente de la **Figura 15**, es posible crear un efecto de refrigeración, pues como lo observo Jean Charles Athanase Peltier durante sus experimentos en 1834, al hacer pasar una pequeña corriente por la unión de los dos alambres distintos, la unión se enfriaba. Esto aplicado en placas fabricadas de materiales semiconductores p, los cuales son dopados para crear una deficiencia de electrones y n, dopados para crear una sobrecarga de electrones, es posible generar un sistema parecido a un ciclo de refrigeración por compresión de vapor común, en el cual se absorbe calor del espacio refrigerado a una tasa  $Q_L$  y lo libera en el ambiente caliente a una tasa  $Q_H$  como se muestra en la **Figura 16**. [14]

**Figura 16.**

*Refrigerador termoeléctrico.*



**Nota.** Esta figura muestra un esquema de refrigerador termoeléctrico de efecto Peltier. Tomado de (2003). Termodinámica. (Vol. 10) CENGEL, Yunus. A., BOLES, Michael. A.. São Paulo: McGraw-Hill.

“Actualmente este tipo de refrigeradores son poco utilizados debido a sus bajos coeficientes de operación, pues rondan entre 0 y 1, lo cual para la industria es muy

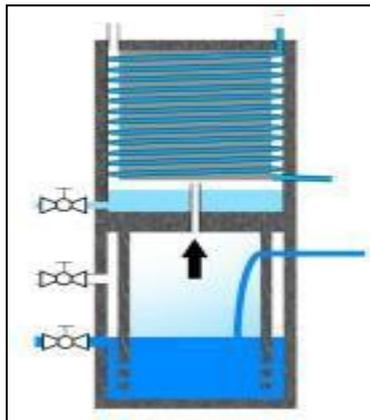
bajo, sus aplicaciones son básicamente en equipos compactos y que no requieran refrigerar mucha carga, además de no generar ruido y son muy confiables.” [14]

### 8.2.6. Bobinas helicoidales

La condensación de la humedad presente en el aire utilizando bobinas helicoidales tiene un principio de funcionamiento similar al de un ciclo de refrigeración por compresión de vapor, la única diferencia es que en vez de utilizar un evaporador en forma de intercambiador de calor se utiliza una bobina helicoidal en cuyo interior fluye el refrigerante.

**Figura 17.**

*Esquema de la bobina helicoidal.*



**Nota.** Esta figura representa un esquema básico de un intercambiador de calor de bobina helicoidal. Tomado de Panthaloorkaran, V., Chettiyadan, D., Vadacherry, J., Kudakasseril, K., & Parekkadan, V. (2016). Design of a helical coil dehumidifier for a novel gravity-driven solar distillation unit. *Energy Procedia*, 91, 294-302.

En cuanto al calor transferido por las bobinas se puede decir que en cierta medida es comparable con el obtenido por un intercambiador de calor común utilizado en ciclos de compresión mecánica, la diferencia radica en que estos se pueden reducir el tamaño del sistema en general con los mismos parámetros que se pueden obtener con intercambiador común.

Por su parte en cuanto a fabricación este tipo de bobinas conlleva más trabajo, pues deben ser dobladas de un tubo más largo y además deben ser mecanizada la superficie exterior del mismo con el fin de aumenta su capacidad de transferencia de calor.

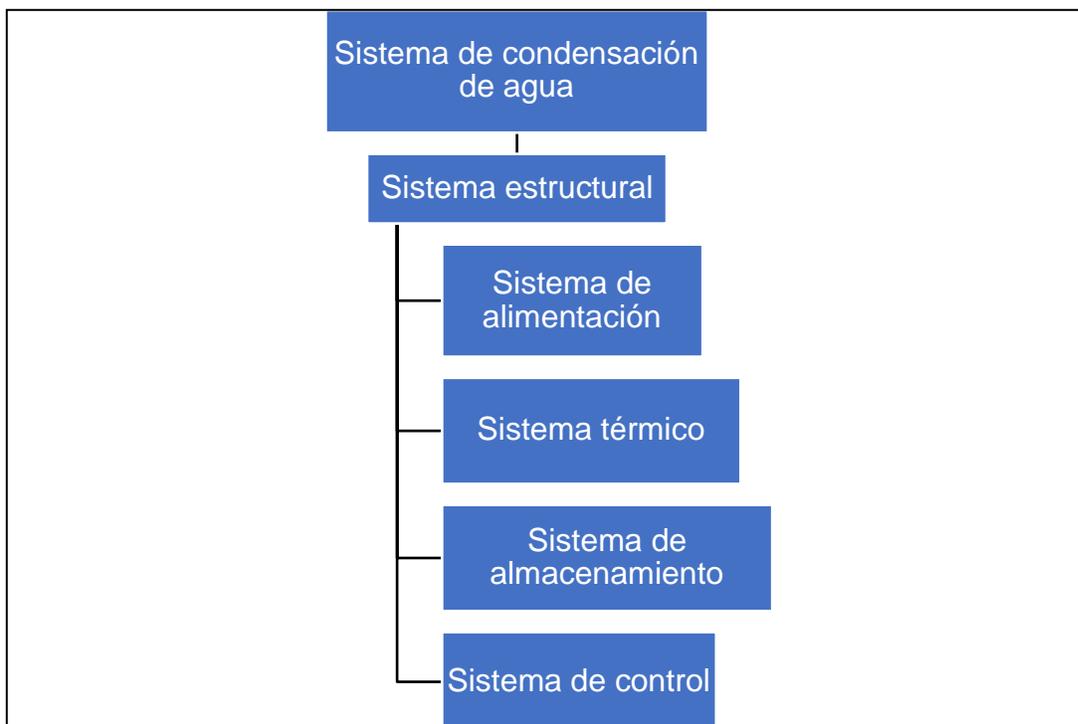
### 3 PARAMETROS DE DISEÑO Y MODO FUNCIONAL

Inicialmente se definirán parámetros basados en las variables definidas en el capítulo anterior con el fin de proponer una serie de diseños preliminares que serán evaluados con el fin de seleccionar el más óptimo que resuelva el problema planteado inicialmente.

Previo a la definición de los parámetros propios para el diseño es necesario definir los subsistemas que componen el sistema a diseñar, de esta forma se podrán definir de manera efectiva todos y cada uno de los parámetros necesarios para realizar un diseño detallado del sistema de condensación.

**Figura 18.**

*Diagrama de subsistemas.*



**Nota.** En esta figura se presenta la división de los subsistemas que componen el sistema de condensación de agua.

#### 3.1. Parámetros funcionales

A continuación, se definirán los principales parámetros que deben ser cumplidos por cada uno de los componentes del sistema.

### **3.1.1. Sistema estructural**

Es el sistema en el cual se encuentra el apoyo y sostén de los diferentes componentes que instalaran para el funcionamiento del sistema.

3.1.1.a. Facilidad de mantenimiento. Este proyecto está orientado a ser utilizado en zonas de difícil acceso en las cuales no es posible obtener suministros de manera casi inmediata, es de vital importancia reducir la complejidad de los componentes a instalar con el fin de poder ser reparados por cualquier persona indistintamente de su nivel de escolaridad tan solo con ciertas instrucciones básicas previamente dadas.

3.1.1.b. Compacto. Debido a las condiciones de habitabilidad de las poblaciones en las que se piensa utilizar el proyecto, es importante realizar un diseño compacto con el fin de reducir el espacio a utilizar en su instalación y poder llevarlo e instalarlo en cualquier lugar.

### **3.1.2. Sistema de alimentación**

Hace referencia a los elementos con los cuales se ingresará el aire atmosférico al sistema térmico.

3.1.2.a Caudal de aire. Se debe aportar un caudal constante de aire al sistema con el fin de mantener una producción con las más mínimas variación para poder satisfacer así las pretensiones de la comunidad.

3.1.2.b. Filtros de aire. Deben, en cierto grado, purificar el aire que ingresa en el sistema para su protección, es decir, prevenir las falas en sus componentes debidas a contaminantes ambientales y por otro lado, mejorar la calidad de agua producida.

### **3.1.3. Sistema térmico**

Es el encargado de realizar la tarea principal del sistema total, la cual consiste en la generación del agua condensada proveniente de la humedad presente en el aire ingresado durante el accionar del sistema de alimentación.

3.1.3.a. Temperatura superficial. Se debe mantener una temperatura adecuada en la superficie del elemento en contacto con el aire que ingresa al sistema. Esto con el fin de mantener la producción del sistema lo más constante posible.

3.1.3.b. Tamaño. Teniendo en cuenta que este sistema es el encargado de llevar a cabo la tarea principal, es posible que sea el más voluminoso dentro del ensamble, por lo cual, se debe optar por la reducción de espacios.

3.1.3.c. Eficiencia. La eficiencia es un factor importante a la hora de diseñar ese sistema, por lo cual, se debe diseñar un sistema que provea la más alta eficiencia en cuanto la generación de calor en los diferentes componentes del mismo para así reducir el consumo energético en general,

#### **3.1.4. Sistema de almacenamiento**

Este sistema es el encargado de almacenar y purificar el agua condensada para un posterior uso.

3.1.4.a. Volumen. Se debe, como mínimo, contar con un recipiente del volumen a recoger con el fin de satisfacer la demanda de la comunidad y así cumplir con los objetivos del trabajo.

#### **3.1.5. Sistema de control**

La finalidad de este subsistema es la de definir los elementos de medición y control con los cuales contara el sistema.

3.1.5.a. Control de la humedad del aire. Se debe mantener un control de humedad del aire que ingresa al sistema para así mantenerla dentro de los valores en los cuales es posible generar agua de la manera más eficiente.

3.1.5.b. Control de velocidad. Tiene como finalidad controlar la velocidad de giro en los elementos que así lo requieran con fin de garantizar el óptimo funcionamiento del sistema en general.

3.1.5.c. Control de temperatura. Se debe controlar que la temperatura de aire que ingresa al sistema este entre ciertos valores con el fin de asegurar un correcto funcionamiento del sistema en general, además se debe controlar la temperatura superficial de los elementos destinados a estar en contacto con el aire para de esta manera obtener los resultados deseados.

3.1.5.d. Control de nivel. La finalidad de este control es el de garantizar un nivel óptimo en el sistema de almacenamiento para suplir la necesidad de la comunidad y no quedarse corto en el suministro de agua para la misma.

### **3.2. Parámetros de diseño**

En ocasión de determinar el rango de funcionamiento y el alcance del sistema se determinaron los parámetros de diseño característicos para un óptimo funcionamiento; tal como se aprecia a continuación:

#### **3.2.1. Psicrometría de Uribia**

Con el fin de determinar los parámetros con los cuales es posible seleccionar y calcular algunos de los elementos constituyentes del sistema general, es necesario obtener las características psicrométricas de la ubicación en cuestión, estas están consignadas en la **Tabla 6**, los datos de entrada utilizados en el diagrama psicrométrico son los siguientes:

- $T_{amb}=28^{\circ}C$
- Altitud: 10 m.s.n.m
- HR= 71%

**Tabla 6.**

*Propiedades psicrométricas del aire en Uribia a temperatura y humedad promedio.*

Propiedad	Valor	Unidades
Presión barométrica	101,2	kPa
Presión de vapor	2,685	kPa
Presión de saturación	3,782	kPa
Temperatura de B.S	28	°C
Temperatura de B.H	23,8	°C
Punto de rocío	22,3	°C
Densidad	1,14	kg/m <sup>3</sup>
Entalpia especifica	71,45	kJ/kg

**Nota.** Esta tabla resume los diferentes parámetros obtenidos del estudio psicrométrico bajo las condiciones expuestas anteriormente para el municipio de Uribia.

### **3.2.2. Consumo de agua**

Teniendo en cuenta lo decretado en documentos del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, en los cuales se dictan los parámetros para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua para las comunidades, se procedió a determinar la carga de agua a generar por el sistema, así entonces se puede aproximar que en Colombia se consume en promedio 100 L/hab\*día [15], los cuales están distribuidos usos sanitarios, consumo humano, riego, lavado y usos pecuarios, pero para fines de cálculo se utilizara la población total del municipio, esto con el fin de garantizar que el agua generado sea la suficiente para cada familia.

$$Q_{md} = \frac{5 \text{ hab} \times 100 \text{ l/hab} * \text{dia}}{86400} = 0,00578 \text{ l/s}$$

Finalmente obtenemos que es necesario generar por lo menos 500 litros diarios con el fin de satisfacer las necesidades de una familia de la comunidad indígena Limonaru

del municipio de Uribia, además es posible satisfacer lo dictado por la ley colombiana respecto al mínimo vital de una familia de 5 personas.

### **3.2.3. Tiempo de servicio**

“Normalmente en un hogar, los mayores consumos se registran entre las 11 am y las 3 pm, momentos en los cuales se incrementan las labores que implican la utilización del agua.” [16]

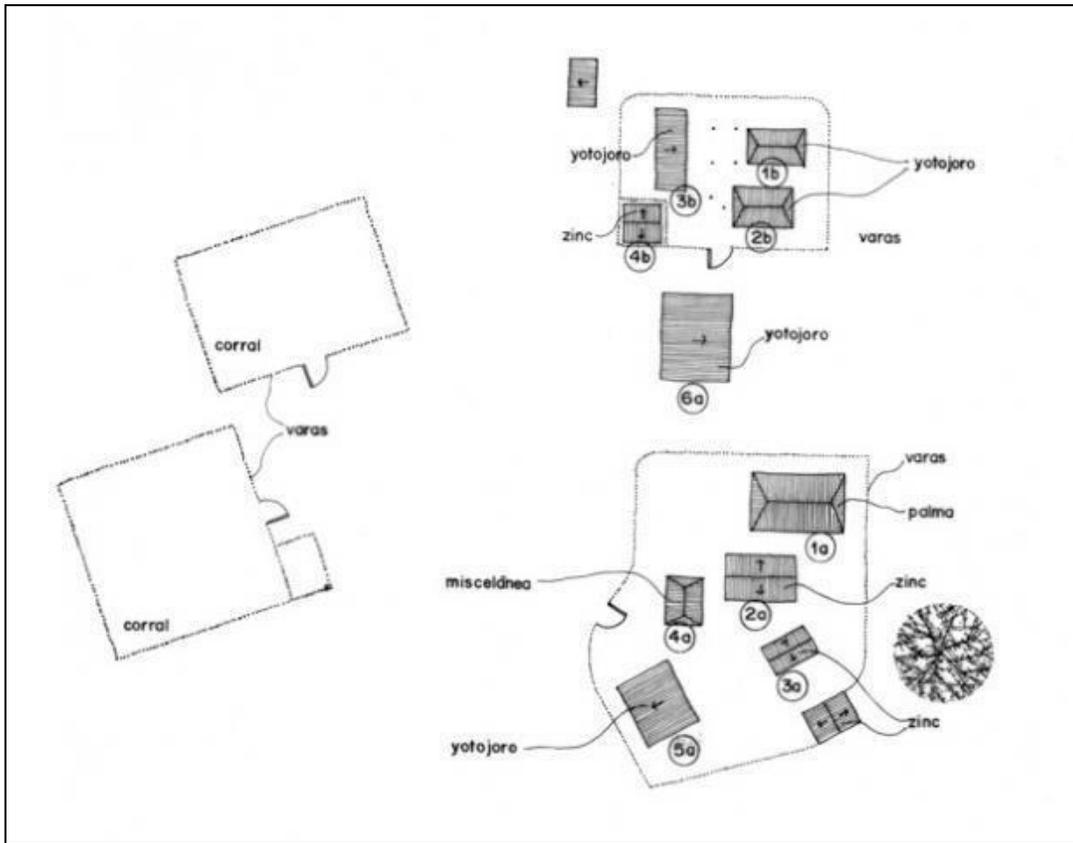
Para ese momento la demanda establecida anteriormente debe estar suplida por lo cual, el sistema debe trabajar en horas de la noche, en las cuales, según los datos recolectados del IDEAM es cuando se presentan mejores condiciones de humedad relativa, con valores de entre el 60% y el 90% [17], además, teniendo en cuenta el consumo de energía y la disponibilidad de la misma, el tiempo de funcionamiento debe ser no mayor a 7 horas diarias.

### **3.2.4. Espacio**

La ya conocida arquitectura de las rancherías guajiras propone un desafío en cuanto a espacio y ubicación del sistema a diseñar, si bien es posible pensar algo muy compacto se puede llegar a recortar las prestaciones que podría ofrecer el sistema y en dado caso no poder cumplir con la demanda de la población objetivo.

**Figura 19.**

*Distribución espacial de una ranchería.*



**Nota.** Esta figura muestra un representación aproximada de la distribución espacial de una ranchería Wayuu en Uribia. Tomado de Banco de la Republica. Disponible: <https://www.banrepcultural.org/biblioteca-virtual/credencial-historia/numero-351/la-rancheria-de-los-wayuu-en-la-guajira> [Acceso abr.1 2020].

Por tal razón, es importante que el espacio ocupado por el diseño sea el menor posible, pero que a su vez cumpla con todos los requerimientos, por lo cual la opción más viable, es la de ubicar el sistema en el lugar conocido como la enramada, la cual consiste en un espacio cubierto destinado para el ocio, el trabajo o simplemente para descansar al medio día, también es el lugar central de la ranchería en el que convergen las demás edificaciones componentes de la misma conocidas como: la habitación, la cocina, el corral y la roza.

La ubicación, normalmente central de la enramada, provee una facilidad en caso de la necesidad de transportar el agua a alguno de los otros lugares, también la necesidad de ubicar el sistema a campo abierto debido a la utilización del aire ambiente como materia prima principal para el proceso que debe realizar el sistema haría que se terminara ubicando allí el condensador de agua.

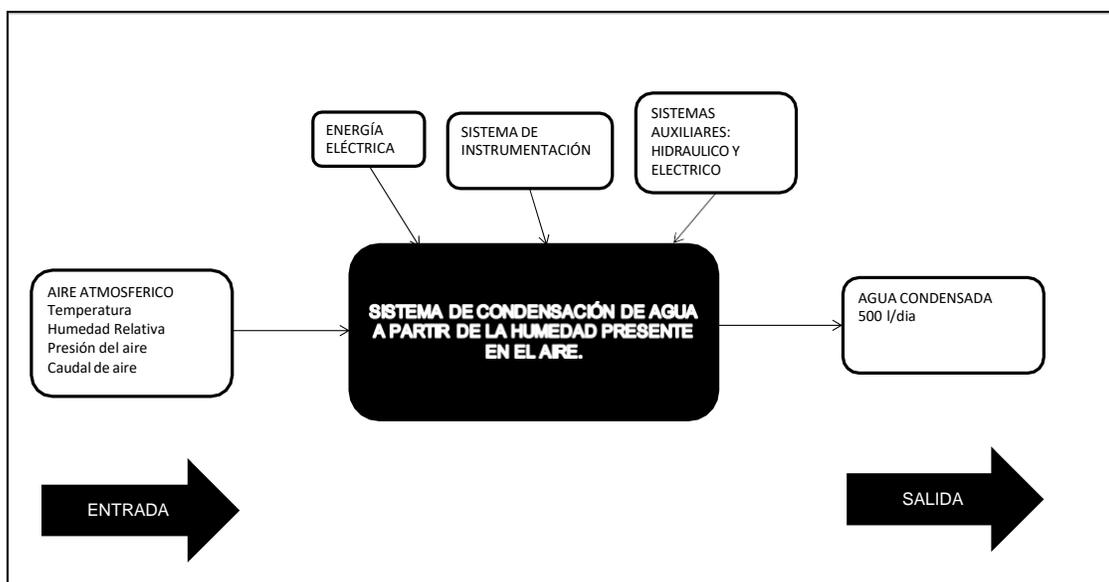
### 3.3. Diseño conceptual

La fase de diseño conceptual consiste en sintetizar los distintos requerimientos y parámetros en una serie de funciones claras la cuales han de ser cumplidas por las diferentes alternativas generados para el diseño final del sistema, de esta forma deberá ser elegida la mejor alternativa que pueda cumplir con la necesidad inicial.

Para este fin, se hará uso de la metodología de la caja negra de funciones, en la cual se consignaron aspectos relevantes que se tendrán en cuenta durante el proceso de diseño del sistema de condensación de agua.

**Figura 20.**

*Diagrama de caja negra.*



**Nota.** Esta figura muestra el diagrama de caja negra para el sistema de condensación de agua.

Como función principal del sistema es condensar la mayor cantidad de humedad presente en el aire atmosférico de Uribia. En concordancia con la función descrita, el

sistema cuenta inicialmente con un sistema de admisión de aire el cual se encarga de impulsarlo dentro del sistema general, seguido se encontrará el sistema térmico en el cual mediante el contacto de la corriente de aire a alta temperatura con la superficie a baja temperatura se producirá el fenómeno de la condensación, el condensado se almacenará para ser accesible a la comunidad.

### **3.4. Alternativas de solución**

Con el fin de dar cumplimiento a los parámetros y requerimientos enunciados anteriormente se procede a plantear las alternativas de solución para el sistema de condensación de agua aprovechando la humedad presente en el aire.

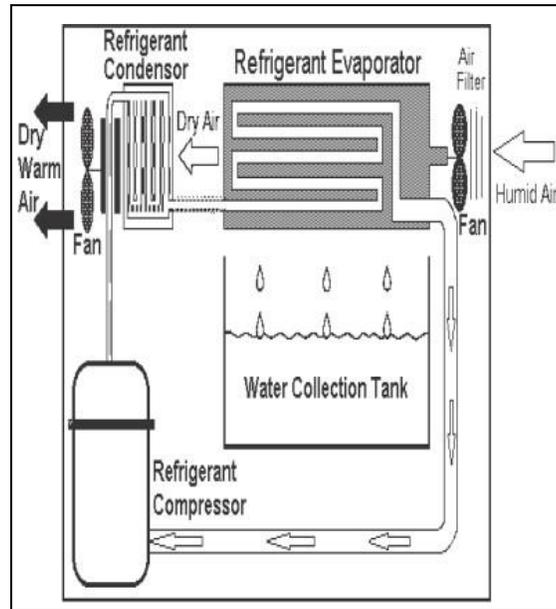
Inicialmente se presentarán alternativas para el sistema térmico dirigidas a una selección efectiva del equipo encargado de cumplir con la función principal del sistema para esto se plantearon las siguientes alternativas.

#### **3.4.1. Alternativa 1**

Esta alternativa utilizara un ciclo de compresión mecánica simple en el sistema térmico, en el que se utilizara un intercambiador de calor como superficie de contacto con al aire en el que se llevara a cabo el proceso de condensación de agua, además contara con equipos como compresor, condensador y la válvula de expansión encargados de llevar a cabo el ciclo completo, además como sistema de admisión se encontrara un ciclón de admisión y una serie de filtros encargados de purificar el aire. El sistema se representa en la **Figura 21**.

**Figura 21.**

*Esquema de la alternativa 1.*



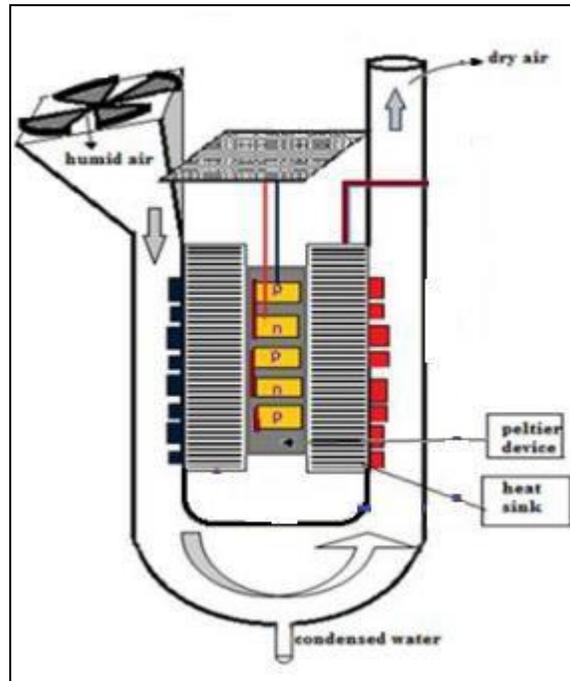
**Nota.** Esta figura muestra una representación gráfica de la alternativa de solución 1. Tomado de Dahman, N. A., Al Juboori, K. J., BuKamal, E. A., Ali, F. M., AlSharooqi, K. K., & Al-Banna, S. A. (2017). Water Collection from Air Humidity in Bahrain. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 23, p. 03001). EDP Sciences.

### **3.4.2. Alternativa 2.**

Esta alternativa utilizará como sistema térmico una serie de módulos de efecto Peltier, en la cual se hará pasar la corriente de aire por la superficie de baja temperatura de la celda y el calor residual se disipará a través del mismo aire, pero esta vez en contacto con la superficie caliente. El ingreso de aire se dará mediante un ventilador situado en la parte superior del sistema como se muestra en la **Figura 22.**

**Figura 22.**

*Esquema de la alternativa 2.*



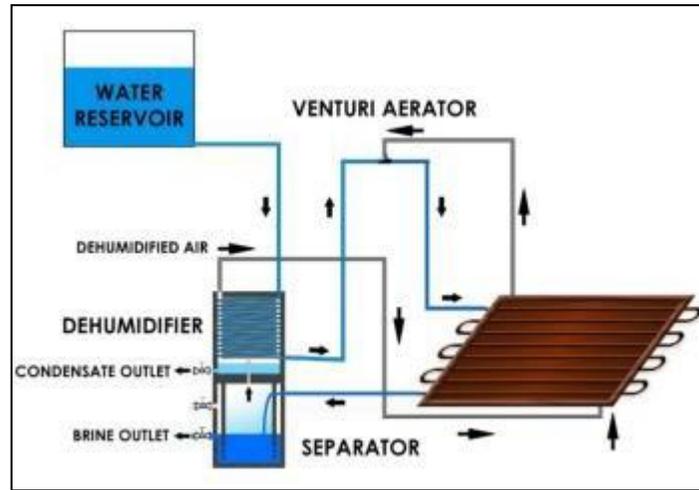
**Nota.** Esta figura muestra una representación gráfica de la alternativa de solución 2. Tomado de Nandy, A., Saha, S., Ganguly, S., & Chattopadhyay, S. (2014). A project on atmospheric water generator with the concept of peltier effect. *International Journal of Advanced Computer Research*, 4(2), 481.

### **3.4.3. Alternativa 3**

En esta alternativa se utilizará como sistema térmico un ciclo de compresión de vapor pero se utilizara como evaporador una bobina helicoidal en cuyo interior fluirá un refrigerante, en el sistema de admisión se utilizara un ciclón seguido de una serie de filtros con el fin de purificar el aire que ingresa al sistema. Esta alternativa se ve representada en la **Figura 23.**

**Figura 23.**

*Esquema de la alternativa 3.*



**Nota.** Esta figura muestra la representación gráfica de la alternativa de solución 3. Tomado de Panthaloorkaran, V., Chettiyadan, D., Vadacherry, J., Kudakasseril, K., & Parekkadan, V. (2016). Design of a helical coil dehumidifier for a novel gravity-driven solar distillation unit. *Energy Procedia*, 91, 294-302.

### 3.5. Selección de alternativas

En la tabla a continuación se condensan las alternativas de solución anteriormente mencionadas.

**Tabla 7.**

*Alternativas de solución.*

<b>Alternativa 1</b>	Ciclo de compresión de vapor con intercambiador de calor.
<b>Alternativa 2</b>	Módulos de efecto Peltier.
<b>Alternativa 3</b>	Ciclo de compresión de vapor con bobina helicoidal.

**Nota.** Esta tabla resume las alternativas de solución para el sistema térmico.

Para seleccionar la mejor alternativa a continuación se describen una serie de criterios por los que serán evaluadas las alternativas.

### **3.5.1. Espacio**

Este criterio evalúa el espacio que ocupara el sistema en el momento de ser instalado velando por ocupar el menor espacio posible, la calificación de este criterio se realizará de 1 a 5, donde 1 será un sistema que ocupe mucho espacio y 5 será un sistema que ocupe poco espacio.

### **3.5.2. Mantenimiento**

En este criterio se evalúa la cantidad y la complejidad de las tareas de inspección y reparación del tanque, se evaluará de 1 a 5, donde 1 es de difícil mantenimiento y 5 es de fácil mantenimiento.

### **3.5.3. Eficiencia**

Este criterio hace referencia que tan eficiente es el sistema en la transferencia de calor en el interior del mismo y con los alrededores, se evaluara de 1 a 5, donde 1 es ineficiente y 5 es eficiente.

### **3.5.4. Consumo de energía**

Se refiere al consumo energético total del sistema, contemplando cada uno de los componentes a utilizar por cada alternativa en términos de la disponibilidad del recurso

eléctrico en la zona de instalación del proyecto y también en capacidad de generación de agua, se evaluará de 1 a 5, donde 1 es alto consumo y 5 es bajo consumo.

### 3.5.5. Costo

Hace referencia al costo asociado a la consecución de los equipos principales y auxiliares del sistema en general, además del costo de fabricación y demás costos que se pudiesen dar durante la fabricación, este criterio se evaluará de 1 a 5, donde 1 es muy costoso y 5 es poco costoso.

### 3.6. Método de ponderación lineal

Habiendo sido establecidos los criterios de evaluación, es de suma importancia que el diseñador asigne un valor a cada uno basado en un análisis detallado del funcionamiento del sistema teniendo en cuenta los parámetros definidos como se muestra en la **Tabla 8**.

**Tabla 8.**

*Criterios de evaluación.*

Símbolo	Criterio	Valor
C1	Espacio	0,1
C2	Mantenimiento	0,1
C3	Eficiencia	0,3
C4	Consumo energético	0,3
C5	Costo	0,2
Total		1

**Nota.** Esta tabla muestra los criterios de evaluación para la elección del sistema térmico.

Los valores indicados en la tabla anterior se tomaron teniendo en cuenta la importancia de cada criterio en el momento de la realización del diseño detallado del sistema y en una eventual fabricación.

A continuación, en la **Tabla 9** se muestra la matriz de criterios ponderados para la selección de la mejor alternativa para sistema térmico, en esta matriz se asignó un valor a cada criterio (C) establecido en la sección 2.6 dependiendo de las alternativas

propuestas, dando como resultado un ponderado (P), los cuales se suman para dar el total ponderado de cada alternativa y realizar la selección.

**Tabla 9.**

*Método de ponderación lineal para el sistema térmico.*

Criterio	Valor	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		C	P	C	P	C	P
C1	0,1	3	0,3	4	0,4	3	0,3
C2	0,1	3	0,3	3	0,3	2	0,2
C3	0,3	4	1,2	2	0,6	3	0,9
C4	0,3	2	0,6	2	0,6	2	0,6
C5	0,2	3	0,6	4	0,8	4	0,8
Total	1	3		2,7		2,8	

**Nota.** Esta tabla muestra los resultados de la aplicación del método de ponderación lineal para la elección del sistema térmico.

Luego de realizar el método de ponderación lineal para evaluar las alternativas se llega al resultado que la alternativa 1 es la más adecuada para la es sistema térmico con el que se llevara a cabo la función principal del sistema.

### **3.7. Selección del refrigerante**

En concordancia a lo seleccionado anteriormente respecto al sistema que se utilizara para el sistema de condensación de agua, es necesario la utilización de un refrigerante para poder cumplir con el ciclo de compresión de vapor a continuación se realizará la selección del refrigerante adecuado para el sistema, se utilizaran refrigerantes que sean amigables con el medio ambiente, es decir con bajo potencial de agotamiento de la capa de ozono y bajo potencial de calentamiento global. Por esta razón se utilizarán refrigerantes utilizables según el Protocolo de Montreal, en específico los mostrados en la **Tabla 10.**

**Tabla 10.**

*Alternativas para el refrigerante.*

<b>Alternativa 1</b>	R-410a
<b>Alternativa 2</b>	R-134a
<b>Alternativa 3</b>	R-744 (Dióxido de carbono)

**Nota.** Esta tabla muestra las alternativas para elección del refrigerante para el sistema térmico.

### **3.7.1. Criterios de selección del refrigerante**

Para la selección del refrigerante que se utilizara, se proponen los siguientes criterios de evaluación.

3.7.7.a. Seguridad. Este criterio se refiere a los riesgos asociados a la manipulación del refrigerante y la existencia de riesgos a la salud humana, al medio ambiente y a los materiales a utilizar en el sistema, este criterio se evaluara de 1 a 5, donde 1 es muy inseguro y 5 muy seguro.

3.7.7.b. Consecución. Hace referencia a la facilidad o dificultad que exista para conseguir en el mercado el refrigerante, la evaluación de este criterio será 1 si no se consigue o 5 si se consigue.

3.7.7.c. Costo. Este criterio evalúa el costo asociado a la consecución del refrigerante, además de los costos de transporte a sitio y mantenimiento de stock, este criterio se evaluara de 1 a 5, donde 1 es muy costoso y 5 es muy barato.

3.7.7.d. Propiedades termodinámicas. En este criterio se evalúan las propiedades termodinámicas del refrigerante con el fin de garantizar su correcto funcionamiento en el ciclo y con los procesos de condensación anidados al mismo, este criterio se evaluara de 1a 5, donde 1 corresponde a condiciones muy desfavorables y 5 corresponde a condiciones muy favorables.

### **3.7.2. Método de ponderación lineal**

Se utilizara el método de ponderación lineal para realizar la selección del refrigerante adecuado para utilizar en el ciclo de compresión de vapor para esto se asignaron los

siguientes valores a cada criterio según sea su importancia en el momento del diseño y fabricación, estos valores están consignados en la **Tabla 11**.

**Tabla 11.**

*Criterios de evaluación para el refrigerante.*

Símbolo	Criterio	Valor
C1	Seguridad	0,3
C2	Consecución	0,2
C3	Costo	0,2
C4	Propiedades Termodinámicas	0,3
Total		1

**Nota.** Esta tabla muestra en resumen los criterios de evaluación para la selección del refrigerante para el sistema térmico.

Seguidamente se procede a la selección del refrigerante como se muestra en la **Tabla 12** en la cual se asigna un valor a cada criterio establecido en la sección 2.7 dependiendo de lo propuesto en las alternativas.

**Tabla 12.**

*Método de ponderación lineal para refrigerante.*

Criterio	Valor	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		C	P	C	P	C	P
C1	0,3	5	1,5	5	1,5	3	0,9
C2	0,2	5	1	5	1	2	0,4
C3	0,2	4	0,8	4	0,8	2	0,4
C4	0,3	4	1,2	3	0,9	3	0,9
Total	1	4,5		4,2		2,6	

**Nota.** Esta tabla muestra los resultados del método de ponderación lineal para la selección del refrigerante para el sistema térmico.

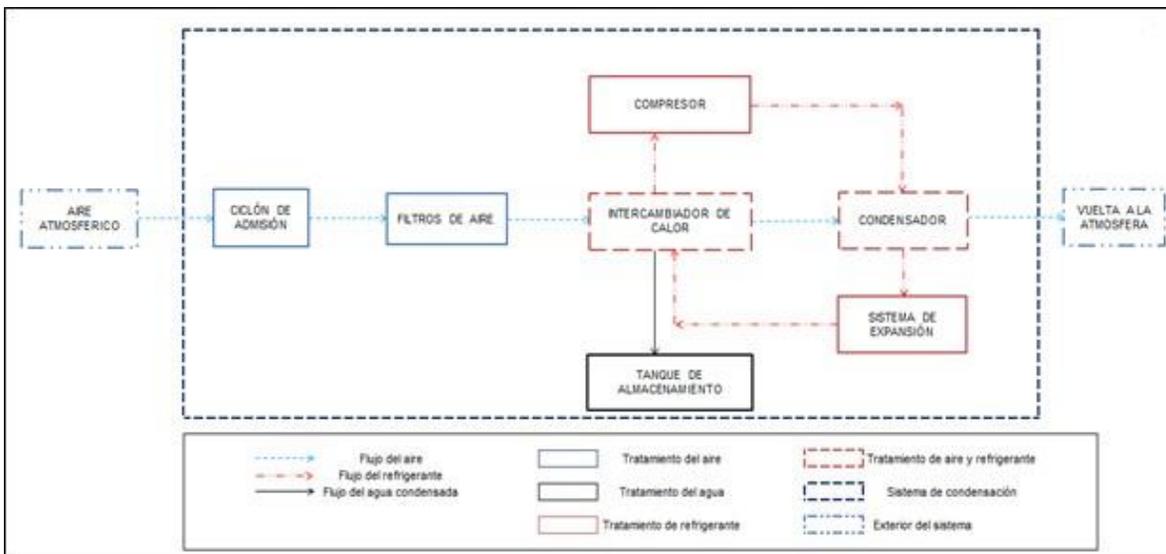
Tras la aplicación del método de ponderación lineal para la selección del refrigerante a utilizar en el sistema, se llegó a la conclusión que la alternativa más apta para ser

utilizada es la alternativa 2, que corresponde al refrigerante R-410A, esta selección satisface ampliamente los criterios formulados para la selección y será la utilizada en el diseño detallado del sistema.

Finalmente se unieron las selecciones anteriores en **Figura 24** con el fin de condensar todos los parámetros y mostrar los flujos de materia inmersos en el funcionamiento del sistema de condensación.

**Figura 24.**

*Flujos de materia del sistema.*



**Nota.** Esta figura muestra los flujos de materia en el sistema de condensación de agua aprovechando la humedad presente en municipio de Uribia.

## 4. DISEÑO DETALLADO DEL SISTEMA

Según la selección de las alternativas en el capítulo anterior, se procede a realizar el diseño detallado del sistema de condensación de agua aprovechando la humedad presente en aire del municipio de Uribia, La Guajira.

### 4.1. Sistema térmico

En este sistema se hace referencia al cálculo termodinámico tanto del ciclo de refrigeración como de cada uno de los componentes que hacen parte del sistema.

#### 4.1.1. Carga térmica

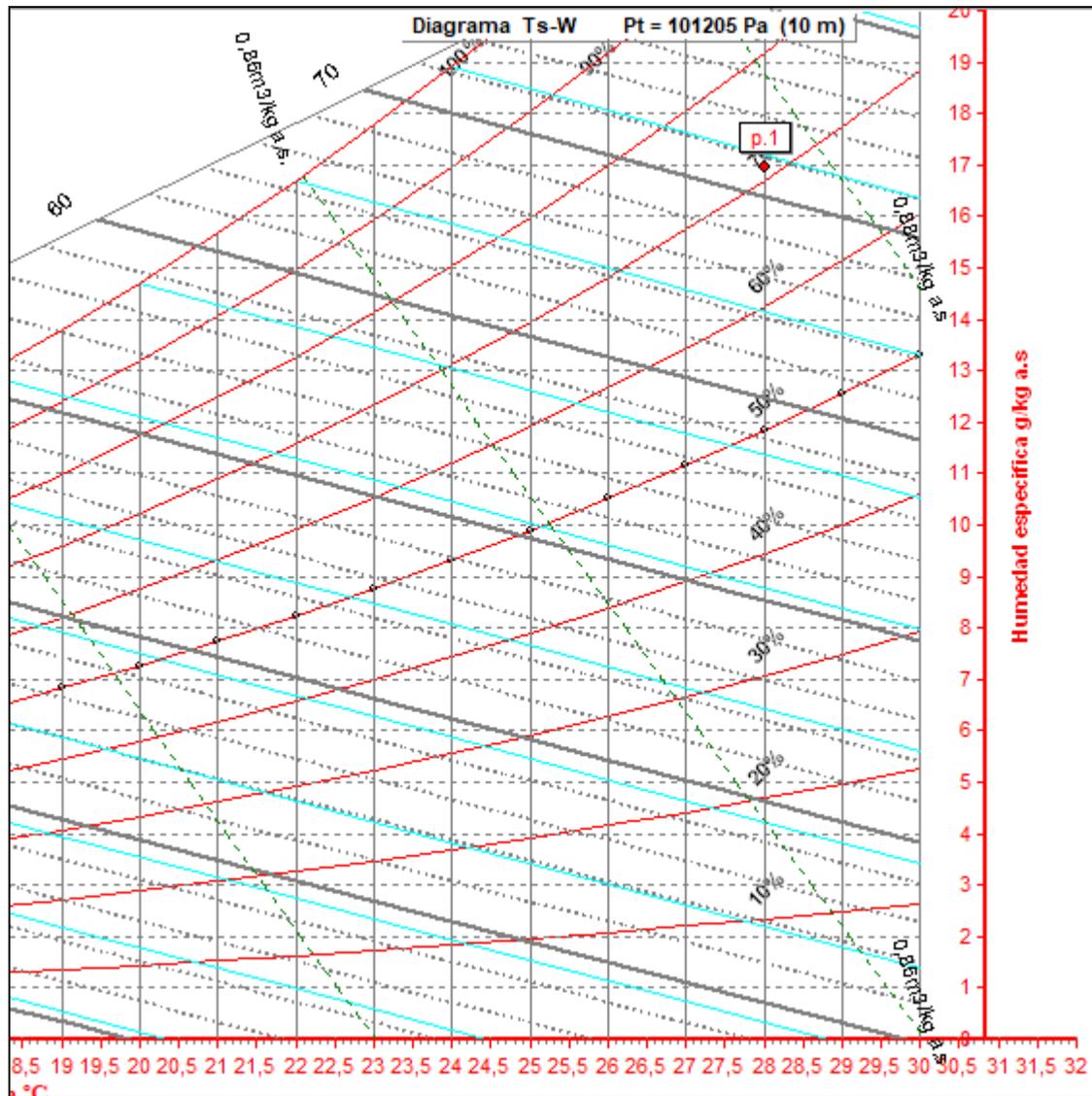
Existen varias transformaciones psicométricas aplicables a una corriente de aire, sin embargo, para el proyecto en estudios se hará uso de transformación llamada enfriamiento y deshumidificación, en la cual una corriente de aire se pone en contacto con una superficie a una temperatura menor a la del punto de rocío con el fin de reducir su temperatura y además, reducir la cantidad de vapor de agua presente en el mediante la condensación del mismo.

Esta transformación se lleva a cabo mediante la combinación de calor sensible y calor latente, recordando que el calor sensible es “la cantidad de energía que gana o pierde un cuerpo, y que por lo tanto incrementa o disminuye su temperatura si llegar al cambio de fase” [6]. Por otro lado, el calor latente se refiere a “la cantidad de calor necesario para que un cuerpo cambie de estado sin alterar su temperatura” [6]

Por consiguiente, en este proceso el calor latente aplicado estará supeditado al cambio de la temperatura necesario para sobrepasar el límite de la temperatura de rocío, mientras que el calor latente será el encargado de condensar la mayor cantidad posible de vapor de agua, teniendo en cuenta lo anterior se procedió a ubicar el punto de entrada de la corriente de aire en el sistema según lo estudiado anteriormente:

Figura 25.

Entrada de aire al sistema.



**Nota.** Esta figura muestra la ubicación del punto 1 correspondiente a los datos iniciales para el municipio de Uribia. Elaboración propia con base en software SICRO de la Universitat Politècnica de Valencia.

El punto 1 corresponde a una temperatura de 28°C y una humedad relativa de 71%. Con este punto se procedió a realizar la transformación psicrométrica correspondiente para una temperatura superficial en el intercambiador de calor de 1°C y un factor de bypass de 0,25, el cual se refiere al porcentaje de aire de que realiza un contacto

efectivo con la superficie del intercambiador de calor. Para lo cual se obtienen los siguientes resultados:

**Tabla 13.**

*Resultados transformación psicrométrica.*

Punto	Ts (°C)	FI (%)	W (g/kgas)	h (kJ/kgas)	Th (°C)	Tr (°C)
1	28	71	17	71,4	24	22

**Nota.** Esta tabla muestra los resultados del punto 1 sobre la carta psicrométrica.

Con estos datos se plantea una temperatura superficial de 1°C para lo cual se obtuvieron los siguientes datos:

**Tabla 14.**

*Resultados punto 2 diagrama psicrométrico.*

Punto	Ts (°C)	FI (%)	W (g/kgas)	h (kJ/kgas)	Th (°C)	Tr (°C)
2	8,7	100	7	26,3	8,7	8,7

**Nota.** Esta tabla muestra los resultados del punto 2 para la transformación psicrométrica de la corriente de aire que ingresa al sistema.

Con estos datos se llevó a cabo el cálculo del caudal necesario para cumplir con la necesidad planteada de 500l/día, se procedió a realizar el balance de masa para la corriente de aire sistema así:

$$\dot{m}_a = \dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2}$$

Dónde:

$\dot{m}_a$ : Flujo másico de aire.

$\dot{m}_{a1}$ : Flujo másico de aire de ingreso.

$\dot{m}_{a2}$ : Flujo másico de aire de salida.

El balance de masa para el flujo de condensado en el sistema se calculó así:

$$\dot{m}_a w_1 = \dot{m}_a w_2 + \dot{m}_w$$

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a (w_1 - w_2)$$

Dónde:

$\dot{m}_w$ : Flujo másico de condensado

w: Humedad específica en el punto específico.

Así entonces se procedió a calcular el flujo másico de aire necesario en el sistema obteniendo como resultado lo siguiente:

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a (w_1 - w_2)$$

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{m}_w}{(w_1 - w_2)}$$

$$\dot{m}_a = \frac{99,62 \text{ kg} / \text{h} \times 1000 \text{ g} / \text{kg}}{(17 \text{ g} / \text{kg a. s.} - 7 \text{ g} / \text{kg a. s.})}$$

$$\dot{m}_a = 9962 \text{ kg a. s.} / \text{h}$$

Con estos datos obtenidos es posible plantear la transformación psicrométrica del aire en el contacto con el intercambiador de calor de lo cual se obtienen los siguientes resultados:

**Tabla 15.**

*Calor necesario y vapor condensado en la transformación.*

Transformación	mw	Qs	Ql	Qt
	(kg/h)	(kW)	(kW)	(kW)
1	99,43	54,54	71,51	125

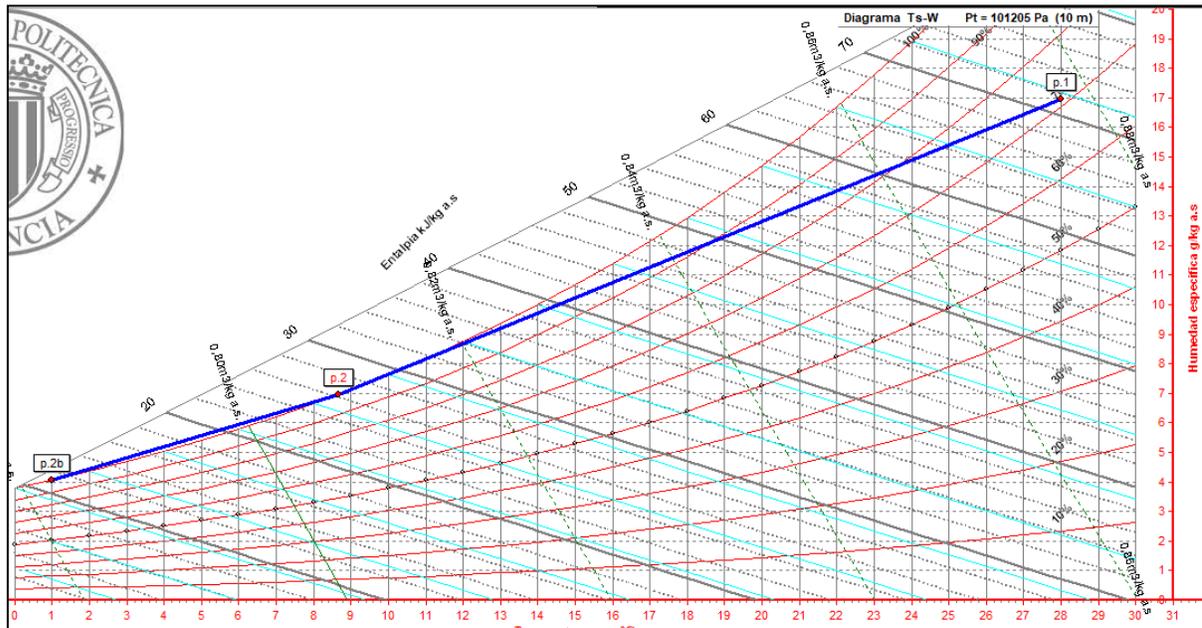
**Nota.** Esta tabla muestra el calor necesario y el vapor de agua condensado durante el proceso de enfriamiento y des humectación de la corriente de aire que ingresa al sistema.

De esta forma es posible condensar los 500 l/día necesarios en 5 horas de funcionamiento del sistema a condiciones promedio de temperatura y humedad relativa.

La grafica que representa esta transformación está representada en la **Figura 23** a continuación:

**Figura 26.**

*Diagrama de la transformación psicrométrica.*



**Nota:** Esta figura muestra la transformación psicrométrica llevada a cabo por la corriente de aire que ingresa al sistema. Elaboración propia con base en software SICRO de la Universitat Politècnica de Valencia.

#### 4.1.2. Ciclo termodinámico

Con los datos obtenidos en los anteriores numerales es posible modelar el ciclo termodinámico con el cual trabajara el sistema, de esta forma es posible diseñar y seleccionar los elementos que componen este sistema. Inicialmente se necesitarán los siguientes datos presentados en la **Tabla 16**.

**Tabla 16.**

*Datos iniciales ciclo termodinámico.*

Propiedad	Valor	Unidades
$Q_H$	125	kW
$T_s$	1	$^{\circ}C$

**Nota.** Esta tabla muestra los datos de inicio para el desarrollo del ciclo termodinámico.

Con estos datos se calculó las temperaturas de la entrada y salida del refrigerante en el intercambiador de calor para plantear el ciclo termodinámico que llevara a cabo el sistema.

$$T_s = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

$$1^{\circ}C = \frac{-5^{\circ}C + T_2}{2}$$

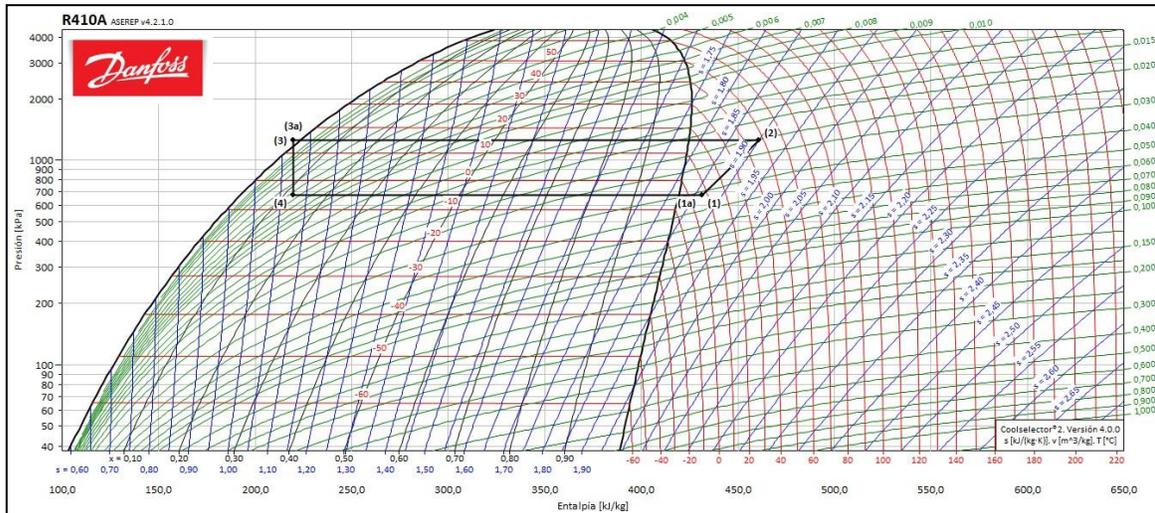
$$2^{\circ}C = -5^{\circ}C + T_2$$

$$2^{\circ}C + 5^{\circ}C = T_2 = 7^{\circ}C$$

Con estos datos se ingresa en el diagrama de P (log) vs s, donde se ubica la isoterma correspondiente a  $-5^{\circ}C$  y se encuentra el siguiente diagrama:

**Figura 27.**

Ciclo termodinámico (diagrama de  $P(\log)$  vs  $s$ ).



**Nota.** Esta figura muestra el ciclo termodinámico para el intercambiador de calor del sistema térmico.

Con el diagrama presentado anteriormente se obtienen los siguientes datos correspondientes al ciclo termodinámico a utilizar.

**Tabla 17.**

Ciclo termodinámico.

Punto	Temperatura (°C)	Presión (kPa)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Entalpia (kJ/kg)	Entropía (kJ/kg°C)
1	7	677,5	24,05	431,3	1,863
2	43	1251	40,36	456	1,885
3	12,9	1251	219,9	219,9	1,07
4	-5	677,5	219,9	219,9	1,75

**Nota.** Esta tabla muestra los resultados de cada punto en la gráfica del ciclo termodinámico en el sistema térmico.

También es posible calcular los calores del ciclo, además del trabajo del compresor para finalmente hallar el coeficiente de operación (COP) del ciclo.

$$Q_L = (h_1 - h_4) \dot{m} = (431,3 - 219,9) \left[ \frac{kJ}{kg} \right] \times \left( 0,5911 \frac{kg}{s} \right)$$

$$Q_L = 125 \text{ kW}$$

$$Q_H = (h_2 - h_3) \dot{m} = (459 - 219,9) \left[ \frac{kJ}{kg} \right] \times \left( 0,5911 \frac{kg}{s} \right)$$

$$Q_H = 139,55 \text{ kW}$$

$$W = (h_2 - h_1) \dot{m} = (456 - 431,3) \left[ \frac{kJ}{kg} \right] \times \left( 0,5911 \frac{kg}{s} \right)$$

$$W = 14,6 \text{ kW}$$

Además, con estos datos es posible hallar el coeficiente de operación del sistema o COP de la siguiente forma:

$$COP = \frac{Q_L}{W} = \frac{125}{14,6} \left[ \frac{kJ}{kg} \right] = 8,5$$

#### **4.1.3. Diseño del intercambiador de calor**

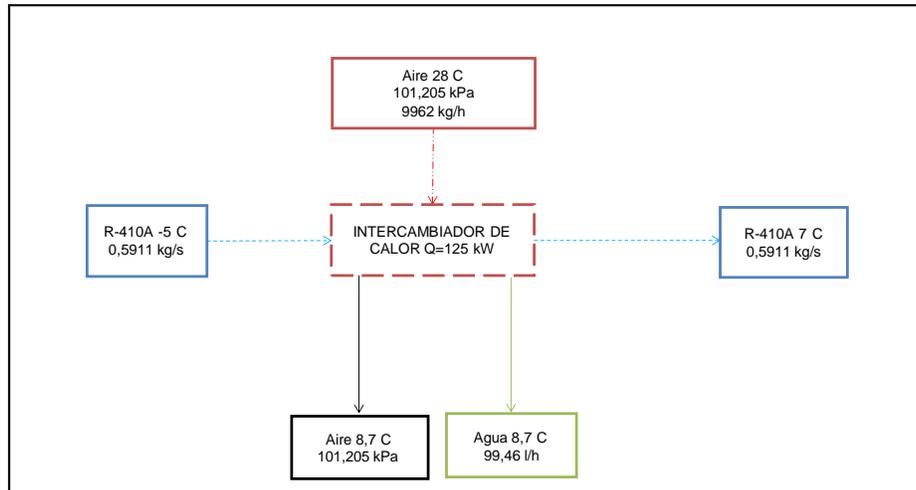
Para este caso se seleccionó un intercambiador de calor compacto, debido a las restricciones respecto a espacio evidenciado en secciones anteriores, además porque “este tipo de intercambiadores de calor son ampliamente utilizados en aplicaciones referentes a intercambiadores de calor gas-gas o gas-liquido, en especial los utilizados en la industria de la refrigeración y el aire acondicionado.” [18]

“La utilización de, en este tipo de intercambiadores, de aletas en la extensión del mismo tiene efecto directo en un aumento en el área de transferencia de calor lo cual a su vez incrementa la eficiencia del mismo.” [18]

4.2.1.a. Propiedades de los flujos. Se propone inicialmente un esquema de entradas y salidas sobre el intercambiador de calor, con el fin de determinar los datos iniciales y los datos que se deben hallar para dimensionar el intercambiador de calor.

**Figura 28.**

*Propiedades de los flujos.*



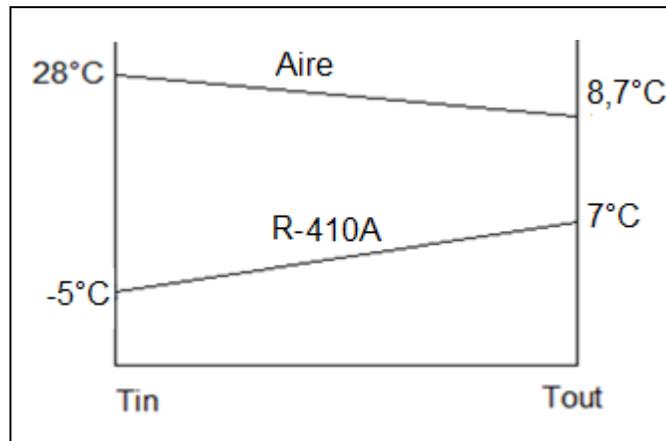
**Nota.** Esta figura muestra las propiedades de los flujos sobre el intercambiador de calor.

El esquema presentado en la **Figura 28**, presenta un volumen de control en el que interactúan 3 flujos y de los cuales se tiene las propiedades consignadas en él.

4.2.1.b. Diferencia media logarítmica de temperaturas. Teniendo todas las temperaturas de los fluidos que interviene en el proceso es posible establecer un perfil de temperaturas.

**Figura 29.**

*Perfil de temperaturas intercambiador de calor.*



**Nota.** Esta figura muestra el perfil de temperaturas sobre el intercambiador de calor.

Además, es posible hallar la diferencia de temperatura media logarítmica mediante la siguiente ecuación [14]:

$$\Delta TLM = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{33^\circ C - 1,7^\circ C}{\ln\left(\frac{33^\circ C}{1,7^\circ C}\right)}$$
$$\Delta TLM = 10,55^\circ C$$

Dónde:

$\Delta T_1$ : diferencia de temperatura a la entrada.

$\Delta T_2$ : diferencia de temperaturas a la salida.

De manera análoga a la ecuación continuación [14], es posible expresar el flujo de calor de la siguiente manera:

$$Q = U \times A_s \times \Delta TLM$$

Dónde:

U: Coeficiente global de transferencia de calor [W/m<sup>2</sup>°C]

As: Área superficial de transferencia de calor.

4.2.1.c. Coeficiente global de transferencia de calor. Para encontrar este coeficiente es necesaria estudiar los dos flujos que existen sobre el intercambiador de calor de manera separada. Primero se estudiará el lado del refrigerante, para lo cual inicialmente se hallara la velocidad de flujo de masa para el flujo en la aspiración, en el cual existe una mezcla saturada liquido vapor, por lo cual se realizara el cálculo para cada fase para posteriormente unirlos y obtener las propiedades exactas en el intercambiador.

$$Gr = \frac{\dot{m}}{A_R}$$

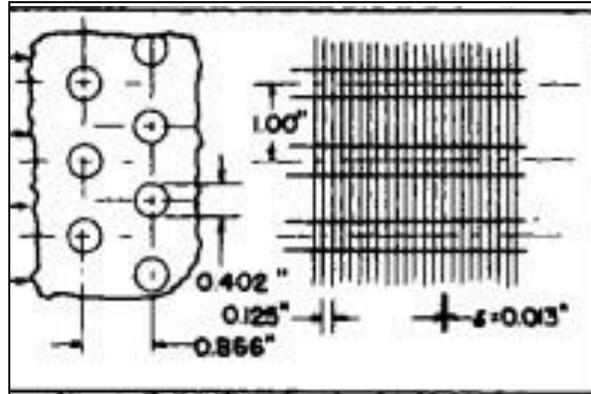
Dónde:

Ar: Área del lado tubos [m<sup>2</sup>].

Para los tubos se seleccionó el siguiente el siguiente arreglo:

**Figura 30.**

*Arreglo de tubos para evaporadores.*



**Nota.** Esta figura muestra la configuración de los tubos y las aletas del intercambiador de calor.

Tomado de KAYS. William. LONDON. Alexander. Compact heat exchangers. 3rd edition. Scientific International. Consultado en [20 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpCHEE0002/compact-heat-exchangers/compact-heat-exchangersde>.

Con estos datos es posible encontrar la velocidad del flujo de masa [18].

$$Gr = \frac{0,5911 \text{ kg/s}}{\pi (100) \left( \frac{1}{4} (0,01146 \text{ m})^2 \right)} = 57,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{s}}$$

Con este valor podemos hallar el número de Reynolds para el flujo de vapor [18] y líquido en los tubos.

$$Re_v = \frac{Gr \times d}{\mu_v} = \frac{57,3 \frac{kg}{m^3} \times 0,01146 m}{1,230 \times 10^{-5} Pa \cdot s}$$

$$Re_v = 53392,634$$

Dónde:

di: diámetro interno del tubo [m].

$\mu$ : Viscosidad cinemática en la aspiración [kg/m\*s].

También es posible hallar el Reynolds para el flujo líquido [18], este se obtiene de la siguiente ecuación:

$$Re_l = \frac{Gr \times (1 - x) \times d}{\mu_l} = \frac{57,3 \frac{kg}{m^3} \times (1 - 0,12) \times 0,01146 m}{1,587 \times 10^{-4} Pa \cdot s}$$

$$Re_l = 3641,59$$

Dónde:

x: Calidad del flujo en los tubos.

Con estos dos valores procedemos a hallar el Reynolds [18] equivalente entre los dos flujos, este número se halla de la siguiente manera:

$$Re_{eq} = Re_v \left( \frac{\mu_v}{\mu_l} \right) \left( \frac{\rho_l}{\rho_v} \right)^{0,5} + Re_l$$

$$Re_{eq} = 53392,634 \left( \frac{1,230 \times 10^{-5}}{1,587 \times 10^{-4}} \right) \left( \frac{1158}{35,37} \right)^{0,5} + 3641,59$$

$$Re_{eq} = 27319,66$$

Finalmente se procede a encontrar el coeficiente de transferencia de calor local para dos fases en el lado de los tubos con la siguiente ecuación [18]:

$$h_i = 0,05 \times Re_{eq}^{0,8} \times Pr^{1/3} \times \left(\frac{k_l}{d_i}\right)$$

$$h_i = 0,05 \times (27319,66)^{0,8} \times 3,697^{1/3} \times \left(\frac{1,02 \times 10^{-1} \text{ W/m}^2\text{C}}{0,01146 \text{ m}}\right)$$

$$h_i = 5501,58 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}$$

De igual manera, se debe calcular el coeficiente de transferencia de calor para el flujo externo el cual se calcula mediante la siguiente ecuación [14]:

$$\frac{Nu}{do} = ho$$

Dónde:

Nu: Número de Nusselt [adim]

do: Diámetro externo tubos [m]

ho: Coeficiente de transferencia de calor lado tubos [W/m<sup>2</sup>C]

Inicialmente se calcula la velocidad del flujo del aire sobre los tubos del intercambiado de la siguiente manera:

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T - D} V = \frac{0,0381 \text{ m}}{(0,0381 \text{ m})(0,01905 \text{ m})} \times 11 \text{ m/s}$$

$$V_{max} = 22 \text{ m/s}$$

Posteriormente se halla el número de Reynolds para el flujo externo con la siguiente ecuación [14].

$$Re = \frac{\rho V_{max} D_h}{\mu} = \frac{(1,1988 \text{ kg/m}^3) (22 \text{ m/s}) (0,0127 \text{ m})}{1,83 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}}$$

$$Re = 18290,6$$

Posteriormente se halló el número de Nusselt utilizando una de las relaciones que se encuentran en la **Figura 28**:

**Figura 31.**

*Correlaciones del número de Nusselt para flujo cruzado en bancos de tubos.*

Disposición	Rango de $Re_D$	Correlación
Alineados	0-100	$Nu_D = 0.9 Re_D^{0.4} Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{0.25}$
	100-1 000	$Nu_D = 0.52 Re_D^{0.5} Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{0.25}$
	1 000- $2 \times 10^5$	$Nu_D = 0.27 Re_D^{0.63} Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{0.25}$
	$2 \times 10^5$ - $2 \times 10^6$	$Nu_D = 0.033 Re_D^{0.8} Pr^{0.4} (Pr/Pr_s)^{0.25}$
Escalonados	0-500	$Nu_D = 1.04 Re_D^{0.4} Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{0.25}$
	500-1 000	$Nu_D = 0.71 Re_D^{0.5} Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{0.25}$
	1 000- $2 \times 10^5$	$Nu_D = 0.35 (S_T/S_L)^{0.2} Re_D^{0.6} Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{0.25}$
	$2 \times 10^5$ - $2 \times 10^6$	$Nu_D = 0.031 (S_T/S_L)^{0.2} Re_D^{0.8} Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{0.25}$

**Nota.** Esta figura muestra las correlaciones del número de Nusselt para flujo cruzado en bancos de tubos. Tomado de CENGEL, Yunus A. Transferencia de calor y masa. McGraw-Hill Interamericana, 2007.

$$Nu = 0,35 \left( \frac{S_t}{S_D} \right)^{0,2} Re^{0,6} Pr^{0,36} \left( \frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25}$$

$$Nu = 0,35 \left( \frac{0,0381 \text{ m}}{0,04445 \text{ m}} \right)^{0,2} 18290,6^{0,6} \times 0,7305^{0,36} \left( \frac{0,7305}{0,7336} \right)^{0,25}$$

$$Nu = 115,97$$

Finalmente se halló el coeficiente de transferencia de calor para el lado del aire con la siguiente ecuación [14]:

$$h_o = \frac{Nu}{d_o} = \frac{115,97 \times 0,02523 \text{ W/m}^2\text{C}}{0,0127 \text{ m}} = 230,4 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Con los dos coeficientes de transferencia de calor se procedió a hallar el coeficiente global de transferencia de calor para el intercambiador de calor con la siguiente ecuación [18].

$$U = \left( \frac{d_o}{h_i d} + \frac{d_o R_{fi}}{d_i} + \frac{d_o \ln\left(\frac{d_o}{d_i}\right)}{2K} + R_{fo} + \frac{1}{h} \right)^{-1}$$

Dónde:

do: Diámetro exterior del tubo [m]

di: Diámetro interior del tubo [m]

hi: Coeficiente de transferencia de calor del lado tubos [W/m<sup>2</sup>C].

ho: Coeficiente de transferencia de calor del lado aire [W/m<sup>2</sup>C].

Rfi: Resistencia por incrustaciones en el lado tubos [adim]

Rfo: Resistencia por incrustaciones en el lado aire [adim].

Por lo tanto, aplicando la ecuación para hallar el coeficiente global de transferencia de calor obtenemos:

$$U = \left( \frac{0,0127}{334,74 \times 0,01146} + \frac{0,0127 \times 0,0004}{0,01146} + \frac{0,0127 \times \ln\left(\frac{0,0127}{0,01146}\right)}{2(385)} + 0,0001 + \frac{1}{198,76} \right)^{-1}$$

$$U = 191,44 \text{ W/m}^2\text{C}$$

4.2.1.d. Área superficial de transferencia de calor.

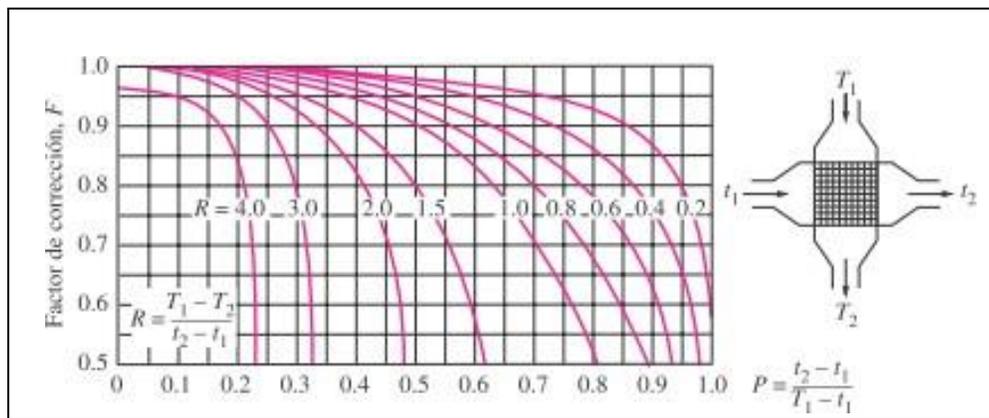
Con los valores hallados anteriormente procedemos a reemplazar en la **Ecuación 15**, para obtener el área superficial de transferencia de calor.

$$A_s = \frac{Q}{U x \Delta TLM}$$

En esta ecuación encontramos el termino  $f$ , el cual es posible hallar de la **Figura 29**.

**Figura 32.**

*Factor de corrección de la LDMT.*



**Nota.** Esta imagen muestra el factor de corrección para la diferencia térmica logarítmica. Tomado de CENGEL, Yunus A. Transferencia de calor y masa. McGraw-Hill Interamericana, 2007.

Para encontrar el factor de corrección debemos hallar los términos R y P de la gráfica los cuales son:

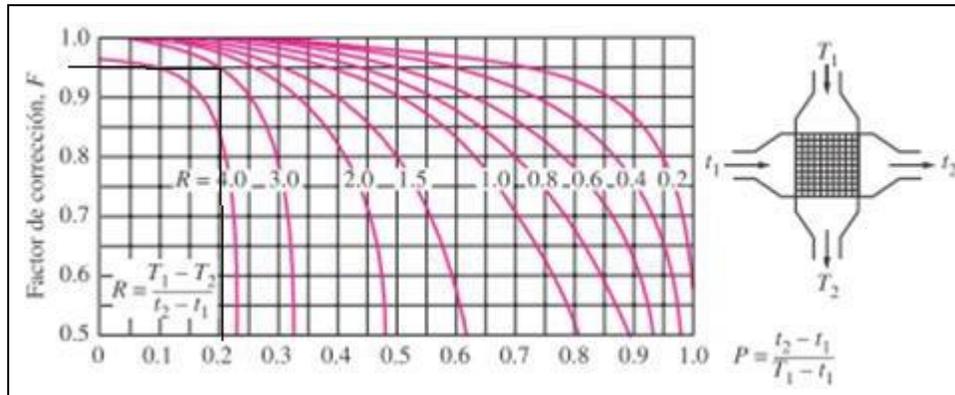
$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = \frac{7^\circ\text{C} - (-5^\circ\text{C})}{28^\circ\text{C} - (-5^\circ\text{C})} = 0,36$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{28^\circ\text{C} - 8,7^\circ\text{C}}{7^\circ\text{C} - (-5^\circ\text{C})} = 1,6$$

Una vez hallados los términos R y P vamos a la **Figura 33**, para hallar el factor de corrección:

**Figura 33.**

*Factor de corrección.*



**Nota.** Esta imagen muestra el valor hallado para el factor de corrección de la LMTD.

Con un factor de 0,95 el área superficial de transferencia de calor es:

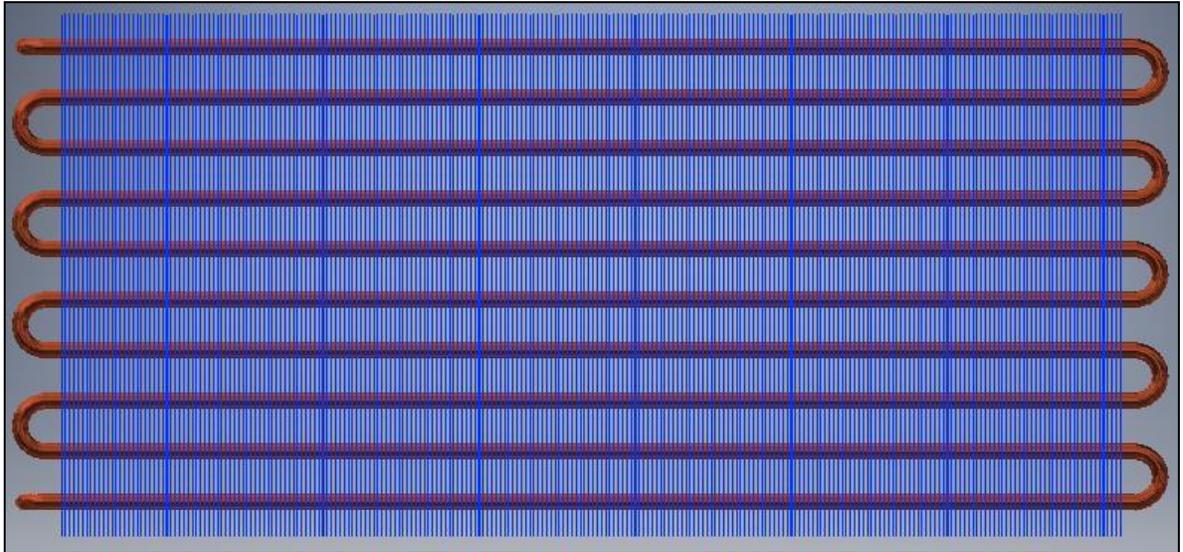
$$A_s = \frac{125000 \text{ W}}{(191,44 \text{ W/m}^2\text{°C}) (10,55 \text{ °C})(0,95)}$$

$$A_s = 65,12 \text{ m}^2$$

A continuación, se presenta la configuración tanto de la placa del como del lado frontal del intercambiador del calor:

**Figura 34.**

*Configuración lado aire del intercambiador.*

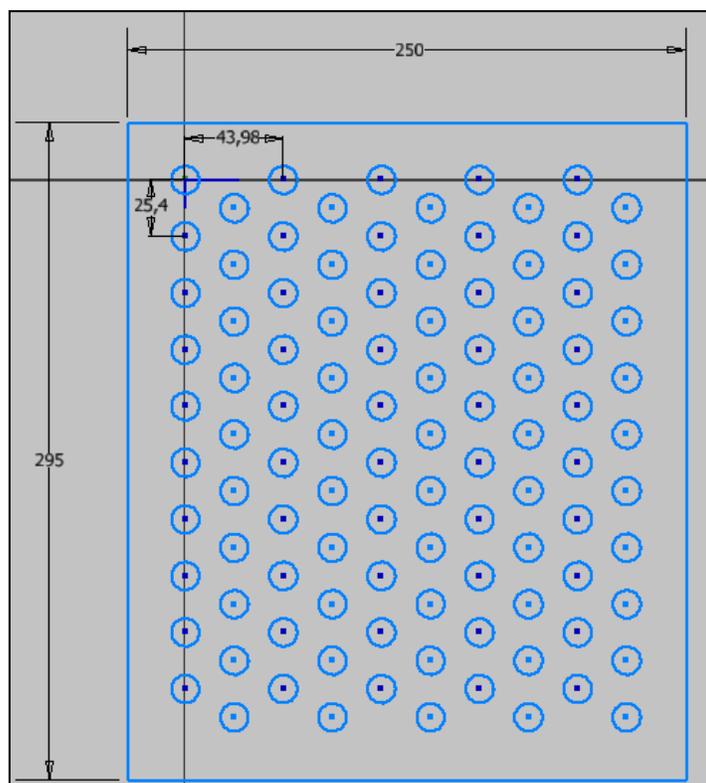


**Nota.** En esta figura se puede observar la configuración del lado aire del intercambiador de calor.

En **Figura 34** podemos ver la configuración del lado aire del intercambiador de calor en la cual la altura es de 295 mm, de la misma manera y como se eligió utilizar 100 tubos, en la **Figura 35** se encuentra la distribución del haz de tubos en 10 filas y 10 columnas.

**Figura 35.**

*Configuración de la placa frontal del intercambiador.*



**Nota.** En esta figura se muestra la configuración de las placas del intercambiador de calor.

Con el fin de validar los datos obtenidos anteriormente se procedió a calcular el área de transferencia de calor real del intercambiador basado en la geometría propuesta, para lo cual se calculó inicialmente el número de aletas del intercambiador así:

$$Na = \frac{L}{Pa}$$

Dónde:

Na: Número de aletas [adim]

L: Longitud del intercambiador de calor [m]

Pa: Paso entre aletas [m].

$$Na = \frac{1,5 \text{ m}}{0,003175 \text{ m}} = 473$$

Posteriormente se halló el número de tubos en la placa de la siguiente manera:

$$NT = NT_H \times NT_V$$

Dónde:

NT: Número de tubos.

NT<sub>H</sub>: Número de tubos horizontales.

$$NT_H = \frac{h_{aleta}}{P_h} = \frac{0,295 \text{ m}}{0,0254 \text{ m}} = 12$$

Dónde:

h<sub>aleta</sub>: Altura de la aleta [m].

P<sub>h</sub>: Paso horizontal entre tubos [m].

NT<sub>V</sub>: Número de tubos verticales.

$$NT_H = \frac{a_{aleta}}{P_v} = \frac{0,25 \text{ m}}{0,02199 \text{ m}} = 12$$

Dónde:

a<sub>aleta</sub>: Ancho de la aleta [m].

P<sub>h</sub>: Paso horizontal entre tubos [m].

Finalmente, el número se reemplazan estos valores y se obtiene que el numero de tubos es:

$$NT = 12 \times 12 = 144 \text{ tubos}$$

Luego se calculó el área superficial de transferencia de calor para el lado de los tubos con la siguiente ecuación:

$$A_{st} = NT \times \pi \times L \times do \times \frac{Pa - e}{Pa}$$

Dónde:

$A_{st}$ : Área superficial de transferencia de calor lado tubos [ $m^2$ ].

NT: Número de tubos [adim]

L: Longitud del intercambiador [m].

Do: diámetro externo del tubo [m].

Pa: Paso entre aletas [m].

e: Espesor de la aleta [m].

Entonces:

$$A_{st} = 144 \times \pi \times 1,5m \times 0,0127 m \times \frac{0,003175 m - 0,0003302 m}{0,003175 m}$$

$$A_{st} = 0,8172 m^2$$

Posteriormente se calculó el área total de las aletas del intercambiador con la siguiente ecuación:

$$A_{aleta} = 2 \times Na \times h_{aleta} \times a_{aleta} - \left( \frac{\pi \times do^2}{4} \times NT \right)$$

$$A_{aleta} = 2 \times 473 \times 0,0295 \text{ m} \times 0,0254 \text{ m} - \left( \frac{\pi \times 0,0127^2}{4} \times 144 \right)$$

$$A_{aleta} = 69,74 \text{ m}^2$$

Por último se calculó el área de real de transferencia de calor del intercambiador con la siguiente ecuación:

$$A_r = A_{st} + A_{aleta}$$

$$A_r = 0,8172 \text{ m}^2 + 69,74 \text{ m}^2$$

$$A_r = 70,76 \text{ m}^2$$

Finalmente se realiza la validación de los resultados calculando el factor de seguridad de diseño para el intercambiador de calor con la siguiente relación:

$$FS = \frac{A_r}{A}$$

Dónde:

FS: Factor de seguridad de diseño del intercambiador [adim].

Ar: Área de transferencia de calor real del intercambiador de calor [m<sup>2</sup>].

A: Área de transferencia de calor teórica de intercambiador de calor [m<sup>2</sup>].

$$FS = \frac{70,76 \text{ m}^2}{63,05 \text{ m}^2} = 1,11$$

Como el factor de seguridad de diseño del intercambiador de calor es mayor a 1, se concluye que el intercambiador de calor está correctamente diseñado para la necesidad propuesta.

### 5.1.1. Selección del compresor

Unos de los elementos que componen un ciclo de refrigeración es el compresor. Existen gran variedad de compresores clasificados por su forma como, por ejemplo:

- Compresores reciprocantes.
- Compresores rotativos.
- Compresores de pistones semi-herméticos.
- Compresores de tipo scroll.
- Compresores de pistones abiertos.
- Compresores de tornillos.

Los fabricantes consultados fueron:

- Danfoss.
- Bitzer.
- Copeland Emerson.

Para la selección del compresor se recurrió al software de selección de cada marca con el fin de obtener los mejores resultados para cada caso.

4.2.1.a. Compresor Danfoss. Se necesitan algunos datos iniciales para que el software pueda ingresar en su base de datos para mostrar una serie de equipos que cumplen con la necesidad puntual, para este caso estos fueron los datos ingresados en el programa.

**Figura 36.**

*Condiciones iniciales software Coolselector® Danfoss.*

Condiciones de funcionamiento		
Capacidad requerida:	Evaporación:	Condensación:
Capacidad de refrigeración: 125,0 kW	Temperatura de punto de rocío: -5,0 °C	Temperatura de punto de rocío: 15,0 °C
<input type="radio"/> Mostrar todos los m	Recalentamiento útil: 12,0 °C	Subenfriamiento: 2,0 °C
<input checked="" type="radio"/> Mostrar: 11 modelos	Recalentamiento adicional: 0 °C	Subenfriamiento adicional: 0 °C
Condiciones nominales:	<input checked="" type="checkbox"/> Temperatura del gas de retorno: 7,0 °C	Subenfriamiento total: 2,0 °C
Personalizar		Temperatura del líquido: 12,9 °C

**Nota.** En esta imagen se muestra la pantalla inicial de ingreso de datos para la selección del compresor de la marca Danfoss. Elaboración propia con base en software Danfoss Coolselector 2.

Con estos datos el software arrojó 3 posibles opciones para el compresor, de las cuales por cuestiones de conectividad se decidió la utilización de aquellos compresores que no necesiten una conexión de tipo industrial, es decir, 300V en adelante. Por esta razón la selección se redujo a 1 opción posible presentada a continuación:

**Figura 37.**

*Compresores marca Danfoss.*

Selección: DSH485-3, R410A										
Seleccionado	Modelo	Tecnología	Configuración	Refrigerante	Velocidad [rpm]	Refrigeración [kW]	Potencia [kW]	Corriente [A]	COP refrigeración [W/W]	Calefacción [kW]
<input checked="" type="radio"/>	DSH485-3	Scroll	Simple	R410A	3500	130,4	20,17	81,39	6,47	150,6
<input type="radio"/>	DSH485-7	Scroll	Simple	R410A	3500	131,2	18,44	25,04	7,12	149,6
<input type="radio"/>	DSH485-9	Scroll	Simple	R410A	3500	131,2	18,44	37,71	7,12	149,6

**Nota.** En esta imagen se muestra los compresores propuestos por Danfoss para este caso. Elaboración propia con base en software Danfoss Coolselector 2.

Finalmente, y teniendo en cuenta la capacidad de refrigeración del sistema calculada anteriormente el compresor seleccionado es el DSH485-3 con tecnología scroll, pues el que más se acerca a la capacidad requerida en esta aplicación.

**Figura 38.**

*Compresor DS483-3  
Danfoss.*



**Nota.** Esta imagen es la foto exacta del compresor seleccionado. Tomado de Danfoss Maneurop S.A.

4.2.1.b. Compresor BITZER. El software de esta marca necesita ser alimentado con algunos datos para generar las opciones de compresores para esta aplicación específica.

**Figura 39.**

*Datos iniciales selección del compresor BITZER.*

Scroll-Compresores

Modo: Refrigeración y Aire acond

Refrigerante: R410A

Temperatura de referencia: Temp. en el punto de rocí

Tipo de compresor: Compresor sólo

Serie: ORBIT

Selección del compresor

Potencia frigorífica: 125 kW

Modelo de compresor: [ ]

Incluir modelos anteriores

Punto de funcionamiento

Temp. de evaporación: -5 °C

Temp. de condensación: 20 °C

Condiciones de funcionamiento

Líquido subenfriado (des): 2 K

Recalentamiento de gas: 12 K

Recalentamiento útil: 100 %

Regulación de capacidad

sin

Variador de: 0 Hz

Alimentación eléctrica

Frecuencia de la red: 60Hz

**Nota.** Esta imagen muestra la pantalla de ingreso de datos en el software de la marca BITZER. Elaboración propia con software BITZER.

Con los datos que se pueden ver en la **Figura 36** el software realiza un esquema del ciclo y muestra las opciones de compresores que se pueden utilizar en para esta aplicación. Con los datos y el esquema se obtuvieron las siguientes opciones de compresores que se pueden utilizar:

**Figura 40.**

*Compresor marca BITZER.*

Compresor	GSD80421VA 4
Escalones de capacidad	100%
Potencia frigorífica	113,1 kW
Potencia frigorífica *	111,5 kW
Potencia en el evap.	113,1 kW
Potencia absorbida	18,27 kW
Corriente (460V)	30,1 A
Gama de tensiones	440-480V
Capacidad del condensador	131,3 kW
COP/EER	6,19
COP/EER *	6,10
Caudal másico	2001 kg/h
Temp. Gas de descarga no enfriado	53,7 °C

**Nota.** En esta imagen se muestra el compresor propuesto por el software de la marca BITZER.

El software arrojó que el compresor óptimo para esta aplicación es el modelo GSD80421VA-4 en disposición tándem debido a la elevada potencia frigorífica necesitada, cuya información se detalla en la **Figura 37**.

4.2.1.c Compresor COPELAND EMERSON. Otro de los fabricantes de compresores que tiene productos de amplio conocimiento en el campo industrial en Colombia es la multinacional Emerson con su línea de productos Copeland, esta empresa también cuenta con un software gratuito de selección de componentes de ciclos de refrigeración.

**Figura 41.**

*Datos iniciales software Select 8®.*

**Nota.** En esta figura se muestra la pantalla de ingreso de datos para el software de la marca COPELAND-EMERSON. Elaboración propia con software Select 8.

Con estos datos el software arrojo el siguiente resultado:

**Figura 42.**

*Compresor Copeland.*

Rendimiento en punto especificado		-5,0 / 25,0 °C
Compresor		ZP24K5E-TFD
Capacidad frigorífica, kW		6,04
Potencia, kW		1,19
C.O.P.		5,08
Intensidad a 460 V, A		2,24
Caudal másico de succión, g/s		30,90
P. Calefacción, kW		7,17
Efic. Isoentrópica, %		67,89

**Nota.** En esta figura muestra el compresor propuesto por el software de la marca COPELAN-EMERSON. Elaboración propia con software Select 8.

El software arrojo solo una opción de compresor cuyo modelo es ZP24K5E-TFD.

4.2.1.d Compresor seleccionado. Teniendo en cuenta los tres compresores que fueron calculados mediante el software de las tres marcas se procede a realizar la selección del óptimo para este ciclo. Basado en las dimensiones correspondientes de los compresores se determinó que en concordancia con los parámetros expuestos anteriormente, es de vital importancia, la reducción peso en los equipos seleccionados y diseñados, también se propende por seleccionar la alternativa menos invasiva, es decir, aquella que tenga una menor ocupación de espacio en el sistema, por lo anteriormente expuesto se optó por la selección del compresor de la marca Danfoss de modelo DSH485-3 y del cual se tiene las siguientes referencias técnicas:

**Tabla 18.**

*Datos técnicos compresor SH140-3.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Carga de refrigerante (Max)	17	kg
Velocidad de rotación	3500	rpm
Peso neto	180,75	kg
Entrada de aceite	1/4 roscada	in
Diámetro	333	mm
Altura total	755	mm
Conexión succión	1 5/8	in
Conexión descarga	1 3/8	in
Rango de tensión	200-230	V
Aceite	160SZ	N/A
Carga de aceite	6,1	L

**Nota.** En esta tabla se muestran los datos del compresor seleccionado para el sistema térmico. Elaboración propia con software Danfoss Coolselector 2.

### 5.1.2. Diseño del condensador

Al igual que para el diseño del intercambiador de calor, el condensador se diseñará como un intercambiador de calor compacto siguiendo las mismas directrices de diseño utilizadas anteriormente, por lo que inicialmente se obtuvieron los siguientes datos:

**Tabla 19.**

*Datos iniciales para diseño del condensador.*

PROPIEDAD	R-410A	AIRE	UNIDADES
T <sub>in</sub>	43	8,7	°C
T <sub>out</sub>	12,9	23,2	°C
C <sub>p</sub>	1,699	1,18	kJ/kg°C

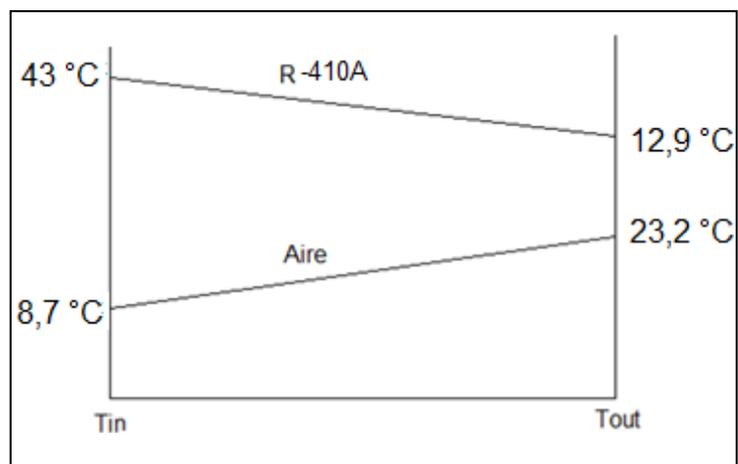
**Nota.** En esta tabla se muestra los datos iniciales para el diseño del condensador.

También anteriormente se obtuvo el trabajo que debe realizar el condensador para cumplir con su función, este calor tiene un valor de 130 kW por lo que este ser el insumo principal para el inicio del diseño, además se considerará constante el flujo de aire por lo cual se manejará un flujo másico de vapor de 1,52 kg/s, así entonces se procederá a encontrar la temperatura de salida del vapor y por consiguiente del aire.

Teniendo todas las temperaturas del sistema se procedió a realizar el perfil de temperaturas para el condensador:

**Figura 43.**

*Perfil de temperatura del condensador.*



**Nota.** En esta figura se muestra el perfil de temperaturas del condensador del sistema térmico.

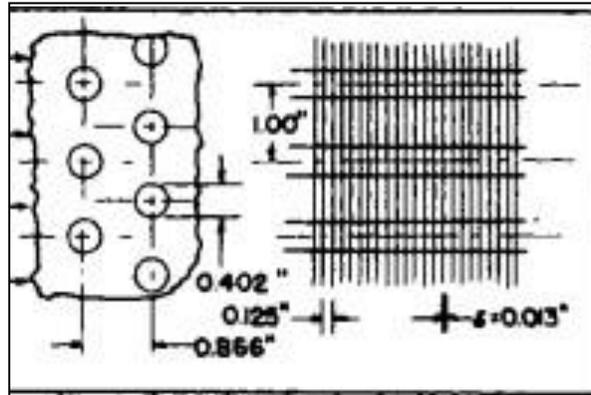
También se calculó la diferencia media logarítmica de temperaturas con la siguiente ecuación [14]:

$$\Delta TLM = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{34,3\text{ °C} - 10,3\text{ °C}}{\ln\left(\frac{34,3\text{ °C}}{10,3\text{ °C}}\right)}$$
$$\Delta TLM = 19,95\text{ °C}$$

4.2.2.a. Coeficiente global de transferencia de calor. Al igual que en el intercambiador de calor se utiliza el siguiente arreglo de tubos:

**Figura 44.**

*Arreglo de tubos para el condensador.*



**Nota.** En esta imagen se muestra la configuración de los tubos y aletas del condensador. Tomado de KAYS. William. LONDON. Alexander. Compact heat exchangers. 3rd edition. Scientific International. Consultado en [20 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpCHEE0002/compact-heat-exchangers/compact-heat-exchangersde>

Con esta distribución de tubos se procede a realizar los cálculos correspondientes para hallar el coeficiente global de transferencia de calor para el condensador.

Para este caso el refrigerante entra al condensador en fase vapor sobrecalentado por lo que a diferencia del intercambiador de calor solo se hallar un numero de Reynolds por lo cual solo se calculará su valor para esta fase y se asumirá que es constante durante todo el tránsito por el condensador [18].

$$Re_v = \frac{N_t \cdot 4m}{\left(\frac{\pi}{2}\right) \pi \mu_v d_i} = \frac{100 \cdot 4(0,285 \text{ kg/s})}{\left(\frac{\pi}{2}\right) \pi * 1,464 \times 10^{-5} \text{ Pa} * s * 0,01146m}$$

$$Re_v = 43257,27$$

Como  $Re > 2300$  obtenemos que el flujo de refrigerante al interior de los tubos está en régimen turbulento por lo cual para hallar el número de Nusselt de este flujo se utiliza la siguiente ecuación [18].

$$Nu = \frac{(f/2)(Re - 1000)Pr}{1 + 12,7 (f/2)^{\frac{1}{2}} (Pr^{\frac{2}{3}} - 1)}$$

Dónde:

$$f = (1,58 \ln Re - 3,28)^{-2} = (1,58 \ln(43257,27) - 3,28)^{-2}$$

$$f = 0,0054$$

Reemplazando:

$$Nu = \frac{(0,0054/2)(43257,27 - 1000)(3,697)}{1 + 12,7 (0,0054/2)^{\frac{1}{2}} ((3,697)^{\frac{2}{3}} - 1)}$$

$$Nu = 220,47$$

Finalmente se halla el coeficiente de transferencia de calor para el lado del refrigerante [18].

$$h_i = \frac{Nu * k}{d_i} = \frac{(220,47) (0,01779 \text{ W/m}^\circ\text{C})}{0,01146 \text{ m}}$$

$$h_i = 342,25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}$$

Después se realizaron los cálculos correspondientes para encontrar el coeficiente de transferencia de calor para el lado del aire, para lo cual inicialmente se calculó la velocidad máxima del flujo en el banco de tubos por unidad de área para este flujo de la siguiente manera [14]:

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T - D} V = \frac{0,0381 \text{ m}}{(0,0381 \text{ m})(0,01905 \text{ m})} 8,6 \text{ m/s}$$

$$V_{max} = 17,2 \text{ m/s}$$

Posteriormente se halló el número de Reynolds para el flujo en estudio mediante la siguiente ecuación [14]:

$$Re = \frac{\rho V_{max} D_h}{\mu} = \frac{(1,184 \text{ kg/m}^3) (17,2 \text{ m/s})(0,0127 \text{ m})}{1,85 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}}$$

$$Re = 13980,16$$

Con el número de Reynolds se halla el número de Nusselt para el lado aire con la siguiente ecuación [14]:

$$Nu = 0,35 \left( \frac{S_t}{S_D} \right)^{0,2} Re^{0,6} Pr^{0,36} \left( \frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25}$$

$$Nu = 0,35 \left( \frac{0,0254 \text{ m}}{0,02539 \text{ m}} \right)^{0,2} 13980,16^{0,6} \times 0,7296^{0,36} \left( \frac{0,7296}{0,7336} \right)^{0,25}$$

$$Nu = 98,63$$

Con el número de Nusselt se halla el coeficiente de transferencia de calor para el lado aire con la siguiente ecuación [14]:

$$h_o = \frac{Nu}{d_o} = \frac{98,63 \times 0,02523 \text{ W/m}^2\text{°C}}{0,0127 \text{ m}} = 195,94 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

Finalmente se calcula el coeficiente global de transferencia de calor para el condensador mediante la siguiente ecuación [18]:

$$U = \left( \frac{d_o}{h_i d} + \frac{d_o R_{fi}}{d_i} + \frac{d_o \ln\left(\frac{d_o}{d_i}\right)}{2K} + R_{fo} + \frac{1}{h} \right)^{-1}$$

Dónde:

$d_o$ : Diámetro exterior del tubo [m]

$d_i$ : Diámetro interior del tubo [m]

$h_i$ : Coeficiente de transferencia de calor del lado tubos [W/m<sup>2</sup>°C].

$h_o$ : Coeficiente de transferencia de calor del lado aire [W/m<sup>2</sup>°C].

$R_{fi}$ : Resistencia por incrustaciones en el lado tubos [adim]

$R_{fo}$ : Resistencia por incrustaciones en el lado aire [adim].

Finalmente se halló el coeficiente global de transferencia de calor para el condensador:

$$U = \left( \frac{0,0127}{342,25 \times 0,01146} + \frac{0,0127 \times 0,0004}{0,01146} + \frac{0,0127 \times \ln\left(\frac{0,0127}{0,01146}\right)}{2(385)} + 0,0001 + \frac{1}{195,94} \right)^{-1}$$

$$U = 122,64 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

4.2.2.b. Área superficial de transferencia de calor. Con los parámetros definidos anteriormente se procede a hallar el área superficial de transferencia de calor [14] para el condensador mediante la siguiente ecuación:

$$A_s = \frac{13000 \text{ W}}{(122,64 \text{ W/m}^2\text{°C}) (19,95 \text{ °C})}$$

$$A_s = 53,15 \text{ m}^2$$

Con el fin de validar los datos obtenidos anteriormente se procedió a calcular el área de transferencia de calor real del condensador basado en la geometría propuesta, para lo cual se calculó inicialmente el número de aletas del intercambiador así:

$$Na = \frac{L}{Pa}$$

Dónde:

Na: Número de aletas [adim]

L: Longitud del intercambiador de calor [m]

Pa: Paso entre aletas [m].

$$Na = \frac{1,5 \text{ m}}{0,003175 \text{ m}} = 473$$

Posteriormente se halló el número de tubos en la placa de la siguiente manera:

$$NT = NT_H \times NT_V$$

Dónde:

NT: Número de tubos.

NT<sub>H</sub>: Número de tubos horizontales.

$$NT_H = \frac{h_{aleta}}{P_h} = \frac{0,295 \text{ m}}{0,0254 \text{ m}} = 12$$

Dónde:

h<sub>aleta</sub>: Altura de la aleta [m].

P<sub>h</sub>: Paso horizontal entre tubos [m].

NT<sub>V</sub>: Número de tubos verticales.

$$NT_H = \frac{a_{aleta}}{P_v} = \frac{0,25 \text{ m}}{0,02199 \text{ m}} = 12$$

Dónde:

a<sub>aleta</sub>: Ancho de la aleta [m].

P<sub>h</sub>: Paso horizontal entre tubos [m].

Finalmente el número se reemplazan estos valores y se obtiene que el número de tubos es:

$$NT = 12 \times 12 = 144 \text{ tubos}$$

Luego se calculó el área superficial de transferencia de calor para el lado de los tubos con la siguiente ecuación:

$$A_{st} = NT \times \pi \times L \times do \times \frac{Pa - e}{Pa}$$

Dónde:

A<sub>st</sub>: Área superficial de transferencia de calor lado tubos [m<sup>2</sup>].

NT: Número de tubos [adim]

L: Longitud del intercambiador [m].

Do: diámetro externo del tubo [m].

Pa: Paso entre aletas [m].

e: Espesor de la aleta [m].

Entonces:

$$A_{st} = 144 \times \pi \times 1,5m \times 0,0127 m \times \frac{0,003175 m - 0,0003302 m}{0,003175 m}$$

$$A_{st} = 0,8172 m^2$$

Posteriormente se calculó el área total de las aletas del intercambiador con la siguiente ecuación:

$$A_{aleta} = 2 \times Na \times h_{aleta} \times a_{aleta} - \left( \frac{\pi \times do^2}{4} \times NT \right)$$

$$A_{aleta} = 2 \times 473 \times 0,0295 m \times 0,0254 m - \left( \frac{\pi \times 0,0127 m^2}{4} \times 144 \right)$$

$$A_{aleta} = 69,74 m^2$$

Por último se calculó el área de real de transferencia de calor del intercambiador con la siguiente ecuación:

$$A_r = A_{st} + A_{aleta}$$

$$A_r = 0,8172 m^2 + 69,74 m^2$$

$$A_r = 70,56 m^2$$

Finalmente se realiza la validación de los resultados calculando el factor de seguridad de diseño para el intercambiador de calor con la siguiente relación:

$$FS = \frac{A_r}{A}$$

Dónde:

FS: Factor de seguridad de diseño del intercambiador [adim].

$A_r$ : Área de transferencia de calor real del intercambiador de calor [m<sup>2</sup>].

A: Área de transferencia de calor teórica de intercambiador de calor [m<sup>2</sup>].

$$FS = \frac{70,76 \text{ m}^2}{63,04 \text{ m}^2} = 1,12$$

Como el factor de seguridad de diseño del intercambiador de calor es mayor a 1, se concluye que el condensador de calor está correctamente diseñado para la necesidad propuesta.

### **5.1.3. Selección de la válvula de expansión**

Se debe seleccionar la válvula de expansión para la misma capacidad calculada para el intercambiador de calor de la sección 3.1.2 y para el fluido refrigerante con el cual se trabaja (R410-a). Se ingresa en el catálogo del fabricante de instrumentos y equipos de refrigeración y control SPORLAN, con el fin determinar el modelo de válvula de expansión que más se adecua a la necesidad planteada.

Teniendo el valor del flujo de calor en el intercambiador (125 kW), se ingresa en el software de apoyo para selección de componentes de ciclos de refrigeración del fabricante SPORLAN, además del documento de apoyo de la misma marca titulado Controles Automáticos para Sistemas de Refrigeración Industriales, en el cual se dictan algunas directrices básicas para el diseño de sistemas de control automático de sistemas de refrigeración así como también la selección de los componentes que serán

parte del sistema de control, por lo cual, para este caso específico, se optó por la utilización de una válvula de control termostática.

Con ayuda del software fabricante Parker-Sporlan, se llegó a la óptima selección de la válvula de expansión para esta aplicación de modelo OZE38GA9X9 como se muestra en la **Figura 45**.

**Figura 45.**

*Válvula de expansión termostática OZE38GA9X9.*



**Nota.** EN esta imagen se muestra la válvula de expansión termostática seleccionada. Tomado de <https://ph.parker.com/co/es/thermostatic-expansion-valve-sporlan-type-o>

#### **5.1.4. Selección de tubería para el sistema**

Teniendo los equipos que componen el sistema térmico diseñado y seleccionado, lo siguiente es realizar la selección de las tuberías de conexión entre los distintos componentes, por lo cual se realizó la **Tabla 29**, en la cual están consignados los diámetros de aspiración y descarga de los 4 elementos que componen el sistema térmico.

**Tabla 20.**

*Relación de dimensiones de aspiración y descarga del sistema térmico.*

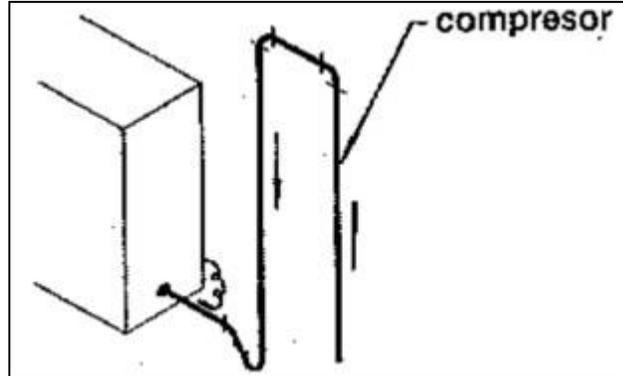
<b>EQUIPO</b>	<b>ASPIRACIÓN</b>	<b>DESCARGA</b>	<b>UNIDADES</b>
Intercambiador de calor	3/8	3/8	in
Compresor	1 5/8	1 1/3/8	in
Condensador	3/8	3/8	in
Válvula de expansión	1 3/8	1 3/8	in

**Nota.** En esta tabla se muestran los diámetros de los equipos del sistema térmico tanto en aspiración como en descarga.

Por otra parte, y teniendo en cuenta lo enunciado por José Alarcón Creus en su libro **MANUAL DEL AIRE ACONDICIONADO** acerca de los arreglos típicos de tuberías en sistemas de aire acondicionado, es importante priorizar la eficiencia y la adecuada alimentación en todos y cada uno de los componentes intervinientes en el ciclo, por lo tanto se dispuso del siguiente arreglo para el tramo comprendido entre el intercambiador de calor y el compresor [20]:

**Figura 46.**

*Configuración de la tubería hacia la aspiración del compresor.*



**Nota.** En esta imagen se muestra la disposición de la tubería en la descarga de intercambiador de calor. Tomado de ALARCON CREUS, José; BOIXAREU VILAPLANA, José María and CAPELLÁN GUILLEN, Carlos. Manual de aire acondicionado: handbook of air conditioning system design. Barcelona: Marcombo, 1970.

A continuación, se presenta una relación de longitudes de los tramos entre los equipos del sistema:

**Tabla 21.**

*Relación de longitudes de tubería.*

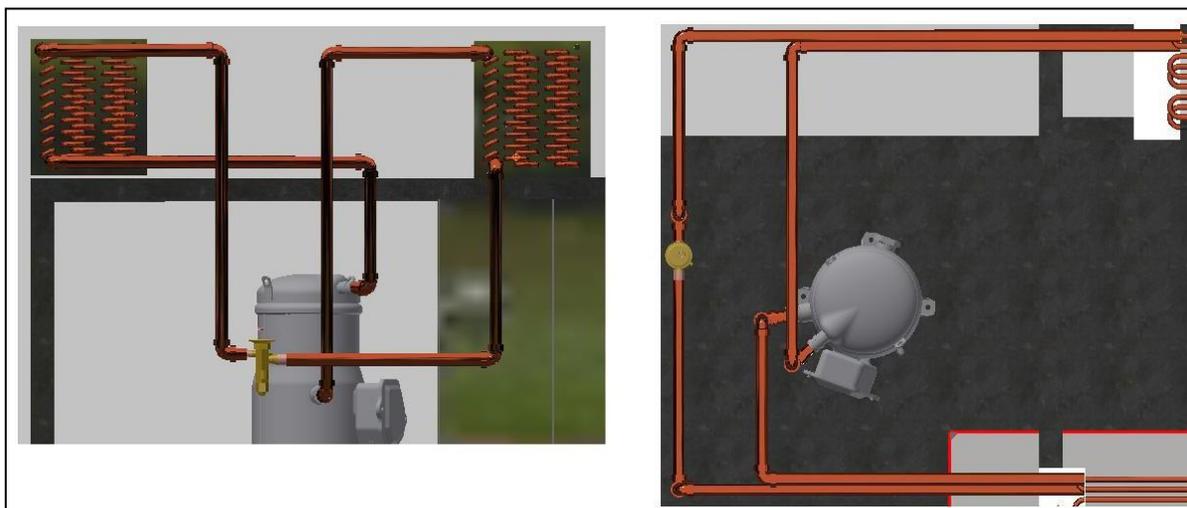
Tramo	Longitud (mm)	Longitud (m)
Intercambiador de calor a compresor	1717,04	1,72
Compresor a condensador	1734,82	1,73
Condensador a válvula de expansión	2065,02	2,07
Válvula de expansión a intercambiador de calor	1671,32	1,67
TOTAL	7188,20	7,19

**Nota.** En esta tabla se muestran las longitudes de los tramos de tubería entre los diferentes equipos del sistema térmico.

De esta manera se presenta el siguiente esquema de conexión entre equipos:

**Figura 47.**

*Esquema de conexión de tubería.*



**Nota.** En esta figura se muestra la disposición de la tubería entre los equipos.

También se realizó un recuento de accesorios a utilizar en el sistema de tubería, consignados en la **Tabla 22**

**Tabla 22.**

*Relación de accesorios*

<b>ACCESORIO</b>	<b>DIAMETRO</b>	<b>CANTIDAD</b>
Codo 90°	3/4"	11
Bushing reductor	1 1/8" a 3/4"	1
Bushing reductor	3/4" a 3/8"	4
Bushing reductor	7/8" a 3/4"	1
Bushing reductor	1 3/8" a 3/4"	1
Bushing reductor	5/8" a 3/4"	1

**Nota.** En esta tabla se muestran la relación de los accesorios necesarios en el sistema de tuberías.

Cabe aclarar que todo el sistema de tuberías será fabricado en tubería rígida de cobre clase L, cuya especificación se encuentra en el Anexo.

## **5.2. Sistema de almacenamiento**

Para este sistema se llevará a cabo el cálculo del tanque destinado a contener el agua condensada durante el proceso, para lo cual se diseñará un tanque de geometría rectangular que se asemeja a una bandeja.

### **5.2.1. Tanque de almacenamiento**

Inicialmente se debe calcular el volumen final del tanque, cabe señalar que, el tanque no puede estar lleno por completo con agua, por consiguiente, se define que lo dispuesto en el tanque al almacenaje del fluido es el 80% y que el 20% restante se mantendrá vacío, como se muestra a continuación:

$$Va = 500 l$$

$$Vt = \frac{Va}{80\%}$$

$$Vt = \frac{500 \text{ l}}{80\%} = 625 \text{ l}$$

Así entonces, para el cálculo de las dimensiones del tanque se tendrán en cuenta las dimensiones de largo (1500 mm) y ancho (500 mm) del intercambiador diseñado anteriormente, esto con el fin de garantizar que el agua condensada se almacenara dentro del tanque.

$$Vt = L \times a \times h$$

$$h = \frac{Vt}{L \times a} = \frac{0,625 \text{ m}^3}{1,8 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}}$$

$$h = 0,7 \text{ m}$$

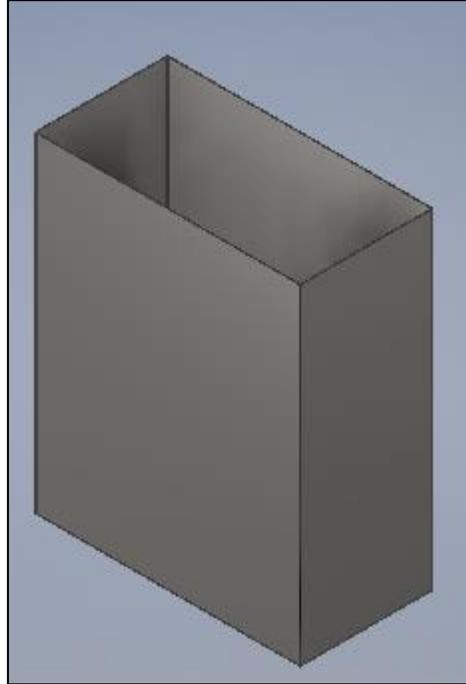
Otro de los aspectos a tener en cuenta en el tanque de almacenamiento es el material del que será construido, pues al contener agua se debe fabricar de un material apto para el almacenamiento de alimentos y agua. Los materiales que cumplen los criterios para este fin son: Polietileno de alta densidad, Poliéster reforzado con fibra de vidrio y Acero inoxidable.

Debido a la complejidad de los procesos necesarios para el formado de los polímeros, se decidió la utilización del acero inoxidable como el material de fabricación del tanque.

El tanque se fabricará a partir de una lámina de acero inoxidable 304 de 2mm de espesor, doblándola y uniéndola mediante cordones de soldadura en los extremos.

**Figura 48.**

*Tanque de almacenamiento.*



**Nota.** En esta figura se muestra el tanque de almacenamiento diseñado para el sistema de almacenamiento.

### **5.3. Sistema de alimentación**

Como se expuso anteriormente este sistema está compuesto por inicialmente un ventilador que tendrá como función ingresar el aire al sistema de refrigeración.

#### **5.3.1. Selección del ventilador**

Para el cálculo del ventilador se deben tener en cuenta los siguientes conceptos:

- Caudal de aire.
- Presión del aire.
- Velocidad del aire.

Estos conceptos son los principales con los cuales es posible calcular y seleccionar el ventilador adecuado para cada aplicación.

En este caso se tomaron como datos iniciales los siguientes valores:

Flujo másico requerido= 2,76 kg/s

Densidad del aire  $\rho=1,18 \text{ kg/m}^3$

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \rho \times V \\ V &= \frac{2,76 \text{ kg/s}}{1,18 \text{ kg/m}^3} \\ V &= 2,33 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Una vez obtenido el caudal de aire se procedió a calcular la velocidad del aire en el sistema con la **Ecuación 51**, en la cual se tomará como valor del área la referente al área de sección transversal del lado aire de intercambiador de calor cuyo valor es de  $0,2136 \text{ m}^2$ .

$$\begin{aligned} \dot{V} &= \vec{V} \times A \\ \vec{V} &= \frac{2,33 \text{ m}^3/\text{s}}{0,2136 \text{ m}^2} \\ \vec{V} &= 11 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Otro de los parámetros necesarios para la selección del ventilador es la presión total, la cual es igual a la suma de la presión dinámica y la presión estática.

Donde la presión dinámica es la presión necesaria para acelerar el aire desde cero hasta la velocidad requerida [21], y viene dada por la expresión:

$$P_d = \frac{\vec{V}^2}{16}$$

$$P_d = \frac{(11 \text{ m/s})^2}{16} = 7,56 \text{ Pa}$$

Con estos datos ingresamos en el software del fabricante de ventiladores SOLER & PALAU, en el cual se requiere ingresar algunos datos inicialmente como se observa en la **Figura 49**.

**Figura 49.**

*Selección del ventilador con software EasyVent de Soler & Palau.*



**- Criterios de selección**

Hertz **50 HZ** **60 HZ**

Caudal 8742  m3/h Real

Tolerancia -20%  20%

Presión 60 Pa Estática

Tolerancia -20%  20%

Condiciones del aire 28 °C @ 10m (1.16 kg/m3) 

Ref:

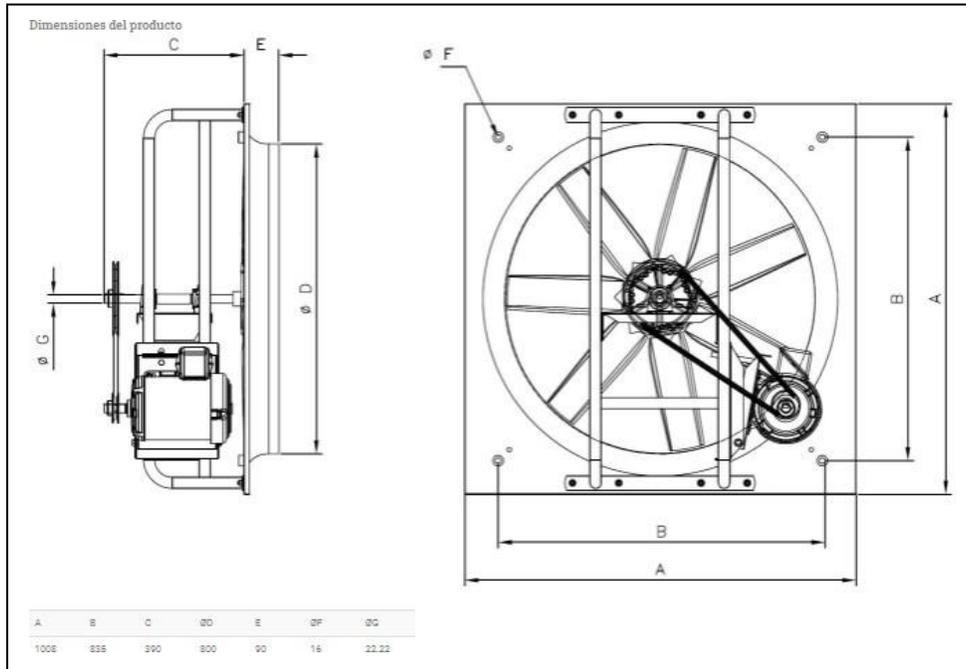
**Seleccionar** Reiniciar

**Nota.** En esta figura se muestra la pantalla de ingreso de datos para selección del ventilador del sistema de admisión. Elaboración propia con software EasyVent de Soler & Palau.

Continuo a esto se determina la selección del ventilador con referencia HGTA-800/L-0.75HP/4-725rpm a 230V recomendado por el software para ventiladores helicoidales con caja, debido a que entre las opciones recomendadas es el equipo más liviano.

**Figura 50.**

*Dimensiones del ventilador HGTA-800/L-0,75HP/4-725 rpm.*



**Nota.** En esta imagen se muestran las medidas generales del ventilador seleccionado para el sistema de admisión.

#### 5.4. Sistema de control

Para el sistema de control se realizará la selección de los equipos necesarios para el apropiado funcionamiento de manera autónoma del sistema de condensación de agua.

Este sistema controlara principalmente el funcionamiento del ciclo de compresión de vapor, es decir, se controlarán principalmente las variables asociadas al correcto funcionamiento del ciclo previniendo fallas del mismo o fallas en los equipos utilizados, por lo cual se seleccionarán las válvulas con las cuales se controlara el fluido refrigerante teniendo en cuenta parámetros como temperatura, presión, caudal.

#### 5.4.1. Variables a controlar

Las variables a controlar en el sistema son las siguientes:

- Temperatura.
- Nivel.
- Humedad relativa.

Se seleccionó controlar estas variables debido a la incidencia de cada una de ellas en el correcto funcionamiento del sistema.

También se deben tener en cuenta los fluidos de trabajo para cada uno de las variables pues de estos dos parámetros depende el tipo de elemento de control a utilizar, los fluidos de trabajo son:

- Aire ambiental.
- Agua.

#### 5.4.2. Elementos de control.

Se requiere de distintos elementos de control necesarios para el sistema, por lo cual en la **Tabla 23** estos se encuentran relacionados junto a una breve descripción del mismo y finalmente el fluido con el cual tendrá contacto.

**Tabla 23.**

*Relación de instrumentos.*

<b>Instrumento</b>	<b>Variable</b>	<b>Rango</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fluido</b>
Sensor de humedad relativa	Humedad relativa	10-90%	Medición de la humedad relativa del aire que ingresa al sistema	Aire
Transmisor de temperatura	Temperatura	0-30 °C	Medición de la temperatura del aire que ingresa al sistema	Aire
Switch de nivel	Nivel	500-650 litros	Medición del nivel en el tanque de condensado.	Agua

**Nota.** En esta tabla se muestran los instrumentos necesarios para el sistema de control.

Estos elementos de control serán los encargados de gobernar algunas válvulas ubicadas en cada línea de fluido, a excepción del sensor de nivel y del sensor de humedad relativa.

#### 5.4.3. Válvulas de control

Son los elementos encargados de controlar el flujo de refrigerante en cada una de las líneas del sistema, por lo cual se realizó un listado de válvulas necesarias para el control del sistema de condensación, la cual se presenta a continuación:

**Tabla 24.**

*Relación de válvulas.*

VALVULA	LINEA	DIAMETRO
Retención	IC-CM	3/4 "
	CN-CM	
	CM-VE	
	VE-IC	
	CN-CM	

**Nota.** En esta tabla se muestra la relación de las válvulas necesarias en el sistema de control.

#### 5.4.4. Elementos seleccionados

4.5.4.a. Válvulas de retención. Las válvulas de retención son utilizadas para prevenir el retorno de refrigerante en las líneas para de esta forma prevenir la intrusión de partículas indeseadas en los elementos del sistema y que de esta forma se presente un mal funcionamiento de los mismos. Para esta aplicación se seleccionó la válvula anti retorno NRV19 v2 de la marca Danfoss.

4.5.4.b. Switch de nivel. Según lo consignado anteriormente acerca del switch de nivel, se seleccionó el switch de nivel FCV21QD de la marca Finetek.

4.5.4.c. Sensor de humedad relativa y transmisor de temperatura. Es este caso, al tratarse de dos instrumentos encargados de medir sobre el mismo medio y para el mismo fin de seleccionó el THDRC de la marca Autonics.

**Figura 51.**

*Transmisor de temperatura y humedad THDRC de Autonics.*



**Nota.** En esta figura se muestra el sensor de temperatura y humedad seleccionado.

4.5.4.d. Módulo de control. ¡Debido a las señales manejadas por los elementos seleccionados (análogas y digitales) y la simplicidad del sistema de control a utilizar, se decidió utilizar un módulo LOGO! de la marca Siemens, específicamente las referencias:

- ¡LOGO! BASE: 66ED1052-1MD08-OBA0
- ¡LOGO! POWER: 6EP3331-65B00-OAY0
- ¡LOGO! AM2: 6ED1055-1MAOO-OBA2

¡El LOGO! ¡BASE es el panel principal del sistema, en él se encuentra el display, el puerto de comunicación con PC, las entradas análogas y los botones de configuración, el LOGO! POWER es el módulo de conexión a fuente del LOGO! ¡BASE y el LOGO! AM2 es el módulo de entradas análogas, juntos configuran el sistema de control general.

**Figura 52.**

*Módulo LOGO con sus módulos auxiliares.*



**Nota.** En esta imagen se muestra el módulo LOGO! con los módulos auxiliares.

#### **5.4.5. Funcionamiento del sistema de control**

Como se ha expresado anteriormente el sistema de control tendrá la función de mantener los parámetros óptimos de operación del sistema de condensación, para lo cual, se seleccionaron de conformidad con los diferentes parámetros establecidos los elementos que llevaran a cabo esta función. ¡El control del sistema será automático mediante el pulso de un interruptor de inicio de ciclo el cual energizara el modulo LOGO!, el cual, a su vez enviara las señales de inicio correspondientes a los motores del ventilador y del compresor, ¡la verificación de inicio de los mismo se realizara mediante relés integrados en el LOGO!, además de la detección de falla de uno de os componentes, el ciclo finalizará con la señal de llenado del tanque.

Todo lo anteriormente descrito se encuentra diagramado en los planos de arranque del compresor y el ventilador, además se realizan los planos de conexión del logo y

conexión a fuente trifásica de los motores intervinientes en el ciclo, todos estos planos se encuentran en los anexos del documento.

## 5.5. Sistema estructural

En este apartado se llevó a cabo el cálculo del sistema estructural, encargado principalmente de dar rigidez y sostén al sistema de condensación de agua. Para tal fin se tomó en cuenta el concepto de uniformidad; en donde, se busca mantener constante el material y el tipo de perfil en todos los elementos seleccionados.

Toda la estructura estará fabricada en acero ASTM A36, debido a sus propiedades mecánicas consolidadas en el **Tabla 25**, es un acero altamente utilizado en aplicaciones con vigas soldadas, así como también en estructuras remachadas y atornilladas.

**Tabla 25.**

*Propiedades del acero ASTM A36.*

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Esfuerzo de fluencia	250	MPa
Esfuerzo de tensión	400-550	MPa
Módulo de elasticidad	200	GPa

**Nota.** En esta tabla se muestra las propiedades del acero ASTM A 36. Tomado de SUMITEC. ACERO ESTRUCTURAL: acero ASTM A36. [En línea]. Recuperado en: 30 Junio 2020. Formato archivo (pdf). Disponible en: <http://www.sumiteccr.com/acero/estructural/AE01.pdf>. p. 1.

### 5.5.1. Definición de cargas

Estas corresponden al peso de todos los componentes incluidos en el sistema, los cuales serán utilizados para la selección de los perfiles a utilizar en la estructura.

**Tabla 26.**

*Definición de cargas.*

<b>COMPONENTE</b>	<b>PESO (N)</b>	<b>ANCHO (m)</b>	<b>CARGA DISTRIBUIDA (N/m)</b>
Intercambiador de calor	759,90	1,5	506,6
Compresor	1773,15	0,23	7709,35
Condensador	477,69	1,5	318,46
Tanque	673,94	1,5	449,29
Ventilador	88,29	0,567	155,71

**Nota.** En esta tabla se muestran las cargas ejercidas por cada uno de los elementos del sistema.

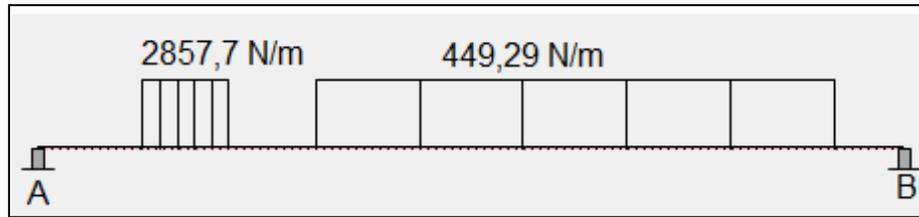
Una vez definidas las cargas que actuarán sobre la estructura, se definió la utilización de soportes individuales para cada elemento las cuales estarán unidas entre sí por una estructura general.

### **5.5.2. Soporte crítico**

Se definió un soporte crítico bajo el criterio de la mayor carga distribuida, por lo tanto, se determinó que el soporte crítico es el del intercambiador de calor, entonces se procede a determinar el módulo de sección óptimo para soportar esta carga. Se procedió, inicialmente, a establecer el diagrama de cuerpo libre para establecer las reacciones sobre los apoyos de la siguiente manera:

**Figura 53.**

*Diagrama de cuerpo libre.*

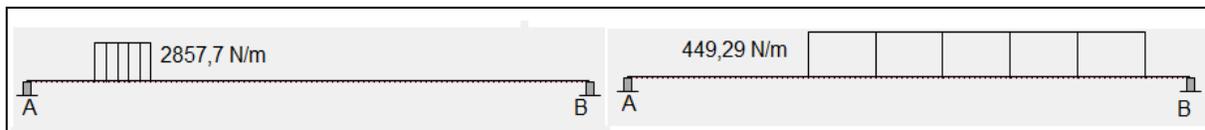


**Nota.** En esta imagen se muestra el diagrama de cuerpo libre del soporte crítico.

La placa está empotrada en los dos extremos, por lo cual se considera como una viga hiperestática y será analizada mediante las constantes de momento de empotramiento; no obstante, al ser una viga con dos cargas distribuidas se debe realizar el análisis con cada carga por separado como se muestra en la imagen.

**Figura 54.**

*Diagramas de cargas distribuidas para el análisis del soporte crítico*



**Nota.** En esta figura se muestra la distribución de las cargas sobre el soporte crítico para su posterior análisis.

Así entonces para hallar los momentos flectores en A1, B1 y A2, B2 para así hallar los momentos totales y posteriormente las reacciones en los apoyos.

$$M_A = M_{A1} + M_{A2}$$

$$M_B = M_{B1} + M_{B2}$$

$$M_A = 333,43 \text{ Nm} + 79,5 \text{ Nm} = 412,93 \text{ Nm}$$

$$M_B = -64,18 \text{ Nm} - 130,38 \text{ Nm} = -194,57 \text{ Nm}$$

Con estos datos se procedió a calcular las reacciones en los apoyos especialmente en el eje Y pues son las que se utilizaran para el cálculo de los perfiles y espesores de láminas.

$$\sum M_A = 0$$

$$M_A - M_B - (1773,15 \text{ N} * 0,425\text{m}) - (673,94 \text{ N} * 1,55\text{m}) \\ + (R_{BY} * 2,5\text{m}) = 0$$

$$R_{BY} = 476,27 \text{ N}$$

Luego se llevó a cabo la sumatoria de fuerzas en el eje Y para finalizar el proceso del cálculo de las reacciones en los apoyos.

$$\sum F_Y = 0$$

$$R_{AY} - F_{CM} - F_{TK} + R_{BY} = 0$$

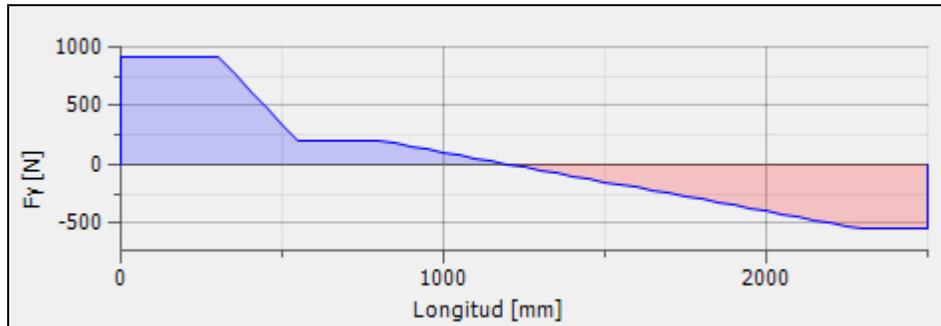
$$R_{AY} = 1773,15 \text{ N} + 673,94 \text{ N} - 476,27 \text{ N}$$

$$R_{AY} = 1970,82 \text{ N}$$

Una vez determinados los máximos tanto para fuerza cortante como para momento flector, se procedió a graficarlos de la siguiente manera:

**Figura 55.**

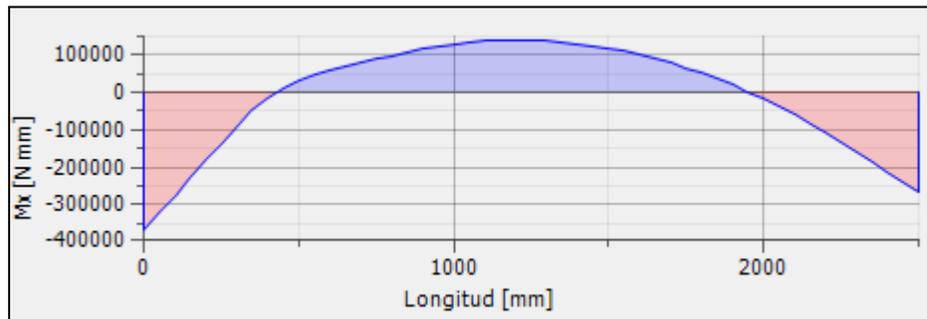
*Diagrama de fuerza cortante.*



**Nota.** En esta figura se muestra el diagrama de fuerza cortante para el soporte crítico.

**Figura 56.**

*Diagrama de momento flector.*



**Nota.** En esta figura se muestra el diagrama de momento flector del soporte crítico.

Para determinar el espesor de la placa en este caso, se hizo uso de la ecuación de esfuerzo de flexión que se presenta a continuación:

$$\sigma_{max} = \frac{M}{S}$$

Para determinar el esfuerzo de flexión máximo es necesario utilizar la siguiente en la cual se hace necesario indicar un factor de seguridad F.S. a fin de brindar certeza ante un imprevisto que pueda ocurrir. Por ello, el ingeniero J. Paulo Davim [22] afirma que

para condiciones no severas de carga y ambiente es aconsejable manejar un factor de seguridad de 1,5.

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_y}{FS} = \frac{250 \text{ MPa}}{1,5} = 166,67 \text{ MPa}$$

Así entonces, despejando el módulo de sección (S) de la ecuación a continuación, obtenemos lo siguiente:

$$S = \frac{M}{\sigma_{max}} = \frac{326,66 \text{ Nm}}{166,67 \text{ MPa}} = 1,967 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Para saber el espesor de placa a utilizar se hace uso de la siguiente ecuación:

$$S = \frac{1}{6} b \times d^2$$

Dónde:

b: ancho de la placa [m]

d: espesor de la placa [m]

Por lo tanto, el espesor de la placa es:

$$d = \sqrt{\frac{6 \times S}{b}}$$

$$d = \sqrt{\frac{6(1,967 \times 10^{-6} \text{ m}^3)}{0,3 \text{ m}}}$$

$$d = 6,272 \times 10^{-3} \text{ m} = 6,27 \text{ mm}$$

Así entonces, es espesor mínimo de la placa para que soporte las cargas es de 6,27 mm; por tal motivo, se buscó un espesor comercial superior más cercano al

encontrado; obteniendo como resultado una lámina de acero ASTM A36 de 8 mm de espesor.

Posteriormente se realizó el cálculo del perfil para las columnas que anclaran la placa a la parte inferior del sistema para lo cual se utiliza el método del diseño de columnas por factor de carga y resistencia (LFRD), en cual es imperativo el cumplimiento de la siguiente desigualdad:

$$P_u \leq R_d$$

En donde el termino  $P_u$ , corresponde a la carga mayorada aplicada sobre la columna y el termino  $R_d$  corresponde a la resistencia de diseño propia del material con el cual se diseñará la estructura.

A fin de calcular la carga mayorada se utilizó la norma NSR 10; en específico el numeral B.2.4 COMBINACIONES DE CARGAS MAYORADAS UTILIZANDO EL METODO DE RESISTENCIA [23], donde se encuentran las siguientes ecuaciones correspondientes al cálculo de la carga mayorada teniendo en cuenta que E es fuerza sísmica, D es carga muerta, F es carga debida a fluidos, G es fuerza de granizo, H es carga debida al empuje del suelo, L es la carga viva, T es fuerza por temperatura y W es fuerza del viento, tal como se aprecia en la **Figura 57**.

**Figura 57.**

*Listado de cargas mayoradas NSR 10.*

$1.4(D + F)$
$1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) + 0.5(L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$
$1.2D + 1.6(L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e) + (L \text{ ó } 0.8W)$
$1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$
$1.2D + 1.0E + 1.0L$
$0.9D + 1.6W + 1.6H$
$0.9D + 1.0E + 1.6H$

**Nota.** En esta figura se muestran la relaciones para el cálculo de la carga mayorada para diferentes condiciones. Tomado de PALMAR, J. R. Reglamento De Construcciones Sismorresistentes Nsr-10Tomo Uno. RAM Ediciones, 2019. 9789589703359.

A continuación, se presenta un listado con la combinación de cargas mayoradas del sistema en la **Tabla 27**.

**Tabla 27.**

*Información de carga mayorada del sistema.*

Columna	Tipo de carga	Elemento	Fuerza (kips)	Carga mayorada
1 (0,5 m)	L	Compresor	1,098	2,591448
	D	Tanque	0,1515	
	F	Fluido al interior del tanque	0,54404	
2 (1,2 m)	L	Condensador	0,1073	0,44496
	L	Intercambiador	0,1708	

**Nota.** En esta tabla se muestra la información de carga mayoradas para las columnas del sistema de estructural.

Posteriormente, se calculó el esfuerzo crítico supuesto de la columna con la siguiente ecuación:

$$F_{cr} = 0,4 \times F_y$$

Dónde:

F<sub>cr</sub>: Esfuerzo critico [Ksi]

F<sub>y</sub>: Esfuerzo de fluencia del material [Ksi]

Una vez calculado el esfuerzo, se procedió a encontrar un área requerida para cada columna utilizando la siguiente ecuación:

$$A_g = \frac{Pu}{0,9 \times F_{cr}}$$

Dónde:

A<sub>g</sub>: Área requerida del perfil [in<sup>2</sup>].

P<sub>u</sub>: Carga mayorada [Kips]

Fcr: Esfuerzo critico [Ksi]

En la siguiente tabla se encuentran consignados los datos referentes a las áreas requeridas para cada columna.

**Tabla 28.**

*Relación de áreas requeridas por columnas.*

Columna	Esfuerzo critico (ksi)	Área requerida (in <sup>2</sup> )
1	14,4	0,20
2		0,03

**Nota.** En esta tabla se muestra la relación de las áreas requeridas para las columnas.

Una vez halladas las áreas requeridas para cada columna, se revisó el documento de la AISC, STEEL AND CONSTRUCTION MANUAL [24], específicamente la tabla 1-7 ANGULOS PROPIEDADES. En esta tabla se revisaron las áreas correspondientes a cada ángulo de alas iguales del cual se escogió el perfil L2x2x1/8 y se procedió a realizar el cálculo de la relación de esbeltez con la siguiente formula:

$$\frac{KL}{r} < 200$$

En la cual L corresponde a la longitud de la columna, r al radio de giro mínimo del perfil y el factor K o factor de longitud específica es seleccionado dependiendo los apoyos de la columna que para este caso corresponde a 0,5 según la **Figura 58**.

Figura 58.

Valores aproximados del factor de longitud efectiva.

<p style="text-align: center;"><b>TABLE C-A-7.1</b> <b>Approximate Values of Effective</b> <b>Length Factor, K</b></p>						
<p>Buckled shape of column is shown by dashed line</p>	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Theoretical K value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Recommended design value when ideal conditions are approximated	0.65	0.80	1.2	1.0	2.1	2.0
End condition code	<p>  Rotation fixed and translation fixed   Rotation free and translation fixed   Rotation fixed and translation free   Rotation free and translation free                 </p>					

**Nota.** En esta figura se muestran los valores aproximados del factor de longitud efectiva. Tomado de AISC, A. (1989). Manual of steel construction—allowable stress design. American Institute of Steel Construction (AISC), Chicago.

Otro criterio a tener en cuenta es el de la relación del material con el fin de seleccionar la fórmula apropiada para el cálculo del esfuerzo crítico real cuya definición se encuentra en la **Ecuación 64**.

$$\frac{KL}{r} \leq 4,71\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$F_{cr} = (0,658 \sqrt{F_y/F_e}) F_y$$

$$\frac{KL}{r} \geq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$F_{cr} = 0,877 F_e$$

Los resultados obtenidos para la relación de esbeltez y el criterio de aceptación respecto a la **Ecuación 63** y a la **Ecuación 64** se encuentran recopilados en la **Tabla 29**.

**Tabla 29.**

*Resultados de esbeltez.*

Columna	Longitud (in)	K	R (in)	Relación de esbeltez	Criterio	Relación del material
1	19,68	0,5	0,62	15,87	OK	118,26
2	47,24			38,10	OK	

**Nota.** En esta tabla se muestran los resultados del factor de esbeltez para cada columna.

Seguidamente se calcula el esfuerzo de Euler dado por la siguiente ecuación:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

Dónde:

Fe: Esfuerzo de Euler [Ksi]

E: Modulo de elasticidad del material [Ksi].

KL/r: Relación de esbeltez [adim].

Posteriormente se calcula el esfuerzo crítico real utilizando el criterio consignado en la **Tabla 30**, mostrada anteriormente, y finalmente se calcula la carga portante del perfil con la siguiente ecuación:

$$\varphi_c P_n = \varphi_c F_{cr} A_g$$

Dónde:

$\Phi_c$ : Factor de carga [adim].

$P_n$ : Carga portante del perfil [Kips]

$F_{cr}$ : Esfuerzo critico [Ksi].

$A_g$ : Área requerida del perfil [ $\text{in}^2$ ].

Los resultados finales y la nota de aceptación respecto del criterio expuesto en la ecuación anterior se encuentran recopilados en la tabla a continuación:

**Tabla 30.**

*Resistencia de las columnas.*

Columna	Esfuerzo de Euler	Esfuerzo critico real	Carga portante	Criterio
1	1136,29	45,23	71,51	OK
2	197,21	41,72	31,34	OK

**Nota.** En esta tabla se muestra los resultados de para la verificación de las columnas.

Finalmente se observa que el perfil cumple con soportar las cargas de los elementos a sostener por lo cual el perfil mencionado anteriormente será el utilizado para la estructura del sistema de condensación.

## 5.6. Planos

Los planos de los componentes diseñados se encuentran en los anexos del presente documento.

## 5. MANUALES DE ENSAMBLE, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.

### 5.1. Manual de ensamble

#### 5.1.1. Ensamblaje del intercambiador de calor y del condensador

El intercambiador de calor estará unido al sistema de tuberías del ciclo de compresión de vapor y al ventilador de admisión, en el cual el flujo de aire cambiara de temperatura por el contacto con el haz de tubos del intercambiador produciendo así el fenómeno de condensación de agua, la cual, descenderá en forma de goteo continuo y se almacenara en el tanque de almacenamiento de condesado ubicado en la parte inferior del intercambiador.

El intercambiador de calor será ensamblado en sitio y se deberán seguir los siguientes pasos:

**Tabla 31.**

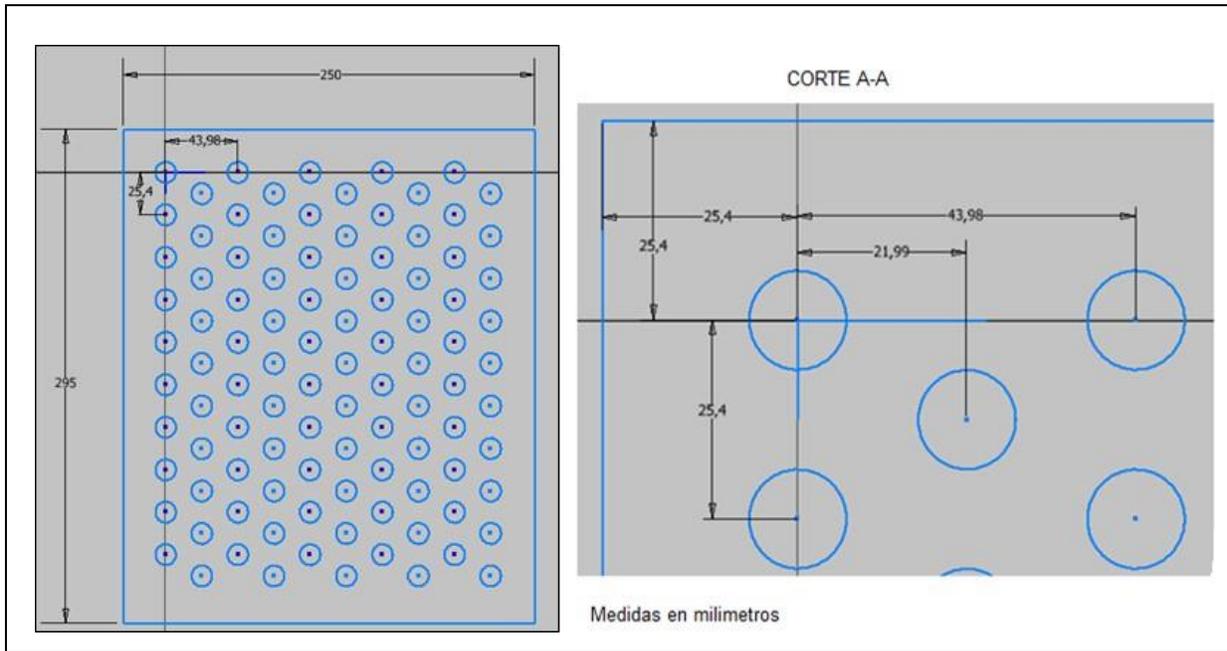
*Paso a paso del ensamblaje del intercambiador de calor.*

<b>Etapas</b>	<b>Descripción</b>
1	Corte de las láminas de para las placas de intercambiador de calor (condensador).
2	Perforación de los agujeros que albergaran los tubos del intercambiador (condensador) y las varillas de sostén.
3	Disposición de las placas del intercambiador (condensador) según las medidas especificadas en el diseño detallado y en los planos anexos.
4	Cortar y montar los tubos en los agujeros dispuestos.
5	Montaje de las curvas de 180° horizontales soladas a los tubos.
6	Montaje de las curvas de 180° diagonales soladas a los tubos.
7	Verificación de medidas y aspecto según planos.

**Nota.** En esta tabla se muestra el paso a paso para el ensamblaje del intercambiador de calor y el condensador.

**Figura 59.**

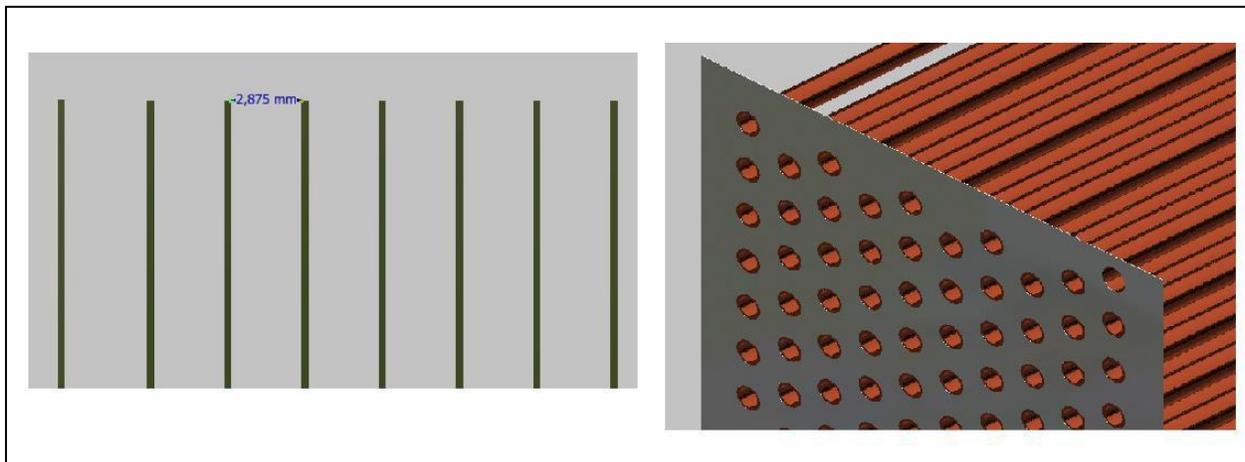
*Paso 1 y 2 ensamblaje Intercambiador de calor (Condensador).*



**Nota.** En esta figura se muestra el paso 1 y 2 para el ensamblaje del intercambiador de calor.

**Figura 60.**

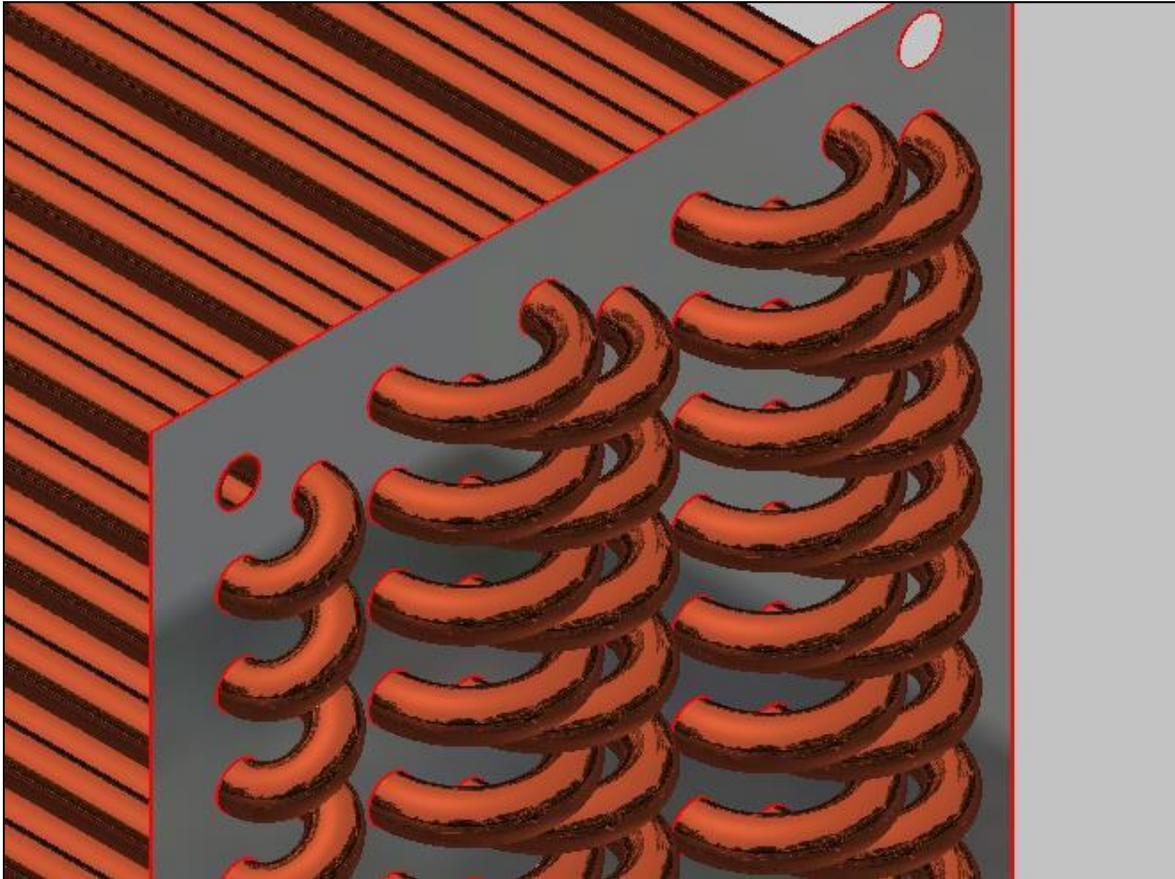
*Paso 3 y 4 ensamblaje intercambiador de calor (condensador).*



**Nota.** En esta figura se muestra el paso 3 y 4 para el ensamblaje del intercambiador de calor.

**Figura 61.**

*Paso 5 y 6 ensamblaje del intercambiador de calor (condensador).*



**Nota.** En esta figura se muestra el paso 5 y 6 para el ensamblaje del intercambiador de calor.

### **5.1.2. Montaje del compresor**

Se tendrán en cuenta las instrucciones dispuestas por el fabricante Danfoss en el manual de instalación y operación suministrado durante la selección del equipo.

## Figura 62.

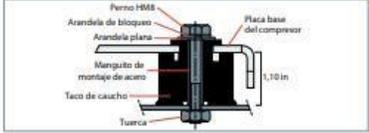
*Medidas de seguridad antes del montaje del compresor.*

<p><u>6 – Medidas de seguridad antes del montaje</u></p> <p>⚠ No utilice nunca el compresor en una atmósfera inflamable.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Compruebe antes del montaje que el compresor no muestra signos evidentes de deterioro que pueden haber ocurrido durante el transporte, manipulación o almacenamiento inadecuado.</li><li>• La temperatura ambiente del compresor no puede superar los Ts máx en la lado LP se indican en la placa del compresor durante el ciclo de apagado.</li><li>• Monte el compresor sobre una superficie plana horizontal con una inclinación inferior a 3°.</li><li>• Compruebe que la alimentación se corresponde con las características del motor del compresor (consulte la placa de características).</li><li>• Al instalar el modelo DSH o SZ o el SH o el WSH, utilice un equipo especialmente diseñado para refrigerantes HFC que no se haya utilizado nunca para refrigerantes CFC o HCFC.</li><li>• Utilice material de soldadura limpio y deshidratado para aleaciones de plata y tubos de cobre para refrigeración.</li><li>• Utilice componentes del sistema limpios y deshidratados.</li><li>• Los conductos conectados al compresor deben ser flexibles en las tres dimensiones para amortiguar las vibraciones.</li></ul>
---

**Nota.** En esta figura se muestran las medidas de seguridad necesarias para el montaje del compresor. Tomado de DANFOSS. Instrucciones compresores scroll DHS/SM/SY/SZ/SH/WSH. 2019.

**Figura 63.**

*Instrucciones de montaje mecánico del compresor.*

<p><b>Montaje del compresor</b></p>	<p>La inclinación máxima respecto a la vertical durante el funcionamiento no debe ser superior a 3°.</p> <p>Todos los compresores se suministran con cuatro tacos de caucho de montaje y manguitos metálicos de revestimiento que sirven para aislar el compresor del bastidor de la base. Estos tacos deben utilizarse siempre si el compresor se va a montar como elemento independiente.</p> <p><b>Montaje de los modelos SM/SZ084, 090, 100, 110, 120, 148, 161, 175 y 185:</b> es necesario utilizar pernos HMB. Estos pernos deben apretarse con un par de 21 Nm. Los pernos y las arandelas se incluyen en el kit de montaje.</p>	<p>Estos tacos atenúan en gran medida la transmisión de las vibraciones del compresor al bastidor de la base. Los tacos deben comprimirse hasta que queden en contacto con la arandela plana y el manguito de montaje de acero.</p> 
-------------------------------------	--	--

**Nota.** En esta figura se muestra las instrucciones de montaje del compresor. Tomado de DANFOSS. Instrucciones compresoras scroll DHS/SM/SY/SZ/SH/WSH. 2019.

Sobre las conexiones de las líneas de refrigerante se debe tener en cuenta que los compresores Danfoss tipo scroll vienen dotados con entradas en cobre abocardadas en las cuales se debe soldar la tubería mediante técnicas de soldadura MIG o TIG con los protocolos de seguridad y aplicación inherentes a la técnica a utilizar.

**Figura 64.**

*Instrucciones del montaje de las líneas de refrigerante.*

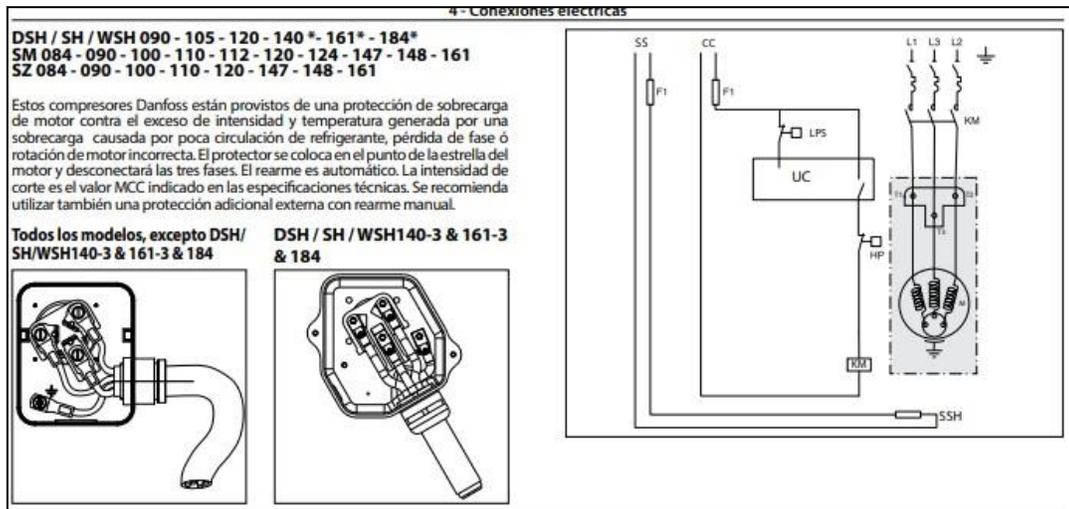
7 – Montaje	
<ul style="list-style-type: none"><li>• El compresor debe montarse sobre carriles o bastidor según las recomendaciones de Danfoss descritas en la guía de producto (tipo de separador, pares de apriete).</li><li>• Suelte lentamente la carga de nitrógeno a través de la boquilla schrader.</li><li>• Al soldar los conectores Rotolock, retire las juntas.</li><li>• Utilice siempre juntas nuevas para el montaje.</li><li>• Conecte el compresor al sistema lo antes posible para evitar la contaminación del aceite con la humedad ambiental.</li><li>• Mientras corta los tubos, evite que entre cualquier tipo de material en el sistema. No perforo ningún orificio allí donde no pueda quitar las rebabas.</li><li>• Suelde con mucho cuidado, utilizando técnicas modernas, y purgue los conductos haciendo circular gas nitrógeno.</li><li>• Conecte los dispositivos de seguridad y control obligatorios. Cuando utilice la boquilla schrader a este efecto, retire la válvula interna.</li><li>• No supere el par de apriete máximo en las conexiones Rotolock:</li></ul>	
Conexiones Rotolock	Par de apriete
Rotolock de 1 in	80 Nm
Rotolock de 1 1/4 in	90 Nm
Rotolock de 1 3/4 in	110 Nm
Rotolock de 2 1/4 in	130 Nm

**Nota.** En esta figura se muestran las instrucciones de montaje de las líneas de refrigerante. Tomado de DANFOSS. Instrucciones compresores scroll DHS/SM/SY/SZ/SH/WSH. 2019.

Para la conexión eléctrica, la unidad viene dotada con una caja previamente adecuada para la conexión eléctrica, antes de conectar el compresor se debe revisar la intensidad de la red y la frecuencia de la misma a fin de prevenir sobrecargas del compresor. Se establece un diagrama de conexión recomendado (**Figura 62**) para circuito de fuerza trifásico.

Figura 65.

Diagrama de conexión para compresores scroll de Danfoss.



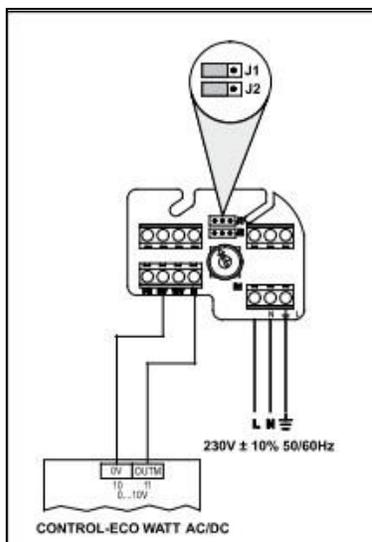
**Nota.** En esta figura se muestra el diagrama de conexión de compresor. Tomado de DANFOSS. Instrucciones compresores scroll DHS/SM/SY/SZ/SH/WSH. 2019.

### 5.1.3. Montaje del ventilador

Para el montaje del ventilador deben seguirse las disposiciones descritas por el fabricante respecto al balance del ventilador, conexiones eléctricas y demás factores a tener en cuenta durante la instalación.

**Figura 66.**

*Disposiciones de conexión eléctrica del ventilador.*

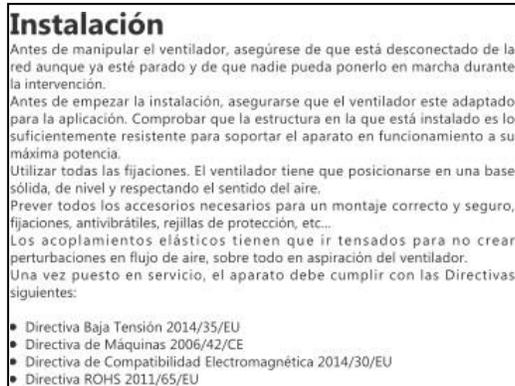


**Nota.** En esta figura se muestra la disposición de conexión eléctrica del ventilador.

Otras disposiciones referentes a la manipulación e instalación del ventilador, serán las dispuestas en el manual del equipo en cuestión por la empresa fabricante Soler & Palau.

**Figura 67.**

*Disposiciones de instalación de ventiladores  
Soler & Palau.*



**Nota.** En esta figura se muestran las posiciones para instalación de los ventiladores.

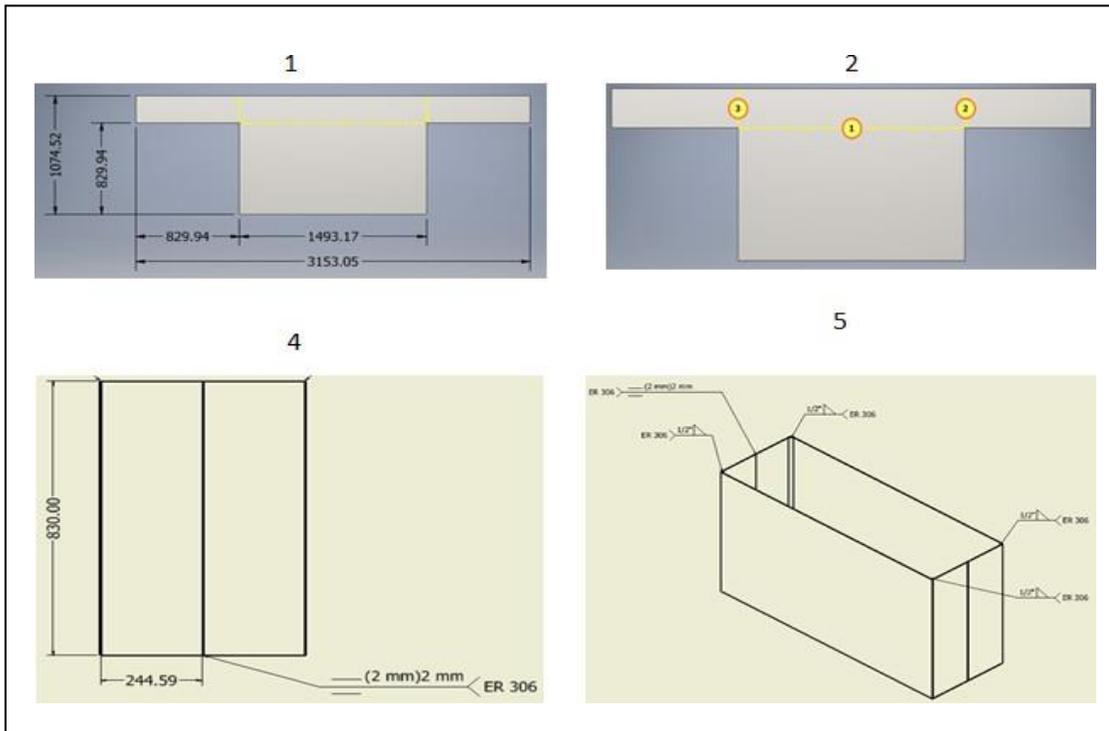
La instalación se realizará de acuerdo la posición y distancia mostrada en los planos de ensamble del sistema según lo dispuesto en el diseño detallado del sistema.

#### **5.1.4. Ensamble del tanque**

El tanque de almacenamiento será fabricado con láminas de acero inoxidable como se expuso anteriormente, la cuales serán plegadas adoptando la forma del tanque rectangular, el proceso de ensamble del mismo se muestra a continuación:

**Figura 68.**

*Paso a paso ensamble tanque.*



**Nota.** En esta figura se muestra el paso a paso del ensamble del tanque.

**Tabla 32.**

*Paso a paso de ensamble del tanque.*

<b>Paso</b>	<b>Descripción</b>
1	A partir de una lámina de acero inoxidable 304 de 1524 mm x 6096mm, realizar los cortes según las cotas mostradas.
2	Realizar los dobleces según el orden propuesto, doblando todas las pestañas hacia arriba.
3	Repetir los pasos 1 y 2 con otra lámina de iguales dimensiones.
4	Con las dos laminas dobladas, unir las mediante un cordón de soldadura continuo con electrodo revestido ER 308L.
5	Cerrar las esquinas del tanque mediante soldadura de filete con electrodo revestido ER 306.

**Nota.** En esta tabla se muestra el paso a paso de ensamblaje del tanque.

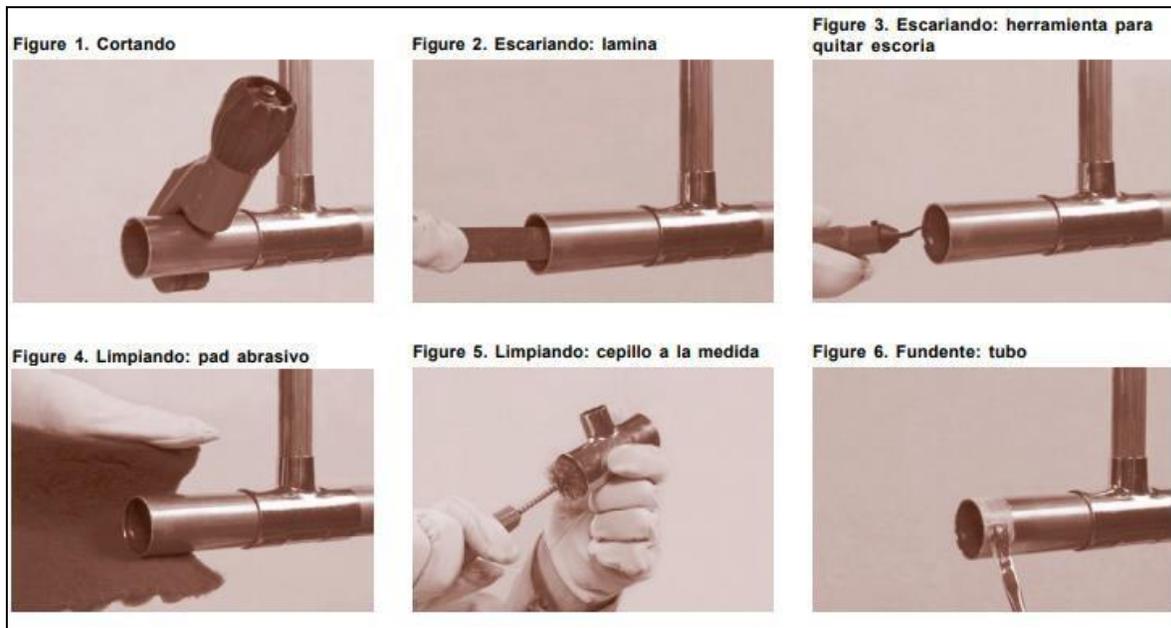
### **5.1.5. Montaje de las líneas de refrigerante**

Las líneas de refrigerante deben ser en tubo de cobre debidamente desoxidado, desengrasado y deshidratado, según los diámetros y especificaciones indicadas en el diseño, además los accesorios como codos, reducciones o tees deben ser soldados mediante soldadura fuerte o soldadura reforzada siguiendo los protocolos de seguridad inherentes a la aplicación de alguna estas técnicas.

A continuación, se presentan algunos de los pasos a seguir durante el proceso de soldadura de las tuberías de cobre en aplicaciones de refrigeración y aire acondicionado.

## Figura 69.

Proceso de soldadura para tubos de cobre. (Parte 1).



**Nota.** En esta figura se muestra el paso a paso del proceso de soldadura de las líneas de refrigerante. Tomado de COOPER DEVELOPMENT ASSOCIATION INC. Hoja de datos y aplicación, soldadura y soldadura reforzada. 2005.

Una vez monadas las líneas de refrigerante se deben hacer pruebas de integridad de la soldadura, además de pruebas para descartar fugas en las tuberías y accesorios.

### 5.1.6. *Ensamble del sistema estructural*

El sistema estructural será fabricado en perfiles L2x2x1/8 de acero A36, estará dividido en tres secciones principales: soporte crítico, soporte de los intercambiadores y soporte general los cuales serán ensamblados siguiendo las instrucciones expresadas a continuación:

**Tabla 33.**

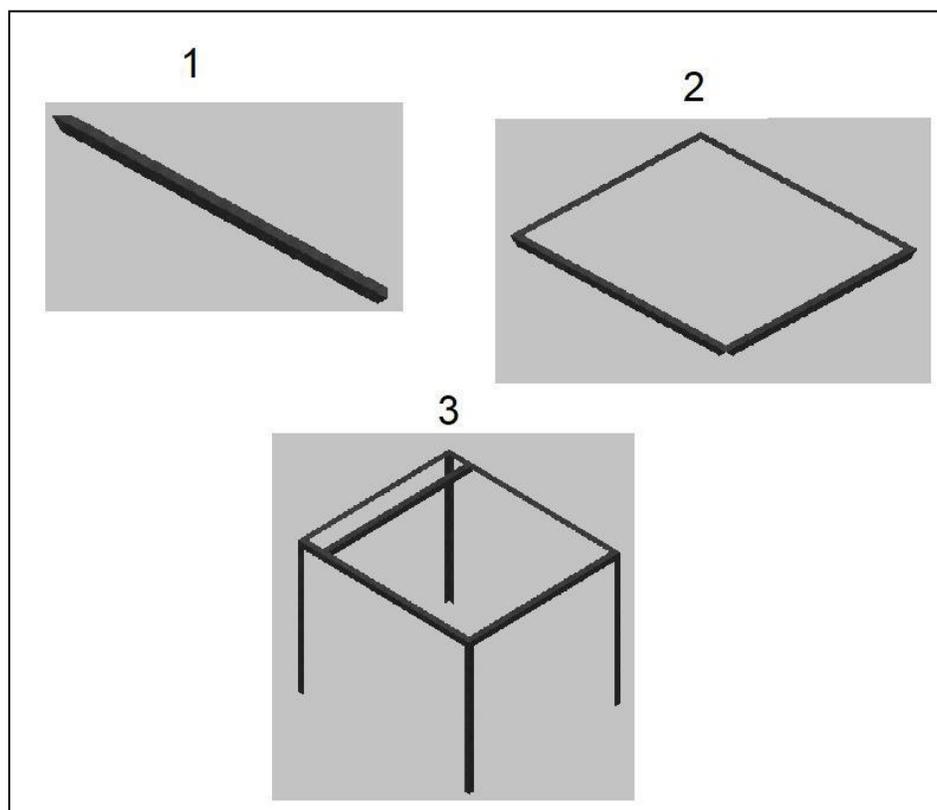
*Proceso de ensamble del soporte de los intercambiadores.*

<b>Etapa</b>	<b>Descripción</b>
1	Cortar los perfiles según las medidas y ángulos de corte mostrados en los planos
2	Unir la parte superior del soporte mediante soldadura con electrodo E6011
3	Unir los paraleles de la estructura mediante soldadura con electrodo E6011

**Nota.** En esta tabla se muestra el paso a paso del ensamblaje del soporte de los intercambiadores.

**Figura 70.**

*Proceso de ensamble del soporte de los intercambiadores.*



**Nota.** En esta figura se muestra el paso a paso del ensamblaje del soporte de los intercambiadores.

**Tabla 34.**

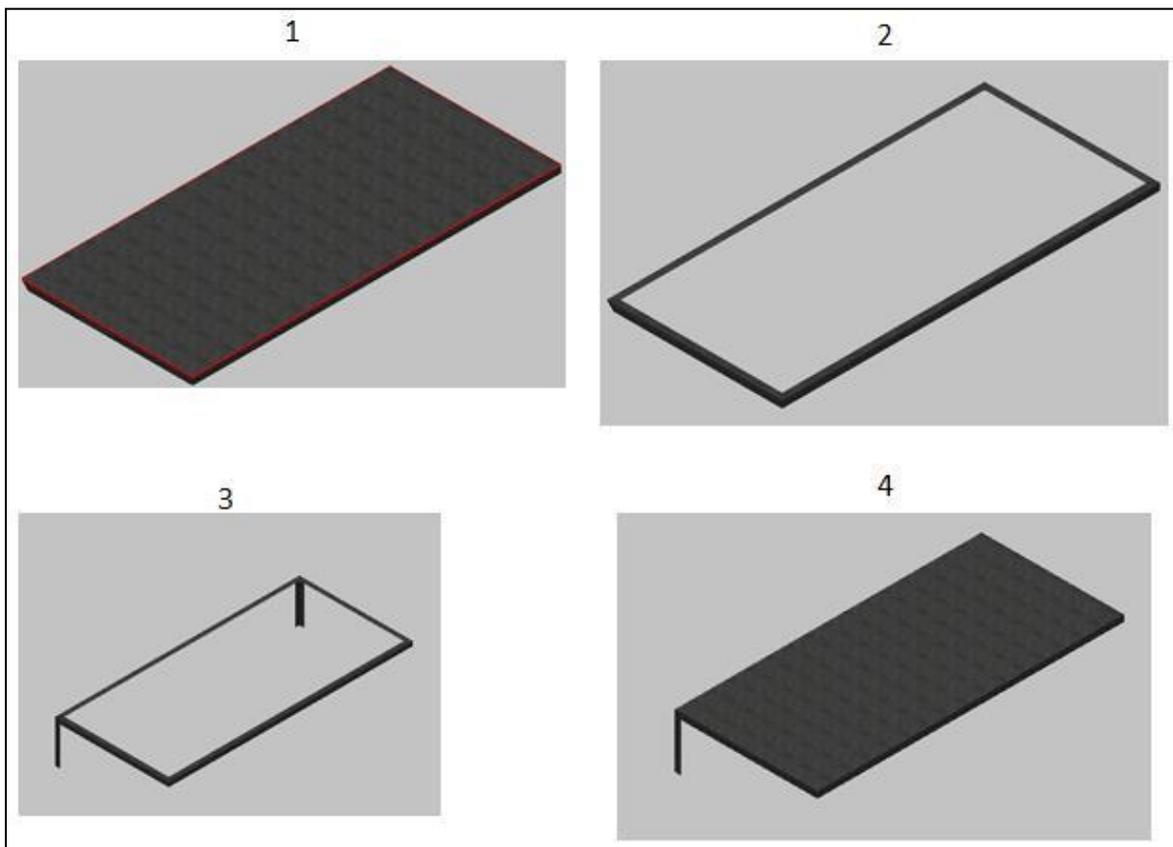
*Proceso de ensamble del soporte crítico.*

Etapa	Descripción
1	Cortar la lámina de acero A36 según las medidas mostradas en los planos
2	Cortar y unir los perfiles mediante soldadura con electrodo E6011
3	Unir los parales de la estructura mediante soldadura con electrodo E6011
4	Unir a la estructura armada previamente la lámina cortada en la etapa 1 mediante soldadura con electrodo E6011

**Nota.** En esta tabla se muestra el paso a paso del ensamblaje del soporte crítico.

**Figura 71.**

*Proceso de ensamble del soporte crítico.*



**Nota.** En esta figura se muestra el paso a paso del ensamblaje del soporte crítico.

**Tabla 35.**

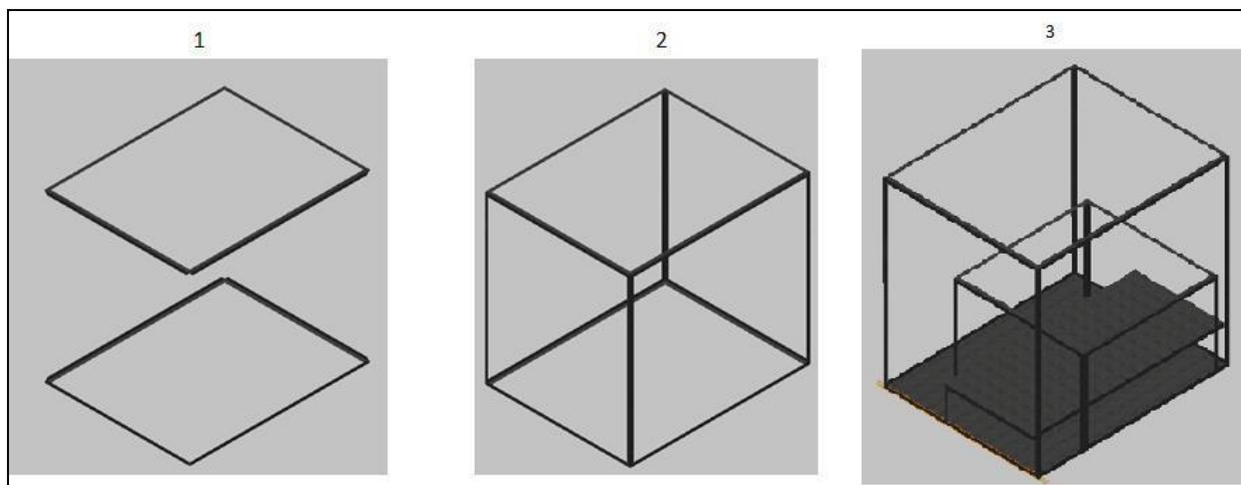
*Proceso de ensamble del soporte general.*

<b>Etapa</b>	<b>Descripción</b>
1	Cortar los perfiles según los planos y unirlos mediante soldadura con electrodo E6011
2	Cortar los perfiles correspondientes a los paraleles y unirlos a los armados en la etapa 1 mediante soldadura con electrodo E6011
3	Unir el soporte de los intercambiadores y el soporte critico al soporte general mediante soldadura con electrodo E6011

**Nota.** En esta tabla se muestra el proceso paso a paso del ensablaje del soporte general.

**Figura 72.**

*Proceso de ensamble del soporte general.*



**Nota.** En esta figura se muestra el paso a paso del ensablaje del soporte general.

### **5.1.7. Ensamble final del sistema**

Una vez ensamblado el sistema estructural, se procede realizar el montaje de los equipos sobre la estructura de la siguiente manera:

**Tabla 36.**

*Proceso de ensamble del sistema de condensación.*

<b>Etapa</b>	<b>Descripción</b>
1	Montar el intercambiador de calor y el condensador sobre su soporte y unirlos mediante tronillos.
2	Montar el compresor sobre el soporte crítico mediante los tornillos incluidos en el embalaje del mismo
3	Montar el tanque sobre el soporte crítico mediante tornillos.
4	Montar las líneas de refrigerante uniendo los elementos del ciclo de compresión de vapor.

**Nota.** En esta tabla se muestra el paso a paso del ensablaje del sistema de condensación.

**Figura 73.**

*Procedimiento de ensablaje del sistema de condensación paso 1.*



**Nota.** En esta figura se muestra el paso uno para el ensablaje del sistema de condensación.

**Figura 74.**

*Procedimiento ensamblaje del sistema de condensación paso 2.*



**Nota.** En esta figura se muestra el paso 2 para el ensamblaje del sistema de condensación.

**Figura 75.**

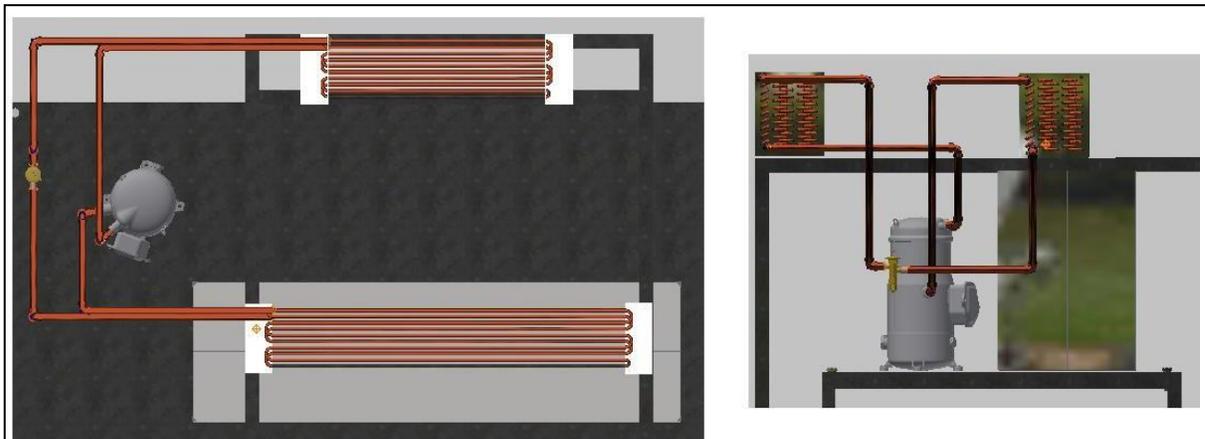
*Procedimiento ensamblaje sistema de condensación paso 3.*



**Nota.** En esta figura se muestra el paso 3 para el ensamblaje del sistema de condensación.

**Figura 76.**

*Procedimiento ensamblaje sistema de condensación paso 4.*



**Nota.** En esta figura se muestra el paso 4 para el ensamblaje del sistema de condensación.

Finalmente se realiza el montaje del ventilador según lo descrito anteriormente y la posición indicada en los planos, una vez instalado el ventilador se procede a instalar los elementos de control y el tablero de control, esta tarea debe ser realizada por personal con conocimientos de cableado de potencia y control.

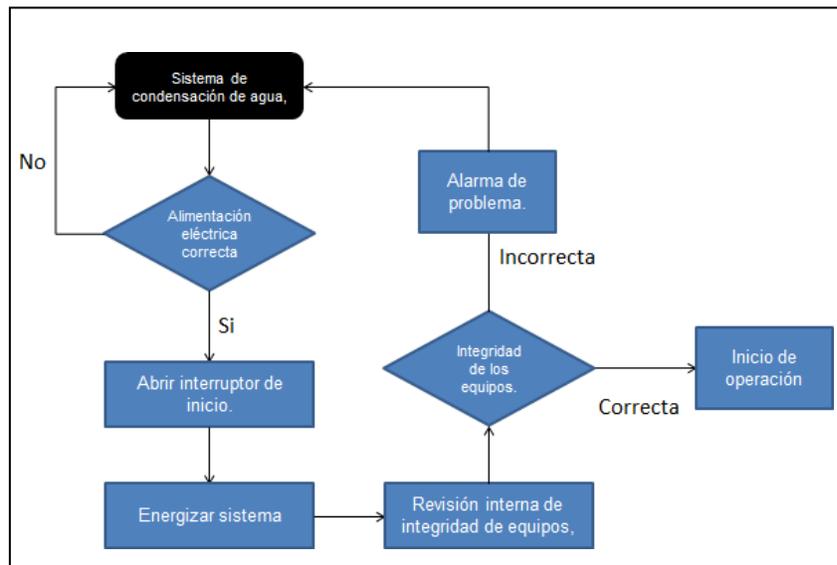
Por último, se realiza el cerramiento del sistema con láminas de acero A36 instalados en las partes laterales, superior e inferior de la estructura, adicionalmente se deben pintar las mismas para prevenir corrosión y con el fin de mejorar el aspecto del sistema.

## **5.2. Manual de operación**

Se realiza un diagrama de flujo para el manual de operación del sistema de condensación de agua el cual se presenta a continuación.

**Figura 77.**

*Operación del sistema de condensación.*



**Nota.** En esta figura se muestra el esquema de operación del sistema de condensación.

El interruptor de inicio habilita la energización de los componentes que así lo requieran: Sistema de control, compresor y ventilador. El sistema de control, específicamente el modulo LOGO!, se encarga del control de cada componente presente en el sistema mediante un programa escrito para ello, además genera las alarmas correspondientes en caso de falla en algún componente, por lo que, es únicamente necesario la obturación del interruptor de inicio. El sistema cuenta además con un paro de emergencia en caso de detección de anomalías indetectables por el modulo LOGO!, las cuales se describirán más adelante.

### **5.3. Manual de mantenimiento**

Para las tareas de mantenimiento que involucren reparación o cambio de alguno de los elementos componentes del sistema se recomienda la intervención de personal capacitado en las áreas de ventilación, aire acondicionado y refrigeración, las demás tareas de inspección deberán ser realizadas por el usuario del sistema con previa instrucción en las mismas. Para el inicio de tareas de inspección especial o intervención de algún subsistema se debe interrumpir el flujo de corriente, de no ser posible solucionar algún problema comunicarse con el fabricante del elemento. A

continuación, se describen las tareas de inspección de mantenimiento de cada subsistema:

**Tabla 37.**

*Inspección de mantenimiento sistema de alimentación.*

<b>SISTEMA DE ALIMENTACIÓN</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Inspección</b>	<b>Falla</b>	<b>Periodicidad</b>
Ventilador	Ruidos extraños durante el funcionamiento del mismo, ya sea durante el inicio, a plena carga o al final de la operación.	Desbalance de la hélice	Diario
	Deformación mecánica de los alabes, porosidad o incrustaciones en los mismos.	Deformación de los alabes.	Mensual
	Estado del cableado eléctrico.	Corto circuito o sobrecarga	Mensual

**Nota.** En esta tabla se muestran las inspecciones para el sistema de alimentación.

**Tabla 38.**

*Inspecciones de mantenimiento del sistema estructural.*

<b>SISTEMA ESTRUCTURAL</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Inspección</b>	<b>Falla</b>	<b>Periodicidad</b>
Estructura metálica	Integridad de las uniones soldadas	Ruptura estructural	Semestral
	Integridad de los miembros estructurales	Corrosión, deformación o fracturas en la estructura.	Bimensual

**Nota.** En esta tabla se muestran las inspecciones para el sistema estructural.

**Tabla 39.**

*Inspecciones de mantenimiento del sistema térmico.*

<b>SISTEMA TÉRMICO</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Inspección</b>	<b>Falla</b>	<b>Periodicidad</b>
Compresor	Lubricación	Perdida de aceite	Mensual
	Contaminación del sistema por óxido, residuos de soldadura o productos químicos.	Corrosión, descomposición del refrigerante y/o deterioro en general.	Semestral
	Cortocircuito, sobrecalentamiento o bloqueo del rotor	Falla eléctrica	Semestral
Válvula de expansión	Bloqueo u obstrucción en el flujo de refrigerante.	Deficiente refrigeración, sobrecalentamiento del compresor o entrada de líquido al compresor.	Bimensual
Intercambiador de calor-condensador	Acumulación de impurezas como polvo, insectos u otras partículas que impidan el flujo de aire.	Alto consumo energético y pérdida de la capacidad de intercambio de calor.	Mensual
	Señales de fuga en juntas y soldaduras.	Corrosión o desgaste de las juntas, mezcla de fluidos, deficiente transferencia de calor.	Mensual
Válvulas anti-retorno	Fugas de refrigerante, atascamiento de la válvula.	Deficiencias en el ciclo de compresión de vapor, intrusión de líquido en el compresor.	Trimestral
Tubería	Fugas por grietas o fisuras en los accesorios y/o soldaduras	Fugas de refrigerante en el recorrido de la tubería	Semestral

**Nota.** En esta tabla se muestran las inspecciones al sistema térmico.

**Tabla 40.**

*Inspecciones de mantenimiento del sistema de almacenamiento.*

<b>SISTEMA DE ALMACENAMIENTO</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Inspección</b>	<b>Falla</b>	<b>Periodicidad</b>
Tanque de almacenamiento	Integridad de las uniones soladas del tanque.	Fugas de agua, colapso de las paredes del tanque.	Mensual
	Limpieza en el fondo y en las paredes del tanque	Malos olores, degradación del agua condensada.	Mensual

**Nota.** En esta tabla se muestran las inspecciones de mantenimiento para el sistema de almacenamiento.

**Tabla 41.***Inspecciones de mantenimiento del sistema de control.*

<b>SISTEMA DE CONTROL</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Inspección</b>	<b>Falla</b>	<b>Periodicidad</b>
Switch de nivel	Estado del cableado	Señal de fin de ciclo inexistente.	Bimensual
	Estado del funcionamiento mecánico del dispositivo	Señal de fin de ciclo inexistente.	Bimensual
Sensor de temperatura y humedad relativa	Estado del cableado	Señal de inicio de ciclo inexistente.	Bimensual
LOGO!	Estado del cableado	Malfuncionamiento del sistema de control	Mensual
	Funcionamiento interno del equipo	Mala o nula recepción y despliegue de señales	Anual

**Nota.** En esta tabla se muestran las inspecciones de mantenimiento del sistema de control.

En caso de percibir alguna de las fallas anteriormente descritas, siga las siguientes indicaciones para el mantenimiento del sistema.

**Tabla 41.***Procedimiento de mantenimiento.*

<b>Falla</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Elementos, recursos e insumos</b>	<b>Recursos humanos</b>
Desbalance en los alabes del ventilador	Por medio de un comparador de caratula, verificar la alineación del ventilador	Comparador de caratula	Técnico en mantenimiento mecánico industrial
Corto circuito o sobrecarga	Desenergizar el sistema, determinar la ubicación de la falla y cambiar el componente	Multímetro, cable, pelacables, ponchadora, terminales.	Técnico en mantenimiento mecánico industrial o mantenimiento eléctrico
Deformación en los alabes	Contactar al proveedor	NA	Personal especializado
Suciedad o impurezas	Limpieza general del componente	Agua jabonada, bayetilla	
Ruptura estructural	Cambio del miembro estructural afectado	Perfil, equipo de soldadura	Soldador
Fugas de refrigerante en el recorrido de la tubería	Determinar la ubicación de la fuga, detener el sistema, cambiar la zona afectada.	Tubería de cobre 3/4" tipo K, equipo de soldadura para cobre, cortadora de tubos de cobre	Personal especializado en soldadura de tubos de cobre
Deterioro de piezas	Contactar al proveedor	NA	Personal especializado

**Tabla 41. Continuación**

Recalentamiento, pérdida de potencia	Cambio de rodamientos del equipo	Rodamientos, kit de herramientas para el montaje y desmontaje de rodamientos	Técnico en mantenimiento mecánico industrial
Malfuncionamiento del LOGO	Verificar el encendido del equipo, estado del display, posteriormente ejecutar pruebas de forzamiento de señales de entrada y verificar las señales de salida.	Computador con software específico del equipo, cable de comunicaciones.	Técnico en mantenimiento de equipos eléctrico, electrónicos y de control
Señales de inicio o fin de ciclo inexistentes	Verificar las conexiones de los cables, verificar la integridad de los elementos de control	Multímetro, cable, pelacables, ponchadora, terminales, bayetilla, escobillas	Técnico en mantenimiento eléctrico
Retorno de liquido	Contactar al proveedor	NA	Personal especializado
Corrosión, descomposición del refrigerante y/o deterioro general	Cambio del compresor	Llave boca fija, compresor	Personal de mantenimiento
Falla eléctrica	Desenergizar el sistema, determinar la ubicación de la falla y cambiar el componente	Multímetro, cable, pelacables, ponchadora, terminales.	Técnico en mantenimiento eléctrico

**Tabla 41.** *Continuación.*

Refrigeración deficiente, sobrecalentamiento del compresor o entrada de líquido al compresor	Regule la apertura de la válvula de expansión	NA	Técnico en mantenimiento mecánico industrial
Consumo de energía y pérdida de capacidad de intercambio de calor	Limpie el serpentín con agua a presión, elimine toda impureza que tenga el serpentín, de ser necesario use desincrustantes biodegradables y después limpie con agua.	Agua a presión, líquido desincrustante biodegradable	Técnico en mantenimiento mecánico industrial
Disminución de la transferencia de calor	Revise juntas y uniones, desarme el intercambiador y limpie los elementos que lo componen, revise los elementos en caso de presentar rupturas o fisuras y cámbielos	Repuestos de los tubos, soldadura	Técnico en mantenimiento mecánico industrial

**Nota.** En esta tabla se muestra el procedimiento de mantenimiento para el sistema de condensación.

## 6. IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO

Para el estudio de impacto ambiental del proyecto, inicialmente se definirán los distintos aspectos ambientales en los cuales el proyecto tendrá algún impacto positivo o negativo según sea el caso, posteriormente se realizará la evaluación del impacto ambiental de dichos aspectos según la metodología propuesta por Vicente Conesa en su libro GUIA METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL [25].

### 6.1 Aspectos ambientales

“Para determinar los aspectos ambientales involucrados en la construcción e instalación del sistema de condensación de agua es necesario establecer primeramente las acciones que pueden causar impactos ambientales, estas acciones son definidas como actividades humanas que ejercen una presión sobre el medio, es decir, dan lugar a impactos ambientales.” [25]

#### 6.1.1 Acciones

Las acciones deben ser bien definidas pues hacen parte de medio causal del cual se desprenden las consecuencias positivas o negativas sobre el ambiente [26]. En concordancia con lo anterior Conesa [25], propone los siguientes grupos de acciones:

- Acciones que modifican el uso del suelo.
- Acciones que implican la emisión de contaminantes.
- Acciones derivadas del almacenamiento de residuos.
- Acciones que causen impactos secundarios.
- Acciones que provocan riesgos naturales.
- Acciones que implican sobre explotación de recursos.
- Acciones que implican subexplotación de recursos.
- Acciones que actúan sobre el medio biótico.
- Acciones que dan lugar el deterioro del paisaje.
- Acciones que modifican el entorno social, económico y cultural.
- Acciones que repercuten sobre las infraestructuras.

### **6.1.2 Parámetros de evaluación de impacto ambiental**

Acompañado de la definición de cada una de las acciones se debe realizar su respectiva evaluación dentro de los siguientes parámetros [25]:

- Naturaleza: benéfica o perjudicial para el medio.
- Extensión: hace referencia al área de influencia del proyecto a evaluar.
- Persistencia: hace referencia a la permanencia del efecto generado de la acción específica.
- Sinergia: se refiere a la regularidad con la que manifiestan los efectos.
- Efecto: directo o indirecto.
- Recuperabilidad: hace referencia a la capacidad de ser reconstruido por medios humanos.
- Intensidad: se refiere al grado de impacto de las acciones realizadas.
- Momento: se refiere al plazo de manifestación de los efectos generados.
- Reversibilidad: es el plazo en el cual es posible revertir los efectos generados.
- Acumulación: se refiere a la posibilidad de incrementar progresivamente los efectos generados.
- Periodicidad: es la regularidad con la que se manifiestan los efectos.

Estos parámetros son evaluados cualitativamente según los coeficientes mostrados en la **Figura 78**.

**Figura 78.**

*Parámetros de evaluación de impacto ambiental.*

PARAMETRO	VALOR	PARAMETRO	VALOR
<b>Naturaleza (Signo)</b>		<b>Intensidad (I)</b>	
Positiva o benéfica	+	Baja	1
Negativa o perjudicial	-	Media	2
		Alta	4
		Muy Alta	8
		Total	12
<b>Extensión (EX)</b>		<b>Momento (MO)</b>	
Puntual	1	Largo plazo	1
Parcial	2	Mediano plazo	2
Extenso	4	Inmediato o corto plazo	4
Total	8	Critico	(+4)
Critico	(+4)		
<b>Persistencia (PE)</b>		<b>Reversibilidad (RV)</b>	
Fugaz	1	Reversible a corto plazo	1
Temporal	2	Reversible a mediano plazo	2
Permanente	4	Irreversible	4
<b>Sinergia (SI)</b>		<b>Acumulación (AC)</b>	
Sin sinergismo	1	Simple	1
Sinérgico	2	Acumulativo	4
Muy sinérgico	4		
Debilitador	-2		
Muy debilitador	-4		
<b>Efecto (EF)</b>		<b>Periodicidad (PR)</b>	
Indirecto o secundario	1	Irregular o discontinuo	1
Directo o primario	4	Periódico	2
		Continuo	4
<b>Recuperabilidad (MC)</b>			
Recuperable inmediatamente	1		
Recuperable a mediano plazo	2		
Recuperable parcialmente o mitigable	4		
Irrecuperable pero compensable	4		
Irrecuperable	8		

**Nota.** En esta figura se muestran los parámetros para la evaluación del impacto ambiental del proyecto.

Una vez evaluados cada uno de los parámetros descritos anteriormente se realiza la evaluación del impacto ambiental de cada acción mediante un parámetro conocido como importancia definido como la relevancia de cada acción sobre el ambiente [25], este parámetro se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$I = +/- (3I + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$$

### 6.1.3 Matriz de impacto ambiental

En las **Tabla 43 a 45** se muestran las acciones, según los anteriores criterios, por las cuales se causarían impactos medioambientales tanto en fase de construcción como en base instalación, operación y mantenimiento del sistema, además de la evaluación de cada una de ellas basados en los parámetros descritos y finalmente el resultado de la evaluación según su importancia ambiental.

**Tabla 42.**

*Evaluación de impacto ambiental para las acciones en fase de construcción.*

ACTIVIDAD	TAREAS	ASPECTOS AMBIENTALES	IMPACTOS AMBIENTALES	Naturaleza	Extensión	Persistencia	Sinergia	Efecto	Recuperabilidad	Intensidad	Momento	Reversibilidad	Acumulación	Periodicidad	Importancia	Relevancia del impacto ambiental		
CONSTRUCCIÓN	Ensamblaje del sistema de condensación	Consumo de energía eléctrica	Agotamiento de recursos naturales	-1	4	2	2	4	4	4	4	4	4	2	-46	MODERADO		
			Deterioro del suelo	-1	1	2	2	4	4	4	4	1	4	4	4	2	-37	MODERADO
		Generación de residuos sólidos no aprovechables	Contaminación visual	-1	1	2	1	4	4	2	2	4	4	4	4	2	-29	MODERADO
			Contaminación del aire	-1	4	2	2	4	4	4	4	4	4	2	4	2	-44	MODERADO
		Generación de emisiones atmosféricas (fuentes fijas)	Alecciones respiratorias	-1	4	2	2	4	4	2	4	4	4	1	4	2	-41	MODERADO
			Incomodidad general	-1	4	2	2	4	4	2	4	4	4	1	4	2	-41	MODERADO
			Contaminación sonora	-1	2	2	1	4	4	1	4	4	4	1	4	2	-35	MODERADO
			Perturbación del hábitat	-1	2	2	2	4	4	1	4	4	4	1	4	2	-36	MODERADO
		Generación de residuos peligrosos	Contaminación del agua	-1	4	2	2	4	4	4	4	4	1	2	4	2	-41	MODERADO
			Contaminación del suelo	-1	4	2	2	4	4	4	4	4	1	2	4	2	-41	MODERADO
		Derrames de productos derivados de hidrocarburos	Contaminación visual	-1	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2	4	2	-36	MODERADO
			Contaminación del aire	-1	4	2	2	4	4	4	4	4	1	2	4	2	-41	MODERADO
			Alteración de las propiedades del suelo	-1	1	2	2	4	4	4	4	4	1	2	4	2	-35	MODERADO
		Generación de residuos sólidos aprovechables	Alteración de la calidad del agua	-1	1	2	2	4	4	4	4	4	1	2	4	2	-35	MODERADO
			Aumento en el reciclaje	1	1	2	2	4	4	2	2	4	4	2	4	2	36	MODERADO
		Consumo de agua	Contaminación visual	-1	1	2	2	4	4	2	2	2	1	2	4	2	-27	MODERADO
			Agotamiento del recurso natural	-1	4	2	2	4	4	4	4	4	1	2	4	2	-41	MODERADO

**Nota.** En esta tabla se muestra la evaluación de impacto ambiental del proyecto en fase de construcción.

**Tabla 43.**

*Evaluación de impacto ambiental durante el funcionamiento del sistema.*

ACTIVIDAD	TAREAS	ASPECTOS AMBIENTALES	IMPACTOS AMBIENTALES	Naturaleza	Extensión	Persistencia	Sinergia	Efecto	Recuperabilidad	Intensidad	Momento	Reversibilidad	Acumulación	Periodicidad	Importancia	Relevancia del impacto ambiental	
FUNCIONAMIENTO	Funcionamiento en ciclo normal del sistema	Consumo de energía eléctrica	Agotamiento de recursos naturales	-1	4	2	2	4	4	4	4	4	4	2	-46	MODERADO	
		Generación de ruido	Contaminación sonora	-1	2	2	1	4	1	4	4	1	4	4	4	-37	MODERADO
			Perturbación del hábitat	-1	2	2	2	4	1	4	4	1	4	4	4	-38	MODERADO
		Utilización del aire como materia prima	Contaminación del aire	-1	1	4	4	4	2	4	4	1	1	4	4	-38	MODERADO
			Cambio en las condiciones del aire	-1	1	4	4	4	1	4	4	1	1	4	4	-37	MODERADO
		Instalación del sistema	Deterioro del suelo	-1	1	4	4	4	4	8	4	2	4	4	4	-56	SEVERO
			Contaminación visual	-1	1	4	4	4	4	4	4	1	4	4	4	-43	MODERADO
			Generación de agua	1	2	4	4	4	1	8	1	2	4	4	4	52	SEVERO

**Nota.** En esta tabla se muestra la evaluación de impacto ambiental del proyecto en fase de funcionamiento.

**Tabla 44.**

*Evaluación de impacto ambiental durante las tareas de mantenimiento del sistema.*

ACTIVIDAD	TAREAS	ASPECTOS AMBIENTALES	IMPACTOS AMBIENTALES	Naturaleza	Extensión	Persistencia	Sinergia	Efecto	Recuperabilidad	Intensidad	Momento	Reversibilidad	Acumulación	Periodicidad	Importancia	Relevancia del impacto ambiental		
FUNCIONAMIENTO	Tareas de mantenimiento	Generación de residuos sólidos no aprovechables	Deterioro del suelo	-1	1	2	2	4	4	4	1	4	4	2	-37	MODERADO		
			Contaminación visual	-1	1	2	1	4	2	4	2	4	2	4	2	-29	MODERADO	
		Generación de emisiones atmosféricas (fuentes fijas)	Contaminación del aire	-1	4	2	2	4	4	4	4	4	2	4	2	-44	MODERADO	
			Afecciones respiratorias	-1	4	2	2	4	2	4	4	4	1	4	2	-41	MODERADO	
			Incomodidad general	-1	4	2	2	4	2	4	2	4	4	1	4	2	-41	MODERADO
		Generación de residuos peligrosos	Contaminación del agua	-1	4	2	2	4	4	4	4	1	2	4	2	-41	MODERADO	
			Contaminación del suelo	-1	4	2	2	4	4	4	4	1	2	4	2	-41	MODERADO	
			Contaminación visual	-1	4	2	2	4	2	4	2	4	2	4	2	-36	MODERADO	
			Afecciones en el personal	-1	4	2	2	4	4	4	4	1	2	4	2	-41	MODERADO	
		Consumo de agua	Agotamiento del recurso natural	-1	4	2	2	4	4	4	4	1	2	4	2	-41	MODERADO	
		Generación de ruido	Contaminación sonora	-1	2	2	1	4	1	4	1	4	4	1	4	4	-37	MODERADO
			Perturbación del hábitat	-1	2	2	2	4	1	4	1	4	4	1	4	4	-38	MODERADO
		Manipulación de sustancias peligrosas	Afecciones en el personal	-1	1	2	1	4	1	4	1	2	4	1	4	2	-27	MODERADO
			Contaminación del suelo	-1	1	2	2	4	2	4	2	2	1	1	4	2	-26	MODERADO
			Contaminación del aire	-1	2	2	2	4	1	4	1	2	2	1	4	2	-28	MODERADO
		Realización de tareas de mantenimiento	Generación de empleo	1	1	2	4	4	4	4	2	4	2	2	4	2	36	MODERADO
			Generación de ingresos	1	1	2	4	4	4	4	2	4	2	2	4	2	36	MODERADO

**Nota.** En esta tabla se muestra la evaluación de impacto ambiental durante las tareas de mantenimiento del proyecto.

El criterio de relevancia del impacto ambiental es generado mediante la siguiente relación de resultados respecto de la importancia del impacto:

**Tabla 45.**

*Relevancia del impacto.*

<b>Importancia de impacto</b>	<b>Relevancia del impacto ambiental</b>
R < +/- 25	Irrelevante
25 < R < 50	Moderado
51 < R < 75	Severo
R > 76	Critico

**Nota.** En esta tabla se muestra los criterios de relevancia del impacto ambiental del proyecto.

Después de realizada la matriz y de ponderados los impactos ambientales positivos y negativos generados por la construcción, instalación, funcionamiento y mantenimiento del sistema de condensación se encontró que es mucho mayor el impacto positivo que negativo generado por lo cual se cumple con uno de los principales objetivos propuestos en la realización de este proyecto.

De lo anterior se concluye que los impactos positivos generados por el sistema en cualquiera de sus fases hacen que el proyecto sea sostenible e impacte positivamente en el desarrollo económico y social de una región tan segregada del ámbito nacional.

Respecto a los impactos negativos generados, estos son mitigables en tanto se cumpla con la legislación actual respecto a la disposición de residuos sólidos y líquidos, aprovechables y no aprovechables que se pudiesen generar en cualquiera de las fases del proyecto, además de los utilización de los EPP (elementos de protección personal) durante la manipulación de cualquiera de los materiales necesarios en el proceso de construcción y mantenimiento del sistema de condensación.

## 7. ANALISIS ECONÓMICO

Para el análisis económico del proyecto se tendrán en cuenta parámetros como costos de ingeniería, costos de material, costo de equipos, costos de ensamble y otros costos que darán una perspectiva clara del costo real de la realización de este proyecto, además se propondrán variables de evaluación económica del proyecto respecto de lo expresado por varios autores consultados en relación con proyectos similares a este.

### 7.1 Costos

Debido a que el sistema de condensación está proyectado a prestar un servicio netamente social, los costos están enfocados en funciones operativas y administrativas necesarias para la realización del proyecto.

#### 7.1.1 Costos de ingeniería

En la **Tabla 47** se encuentran relacionados los costos de ingeniería, relacionados con las horas de trabajo del proponente y fungibles necesarios en la elaboración del proyecto.

**Tabla 46.**

*Costos de ingeniería.*

Talento Humano	No. Personas	Horas/Hombre	Precio/Hora	Valor Total
Proponente	1	300	\$12.000	\$3.600.000
<b>Total Talento humano</b>				<b>\$3.600.000</b>

**Nota.** En esta tabla se muestran los costos de ingeniería del proyecto.

#### 7.1.2 Costos de material

Incluyen los costos tanto de los equipos seleccionados como de los accesorios necesarios para la fabricación del sistema de condensación de agua, estos costos se presentan en la **Tabla 48** y **Tabla 49**. Algunos costos de equipos se recibieron en Dólares y Euros, se realiza conversión a TRM para el día 25/06/2020.

**Tabla 47.***Costos de los equipos seleccionados.*

<b>Equipo</b>	<b>Referencia</b>	<b>Marca</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo por unidad</b>	<b>Total</b>
Compresor	SH140-3	Danfoss	1	\$ 2.567.816,00	\$ 2.567.816,00
Válvula de expansión	OZE-20-GA	Parker-Sporlan	1	\$ 679.629,00	\$ 679.629,00
Ventilador	HXBR-450 Ecowatt	Soler & Palau	1	\$ 1.669.110,00	\$ 1.669.110,00
Válvulas anti retorno	NRV19	Danfoss	4	\$ 199.387,00	\$ 797.548,00
Transmisor de humedad y temperatura	THDRC	Autonics	1	\$ 1.135.332,00	\$ 1.135.332,00
Switch de nivel	FCV21QDD	Finetek	1	\$ 120.600,00	\$ 120.600,00
<b>TOTAL</b>					\$ 6.970.035,00

**Nota.** En esta tabla se muestran los costos de los equipos seleccionados.**Tabla 48.***Costos de material.*

<b>Accesorio</b>	<b>Especificación</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo por unidad</b>	<b>Total</b>
Lámina de acero inoxidable	2m x 1m x 2mm	und	3	\$139.260	\$417.780
Lámina de acero ASTM A36	3m x 1,5m x 8mm	und	7	\$1.100.000	\$7.700.000
Lámina de Aluminio 6061	2m x 1m x 3mm	und	40	\$196.955	\$7.878.200
Perfiles tipo L	L2x2x1/8	m	62	\$8.300	\$514.600
Tubería de cobre tipo duro L	3/4"	m	7	\$127.900	\$895.300
Tubería de cobre tipo blando L	3/8" x 16m	m	14	\$122.719	\$1.718.066
Codo 90° cobre duro	3/4"	und	11	\$2.500	\$27.500

**Tabla 49. Continuación.**

Bushing reductor de cobre	3/4" a 3/8"	und	4	\$3.267	\$13.068
Bushing reductor de cobre	7/8" a 3/4"	und	1	\$3.267	\$3.267
Bushing reductor de cobre	1 3/8" a 3/4"	und	1	\$8.620	\$8.620
Bushing reductor de cobre	5/8" a 3/4"	und	1	\$3.267	\$3.267
Bushing reductor de cobre	1 1/8" a 3/4"	und	1	\$12.770	\$12.770
Fundente	Estaño	und	4	\$14.990	\$59.960
Soldadura estaño	Sn50-Pn50	Rollo	2	\$35.900	\$71.800
Material aporte de soldadura acero inoxidable	ER308L x 1/16"	kg	5	\$41.300	\$206.500
Material aporte de soldadura acero al carbón	ER70S-6 x 1/8"	kg	4	\$22.500	\$90.000
Pipeta refrigerante R-410A	R-410A x 25kg	und	1	\$550.000	\$550.000
<b>Total</b>					<b>\$20.170.698</b>

**Nota.** En esta tabla se muestran los costos de los materiales del sistema de condensación.

### **7.1.3 Costos de fabricación**

Incluyen los gastos generados por mano de obra en tareas de corte y soldadura de tubos, corte y soldadura de perfiles y láminas y ensamblaje del sistema, estos costos se presentan en la **Tabla 50**.

**Tabla 49.**

*Costos de fabricación.*

Ítem	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Mano de obra	Personas	5	\$1.350.000	\$6.750.000
Soldador de perfiles y laminas	Horas	16	\$150.000	\$2.400.000
Soldador tubos	Horas	16	\$200.000	\$3.200.000
Suministro tablero de fuerza y control	Tablero	1	\$26.684.910	\$26.684.910
<b>Total</b>				\$39.034.910

**Nota.** En esta tabla se muestran los costos de fabricación del sistema de condensación.

#### **7.1.4 Costos de construcción del proyecto**

Finalmente sumando todos los costos presentados anteriormente se obtiene el costo total del proyecto como se muestra en la **Tabla 50**.

**Tabla 50.**

*Costo total del proyecto.*

Ítem	Costo
Ingeniería	\$3.600.000
Material	\$27.140.733
Fabricación	\$39.034.910
Total	\$69.775.643

**Nota.** En esta tabla se muestra el costo total del proyecto.

#### **7.1.5 Costos de operación**

En este apartado se referencian los costos asociados a la operación del sistema en condiciones normales, estos costos se ven reflejados en la **Tabla 51**.

**Tabla 51.**

*Costos de operación.*

<b>COSTOS DE OPERACIÓN</b>					
<b>Concepto</b>	<b>Und.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>	<b>Valor Total Año</b>
Corriente eléctrica	\$/kWh	97,85	\$191	\$18.693	\$6.823.041

**Nota.** En esta tabla se muestran los costos de operación del sistema de condensación.

### **7.1.6 Costos de mantenimiento**

Incluyen los costos asociados al mantenimiento del sistema respecto a la mano de obra a utilizar, insumos y equipos a utilizar durante las tareas de mantenimiento, en la **Tabla 52** se encuentran reflejados estos costos.

**Tabla 52.**

*Costos de mantenimiento.*

<b>COSTOS DE MANTENIMIENTO</b>					
<b>Concepto</b>	<b>Und.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>	<b>Valor Total Año</b>
Mantenimiento	Hora	12	\$15.000	\$180.000	\$900.000
Líquido desincrustante	Und/Año	1	\$48.000	\$48.000	\$48.000
Materiales eléctricos	Kit/Año	2	\$500.000	\$1.000.000	\$1.000.000
Costos total					\$1.948.000

**Nota.** En esta tabla se muestran los costos de mantenimiento del sistema de condensación.

## **7.2 Análisis costo-efectividad**

A fin de evaluar la viabilidad del proyecto en cuestión, y teniendo en cuenta que el proyecto planteado está dirigido específicamente a solucionar una necesidad social, “se hace verdaderamente difícil realizar un análisis dependiente indicadores tales como VPN (Valor Presente Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno), puesto que estos aportan información a quienes estén interesados en invertir en un proyecto respecto a la rentabilidad monetaria que el mismo les devuelva” [27], por esta razón se hace necesario se hace necesario determinar métodos de análisis complementarios que permitan visibilizar los efectos que el proyecto puede generar en el contexto social, “de

allí que se seleccionara el análisis costo-efectividad, el cual está orientado a la evaluación de proyectos en los que es difícil expresar los beneficios en la misma unidad de medida de los costos planteados.” [28]

“El proceso de realización de este tipo de análisis consiste en inicialmente determinar los costos asociados a las fases de construcción, operación y mantenimiento del dicho proyecto, posteriormente determinar la unidad de medida mediante la cual se realizara el análisis, es decir, los beneficios que el proyecto generara y que pueden ser susceptibles de ser analizados.” [28].

En este caso el análisis se realizara en base a los metros cúbicos (m<sup>3</sup>) producidos respecto al número de beneficiarios del sistema, además se realizara una comparación respecto del servicio actual para esta comunidad.

Se calculó el costo promedio del servicio para la comunidad bajo la siguiente ecuación [29].

$$CS = \frac{CO}{NS}$$

Dónde:

CS: Costo del servicio.

CO: Costo de operación anual.

NS: Número de suscriptores.

Reemplazando en la ecuación anterior se obtuvo:

$$CS = \frac{\$7'812.541}{83 \text{ suscriptores/año}} = \frac{\$94.127}{\text{suscriptor/año}}$$

El valor a pagar por suscriptos mensualmente se calculó así:

$$CM = \frac{CS}{12} = \frac{\$94.127}{12} = \$7.844$$

Posteriormente se revisó con la superintendencia de servicios públicos las condiciones de suministro del servicio de acueducto para comunidades marginales, para lo cual existe un subsidio del 70% del costo del servicio, por consiguiente, el valor final del servicio para el suscriptor es:

$$CF = CM \times (1 - 70\%) = \$7.844 \times (1 - 70\%) = \$2.353$$

Finalmente se determinó que el costo final a pagar por el suscriptor será de \$2.353, este costo se compara con el costo actual a pagar por el servicio de acueducto el cual se encuentra en un documento realizado por la Superintendencia de servicios públicos domiciliarios en el año 2019 en el que se evalúa la prestación del servicio de acueducto en el municipio de Uribia, La Guajira [30], el cual presenta un costo mensual del servicio es de aproximadamente \$20.000 lo cual muestra un ahorro para el consumidor de \$17.657 en el servicio lo cual mejorara ostensiblemente tanto la calidad del servicio como la calidad de vida de los habitantes de la comunidad Limonaru en la cual se planteó el proyecto.

## 8. CONCLUSIONES

Caracterizando la zona geográfica del proyecto, mediante las condiciones climáticas y demográficas se establecieron los valores promedio para la temperatura ambiente y la humedad relativa del municipio de Uribia, así como la cantidad de habitantes y la población objetivo del proyecto y se logró establecer el consumo de agua de la misma.

Determinado los métodos de condensación de agua y las formas por las cuales es posible obtenerla fue posible establecer los parámetros necesarios para el diseño del sistema además de establecer un funcionamiento aproximado del sistema.

Se plantean las alternativas de solución para el sistema térmico, teniendo en cuenta los parámetros funcionales y de diseño obtenidos mediante el estudio de la locación y basado en criterios como mantenimiento, costos y tamaño.

Se diseña detalladamente el sistema de condensación obteniendo un subsistema térmico encargado de la condensación del agua, un subsistema de alimentación encargado de llevar el aire al sistema, un subsistema de almacenamiento en que se contendrá al agua condensada, un subsistema estructural encargado de dar sostén y estabilidad al sistema y finalmente un subsistema de control encargado proveer un adecuado funcionamiento del sistema de condensación.

Se determinan los aspectos relacionados al ensamblaje e instalación de los componentes de cada uno de los cinco subsistemas, entre los cuales se mencionan el compresor, el intercambiador de calor, el condensador, el ventilador, entre otros. También se describe el método de operación del sistema y finalmente las rutinas de mantenimiento y las posibles fallas que puede presentar el sistema y la forma en que estas pueden ser solucionadas.

La evaluación del impacto ambiental del proyecto se dividió en tres fases: construcción, funcionamiento y mantenimiento, de las cuales se encontraron acciones que de ser mal manejadas pueden acarrear daños al medio ambiente, por otro lado también se encontraron acciones benéficas tanto para el ambiente como para la comunidad que pueden traer beneficios económicos para la misma.

Finalmente se analizó económicamente el proyecto mediante un análisis de costo-beneficio del cual se concluye que el proyecto genera grandes beneficios en materia de productividad y calidad de vida para la comunidad en comparación con el costo que acarrearía la operación del mismo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alcaldía de Uribia-La Guajira, «Información del municipio,» [En línea]. Available: <http://www.uribia-laguajira.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Economia.aspx>. [Último acceso: 22 Enero 2020].
- [2] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, «Informe parcial. Plan Integral de Cambio Climático del Departamento de La Guajira 2018-2030,» 2018 Junio 2018. [En línea]. Available: [https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/aproximacion\\_al\\_territorio/INFORME\\_PRINCIPAL\\_-\\_PICC\\_GUAJIRA.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/aproximacion_al_territorio/INFORME_PRINCIPAL_-_PICC_GUAJIRA.pdf) . [Último acceso: 22 Enero 2020].
- [3] H. Young, R. Freedman, M. Zemansky y F. Sears, Física Universitaria, Mexico: Pearson Education, 2009.
- [4] Fundación española para la ciencia y la tecnología, «Unidad didáctica meteorología y climatología,» 2004. [En línea]. Available: <https://cab.inta-csic.es/uploads/culturacientifica/adjuntos/20130121115236.pdf>. [Último acceso: 29 Enero 2020].
- [5] S. K. Wang, Handbook of air conditioning and refrigeration, New York: McGraw-Hill, 2000.
- [6] F. Buque, Manual práctico de refrigeración y aire acondicionado, Barcelona: Marcombo, 2007.
- [7] I. Sendiña Nadal y V. Pérez Munuzuri, Fundamentos de meteorología, Santiago de Compostela: Universidad de Santiago de Compostela, 2006.
- [8] Ministerio de vivienda, ciudad y territorio., «Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.,» 2010. [En línea]. Available:

<http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO%2030714.pdf> . [Último acceso: 30 Enero 2020].

- [9] L. Luna y K. Davis, *El agua*, Colección científica de Time-Life., Mexico: Offset Larios, 1989.
- [10] G. Lewis, «The atom and the molecule.,» *Journal of the American Chemical Society*, vol. 38, nº 4, pp. 762-785, 1916.
- [11] R. Chang y K. Goldsby, *Química*, Mexico: McGraw-Hill, 2013.
- [12] C. Sorum, *Química General.*, Bilbao: Urmo, 1975.
- [13] R. Serway y J. Jewett, *Física para ciencias e ingeniería*, Mexico: McGraw-Hill, 2002.
- [14] Y. Cengel y M. Boles, *Termodinámica*, Sao Paulo: McGraw-Hill, 2003.
- [15] EPM, Empresas Públicas de Medellín., «Tips para el uso inteligente del agua, consumos en el hogar,» [En línea]. Available: [https://www.epm.com.co/site/clientes\\_usuarios/clientes-y-usuarios/hogares-y-personas/agua/tips-para-el-uso-inteligente#:~:text=Una%20persona%20consume%20en%20promedio,15.4%20metros%20c%3%BAbicos%20de%20agua.](https://www.epm.com.co/site/clientes_usuarios/clientes-y-usuarios/hogares-y-personas/agua/tips-para-el-uso-inteligente#:~:text=Una%20persona%20consume%20en%20promedio,15.4%20metros%20c%3%BAbicos%20de%20agua.) . [Último acceso: 24 Agosto 2020].
- [16] V. Tzatchkov y V. Alcocer-Yamanaka, «Modelación de la variación del consumo de agua potable con métodos estocásticos,» *Tecnología, Ciencia y Agua*, vol. 7, nº 3, pp. 115-133, 2016.
- [17] Ideam, «Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales,» [En línea]. Available: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8->

1072-434. [Último acceso: 27 Febrero 2020].

- [18] S. Kakac, H. Liu y A. Pramuanjaroenkij, Heat Exchangers: selection, rating and thermal design, Washington: CRC press, 2002.
- [19] S. Kakac, Boilers, Evaporators and Condensers, Miami: John Wiley & Sons, 1991.
- [20] J. Alarcon Creus, J. M. Boixareu Vilaplana y C. Capellán Guillen, Manual de aire acondicionado: handbook of air conditioning system design, Barcelona: Marcombo, 1970.
- [21] Soler & Palau, Conceptos basicos de la ventilación, Mexico: Soler & Palau Ventilation Group., 2012.
- [22] P. Davim, Introduction to Mechanical Engineering, Springer International Publishing, 2018.
- [23] C. a. p. p. e. r. d. c. s. resistentes, Reglamento Colombiano de Construciones Sismorresistentes NSR-10, Bogotá D.C.: RAM Ediciones, 2010.
- [24] A. I. o. S. Construction, Manual of steel construction-allowable stress design, Chicago: AISC, 1989.
- [25] V. Conesa Fernandez-Vitoria, Guia metodológica para la evaluación del Impacto Ambiental, Madrid: Mundi-Prensa Libros, 2010.
- [26] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, «Terminos de referencia para la elaboración del estudio de Impacto Ambiental EIA,» Bogotá, 2019.
- [27] R. Méndez Lozano, Formulación y Evaluación de Proyectos Enfoque para emprendedores, Bogotá: ICONTEC, 2010.
- [28] E. Cohen y R. Franco, Evaluación de Proyectos Sociales, Buenos Aires: Grupo

Editor Latinoamericano, 1988.

- [29] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial., Costos y Tarifas, Municipio menores y zonas rurales, Bogotá: Nuevas Ediciones, 2005.
- [30] Superintendencia de servicios publicos domiciliarios., «Evaluación integral de prestadores.,» Superintendencia delegada de para acueducto., Bogotá, 2019.
- [31] K. Thulukkanam, Heat Exchanger Handbook Design, Florida: CRC Press, 2013.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### CATÁLOGO DE TUBERÍA DE COBRE NACOBRE

TUBERÍA DE COBRE SIN COSTURA	TIRAS RECTAS						
	TIPO	Diámetro Nominal en Pulgadas	Diámetro Ext. efectivo en Pulgadas	Espesor de pared en mm	Presión Máxima Permitida		Peso Kg.Mt
					Kg/m <sup>2</sup>	Lib.Pulg <sup>2</sup>	
<b>K</b>	1/4	3/8	0,89	85	1.210	0,216	
	3/8	1/2	1,24	89	1.255	0,397	
	1/2	5/8	1,24	70	995	0,506	
	3/4	7/8	1,65	66	938	0,950	
	1	1. 1/8	1,65	51	725	1,25	
	1. 1/4	1. 3/8	1,65	41	583	1,54	
	1. 1/2	1. 5/8	1,83	38	540	2,02	
	2	2. 1/8	2,11	34	483	3,06	
	2. 1/2	2. 5/8	2,41	31	441	4,35	
	3	3. 1/8	2,77	30	427	5,94	
	4	4. 1/8	3,40	28	396	9,65	
5	5. 1/8	4,06	27	384	14,34		
<b>L</b>	1/4	3/8	0,76	71	1.010	0,187	
	3/8	1/2	0,89	62	882	0,295	
	1/2	5/8	1,02	57	810	0,424	
	3/4	7/8	1,14	45	840	0,673	
	1	1. 1/8	1,27	39	555	0,971	
	1. 1/4	1. 3/8	1,40	35	498	1,31	
	1. 1/2	1. 5/8	1,52	32	455	1,59	
	2	2. 1/8	1,78	28	398	2,50	
	2. 1/2	2. 5/8	2,03	26	370	3,59	
	3	3. 1/8	2,29	25	355	4,94	
	4	4. 1/8	2,79	23	327	7,95	
5	5. 1/8	3,17	21	299	11,27		
<b>M</b>	3/8	1/2	0,64	44	626	0,216	
	1/2	5/8	0,71	39	555	0,304	
	3/4	7/8	0,81	31	441	0,485	
	1	1. 1/8	0,89	27	384	0,692	
	1. 1/4	1. 3/8	1,07	26	370	1,01	
	1. 1/2	1. 5/8	1,24	26	370	1,40	
	2	2. 1/8	1,47	23	327	2,16	
	2. 1/2	2. 5/8	1,65	21	299	3,02	
	3	3. 1/8	1,83	20	284	3,97	
	4	4. 1/8	2,41	20	284	6,90	
	5	5. 1/8	2,77	18	256	9,91	
ROLLOS							
<b>K</b>	1/4	3/8	0,89	85	1.210	0,216	
	3/8	1/2	1,24	89	1.266	0,397	
	1/2	5/8	1,24	70	995	0,508	
	3/4	7/8	1,65	66	938	0,950	
<b>L</b>	1/4	3/8	0,78	71	1.010	0,167	
	3/8	1/2	0,89	62	882	0,295	
	1/2	5/8	1,02	57	810	0,424	
	3/4	7/8	1,14	45	640	0,673	
TUBOS DE REFRIGERACIÓN							
Diámetro Exterior		Espesor de Pared	Presión Máxima Permitida		Peso Aprox.		
Pulg.	mm.		Kg/cm <sup>2</sup>	Lib.Pulg <sup>2</sup>			
1/8	3,18	0,762	249	3,546	0,052		
3/16	4,75	0,762	154	2,197	0,086		
1/4	5,35	0,762	111	1,588	0,120		
5/16	7,92	0,813	93	1,333	0,162		
3/8	9,52	0,813	77	1,094	0,199		
1/2	12,70	0,813	56	807	0,271		
5/8	15,90	0,889	49	703	0,374		
3/4	19,10	1,070	49	704	0,545		
7/8	22,22	1,140	45	642	0,573		

## ANEXO 2

### CATALOGO COMPRESORES PARA R-410<sup>a</sup> DE DANFOSS



#### Application Guidelines Technical specifications

#### 50-60 Hz data

Modelo	Capacidad nominal a 60 Hz		Capacidad de refrigeración nominal		Potencia absorbida	COP	E.E.R.	Volumen barrido	Desplazamiento ①	Carga de aceite	Peso neto ②
	TR	W	Btu/h	kW	W/W	Btu/h/W	cm <sup>3</sup> /rev	m <sup>3</sup> /h	dm <sup>3</sup>	kg	
50 Hz	SH090	7.5	22300	76100	7.19	3.10	10.58	88.40	15.4	3.0	58.0
	SH105	9	26800	91500	8.47	3.17	10.82	103.50	18.0	3.3	64.0
	SH120	10	30000	102400	9.46	3.17	10.82	116.90	20.3	3.3	64.0
	SH140	12	34700	118400	10.58	3.28	11.19	133.00	23.1	3.3	67.0
	SH161	13	38800	132400	12.15	3.19	10.89	151.70	26.4	3.3	69.0
	SH184	15	44700	152600	13.73	3.25	11.09	170.30	29.6	3.6	71.5
	SH180	15	44500	151900	13.87	3.21	10.96	170.20	29.6	6.7	108.0
	SH240	20	59700	203800	18.50	3.23	11.02	227.60	39.6	6.7	108.0
	SH295*	25	73200	249800	22.51	3.25	11.09	276.20	48.1	6.7	111.0
	SH380	30	90500	308900	28.18	3.21	10.96	345.00	60.0	6.7	159.0
SH485	40	117543	401068	35.58	3.30	11.27	442.60	77.0	6.7	175.0	
60 Hz	SH090	7.5	27100	92500	8.57	3.16	10.78	88.40	18.6	3.0	58.0
	SH105	9	32100	109600	9.96	3.22	10.99	103.50	21.8	3.3	64.0
	SH120	10	36800	125600	11.25	3.27	11.16	116.90	24.6	3.3	64.0
	SH140	12	42300	144400	12.77	3.31	11.30	133.00	27.9	3.3	67.0
	SH161	13	47200	161100	14.43	3.27	11.16	151.70	31.9	3.3	69.0
	SH184	15	54000	184300	16.45	3.28	11.19	170.30	35.8	3.6	71.5
	SH180	15	54300	185300	16.58	3.27	11.16	170.20	35.7	6.7	108.0
	SH240	20	72200	246400	22.10	3.27	11.16	227.60	47.8	6.7	108.0
	SH295*	25	88500	302000	27.21	3.25	11.09	276.20	58.0	6.7	111.0
	SH380	30	109600	374100	33.99	3.22	10.99	345.00	72.3	6.7	159.0
SH485	40	144592	493362	43.03	3.36	11.47	442.60	92.9	6.7	175.0	

① Desplazamiento a velocidad nominal: 2.900 rpm a 50 Hz y 3.500 rpm a 60 Hz.

② Peso neto con carga de aceite.

TR: tonelada de refrigeración, Condiciones nominales estándar: según las normas ARI, Temperatura de evaporación: 7.2 °C, Recalentamiento: 11.1 K  
 EER: ratio de eficiencia energética, Refrigerante: R-410A, Temperatura de condensación: 54.4 °C, Subenfriamiento: 8.3 K  
 COP: eficiencia.

Valores sujetos a modificación sin notificación previa.

Los datos especificados corresponden a compresores con el código de motor 4. Para conocer todos los datos y las tablas de capacidades, consulte el generador de folletos técnicos: [www.danfoss.com/odsg](http://www.danfoss.com/odsg).

\* El modelo SH295 sustituye al modelo SH300. Seguirá habiendo piezas para el modelo SH300 en el mercado de repuestos. Consulte los folletos técnicos para obtener más información.

## ANEXO 3

### ESPECIFICACIONES VENTILADOR DE ADMICIÓN HGTA-800L



#### HGTA

HGTA-800L-0.75HP/A-725RPM-Q08-230-3-EXTRACTOR



**Ventiladores Axiales de Transmisión, modelo HGTA-800L-0.75HP/A-725RPM-Q08-230-3-EXTRACTOR marca S&P**, con un caudal de 0,716 m<sup>3</sup>/s y una presión de 10 Pa. Fujo del aire estático, especialmente diseñado para extraer o expulsar aire en aplicaciones comerciales e industriales, donde se requiere mover grandes volúmenes de aire. Cuenta con transmisión polea-banda que ofrece grandes prestaciones y ofrece una mejor caída de presión que un axial tradicional, con un bajo nivel sonoro.

- El diseño de su ábalo con perfil aerodinámico brinda una mayor eficiencia mientras que el diseño del ventilador reduce las turbulencias.
- **Hélice y cabe** de alta resistencia mecánica fabricados en aluminio mecanizado, cuyos perfiles aerodinámicos logran un menor peso y resistencia al esfuerzo mecánico.
- **Enfriamiento** integrado en gusco con actuación de potencia en polo mediante electrónica, con protección anticondensación.
- **Soporte chumacera** con rodamientos de bolas y sistema de fijación de anillo concéntrico para brindar mejor agarre y eliminar la vibración durante su funcionamiento.
- **Gus** elaborado con acero AISI C 1045, maquinado al 100% bajo tolerancias normalizadas ANSI y revestido con un barniz autocorregible, para protección de las partes ambientales.

#### Punto requerido

Caudal: 8.740 m<sup>3</sup>/h  
 Presión estática: 60 Pa  
 Temperatura: 25 °C  
 Altura: 30 m  
 Densidad: 1.18 kg/m<sup>3</sup>  
 Frecuencia: 60 Hz

#### Punto de trabajo

Caudal: 8.740 m<sup>3</sup>/h  
 Presión estática: 60 Pa @ 1.20 kg/m<sup>3</sup>  
 Presión dinámica: 33.5 Pa @ 1.20 kg/m<sup>3</sup>  
 Presión total: 75 Pa @ 1.20 kg/m<sup>3</sup>  
 Presión estática estándar: 67 Pa @ 1.2 kg/m<sup>3</sup>  
 Presión dinámica estándar: 34.8 Pa @ 1.2 kg/m<sup>3</sup>  
 Presión total estándar: 75 Pa @ 1.2 kg/m<sup>3</sup>  
 Eficiencia: 45  
 Rend Total: 48.2 %  
 Potencia a 0 estándar: 0.495 Hp @ 1.18 kg/m<sup>3</sup>  
 Potencia a 0 estándar: 0.615 Hp @ 1.2 kg/m<sup>3</sup>  
 Factor de Servicio (FS): 20  
 Velocidad de diseño: 4.5 m/s  
 Velocidad de operación: 4.5 m/s  
 Velocidad de ventilador: 7.75 rpm  
 Potencia específica: 0.28 W/m<sup>3</sup>

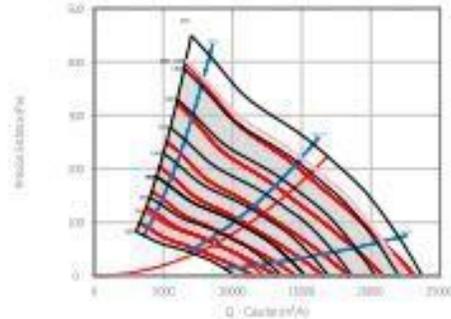
#### Construcción

Dimensión exterior: 800 mm  
 Tamaño ventilador: 800

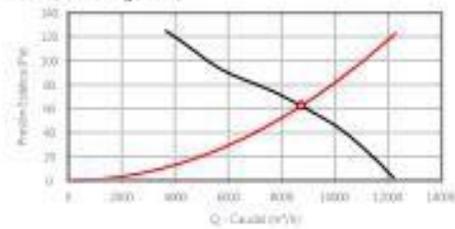
#### Características del motor

Número de Pólos: 4  
 Potencia motor: 0.75 Hp  
 Tensión: ~120/230V-60Hz  
 Intensidad máxima absorbida: 0.6 A  
 Índice de protección: IP23  
 Clase motor: F

#### Curva



#### Curva (1,204 Kg / m<sup>3</sup>)



#### Características acústicas

	63	125	250	500	3k	2k	4k	8k	Total
Regulación E-04	44	58	61	70	74	72	70	65	77
Regulación Lp4 @ 1.5m	25	41	46	55	58	57	55	48	64



#### Dimensiones:

Modelo: HGTA-800L-0.75HP/A-725RPM-Q08-230-3-EXTRACTOR  
 Marca: S&P  
 Material: Aluminio y Acero  
 Color: Gris y Negro  
 Tipo de Ventilador: Axial de Transmisión  
 Tipo de Motor: Eléctrico  
 Tipo de Alimentación: 120/230V-60Hz  
 Tipo de Protección: IP23  
 Clase de Motor: F

# ANEXO 4

## ESPECIFICACIONES VAVULA DE EXPANSIÓN TERMOESTATICA.

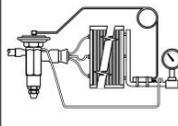
**7B**

**MAXIMUM LOW SIDE TEST PRESSURES**  
PRESIONES DE PRUEBA MÁXIMAS DEL LADO DE BAJA  
MAXIMALE SAUGSEITIGE DRUCKVERHÖLTER  
PRESSIONI MASSIME DI TESTO SUL LATO DI BASSA PRESSIONE  
PRESÕES MÁXIMAS DE TESTE DO LADO BAIXO  
最大吸圧側圧力試験値  
最大吸圧側圧力試験値  
الحد الأقصى لاختبار الضغط المنخفض

VALVE TYPE	psi(g)	bar
(B)BI, (C)BI, (E)BF, (B)F, (E)RQ, (B)Q, (C), (E)S, (E)F, (E)Q, (E)MC, (F), (D), (L), (N), (S)mal, (D), (E)Q, (S)Q, (E)R, (S)R, (R), (L), (S), (X)	450	31
D, P, H, Large O	300	29
A, M, V, W	300	27
(B)BI, (C)BI, (E)RQ, (B)Q, (S)mal, (D), Large O, (E)R, (S)R, (R)	700	48

†1-410A only.

**8**



REFRIGERANT	THERMOSTATIC CHARGE	MOP - psig	MOP - psig
12, 134a	FCP20	60	60
401A, 404A	FCP	40	30
T2	F2P	20	12
22, 407A, 407C	WCP100	100	90
	UGA	*	*
	WCP	65	55
22, 407A	VZP-03	40	30
404A, 408A, 502	SCP115	115	105
402A, 404A	SCP	75	65
408A, 502, 507	SCP	45	35
	ZGA	*	*
410A	ZCP180	180	170
	ZCP200	200	190

**MAXIMUM OPERATING PRESSURE**  
PRESION MAXIMA DE OPERACION  
MAXIMALE BETRIEBSDRUCK  
PRESSION MAXIMALE DE FONCTIONNEMENT  
PRESSIONE MASSIMA DI ESERCIZIO  
PRESSÃO DE OPERAÇÃO MÁXIMA  
最大作圧力  
最大使用圧力  
الحد الأقصى لاختبار التشغيل

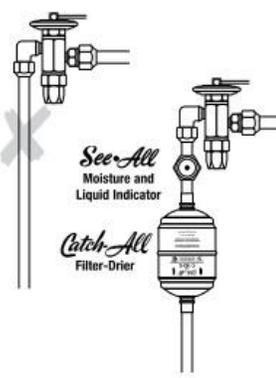
\*Above normal operating conditions.  
\*Condiciones de operación por encima de lo normal  
\*über normalen Betriebsbedingungen  
\*au-dessus des conditions normales de fonctionnement  
\*Eccedente le condizioni normali d'esercizio  
\*Acima das condições normais de operação  
\*超通常条件下の稼働  
\*過常の使用状態以上  
\*فوق ظروف التشغيل العادية

**9**



**SUPERHEAT**  
RECALENTAMIENTO  
ÜBERHITZUNG  
SURCHAUFFE  
SURRESCALDAMENTO  
SUPERACQUECIMENTO  
過熱  
スーパーヒートの調整  
تسخين مفرط

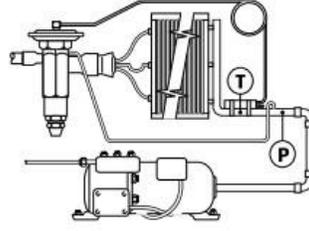
**10**



**See-All**  
Moisture and Liquid Indicator  
**Catch-All**  
Filter-Drier

**SYSTEM INSURANCE**  
SEGURO DEL SISTEMA  
SYSTEMABSICHERUNG  
SECURITÉ DU SYSTÈME  
PROTEZIONE DELL'IMPIANTO  
SEGURO DO SISTEMA  
系統安全措処  
システムの保護部品  
تأمين النظام

**11**



**R-22**  
1. T = 52°F (11°C)  
2. P = 68 psig (4.7 barg) → T<sub>p</sub> = 40°F (4°C)  
3. T - T<sub>p</sub> = T<sub>SH</sub>  
52°F (11°C) - 40°F (4°C) = 12°F (7°C)

**HOW TO DETERMINE SUPERHEAT**  
COMO DETERMINAR EL RECALENTAMIENTO  
BESTIMMUNG DER ÜBERHITZUNGSTEMPERATUR  
COMMENT DÉTERMINER LA DE SURCHAUFFE  
DETERMINAZIONE DEL SURRESCALDAMENTO  
COMO DETERMINAR O SUPERACQUECIMENTO  
如何確定過熱  
スーパーヒートの決定方法  
طريقة تقدير التسخين المفرط



**SPORLAN**  
**TEV**

**Thermostatic Expansion Valves**

**TEV INSTALLATION**  
INSTALACION DE VALVULAS DE EXPANSION TERMOESTATICA  
INSTALLATION DES TEV (THERMOSTATISCHES EXPANSIONSVENTIL)  
INSTALLATION DES DÉTENDEURS THERMOSTATIQUES  
INSTALLAZIONE DELLE VALVOLE D'ESPANSIONE TERMOESTATICHE  
INSTALAÇÃO DAS TEV (VÁLVULAS DE EXPANSÃO TERMOESTÁTICA)  
熱力膨脹閥 (TEV) 的安裝  
感熱膨脹弁 (TEV) 的取付  
تركيب صمامات التمدد الترموستاتي

**1**

**SYSTEM PRESSURES - INSTALLATION OR REMOVAL**  
**PRESIONES DEL SISTEMA - INSTALACIÓN O DESMANTELAMIENTO**  
**SYSTEMDRÜCKE - EIN- ODER AUSBAU**  
**PRESSIONS DU SYSTÈME - INSTALLATION OU SUPPRESSION**  
**PRESSIONI DI IMPIANTO - INSTALLAZIONE O RIMOZIONE**  
**PRESSÕES DO SISTEMA - INSTALAÇÃO OU RETIRADA**  
 系統壓力設置或卸除  
 システム圧力 - 取付と取外し  
 صماتات ضغط النظام - تركيب أو إزالة

**2**

**VALVE LOCATION**  
**LUGAR DE LA VALVULA**  
**VENTILPOSITION**  
**EMPLACEMENT DU DETENDEUR**  
**POSIZIONE DELLA VALVOLA**  
**LOCAL DA VALVOLA**  
 閥門位置  
 バルブの位置  
 موقع الصمام

**3**

**SOLDER TECHNIQUES**  
**TÉCNICAS DE SOLDADURA**  
**LÖTVERFAHREN**  
**TECHNIQUES DE BRASAGE**  
**TECNICHE DI SALDATURA**  
**TÉCNICAS DE SOLDAGEM**  
 焊接技術  
 □ウ付け方法  
 أساليب اللحام النحاسية

**4**

**BULB AND EQUALIZER LOCATIONS**  
**LUGAR DEL BULBO Y EQUILIBRADOR**  
**FÜHLER- UND EXTERNER DRUCKAUSGLEICH-MONTAGE**  
**EMPLACEMENTS DES BULBES ET EGALISATIONS EXTERNES**  
**POSIZIONE DEL BULBO E DELL'EQUALIZZATORE**  
**LOCAL DO BULBO E DO EQUALIZADOR**  
 感測器與平衡器位置  
 感熱筒と外均接感の位置  
 مواقع البصيلة والموازن

FOR REFRIGERATION AND AIR CONDITIONING APPLICATIONS ONLY • SOLAMENTE PARA SISTEMAS DE REFRIGERACION Y AIRE ACONDICIONADO • NUR ZUR VERWENDUNG IN DER KÄLTE- UND KLIMATECHNIK • RÉFRIGÉRATION ET CLIMATISATION UNIQUEMENT

**5**

**MULTIPLE EVAPORATORS**  
**EVAPORADORES MULTIPLES**  
**MEHRERE VERDAMPFER**  
**EVAPORATEURS MULTIPLES**  
**EVAPORATORI MULTIPLI**  
**EVAPORADORES MÚLTIPLOS**  
 多台蒸發器  
 複數的蒸發器  
 أجهزة تبريد متعددة المراحل

**6**

**BULB LOCATION**  
**LOCALIZACION DEL BULBO**  
**FÜHLERPOSITION**  
**EMPLACEMENT DU BULBE**  
**POSIZIONE DEL BULBO**  
**LOCAL DO BULBO**  
 感測器位置  
 感熱筒の位置  
 موقع البصيلة

**7A**

MAXIMUM DEHYDRATION TEMPERATURES TEMPERATURAS DE DESHIDRATACION MAXIMAS MAXIMALE TROCKNUNGSTEMPERATUR TEMPERATURES DE DESHYDRATATION MAXIMALES TEMPERATURE MASSIME DI DESIDRATAZIONE TEMPERATURAS MÁXIMAS DE DESIDRATAÇÃO 最高去濕溫度 最大乾燥溫度 الحد الأقصى لدرجات حرارة التجفيف									
REFRIGERANT REFRIGERANTE REFRIGÉRANT REFRIGERANTE REFRIGERANTE REFRIGERANTE غاز تبريد	THERMOSTATIC CHARGE CARGA TERMOSTÁTICA FÜHLERFÜLLUNG CHARGE THERMOSTATIQUE CARGA TERMOSTATICA CARGA TERMOSTATICA 溫度充注 感熱子や—シ كبحن ترموستاتي								
	C		Z		GA		CP, ZP		
	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	
12, 134a, 401A, 409A	190	88	250	121	—	—	—	—	—
22, 407A, 407C	160	71	185	85	250	121	250	121	
402A, 404A, 408A, 502, 507	150	65	170	77	—	—	—	—	
717 (Ammonia)	190	88	235	113	—	—	—	—	
410A	—	—	—	—	250°	121°	250°	121°	

\*Bulb temperature cannot exceed 160°F (71°C).

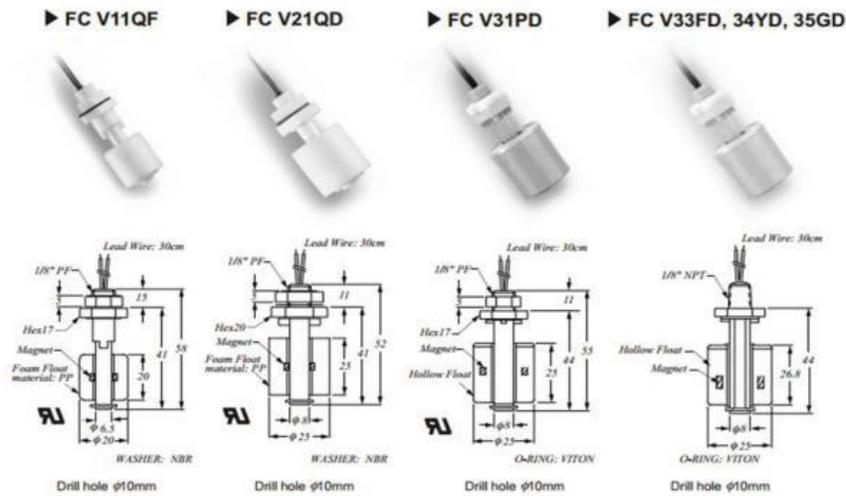
SOLAMENTE PER APPLICAZIONI DI REFRIGERAZIONE E CONDIZIONAMENTO DELL'ARIA • SOMENTE PARA USO EM REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO • 僅料冷凍與空調通用 • 冷凍および空調用途のみ • لاستخدامات التبريد وتكييف الهواء فقط

## ANEXO 5

### ESPECIFICACIÓN SWITCH DE NIVEL DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Interrupor de nivel tipo flotador plástico FCV21QDD FINETEK Catalogo Ingles www.viaindustrial.com

#### PLASTIC OV TYPES



#### ■ SPECIFICATIONS

Description	Type	FC V11QF	FC V21QD	FC V31PD	FC V33FD	FC V34YD	FC V35GD
Switching Capacity Max.		10W SPST	50W SPST	50W SPST			
Switching Voltage Max.		125Vac	240Vac / 200Vdc	240Vac / 200Vdc			
Switching Current Max. (A)		0.5A		0.5A			
Carry Current Max. (A)		1A		1A			
Lead Wire		UL 1007 AWG22 PVC		UL 1007 AWG22 PVC	XLPE AWG22		
Reversible Switch Action		YES		YES			
Max. Pressure (Kg/cm <sup>2</sup> )		ATM		4 kg/cm <sup>2</sup>	2 kg/cm <sup>2</sup>		
Operating Temperature		-20~80°C		-20~80°C	-20~120°C		
Material		PP		PP	PVDF	Nylon	Polysuphone
Suitable Specific Gravity		0.8		0.7	0.85	0.8	0.75
Weight (g)		12 g	18 g	12.8 g	18 g	15 g	18 g

Interrupor de nivel tipo flotador plástico FCV21QDD FINETEK Catalogo Ingles www.viaindustrial.com

## ANEXO 6

# ESPECIFICACIONES DEL SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA AMBIENTE.

Transmisores de Humedad y Temperatura para Pared con Sensor con Display THDWD1C AUTONICS Catalogo Ingles www.viaindustrial.com

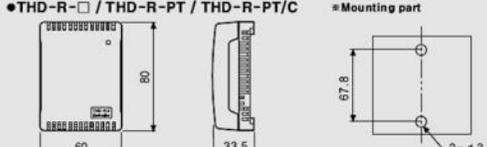
### Temperature/Humidity Transducer

#### ■ Specifications

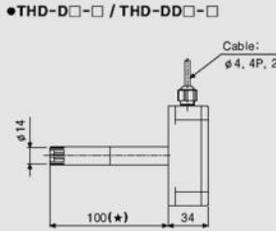
Model	THD-R-PT	THD-R-PT/C	THD-R-C THD-R-V THD-R-T	THD-D□-□ THD-W□-□	THD-DD□-□ THD-WD□-□
Sampling period	Fixed 0.5sec.				
Insulation resistance	Min. 100MΩ (500VDC megger)				
Dielectric strength	500VAC 50/60Hz for 1 minute				
Noise strength	± 0.3kV the square wave noise (pulse width: 1μs) by the noise simulator				
Vibration	Mechanical	0.75mm amplitude at frequency of 10 to 55Hz (for 1 min.) in each of X, Y, Z directions for 1hour			
	Malfunction	0.5mm amplitude at frequency of 10 to 55Hz (for 1 min.) in each of X, Y, Z directions for 10minutes			
Shock	Mechanical	300m/s <sup>2</sup> (30G) in X, Y, Z directions for 3 times			
	Malfunction	100m/s <sup>2</sup> (10G) in X, Y, Z directions for 3 times			
Protection	IP10			IP65 (except sensing part)	
Ambient temperature	-20 to 60°C, Storage : -20 to 60°C (at non-freezing status)				
Cable	Terminal type			4P, φ4mm, Length : 2m	
Approval	<b>CE</b>				
Unit weight	Approx. 55g			Approx. 160g	

#### ■ Dimensions

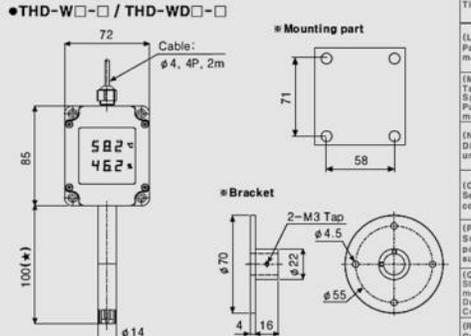
● THD-R-□ / THD-R-PT / THD-R-PT/C      ● Mounting part (Unit:mm)



● THD-D-□-□ / THD-DD-□-□



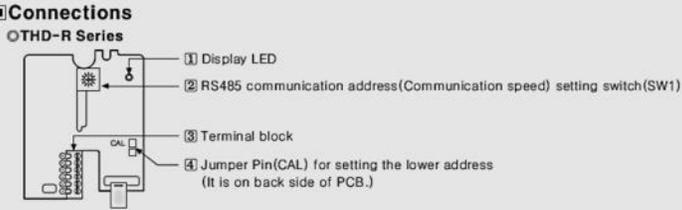
● THD-W-□-□ / THD-WD-□-□



※ (★) Refer to the ordering information 4 to select the one with 2 sensing poles (100m, 200m).  
 ※ See the ordering information about display model, THD-DD□-□, THD-WD□-□.

#### ■ Connections

○ THD-R Series



(A) Photo electric sensor  
 (B) Fiber optic sensor  
 (C) Door/Area sensor  
 (D) Proximity sensor  
 (E) Pressure sensor  
 (F) Rotary encoder  
 (G) Connector/Socket  
**(H) Temp. controller**  
 (I) SSR/Power controller  
 (J) Counter  
 (K) Timer  
 (L) Panel meter  
 (M) Tech./Speed/Pulse meter  
 (N) Display unit  
 (O) Sensor controller  
 (P) Switching power supply  
 (Q) Stepping motor & Driver & Controller  
 (R) Graphic/Logic panel  
 (S) Field network device  
 (T) Production stoppage mode & replacement

**Autonics**

Transmisores de Humedad y Temperatura para Pared con Sensor con Display THDWD1C AUTONICS Catalogo Ingles www.viaindustrial.com

188

## ANEXO 7

### COTIZACIÓN DE TUBERIA SISTEMA TERMICO.



TUVALREP SAS  
 NIT 900.080.289-8  
 TEL.: 3713386  
 CALL 13 No. 22-72  
 BOGOTA D.C.  
 www.tuvalrep.com.co

COTIZACION
Número: 11884
Fecha: 09/22/2020
Página: 1 de 1

<b>cliente:</b> CLIENTE TEMPORAL <b>Contacto:</b> CLIENTE TEMPORAL <b>Nit o C.C.:</b> 999999999 <b>Dirección:</b> CL 13 22 72 <b>Ciudad:</b> BOGOTA D.C. <b>Teléfono:</b> 3713386	<b>Código:</b> 999999999	<b>Forma de pago</b> CTD CONTADO	<b>Fecha vcto</b> 09/22/2020
		<b>Vendedor:</b> VEGA DUITAMA GINNA MARCELA	
		<b>Docto Alt</b>	<b>Moneda</b> COP

Item	Descripción	Bodega	U.M	Cantidad	Precio unit	Desc	Sub total
3001308	MT TUBO 3/4 COBRE TK	1002	MTS	6,00	\$37.900	20 %	\$181.920
3020108	CODO 3/4 COBRE	1002	UND	1,00	\$3.070	20 %	\$2.456
7017124	FUNDENTE X LIBRA	1001	UND	1,00	\$14.241	20 %	\$11.393
7017116	SOLDADURA ESTANO 50-50 X LIBRA	1001	UND	1,00	\$51.163	20 %	\$40.930

Total bruto	Descuentos	Sub total	Vlr impuestos	Total
\$295.874	\$59.175	\$236.699	\$44.974	\$281.673

vegag  ELABORADO	vegag  APROBADO	RECIBIDO
------------------------	-----------------------	----------



## ANEXO 9

### COTIZACIÓN LAMINAS DE ACERO

Sr **SEBASTIAN DIAZ**

soy **ANDRES FELIPE FERNANDEZ**, asesor de **TUBOLAMINAS**, aquí envié la cotización.,

LAMINA HR 1X6 6.0 (1/4MM)	UND	\$1.092.956,00
---------------------------	-----	----------------

De antemano le animo a que adquiera los artículos sin necesidad de salir de casa , con solo una transferencia bancaria o consignación , para compras desde 1.500.000 en adelante la ferretería podría enviar los artículos , sin costo, compras menores de aquella cuantía el envío corre por cuenta del cliente.

llena el formulario que adjunto y envíalo para registro de factura electrónica, no olvides enviar el Rut actualizado con ello pudo realizar su pedido, en caso de que seas persona natural me debes enviar número de identificación CC , dirección , teléfono

gracias por escribirnos, cualquier duda o inquietud de nuestros productos por favor no dude en escribirnos.

**ANDRES FELIPE FERNÁNDEZ**

**Asesor Tubolaminas Call center**

**CEL 3127989677**

**Ext 210**

## ANEXO 10

### COTIZACIÓN VALVULA DE EXPANSIÓN.



**Tipo Equipo:** REFACCIONES

**Marca:** SPORLAN

**Modelo:** OZE-20-GA

**Voltaje:** N/A

**Entrega:** Consultar

**Precio:** \$ 3819.82 MXN + IVA

 [agregar al carrito](#)

Ver precios con IVA

Ver precios en PESOS

## ANEXO 11

### COTIZACIÓN SERVICIOS DE ELECTRICOS MAS INSUMOS

PRESUPUESTO OBRA ELECTRICA - SISTEMA DE CONDENSACIÓN						
ITEM	DESCRIPCIÓN	Unidad Medida	CANT.	CONTRATISTA:		
				P. UNIT MATERIALES	P. UNIT M.OBRA	VALOR TOTAL
<b>1,0</b>	<b>SUMINISTRO Y CONEXIÓN TABLERO FUERZA Y CONTROL</b>	<i>Und</i>	<b>1</b>	<b>\$ 24.659.530</b>	<b>\$ 2.025.380</b>	<b>\$ 26.684.910</b>
1,1	Instalación de bandeja portacable 30x6 cms tipo malla, incluye montaje de soporteria y accesorios	<i>mL</i>	10	\$ 654.500	\$ 416.500	\$ 1.071.000
1,2	Accesorios de instalacion (uniones, fijaciones, salidas a tuberias, conduletas)	<i>Gl</i>	1	\$ 1.011.500	\$ 297.500	\$ 1.309.000
1,3	Tablero Electrico 2000x800x600 mms, incluye: - 1 Interruptor Principal 3X63A - 1 Arrancador Directo completo hasta 1 HP - 1 Arrancador Directo completo hasta 30 HP - 1 Modulo LOGO! compuesto por: - 1 Modulo Base LOGO! 12/24RCE - 1 Modulo Entradas Análogas AM2 - 1 Modulo LOGO! Power - 1 Programación del LOGO! - 1 Barraje trifasico 100 A - 1 Set accesorios de cableado, Barraje de cobre, canaletas	<i>Gl</i>	1	\$ 21.700.000	\$ 714.000	\$ 22.414.000
1,4	Conexion de motor electrico hasta 30 HP / 220 V	<i>Un</i>	2	\$ -	\$ 142.800	\$ 142.800
1,5	Instalacion de tubo conduit IMC 1", incluye montaje de soportes y accesorios (uniones, conduletas, reducciones, etc)	<i>mL</i>	2	\$ 76.160	\$ 35.700	\$ 111.860
1,6	Instalacion de tubo conduit IMC 3/4", incluye montaje de soportes y accesorios (uniones, conduletas, reducciones, etc)	<i>mL</i>	10	\$ 238.000	\$ 14.280	\$ 252.280
1,7	Instalacion de cable encauchetado 4x4 AWG, incluye amarres, marcaciones, bornas para ponchar	<i>mL</i>	5	\$ 476.000	\$ 47.600	\$ 523.600
1,8	Instalacion de cable encauchetado 4x12 AWG, incluye amarres, marcaciones, bornas para ponchar	<i>mL</i>	10	\$ 71.400	\$ 59.500	\$ 130.900
1,9	Instalacion de cable encauchetado 2x16, 3x16 AWG para control, incluye amarres, marcaciones, bornas para ponchar	<i>mL</i>	50	\$ 148.750	\$ 208.250	\$ 357.000
1,10	Instalacion de cable desnudo Cal. 4 por bandejas portacables, inclu montaje de conector, amarres	<i>mL</i>	10	\$ 134.470	\$ 71.400	\$ 205.870
1,11	Instalacion de tramo flexiconduit y 2 conectores rectos o curvos de 1/2" a 1" (para conexion de equipos de fuerza y control)	<i>Gl</i>	10	\$ 148.750	\$ 17.850	\$ 166.600

## **ANEXO 12**

### **PLANOS DEL SISTEMA DE CONDENSACIÓN DE AGUA.**

## ANEXO 13

### RECOMENDACIONES

- Se recomienda diseñar un módulo de potabilización del agua producida por el sistema, el cual cumpla con los parámetros internacionales respecto al manejo de agua potable.
- Realizar un estudio de cumplimiento del parámetro de condensación de agua para cumplir con lo determinado en el diseño detallado del sistema.
- Para la fase de ensamblaje e instalación se recomienda ser realizado por personal calificado en tareas de ensamblaje de sistema de refrigeración y aire acondicionado, además de ser supervisados por un ingeniero con experiencia en dicho campo.
- Se presentan un esquema de costos basados en los elementos seleccionados por el diseñador del sistema teniendo en cuenta la calidad de los materiales y el respaldo de marca de cada proveedor. Por tal motivo se sugiere utilizar dichos proveedores sin condicionar que sean las únicas opciones disponibles. En caso de realizar un cambio de proveedor se debe tener en cuenta que dichos elementos cumplan con los parámetros funcionales descritos en el desarrollo del documento.