

DISEÑO DE UN GENERADOR DE AGUA ATMOSFÉRICO ALIMENTADO POR
ENERGÍA SOLAR CON UNA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE 30 LITROS DE AGUA
POR DÍA, PARA UNA VIVIENDA PROMEDIO EN EL MUNICIPIO DE URIBIA, LA
GUAJIRA

JOHAN STIVEN PÉREZ RÍOS

Proyecto integral de grado para optar el título de
INGENIERO MECÁNICO

Orientador

LUIS FERNANDO RUIZ PINEDA

Ingeniero Mecánico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D. C.

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Luis Fernando Ruiz Pineda
Firma del director

Leonel Alveyro Terán Llorente
Firma del presidente jurado

Andrea Matiz Chicacausa
Firma del presidente jurado

Bogotá D. C. julio de 2022

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la universidad y Rector del claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Consejero institucional

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dr. Alejandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano de la Facultad

Dr. Julián Cesar Fuentes Arismendi

Director del Programa

Dr. María Angelica Acosta Pérez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificables 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.
RESUMEN	14
1. INTRODUCCIÓN	15
1.1 Planteamiento del problema	15
1.2 Justificación	21
1.3 Objetivos	23
<i>1.3.1 Objetivo general</i>	23
<i>1.3.2 Objetivos específicos</i>	23
1.4 Pregunta de investigación	24
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	25
3. METODOLOGÍA	34
3.1 Lugar	34
3.2 Materiales	34
3.3 Equipos	34
3.4 Métodos de análisis	34
4. IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO PARA EL GENERADOR DE AGUA ATMOSFÉRICO	38
4.1 Contextualización	38
4.2 Identificación de las variables	39
<i>4.2.1 Sistema de refrigeración y condensación</i>	46
<i>4.2.2 Sistema de filtración</i>	49
<i>4.2.3 Sistema de energía</i>	51
5. SELECCIÓN Y DISEÑO DE LA ALTERNATIVA MÁS APROPIADA PARA EL GENERADOR DE AGUA ATMOSFÉRICO	53
5.1 Alternativas del sistema de energización	53
5.2 Alternativas del sistema de condensación	57
<i>5.2.1 Refrigerante</i>	64
<i>5.2.2 Compresor</i>	65
<i>5.2.3 Dispositivo de Expansión</i>	73

5.2.4	<i>Evaporador</i>	75
5.2.5	Condensador	79
5.3	Alternativas del sistema de filtración	85
5.3.1	<i>PreFiltro de aire</i>	85
5.3.2	<i>Filtro de aire</i>	87
5.3.3	<i>Filtro de sedimentos</i>	88
5.3.4	<i>Filtro de carbón activado</i>	89
5.3.5	<i>Filtro de ultrafiltración</i>	90
5.3.6	<i>Filtro de mineralización</i>	92
5.3.7	<i>Tanque de almacenamiento</i>	93
6.	ESTRUCTURA	94
6.1	Selección de materiales para la estructura	94
6.2	Configuración de la estructura	110
6.3	Vigas	116
6.3.1	<i>Tanque</i>	118
6.4	Columnas	127
7.	MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL GENERADOR DE AGUA ATMOSFÉRICO	135
7.1	Operación del sistema	135
7.1.1	<i>Sistema de energización</i>	135
7.1.2	<i>Sistema de condensación</i>	135
7.1.3	<i>Sistema de filtración</i>	135
7.2	Dimensionamiento del terreno	136
7.3	Realización del montaje de los subsistemas	136
7.4	Identificación y solución de fallas	136
8.	ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO	138
8.1	Costo de los materiales	138
8.1.1	<i>Sistema de energización</i>	138
8.1.2	<i>Sistema de condensación</i>	138
8.1.3	<i>Sistema de filtración</i>	139
8.1.4	<i>Estructura</i>	139

8.2	Costo de mano de obra	139
8.3	Presupuesto que requiere el proyecto	140
9.	RESULTADOS	141
9.1	Parámetros	141
9.2	Selección y diseño	142
9.3	Operación y mantenimiento	143
9.4	Costos	144
10.	CONCLUSIONES	145
	BIBLIOGRAFÍA	147
	ANEXOS	156

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. La Guajira: miembro de la población Wayuu va a buscar agua.	17
Figura 2. Río Ranchería.	18
Figura 3. Municipios de La Guajira.	19
Figura 4. Fuente hídrica ubicada en Uribia, La Guajira.	20
Figura 5. Cólera y Fiebre tifoidea en el departamento de La Guajira.	21
Figura 6. Diagrama de flujo.	24
Figura 7. Fuentes de extracción de agua desde el aire húmedo.	28
Figura 8. Consumo de energía respecto a la humedad relativa.	31
Figura 9. Comparación de costos por litro generado.	32
Figura 10. Humedad relativa anual.	40
Figura 11. Cantidad de brillo solar medio diario anual.	41
Figura 12. Promedio de número de días al mes sin brillo solar.	42
Figura 13. Irradiación global horizontal medio diario anual.	43
Figura 14. Precipitación media total anual en milímetros.	44
Figura 15. Distribución de la temperatura media anual en grados Celsius.	45
Figura 16. Diagrama de un generador de agua atmosférico.	46
Figura 17. Diagrama T-S.	48
Figura 18. Elementos que conforman un generador de agua atmosférico.	50
Figura 19. Sistema integrado.	51
Figura 20. Plano del panel solar. Unidades en milímetros.	55
Figura 21. Estructura del panel	56
Figura 22. Carta Psicrométrica.	59
Figura 23. Carta Psicrométrica.	60
Figura 24. Simulación BITZER (Scroll).	66
Figura 25. Simulación BITZER (Pistón).	67
Figura 26. Compresor de Pistón.	68
Figura 27. Simulación Danfoss.	69
Figura 28. Selección de compresor.	70

Figura 29. Plano del compresor (vista frontal). Unidades en milímetros.	71
Figura 30. Plano del compresor (vista lateral). Unidades en milímetros.	72
Figura 31. Plano del compresor (vista superior). Unidades en milímetros.	73
Figura 32. Simulación de software.	74
Figura 33. Selección del tubo capilar.	75
Figura 34. Selección del evaporador.	77
Figura 35. Plano del evaporador. Unidades en milímetros.	78
Figura 36. Selección del condensador.	81
Figura 37. Plano del condensador. Unidades en milímetros.	82
Figura 38. Etapas del ciclo de refrigeración.	84
Figura 39. Pre-Filtro de aire.	86
Figura 40. Filtro de aire.	87
Figura 41. Filtro de sedimentos.	88
Figura 42. Filtro de carbón activado.	90
Figura 43. Filtro de ultrafiltración.	91
Figura 44. Filtro de mineralización.	92
Figura 45. Selección del tanque de almacenamiento.	93
Figura 46. Selección del perfil.	95
Figura 47. Planos columna.	96
Figura 48. Viga larga.	97
Figura 49. Viga corta.	98
Figura 50. Selección de láminas de acero inoxidable.	100
Figura 51. Lamina alzado.	101
Figura 52. Lamina perfil.	102
Figura 53. Lámina planta intermedia.	103
Figura 54. Lámina planta.	104
Figura 55. Selección de ángulos.	105
Figura 56. Selección del tornillo.	106
Figura 57. Línea de succión.	107
Figura 58. Línea de descarga.	108
Figura 59. Selección del dispensador de agua.	109

Figura 60. Vista isométrica del conjunto.	110
Figura 61. Vista isométrica posterior del conjunto.	111
Figura 62. Vista isométrica de la estructura.	112
Figura 63. Vista isométrica posterior de la estructura (dimensiones en mm).	113
Figura 64. Vista superior de la estructura.	114
Figura 65. Vista inferior de la estructura.	114
Figura 66. Vista frontal de la estructura.	115
Figura 67. Vista posterior de la estructura.	116
Figura 68. Ilustración de la carga del tanque.	118
Figura 69. Diagrama de cuerpo libre.	119
Figura 70. Sección 1-1.	120
Figura 71. Sección 2-2.	122
Figura 72. Diagrama de cuerpo libre final.	125
Figura 73. Diagrama de fuerza cortante: $V(x)$.	126
Figura 74. Diagrama de momento flector: $M(x)$.	126
Figura 75. Diagrama de deflexión: $y(x)$.	127
Figura 76. Carga sobre la columna.	128
Figura 77. Columna pandeada.	129
Figura 78. Longitud efectiva.	130
Figura 79. Plano estructura - corte A.	157
Figura 80. Plano estructura - corte B.	158
Figura 81. Soldadura.	159

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Consumo de electricidad por litro de agua generado [Wh/l].	26
Tabla 2. Consumo de kilovatios hora por litro de agua generado [kWh/l].	27
Tabla 3. Resultados de las pruebas de prototipos.	29
Tabla 4. Comparación de empresas de energía.	53
Tabla 5. Propiedades del agua saturada.	63
Tabla 6. Parámetros dimensionales del evaporador.	78
Tabla 7. Parámetros principales del evaporador.	79
Tabla 8. Parámetros dimensionales del condensador.	82
Tabla 9. Parámetros principales del condensador.	83
Tabla 10. Parámetros del ciclo de refrigeración.	85
Tabla 11. Precios para el sistema de condensación.	138
Tabla 12. Precios para el sistema de filtración.	139
Tabla 13. Presupuesto para la realización del proyecto.	140
Tabla 14. Parámetros de diseño.	142

RESUMEN

El presente proyecto de investigación brinda una alternativa de solución a la escasez de agua por medio de la generación de agua por condensación, ya que propone como foco de investigación determinar la capacidad, cantidad y tipo de los componentes incluidos en el generador de agua atmosférico. Por lo anterior, se propone un ciclo de refrigeración por compresión de vapor, que brinda el flujo de agua requerido.

Inicialmente, se realizó un estudio de mercado para ver qué sistema de celdas fotovoltaicas era el más adecuado para implementar en este proyecto. Se efectuaron los diferentes cálculos que justifican la selección del sistema. Se toma esta alternativa, dado que la energía solar es uno de los tipos de energía limpia más prometedores en el municipio de Uribia, La Guajira.

Luego se escogen los equipos del proceso termodinámico que permite condensar el agua de la atmósfera. Todo este proceso termodinámico es alimentado por la energía obtenida del sistema de celdas fotovoltaicas que ya fue seleccionado. También son escogidos los componentes necesarios para la acumulación y filtración del agua que permita su posterior consumo.

Finalmente, se hace el diseño de una estructura que soporta los equipos del circuito termodinámico y los componentes de acumulación y filtración del agua.

Palabras clave: energía solar, refrigeración por compresión, humedad relativa, temperatura de rocío, humedad específica, filtración de agua.

1. INTRODUCCIÓN

Se presenta el diseño de un generador de agua atmosférico alimentado por energía solar elaborado a detalle para el municipio de Uribia, La Guajira, el cual va a recolectar agua del medio ambiente para poder ser consumida por los habitantes de esta región, que son conocidos como indígenas Wayuu. Se utiliza una energía limpia como la solar para poder alimentar esta máquina y permitir que funcione correctamente. Esta agua será tratada con filtros para desinfectarla para que sea benéfica para el consumo humano. Se van a estudiar diferentes alternativas y posteriormente se seleccionará la mejor de ellas para llevar a cabo el diseño final. A este diseño se le va a realizar un manual de operación y mantenimiento para poder preservar el activo en condiciones óptimas de funcionamiento y finalmente se realizará un estudio de costos para ver la viabilidad de la implementación de este proyecto.

1.1 Planteamiento del problema

La población mundial hoy en día se enfrenta a un gran reto que es la escasez de agua, de esta población 844 millones no cuentan con un servicio básico y esencial como el agua potable. Hay una cifra que es aún más alarmante, un cuarto de todas las personas que existen, es decir 2.000 millones, se abastecen de este elemento, pero contaminado [1], [2].

Tan solo el 3% del agua a nivel mundial es dulce y más de la mitad de este 3% está congelada en glaciares o no está disponible para hacer uso de ella [3]. Además, cabe resaltar que, según el Banco Mundial la agricultura es el mayor consumidor de agua a nivel global, representando un 70% de las extracciones de este recurso [4], limitando así la posible distribución de este elemento a los más necesitados.

Se espera que en 4 años, el 66% de las personas estén afectadas por la falta de acceso al agua dulce a nivel global [3] y esto se debe en gran medida a las aguas residuales que van a dar a los ríos sin ningún tratamiento previo [5]. De acuerdo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible establecidos por la Organización de las Naciones Unidas, en el objetivo número 6 es preciso promover y

garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible de agua, porque este es un derecho universal [6].

Se cree que para 2.050 Colombia enfrentará una grave escasez de agua [7]. En la actualidad cerca de 3 millones de personas ubicadas en zonas rurales viven sin agua potable [8]. Existen 352 municipios que no cuentan con accesibilidad al agua potable, que conforman departamentos que están en un nivel de alerta roja por la injerencia de la mala calidad que tiene el agua, entre ellos están: Chocó, Huila, Nariño y Bolívar [9].

Una de las regiones que evidencia claramente esta problemática es La Guajira, en el censo realizado en el 2.018, se reporta que 9 de 15 municipios no cuentan con agua potable [10], muchas comunidades se ven forzadas a realizar caminatas (ver Figura 1) de varias horas todos los días para lograr obtener agua [11]; agua a la que ellos mismos deben realizar el proceso de filtración de forma casera (que no garantiza el 100% de la descontaminación). Cerca de 5.000 niños indígenas por causa de la inaccesibilidad al agua potable han fallecido en los últimos años [12].

Figura 1.

La Guajira: miembro de la población Wayuu va a buscar agua.



Nota. La Figura representa un miembro de la población Wayuu que va a buscar agua. Tomado de: Noticias Canal 1. (oct,19,2018). “Municipios de La Guajira siguen sin acceso a agua potable: Corte Constitucional”. [En línea]. <https://noticias.canal1.com.co/noticias/municipios-de-la-guajira-siguen-sin-acceso-a-agua-potable-corte-constitucional/>. [Acceso: abr,20,2021].

En la Figura 2 se muestra la fuente hídrica del río Ranchería, la cual abastece de agua a muchas comunidades del municipio de Uribia, pero como se puede observar se encuentra seca y sin ninguna posibilidad para poder abastecer de agua a las comunidades Wayuu que habitan estas zonas. Este río mide más de 100 kilómetros de longitud, y es la principal arteria fluvial de La Guajira. La causa por la cual se encuentra seca es porque La represa El “Cercado” confinó todo el

río, cerrando sus compuertas para evitar su flujo (expertos aseguran la extinción de La Nación Wayuu por esta problemática). La cantidad de agua al día que consume cada persona en La Guajira es inferior a un litro de agua, a diferencia de la mina El Cerrejón que extrae 17 millones de litros al día del río Ranchería, almacenando casi 200 millones de metros cúbicos de agua (utilizada para disminuir el polvo de las rutas de transporte). A causa de esto cerca de 37 mil niños están afectados por la desnutrición debido a la sed [14].

Figura 2.

Río Ranchería.



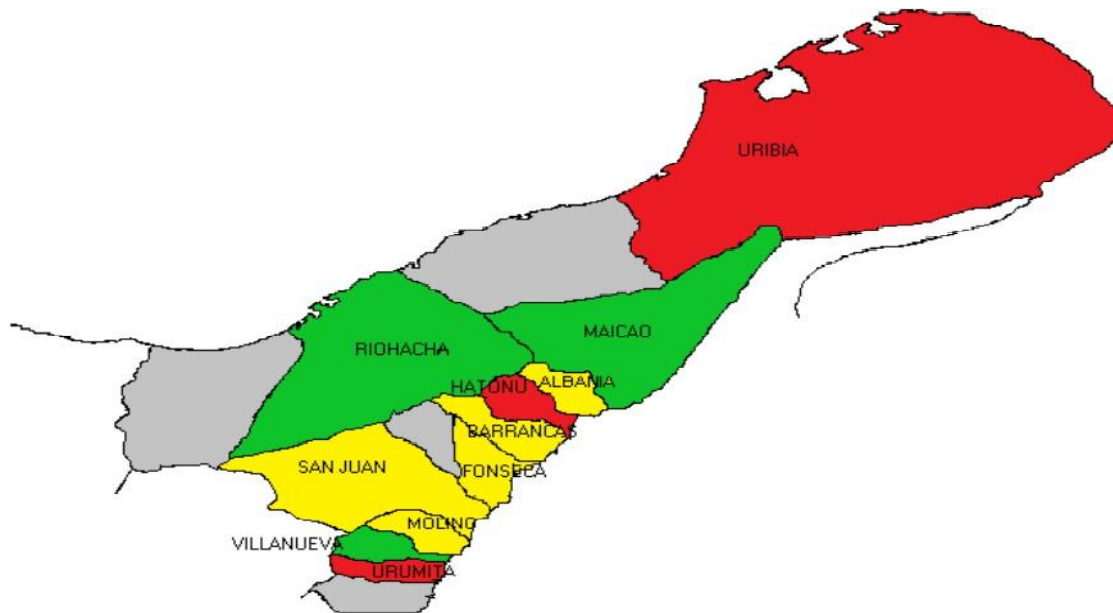
Nota. Fuente hídrica que pasa por el municipio de Uribia. Tomado de: La otra cara. (s.f). “Se Robaron el Río Ranchería”. [En línea]. <https://laotracara.co/destacados/se-robaron-el-rio-rancheria/>. [Acceso, mar,5,2021].

Uno de estos municipios es Uribia (ver Figura 3), éste destaca entre los demás porque es considerada la capital indígena del país [15], además de ser el más extenso, donde aún hay comunidades Wayuu con impedimentos para poder acceder al agua (ver Figura 4) y cuentan con la única fuente hídrica de agua que es el río. Estas comunidades están gravemente afectadas dado que los carrotanques que transportan este líquido vital no llegan hasta allá. Algunas familias tratan

por sus propios medios construir pozos para la extracción de agua, pero lamentablemente estos esfuerzos resultan fallidos, dado al alto contenido de sal en el agua [13].

Figura 3.

Municipios de La Guajira.

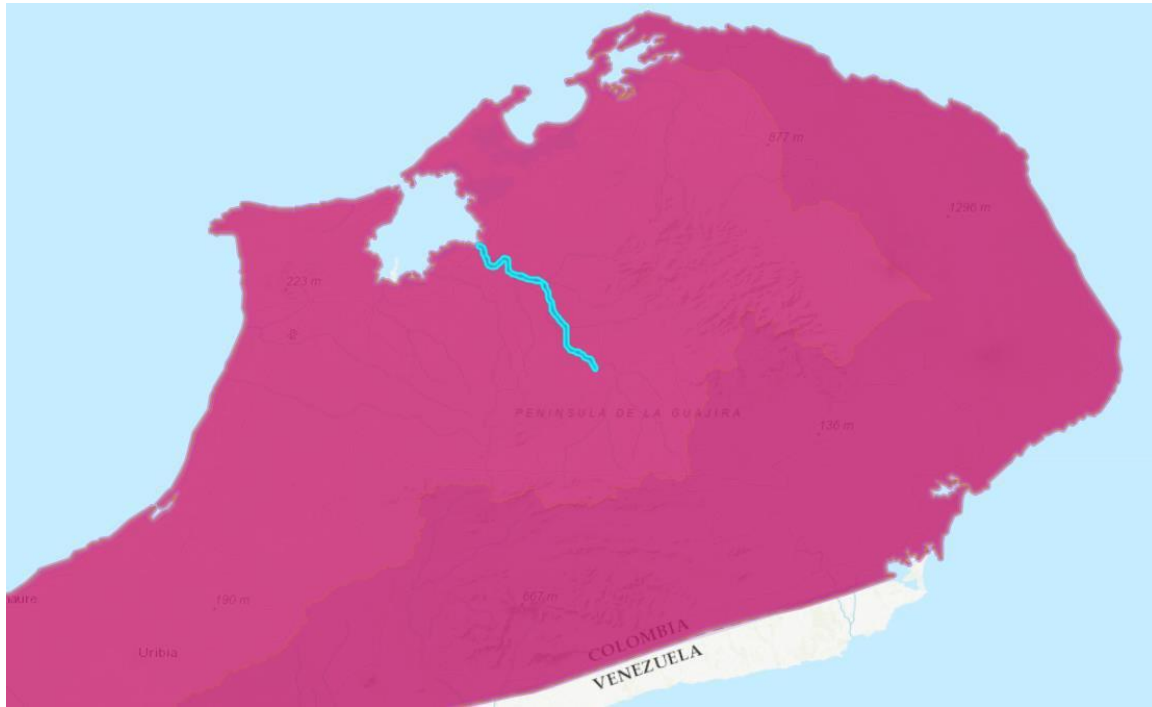


Nota. El municipio de Uribia es el más grande del departamento. Tomado de: “Análisis de situación de salud (ASIS) en municipios de frontera, departamento de La Guajira, 2.010.” [PDF]. Disponible:

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/ED/PSP/Fronteras ASIS Guajira 2010.pdf> [Acceso: abr,20,2021].

Figura 4.

Fuente hídrica ubicada en Uribia, La Guajira.



Nota. La figura representa la fuente hídrica ubicada en Uribia, La Guajira. Tomado de: ArcGIS Hub. (s.f.). “Hidrografía Colombiana - IDEAM y SiGaia” [En línea]. <https://hub.arcgis.com/datasets/89f6818e093f4b0faa99b456ad98018d?fullScreen=true&geometry=-73.189%2C11.630%2C-70.876%2C12.479>. [Acceso: may,20,2021].

En la Figura 5 se identifica como ha empeorado la calidad del agua por presencia de metales pesados o contaminación en general, lo cual tiene graves repercusiones en la salud por el consumo de agua. El número de casos de fiebre tifoidea en promedio del 2.009 a 2.017 fue de aproximadamente 12 casos por año y con respecto al cólera, se tiene que ésta fue muy crítica en el 2.017 con más de 100 casos.

Figura 5.

Cólera y fiebre tifoidea en el departamento de La Guajira.



Nota. La Figura representa las enfermedades asociadas a deficiente calidad de agua. Tomado de: Contraloría General de la Nación, “La Guajira: revisión de la situación en Agua Potable y Saneamiento Básico,” Bol. Macro Sect., vol. 18, p. 6, 2018, [En línea]. www.elcampesino.co. [Acceso: may,10,2021]

1.2 Justificación

Esta investigación es importante porque brinda una alternativa que da solución a las personas que se encuentran afectadas por falta de acceso al agua, que tienen altos niveles de deshidratación y que presentan enfermedades asociadas a la contaminación de agua. Por eso la razón de este proyecto es promover el desarrollo, la innovación y las nuevas tecnologías de los generadores de agua atmosféricos alimentados por energía solar, brindando las herramientas necesarias para futuros proyectos que deseen materializar la idea y así beneficiar comunidades afectadas por la escasez de agua.

El interés por el cual se escoge un departamento como La Guajira, es porque tiene las condiciones ideales para que el equipo se desempeñe de la mejor manera posible. Estas son: la mayor cantidad

de brillo solar al día (para poder generar más energía al día) [39], el menor número de días al mes sin brillo solar [27], la mayor irradiancia solar (brinda mayor cantidad de energía por metro cuadrado) [27], la menor precipitación de lluvia al año [39], una humedad relativa ideal (a mayor humedad, mayor generación de agua) [39] y la temperatura más alta a nivel nacional (a mayor diferencial de temperatura, mayor condensación de vapor húmedo) [21].

La eficiencia del equipo generador de agua atmosférico aumenta cuando el aire que se encuentra en el ambiente tiene una alta temperatura. Porque si se escogiese un lugar más frío las bobinas podrían congelarse y esto es un problema, porque en vez de recolectar agua lo que va a hacer es congelarla [40], impidiendo el correcto funcionamiento del equipo, por eso se escoge una región como La Guajira.

La metodología utilizada será la de refrigeración por compresión de vapor debido a que es ideal para generar la cantidad de agua necesaria para una vivienda promedio en Uribia, que está compuesta por 4 habitantes [41] aproximadamente. Se escoge un municipio como este porque es el segundo con mayor población después de Riohacha, con 160.711 habitantes [41]. Según la organización mundial de la salud, la cantidad mínima que requiere una persona son 7,5 litros de agua al día [42]. Por lo tanto, la cantidad aproximada de agua a generar por día son 30 litros.

De acuerdo con esta problemática, se pretende ofrecer una alternativa para solucionar el abastecimiento de agua potable por medio del aire y el sol. La implementación de este proyecto a gran escala causaría un impacto importante en el desarrollo del país, por un lado, en niños y adultos se disminuirían los niveles de deshidratación y enfermedades asociadas a la contaminación de agua, y por el otro, ser un país más desarrollado y que brinde soluciones a nivel global.

El motivo por el que se escoge desarrollar este proyecto es porque tiene mayores aplicaciones en comparación con los desalinizadores de agua, que también pueden generar agua potable, pero obligatoriamente deben estar a orillas del mar; con el generador de agua atmosférico se puede estar ubicado en relativamente cualquier parte del mundo, siempre y cuando se disponga de la energía solar y la humedad de la atmósfera.

Las diferencias entre comprar una máquina y el desarrollo de este proyecto son: (i) Contribuir a la construcción de conocimiento sobre esta tecnología. (ii) Facilitar la accesibilidad a estos productos económicamente. (iii) Apoyo a la industria nacional. (iv) Selección de materiales enfocados en la preservación y cuidado del medio ambiente. (v) Tener en cuenta las condiciones climáticas del municipio de Uribia, para sacar su máximo rendimiento. (vi) Una alternativa de solución hecha a la medida para satisfacer las necesidades de estas comunidades afectadas, porque se tiene en cuenta la capacidad mínima de agua que se debe generar cada día.

Si este proyecto no se realiza, no se contribuye a la consolidación de propuestas conducentes a dar solución a la falta de acceso al agua en estos lugares. Se precisa que en este proyecto no se llevara a cabo la realización de un prototipo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un generador de agua atmosférico alimentado por energía solar con una capacidad de producción de 30 litros de agua por día, para una vivienda promedio en el municipio de Uribia, La Guajira.

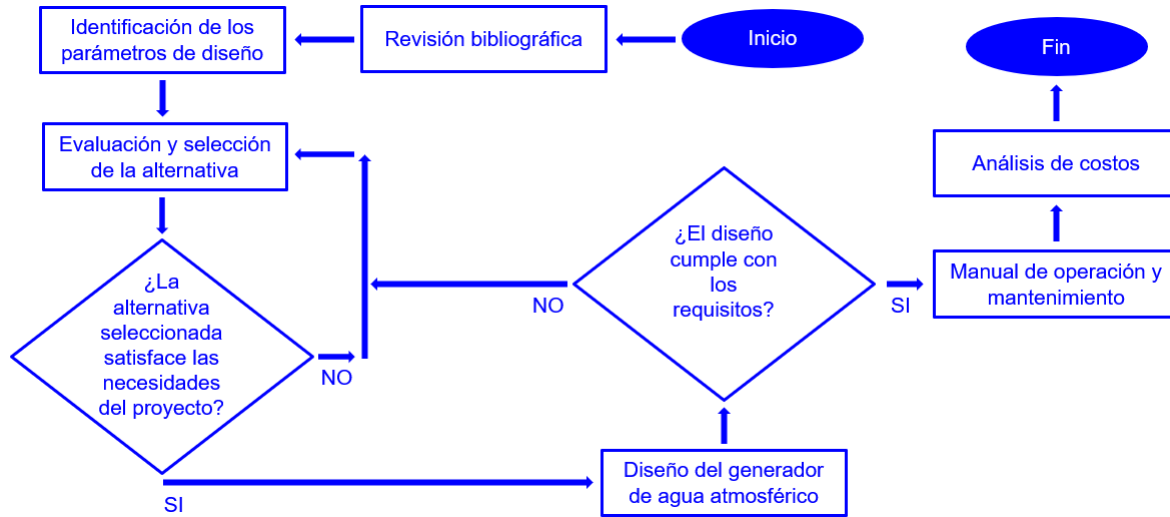
1.3.2 Objetivos específicos

1. Identificar los parámetros de diseño para el generador de agua atmosférico.
2. Seleccionar y diseñar la alternativa más apropiada para el generador de agua atmosférico.
3. Realizar el manual de operación y mantenimiento del generador de agua atmosférico.
4. Realizar el análisis de costos del proyecto.

En la Figura 6 se muestra el diagrama de flujo. Este permite visualizar la forma en la que se llevará a cabo el proyecto.

Figura 6.

Diagrama de flujo.



Nota. La Figura representa el diagrama de flujo.

1.4 Pregunta de investigación

¿Cómo diseñar un generador de agua atmosférico alimentado por energía solar con una capacidad de producción de 30 litros de agua por día, para una vivienda promedio en el municipio de Uribia, La Guajira?

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Los sistemas de captación de agua desde el aire se remontan a la edad de bronce [19], donde por primera vez se desarrollaron técnicas para dar solución a millones de personas en todo el mundo que carecen del agua. Se demuestra en varios estudios, que la eficiencia es superior en un ciclo de refrigeración por compresión de vapor, en comparación con un ciclo de refrigeración por absorción, cabe mencionar que su desigualdad se presenta en su fuente de alimentación, ya que el primero depende de la electricidad y el segundo de la térmica. Se comprobó experimentalmente que la generación de agua para un ciclo de refrigeración por compresión de vapor está relacionada de manera lineal respecto al suministro de energía eléctrica, al flujo del aire y a la humedad relativa [20].

En la Tabla 1 se puede identificar la cantidad de energía que necesita un dispositivo basado en absorción (1.500 Wh/l), el cual consume una gran cantidad de energía para una zona como La Guajira, donde la temperatura oscila en promedio por los 30 °C [21]. A diferencia de un dispositivo por compresión que necesita un consumo inferior (420 Wh/l) como se observa en la Tabla 2.

Tabla 1.

Consumo de electricidad por litro de agua generado [Wh/l].

Temperatura ambiente [°C]	500	1000	1500	2000	2500	3000
35		1710	1225	993	808	648
30		1523	1020	794	600	478
25		1173	831	609	397	257
20		980	617	386		
15		770	419			
10		564				

Nota. La Tabla muestra el consumo de electricidad por litro de agua generado. Tomado de: M. Fill, F. Muff, and M. Kleingries, “Evaluation of a new air water generator based on absorption and reverse osmosis,” *Heliyon*, vol. 6, no. 9, p. e05060, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e05060.

Tabla 2.

Consumo de kilovatios hora por litro de agua generado [kWh/l].

		Temperatura (°C)									
		55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
Humedad Relativa (%)	100	-	-	0.32	0.34	0.35	0.39	0.43	0.48	0.67	0.85
	90	-	-	0.32	0.34	0.36	0.40	0.43	0.49	0.67	0.85
	80	-	0.31	0.32	0.34	0.37	0.42	0.44	0.50	0.70	0.88
	70	0.30	0.31	0.34	0.36	0.40	0.45	0.47	0.58	0.76	0.97
	60	0.32	0.34	0.37	0.41	0.47	0.49	0.59	0.74	0.88	1.45
	50	0.36	0.38	0.44	0.51	0.54	0.64	0.69	0.88	1.35	2.30
	40	0.46	0.50	0.57	0.66	0.73	0.78	0.96	1.41	2.25	4.07
	30	0.68	0.71	0.81	0.88	1.06	1.17	1.67	2.56	4.25	5.38
	20	0.97	1.00	1.25	1.76	2.00	2.81	3.61	6.11	-	-
	10	1.99	2.09	2.93	3.68	4.79	7.03	-	-	-	-

Nota. La Tabla representa el consumo de kilovatios hora por litro de agua generado. Tomado de: G. Atmosf, “Catálogo 2021,” [PDF]. 2021.

A continuación, en la Figura 7 se muestran algunas fuentes de extracción de agua a partir del aire húmedo. Una de estas fuentes es el Efecto Peltier, como se puede identificar en la Tabla 1 el consumo mínimo de energía en vatios hora para obtener un litro de agua es 922 Wh/l , que es equivalente a 922 kWh/m^3 . Lo que da una clara evidencia de como la refrigeración por compresión es una de las fuentes más eficientes.

Figura 7.

Fuentes de extracción de agua desde el aire húmedo.



Nota. la Figura representa las fuentes de extracción de agua desde el aire húmedo. Tomado de: A. A. Salehi, M. Ghannadi-Maragheh, M. Torab-Mostaedi, R. Torkaman, and M. Asadollahzadeh, “A review on the water-energy nexus for drinking water production from humid air,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 120, no. March, p. 109627, 2020, doi: 10.1016/j.rser.2019.109627.

La Tabla 3 muestra la variación que puede presentar la cantidad de agua generada por hora con respecto a la energía consumida para varios prototipos de generadores de agua atmosféricos.

Tabla 3.*Resultados de las pruebas de prototipos.*

Numero de prueba	Taza experimental de generación de agua (mL/h)	Energía consumida (W)	Energía específica consumida (kWh/m ³)	Taza teórica de generación de agua (mL/h)	Porcentaje de error
1	30	60	2002		
	32	60	1870		
2	13	62	4790		
	14	62	4447		
3	12	64	5371		
	14	64	4604		
4	65	61	936		
	66	61	922		
5	66	62	943	65	0.92%
	63	62	990	67	6.2%
6	61	65	1060	68	11%
	64	65	1011	76	19%
7	56	207	3695		
	58	206	3549		
8	54	206	3817	64	19%
	56	206	3680	69	22%
9	50	212	4230		
	54	212	3917		
10	94	205	2184		
	94	204	2169		
11	112	206	1843	102	8.2%
	112	207	1847	103	7.8%
12	112	208	1860	113	0.71%
	116	208	1792	114	1.7%

Nota. La Tabla 3 muestra los resultados de las pruebas de prototipos. Tomado de: A. H. Shourideh, W. Bou Ajram, J. Al Lami, S. Haggag, and A. Mansouri, “A comprehensive study of an atmospheric water generator using Peltier effect,” *Therm. Sci. Eng. Prog.*, vol. 6, no. September 2017, pp. 14–26, 2018, doi: 10.1016/j.tsep.2018.02.015.

Los dispositivos de recolección de niebla son eficaces en zonas donde la humedad relativa es del 100%, lo cual no es tan recomendable para una región como La Guajira, donde su máxima humedad es de 85% [26], [27]. Con respecto a los dispositivos basados en sorbentes, estos tienen una aplicabilidad muy limitada, dado que su generación de agua no es capaz de producir la cantidad necesaria para una vivienda promedio al día [26].

Con la tecnología de los generadores de agua atmosféricos no es necesaria la implementación del transporte de agua hacia los hogares. La atmósfera contiene cerca de 3 billones de litros de agua almacenada. Además, estos sistemas pueden aumentar su eficiencia debido al cambio climático que enfrentamos hoy en día: entre 1.979 y 2.016 el contenido promedio global de agua contenida en la atmósfera aumento aproximadamente en 3 gramos de agua por cada kilogramo de aire (g/kg) [26].

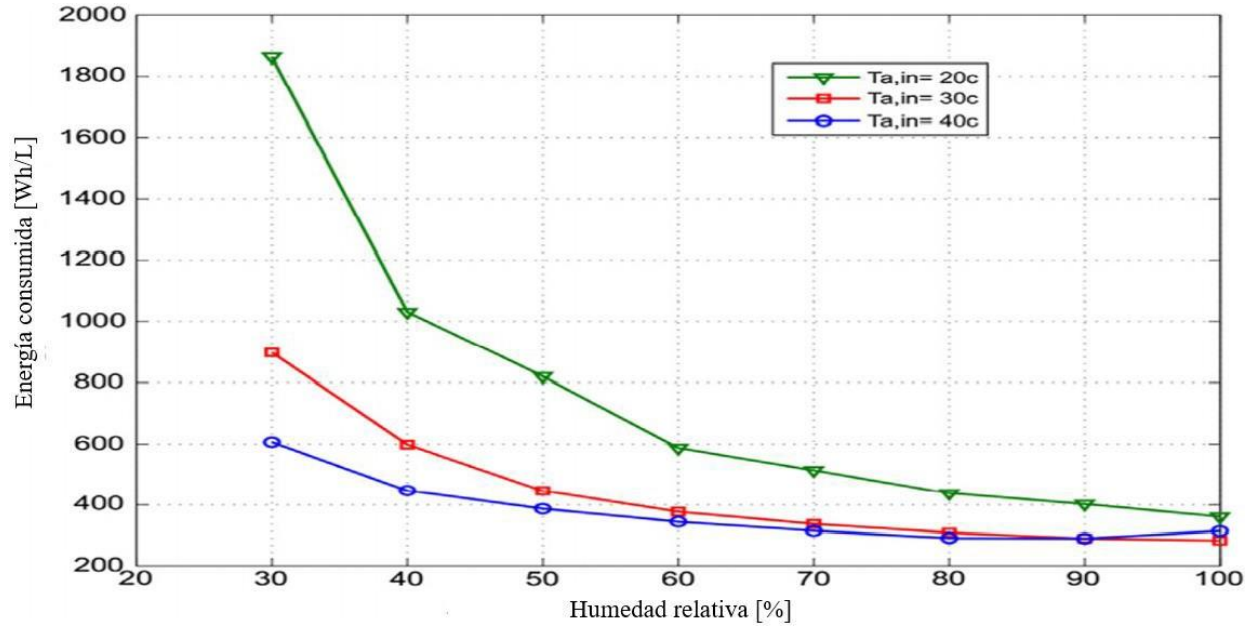
La humedad atmosférica es una fuente renovable debido a que se genera de forma natural gracias a la evaporación del océano y estos dispositivos no generan ningún efecto negativo hacia el medio ambiente [28]. Según estudios realizados por investigadores, este tipo de sistemas de refrigeración por compresión son capaces de lograr una capacidad de producción mayor al 50% de la demanda que necesita cada día un hotel con un clima árido subtropical [29].

Varios estudios afirman que la viabilidad de este proceso es mayor en zonas tropicales donde la humedad y la temperatura son más elevados [28]. Además, este tipo de tecnologías se puede implementar para áreas desérticas y situaciones extremas (catástrofes naturales), debido a que no necesita una gran demanda de energía eléctrica [30].

Un estudio realizado ha demostrado que a mayor humedad relativa el consumo de energía que se quiere para generar agua es menor [31], ver Figura 8. Por eso la importancia de implementarlo en una zona como el municipio de Uribia en La Guajira.

Figura 8.

Consumo de energía respecto a la humedad relativa.



Nota. La Figura muestra el consumo de energía respecto a la humedad relativa. Tomado de: S. Zolfagharkhani, M. Zamen, and M. M. Shahmardan, “Thermodynamic analysis and evaluation of a gas compression refrigeration cycle for fresh water production from atmospheric air,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 170, no. December 2017, pp. 97–107, 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2018.05.016.

Según Genaq [99], el costo por litro de los generadores de agua atmosféricos es veinte veces inferior en comparación con el agua embotellada, como se ve en la Figura 9. Siendo de tan solo 0,03 USD por litro, frente a 0,7 USD por litro con relación al transporte.

Figura 9.

Comparación de costos por litro generado.



Nota. La Figura muestra la comparación de los costos por litro generado de agua. Tomado de: “Corporate Overview 1”.

En el 2.002 los generadores de agua atmosféricos ya estaban disponibles en el mercado, pero con un consumo de energía altísimo, haciendo inviable su implementación a nivel industrial [33]. Datos registrados en pleno funcionamiento han detectado que la relación de consumo de energía por litro de agua de este sistema puede variar entre 300 Wh/L y 650 Wh/L [34]. Durante todo el año se tiene una disponibilidad de casi el 100% de agua potable y además es una fuente sostenible ambientalmente [35].

En México, en año 2.008 se analizó el funcionamiento de un prototipo para poder evaluar su generación de agua a diferentes humedades relativas y temperatura ambiente, para poder llegar a la conclusión de que con mayor humedad relativa se obtiene mayor cantidad del recurso y menos demanda de energía [36].

Existen asociaciones como la Organización Por la Utilización del Rocío que promueven proyectos para la generación del agua por medio del aire [37]. Actualmente en el mercado existen diferentes

marcas que distribuyen el generador de agua atmosférico (AWG, por sus siglas en inglés); algunas empresas que se pueden destacar son: GENAQ, Watergen y Avco.

Watergen fue fundada en 2.009, esta compañía materializó su primer proyecto en Nueva Delhi y empezó su producción a gran escala en el 2.017. Sus productos están presentes en varios países del mundo, por mencionar algunos: Rusia, Indonesia y Sudáfrica. Esta tecnología GENius promete consumir únicamente 250 Wh para generar un litro de agua potable. El Dr. Michael Mirilashvili, presidente de Watergen, dice: “El acceso al agua potable es un derecho humano innato. Nadie en el siglo XXI merece vivir sin acceso a agua potable, nuestra misión en Watergen es proporcionar agua potable limpia y segura a todas las personas de todo el mundo” [38].

3. METODOLOGÍA

3.1 Lugar

Uribia es un municipio de La Guajira, este queda ubicado en la costa norte de Colombia. Esta zona es ideal para realizar un proyecto (generador de agua atmosférico alimentado por energía solar) donde las condiciones ambientales son altas como lo es la humedad relativa, temperatura, irradiancia, entre otras, esto permite que el equipo se desempeñe de la mejor manera sin necesidad de realizar tanto trabajo. Esta zona fue seleccionada porque allí la situación actual de los indígenas no es la mejor, dado que el rio al que tenían acceso está prácticamente seco, casi no llueve en este lugar y las ayudas que envía el gobierno no alcanzan a llegar hasta allá.

3.2 Materiales

Los materiales que se van a utilizar deben ser elementos que no sean nocivos para la salud como lo es el caso del evaporador, ya que este dispositivo va a estar en contacto directo con el agua que va a ser condensada del aire ambiente. Por eso un material como el aluminio debe ser descartado de forma inmediata porque este es nocivo para la salud, a diferencia del cobre el cual no representa peligro para poder consumir el agua previamente tratada con procesos de filtración. Además, el recipiente en el cual se va a almacenar el agua será de polietileno.

3.3 Equipos

Los equipos que contempla este proyecto son paneles solares, inversores, baterías, evaporador, condensador, tubo capilar, compresor, refrigerante, filtros para potabilización de agua y recipiente para almacenar el agua.

3.4 Métodos de análisis

El proyecto se divide en tres sistemas: suministro de energía, ciclo de refrigeración y sistema de filtración.

Para el suministro de energía se escoge la opción de cotización con diferentes proveedores, dado que, si se escogiera equipo por equipo, es decir, paneles, baterías, inversores, cableado, estructura, controladores y demás equipos, el proyecto saldría muy costoso. Por eso al cotizar un proyecto en su totalidad se garantiza su viabilidad. Al momento de decantarnos por una u otra cotización se tiene en cuenta el costo, la cantidad de paneles para su posterior mantenimiento, si es colombiano o no, su instalación y envío, entre otras.

El método de análisis que se va a emplear es el ciclo de refrigeración por compresión de vapor. Este método permite definir cuál será la potencia para cada equipo de la cámara frigorífica, como lo son compresor, condensador y evaporador, a diferencia del tubo capilar que no tiene asociado ningún trabajo.

Primero se inicia determinando la cantidad mínima de agua a condensar por día (30 litros), a partir de allí se maximizan los parámetros de funcionamiento. Uno de ellos es la temperatura del evaporador, esta temperatura debe ser mayor o igual a cero grados Celsius (0°C) para que agua que se esté condensando no se congele y afecte el rendimiento del equipo.

Segundo, se va a diseñar con las condiciones mínimas de temperatura y humedad relativa de la región (26°C y 65%), para garantizar siempre la capacidad requerida.

Una vez realizado este paso previo, se procede a realizar los cálculos de diferentes parámetros iniciales de los que depende el diseño del generador de agua atmosférico (AWG, por sus siglas en inglés), para empezar, tenemos en cuenta la temperatura del punto de rocío, esta nos permite identificar a que temperatura empieza la condensación de agua y para calcularla disponemos de una relación (ecuación) que tiene en cuenta la humedad relativa y la temperatura ambiente o temperatura de bulbo seco. Para este municipio esa temperatura mínima del punto de rocío o de bulbo húmedo es de 18.9°C , por lo tanto, toda temperatura que se encuentre por debajo de esta podrá lograr condensar el agua de la atmósfera.

Los siguientes parámetros para tener en cuenta serán la humedad específica a la entrada y a la salida del evaporador. Estos se determinan por medio de la temperatura máxima y mínima del aire

que está en contacto con el aire, dichas humedades específicas se encuentran en el diagrama psicrométrico del aire. Las cuales son a la entrada 0,013 kilogramos de agua por kilogramos de aire seco (0,013 kg/kg) y en la salida 0,004 kg/kg, y también se leen sus respectivas entalpías específicas. Ahora definimos el flujo masico del agua para poder relacionarlo con el flujo masico del aire y así poder determinar la potencia del evaporador.

Una vez conocida la potencia frigorífica o potencia del evaporador, se hace uso de un software para poder determinar la temperatura a la salida del compresor gracias a unos parámetros previamente establecidos, estos son: (i) refrigerante: algunos de los parámetros que se deben tener en cuenta a la hora de seleccionarlo deben ser la toxicidad, inflamabilidad, debe trabajar a presiones bajas para que no le demande tanta energía al compresor, presión del evaporador superior a la atmosférica, presión del condensador correspondiente a la temperatura de saturación. (ii) temperatura del refrigerante en el evaporador igual a $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ dado que hay unas pérdidas de calor de aproximadamente $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (el equivalente a aproximadamente 2.722 calorías) por lo tanto, el evaporador estará a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, garantizando la máxima extracción de agua desde el ambiente. (iii) temperatura del refrigerante en el condensador igual a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ para garantizar el flujo de transferencia de calor hacia el ambiente, el cual estará máximo a $34\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Con todos los parámetros anteriores el software presenta diferentes soluciones al ejercicio, varias de ellas presentan diferentes cargas frigoríficas, ya sean inferiores o superiores, también expone diferentes consumos de los compresores. También nos brinda más datos para poder seleccionar el dispositivo de expansión.

Con ayuda de otro software podemos determinar las características que debe tener el dispositivo de expansión para poder disminuir la presión y la temperatura en la cámara frigorífica.

Una vez definidas las potencias de los equipos y sus características propias, se selecciona en el mercado que tipo de equipo es más apropiado para el proyecto.

Por último, el sistema de filtración está compuesto por varios filtros para garantizar que el agua generada sea potable. Se seleccionan filtros de sedimentos, carbón activado, filtros de ultrafiltración y de mineralización.

4. IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO PARA EL GENERADOR DE AGUA ATMOSFÉRICO

4.1 Contextualización

El municipio de Uribia ubicado en el departamento de La Guajira es considerado la capital indígena de Colombia. Esta zona geográfica cuenta con las condiciones ideales para llevar a cabo la realización del generador de agua atmosférico. Este dispositivo es capaz de recolectar el agua que contiene la atmosfera para luego filtrarla y mineralizarla para que pueda ser consumida por los indígenas que se encuentran en estas zonas tan afectadas por la falta de acceso al agua potable.

Para el funcionamiento de esta máquina se necesita de la energía solar y las condiciones adecuadas de humedad relativa y temperatura ambiente de esta zona. Estas variables son importantes porque gracias a ellas la eficiencia de la máquina va a ser lo más alta posible. La energía solar suministra la potencia que requiere el compresor para poder hacer circular el refrigerante en el ciclo de refrigeración. Por lo tanto, se selecciona esta ubicación ya que contiene aproximadamente la mayor radiación solar en el país, la menor precipitación de lluvias a nivel nacional y el menor número de días al mes sin brillo solar. La humedad relativa permite saber la cantidad de agua que contiene el aire en un determinado espacio. Se ha tratado de encontrar una zona donde esta humedad sea lo más cercana al 100%, y una de estas zonas es Uribia. La temperatura permite una mayor condensación de agua, porque cuando existe un gran diferencial de temperatura entre el ambiente y el evaporador el agua que se puede condensar es mayor. Este municipio en La Guajira cuenta con la temperatura más alta del país.

El generador de agua atmosférico se compone de varios elementos como lo son: el evaporador que permite la condensación del agua a partir del contacto del aire con la superficie de los tubos serpentines que este contiene, el condensador que permite realizar el recorrido del refrigerante para que pueda circular a través del evaporador y del condensador, el condensador que permite disminuir la temperatura del refrigerante y por último el tubo capilar que disminuye la presión y la temperatura del refrigerante para que ingrese al evaporador con la menor temperatura posible.

También se cuenta con un tanque para almacenar el agua que el evaporador recolecta y unos paneles para recolectar la energía solar.

4.2 Identificación de las variables

El generador de agua atmosférico alimentado por energía solar se va a diseñar para la región de La Guajira, por lo que se debe tener claridad sobre las variables que se presentan en esta zona.

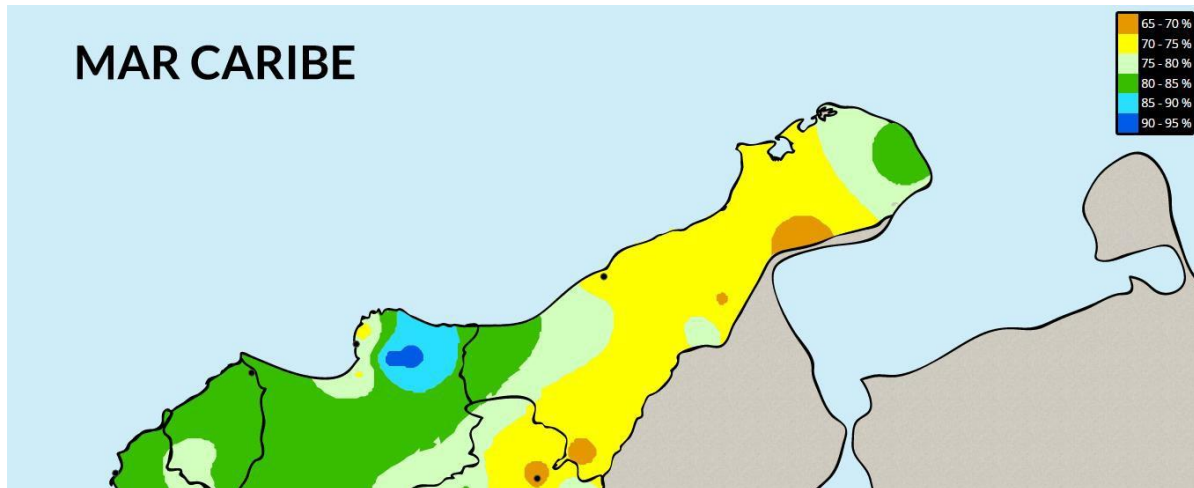
Humedad relativa: esta variable permite dimensionar la cantidad de vapor de agua que se encuentra en la atmósfera [43] y a partir de allí se puede hacer una estimación de cuánta agua líquida se puede extraer del aire. Cabe mencionar que, si la humedad relativa es del 0%, es correcto afirmar que no hay vapor de agua en el aire, esto también se define como aire seco.

Para tener una idea, cuando hay una humedad relativa del 100% (estado de saturación), se comprobó que la cantidad de agua que se encuentra disponible en el aire es de 18 gramos, para esto se debe tener un espacio de un metro cúbico, a una temperatura de 20 °C [44].

La Figura 10 ilustra el comportamiento de la cantidad de vapor de agua contenida en el aire a lo largo del año en la costa norte de Colombia.

Figura 10.

Humedad relativa anual.

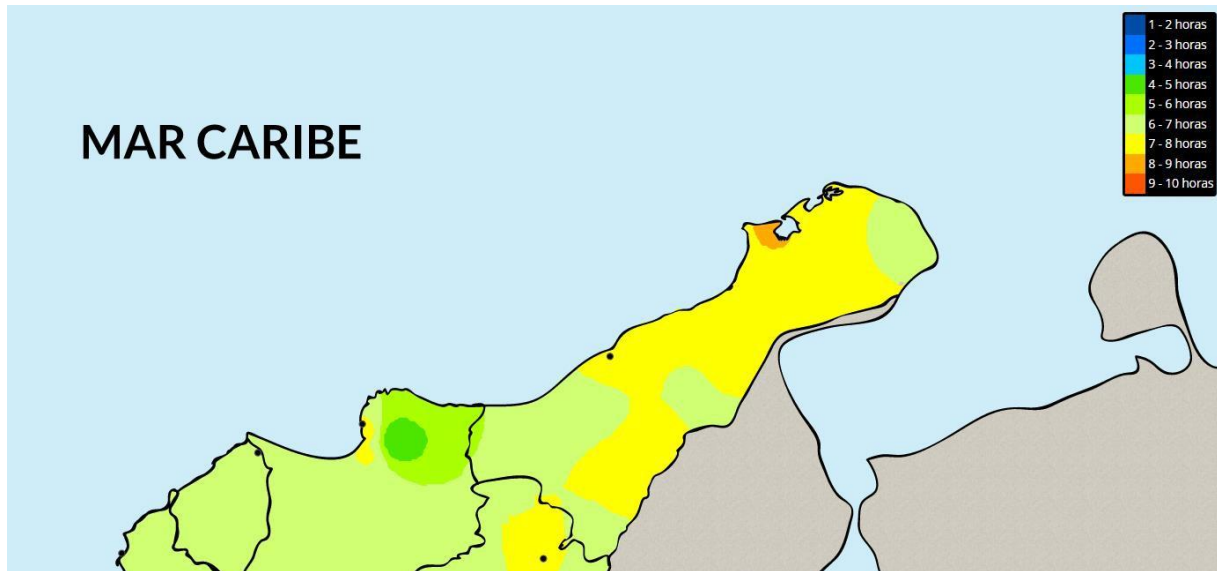


Nota. Para el municipio de Uribia la variación está entre 65% y 85%. Tomado de: Atlas Interactivo. “Visor atlas climatológico”. [En línea]. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>. [Acceso: feb,5,2021].

Radiación solar: gracias a la energía que provee el sol [45], se puede suministrar energía eléctrica al generador de agua atmosférico. Para esto se hace uso de las energías del futuro, como lo es la energía solar. Esta nueva tecnología permite transformar la energía solar en energía eléctrica por medio de colectores solares. En la Figura 11 se evidencia que este municipio cuenta con la mayor cantidad de horas de brillo solar al día en el país, lo cual es muy importante porque se puede generar más energía al día.

Figura 11.

Cantidad de brillo solar medio diario anual.

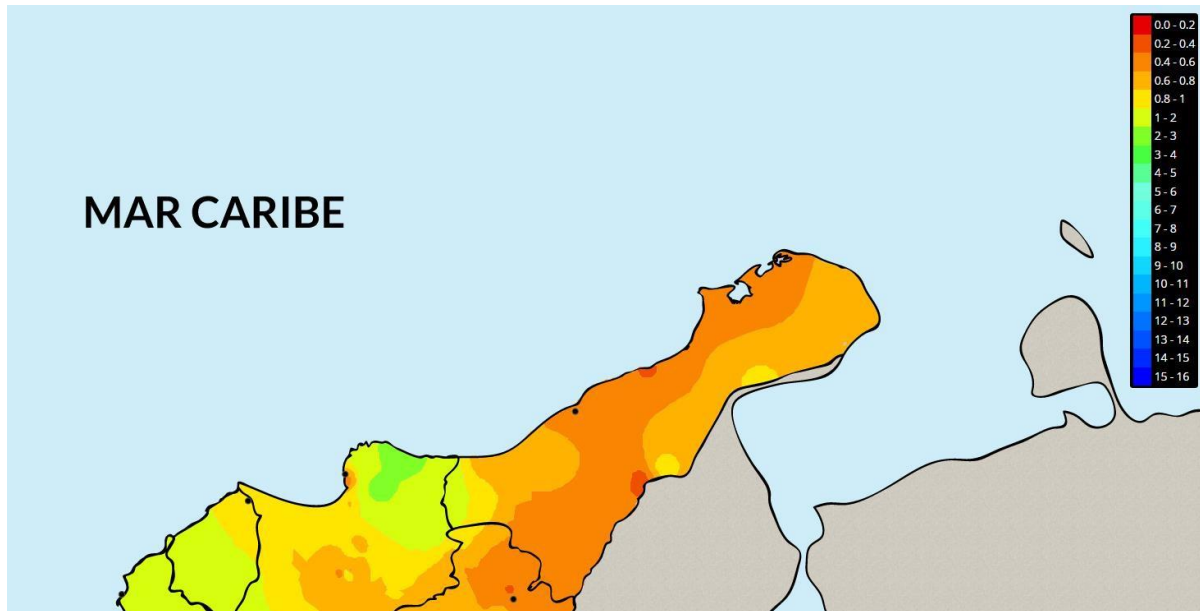


Nota. Para el municipio de Uribia la variación está entre 6 y 9 horas. Tomado de: Atlas Interactivo. “Visor atlas climatológico”. [En línea]. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>. [Acceso: feb,5,2021].

En la Figura 12 se identifica que este municipio cuenta con la menor cantidad de días al mes sin brillo solar, lo cual garantiza que todos los días haya suministro de energía eléctrica para el generador de agua atmosférico.

Figura 12.

Promedio de número de días al mes sin brillo solar.

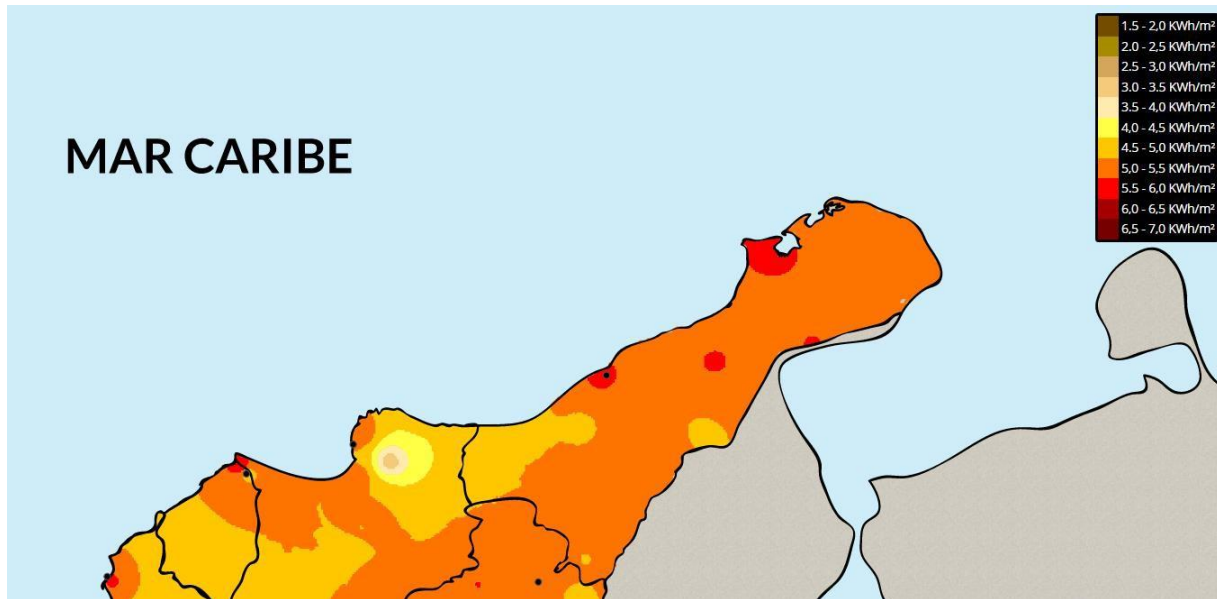


Nota. Para el municipio de Uribe es menor a 1 día cada mes. Tomado de: Atlas Interactivo. “Radiación IDEAM.” [En línea]. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>. [Acceso: may,4,2021].

A continuación, se presenta la **irradiancia**, la cual está definida como la energía que expulsa el sol por medio de una longitud de onda de luz [46]. La Figura 13 muestra la cantidad de kilovatios hora por metro cuadrado, denominado irradiancia. Este factor es importante porque beneficia esta zona con la mayor cantidad de energía por metro cuadrado a nivel nacional.

Figura 13.

Irradiación global horizontal medio diario anual.

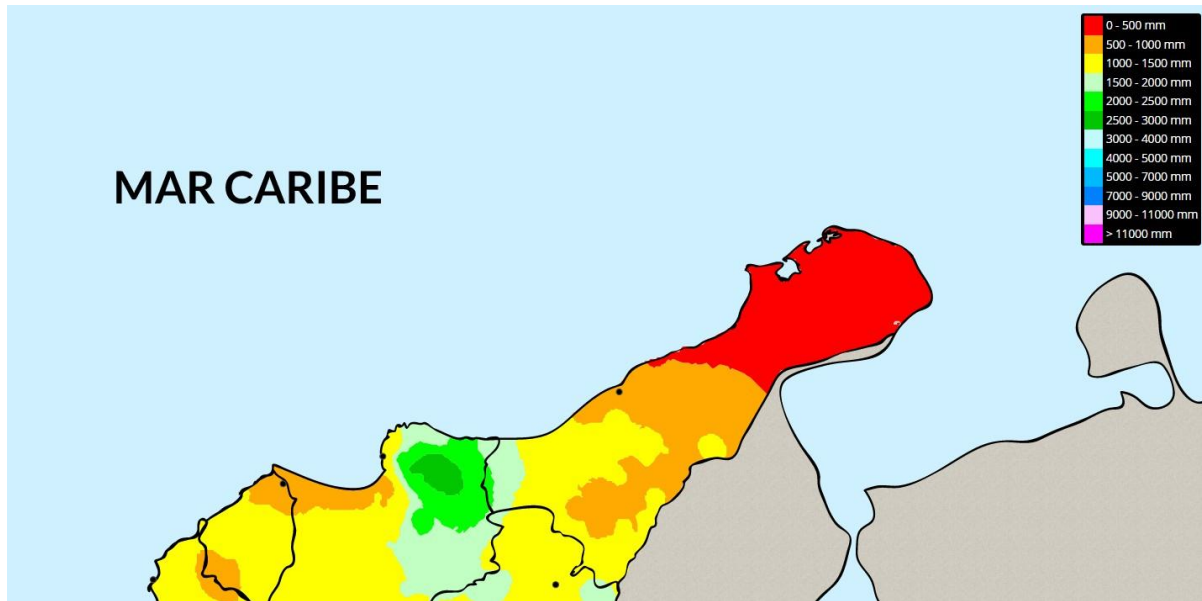


Nota. Para el municipio de Uribia la variación está entre 5 y 6 kWh/m². Tomado de: Atlas Interactivo. “Radiación IDEAM.” [En línea]. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>. [Acceso: may,4,2021].

Con respecto a la **precipitación**, es la cantidad de lluvia que cae en determinada área. Por ejemplo, un milímetro de lluvia es equivalente a 1 litro por metro cuadrado de agua que cae en la superficie [47]. La Figura 14 ilustra que en este municipio prácticamente no llueve, lo cual es beneficioso para garantizar un brillo solar ininterrumpido.

Figura 14.

Precipitación media total anual en milímetros.



Nota. Para el municipio de Uribia es menor a 500 mm. Tomado de: Atlas Interactivo. “Visor atlas climatológico”. [En línea]. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>. [Acceso: feb,5,2021].

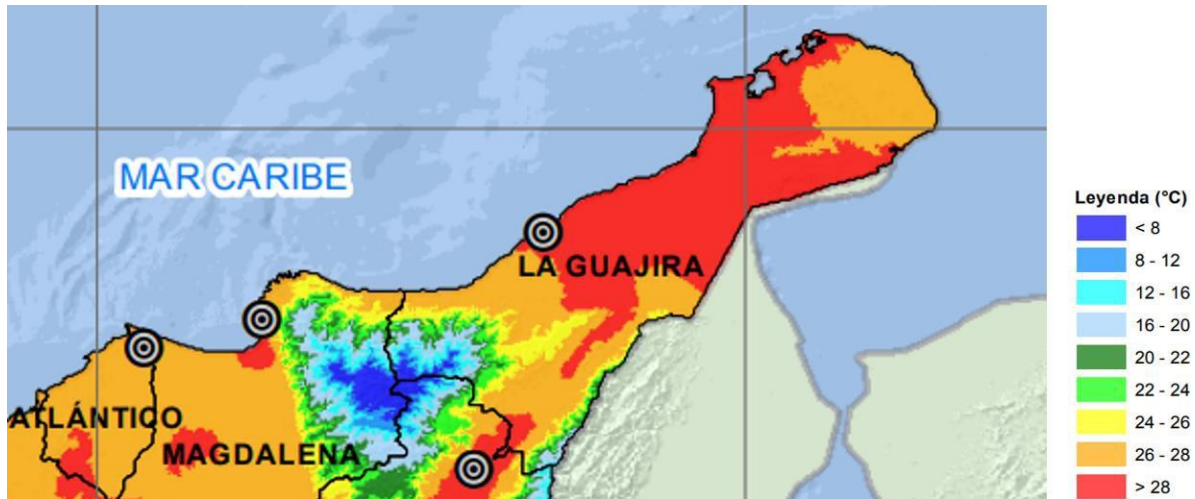
Como última medida importante con respecto a las condiciones ambientales en esta región, se tiene la temperatura.

Temperatura: esta variable es una de las más importantes, porque gracias a ella se puede producir una mayor o menor condensación de agua al estar en contacto con la superficie del evaporador. La forma en la que se puede lograr una mayor condensación de vapor húmedo, es gracias al diferencial de temperatura, para esto se debe cumplir que temperatura del aire esté muy caliente y la superficie del evaporador esté muy fría [70].

La Figura 15 muestra la cantidad mínima de temperatura que se puede presentar en el municipio de Uribia.

Figura 15.

Distribución de la temperatura media anual en grados Celsius.



Nota. Para el municipio de Uribia la es superior a 26 °C. Tomado de: “DISTRIBUCIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C).” [PDF]. Disponible: http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Temp_Med_Anual.pdf.

Ahora bien, como ya se han definido los parámetros con respecto a las condiciones ambientales más importantes a las que va a estar sometido el AWG (air water generator por sus siglas en inglés), se procede a entrar en detalle para identificar cuáles son los elementos de los que se compone este sistema para poder llevar a cabo su correcto funcionamiento.

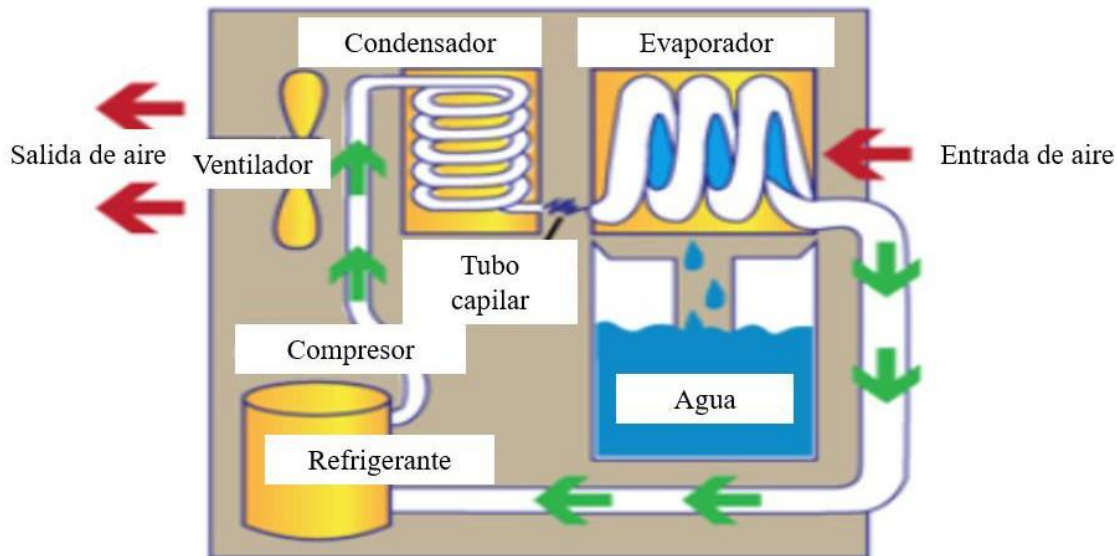
Pero antes, se brindará una explicación muy breve de cómo se genera el agua a partir de la humedad en el ambiente.

Como primer paso se tiene la extracción del aire de la atmósfera, esto se hace por medio de un ventilador el cual crea una corriente de aire y le da una dirección para que pase por los componentes del generador de agua atmosférico. Una vez ingresa este aire, se encuentra con el evaporador, su función es condensar el vapor húmedo que contiene el aire por medio de un refrigerante, luego el aire seco sigue su recorrido y pasa a través de un condensador, su función es enfriar el refrigerante que sale del compresor que fluye a través del tubo capilar y después al evaporador. Para que este fluido logre circular por este sistema se utiliza un compresor, el cual impulsa el refrigerante para

que complete el ciclo y finalmente sale el aire caliente al ambiente exterior, atrayendo la humedad que se encuentra allí para maximizar la eficiencia del equipo y poder ingresar nuevamente [40].

Figura 16.

Diagrama de un generador de agua atmosférico.



Nota. La Figura muestra el diagrama del AWG. Tomado de: Bob Vila. “How Dehumidifiers Work”. [En línea]. <https://www.bobvila.com/articles/how-dehumidifiers-work/>. [Acceso: feb,2,2021].

Básicamente este dispositivo (ver Figura 16) se compone de siete elementos principales para poder extraer la humedad del aire: un evaporador, un tubo capilar, un condensador, un fluido refrigerante, un compresor, un ventilador y un filtro de aire.

4.2.1 Sistema de refrigeración y condensación

Evaporador: este elemento es “la clave” para poder extraer el agua que contiene el aire. Para lograr esto, se utiliza un **fluido refrigerante** que cambia de estado para facilitar la **transferencia de calor**. Cuando el refrigerante ingresa al evaporador se encuentra en estado de mezcla líquido

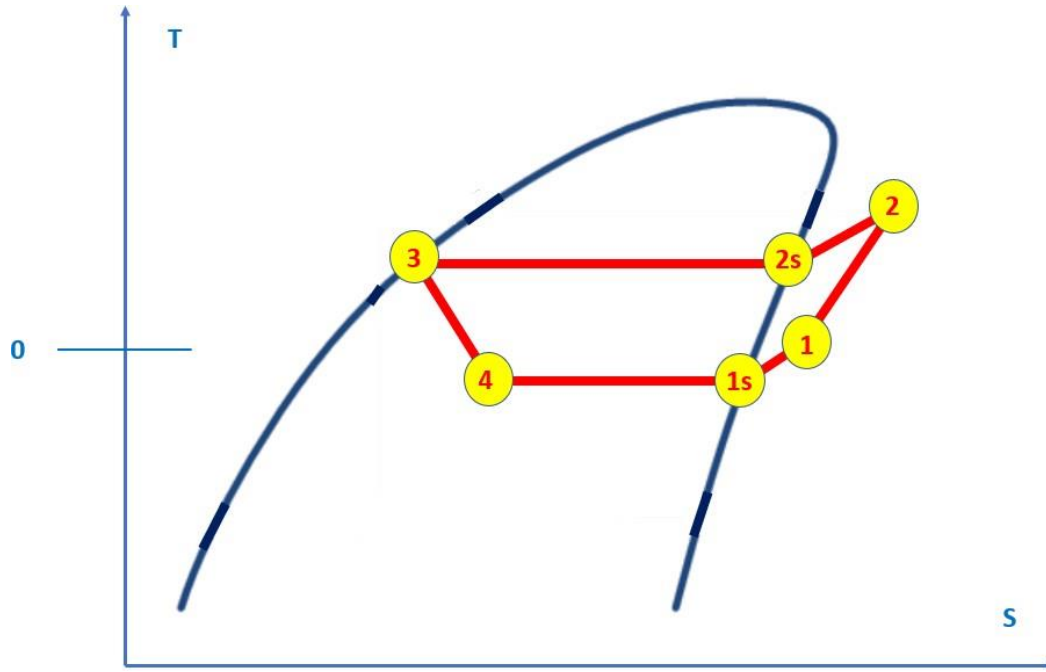
vapor y a una temperatura extremadamente fría que está por debajo de la temperatura del **punto de rocío** del aire y una vez empieza a circular por las bobinas absorbe el calor del aire húmedo que se encuentra inmediatamente alrededor, provocando que el vapor húmedo del aire al estar en contacto con la superficie del evaporador se condense y logre generar agua líquida [50].

Punto de rocío: Es la temperatura necesaria a la que se debe enfriar el aire para lograr condensar el vapor de agua que este contiene [44]. Para que este ciclo pueda cumplirse se necesita un compresor.

Compresor: este elemento lleva a cabo la correcta circulación del refrigerante por los diferentes subsistemas del AWG, para tener una constante generación de agua en dicho equipo [52]. Se espera que el fluido refrigerante ingrese en estado de vapor sobre calentado para que no afecte su rendimiento, que su costo no sea tan elevado para hacer la maquina más competitiva a nivel comercial. También es necesario que la presión en el sistema sea baja para no requerir un consumo alto de energía y que no eleve tanto la temperatura del refrigerante para que este pueda trabajar en condiciones ideales de funcionamiento. A continuación, en la Figura 17, se muestra un diagrama de temperatura y entropía, para visualizar el comportamiento del sistema en general.

Figura 17.

Diagrama T-S.



Nota. La Figura muestra el diagrama de temperatura y entropía.

Una vez el fluido refrigerante sale del evaporador, ha cambiado de estado y ahora se encuentra en fase gaseosa. El aire, ahora se ha enfriado, y ha salido casi seco del evaporador. Previamente este refrigerante ha salido del tubo capilar.

Condensador: cuando el refrigerante ingresa al condensador en fase gaseosa y empieza a circular por las bobinas, el condensador lo enfría y le hace cambiar de estado nuevamente, pero esta vez a fase líquida y esa energía fue transferida al aire simultáneamente, aire seco que salió del evaporador. Cuando este aire atraviesa completamente el condensador sale caliente e inmediatamente atrae la humedad del aire circundante en el ambiente [52].

Tubo capilar: este es el encargado de disminuirle la presión a y a la vez la temperatura que se encuentra el refrigerante, que previamente estuvo en el condensador [51].

Es necesario que el aire también tenga un flujo constante para cumplir con este fin, para eso es necesario un ventilador.

4.2.2 Sistema de filtración

Ventilador: permite extraer el aire que se encuentra en la atmósfera y direccionarlo primero al evaporador y luego al condensador, para finalmente expulsarlo de nuevo al ambiente exterior [53].

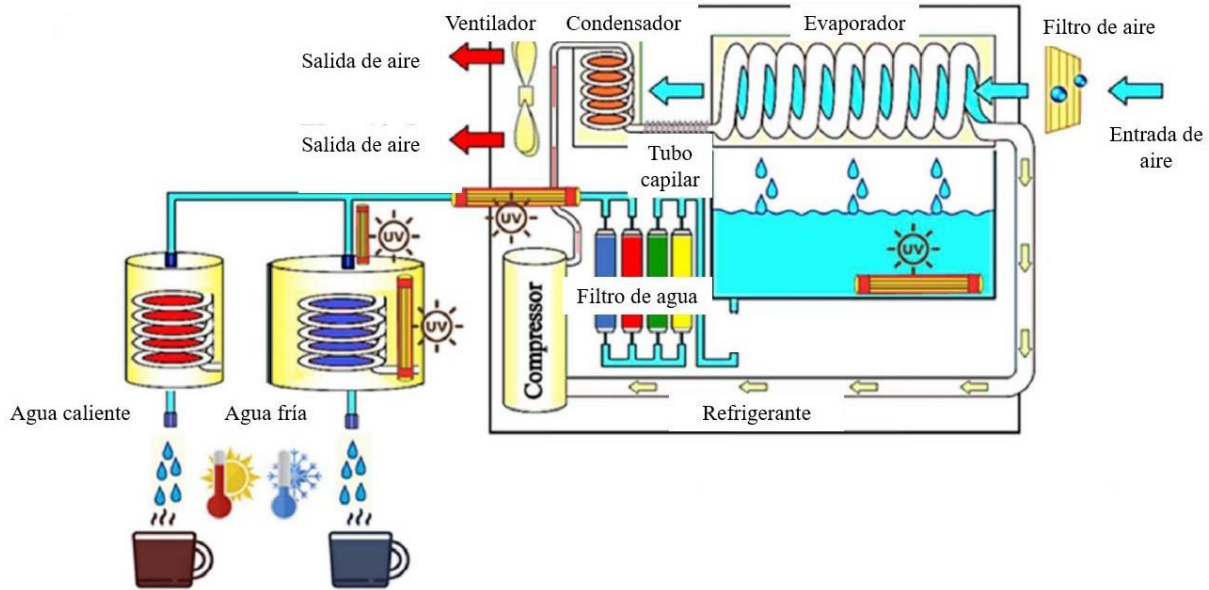
Pero, hay que proteger este sistema para que su correcto funcionamiento no se vea comprometido, para esto se utiliza un filtro de aire.

Filtro de aire: unidad que no permite el paso de materiales sólidos y que ayuda a la descontaminación que se encuentra en a la atmósfera [54].

La Figura 18 ilustra como es el proceso que lleva a cabo el AWG para generar agua potable.

Figura 18.

Elementos que conforman un generador de agua atmosférico.



Nota. Proceso que se debe llevar a cabo para la extracción de agua. Tomado de: A. A. Salehi, M. Ghannadi-Maragheh, M. Torab-Mostaedi, R. Torkaman, and M. Asadollahzadeh, “A review on the water-energy nexus for drinking water production from humid air,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 120, no. March, p. 109627, 2020, doi: 10.1016/j.rser.2019.109627.

Luego de entender cómo se genera agua a partir del aire. Se procede a explicar cómo es el proceso de potabilización de agua.

En primera instancia se encuentran unos elementos esenciales: filtro UV, bomba, filtros de agua y el tanque de almacenamiento.

El **filtro ultravioleta (UV)** permite la desinfección como por ejemplo los germicidas y retención del polvo [55]. Este como se ve en la Figura 18, se encuentra ubicado en el fondo del **tanque de almacenamiento**. A continuación, se sitúa una **bomba** la cual a través de una succión es capaz de generar el movimiento para desplazar el agua hacia los **filtros de agua** [56]. Entre estos filtros se puede distinguir el de carbón activado para eliminar compuestos químicos no deseados.

4.2.3 Sistema de energía

Finalmente se describe el componente que da energía al AWG (ver Figura 19).

Figura 19.

Sistema integrado.



Nota. La Figura muestra el sistema completo. Tomado de: Atmospheric water generator. “Making water from air”. [En línea]. <https://www.first2o.com/portfolio-items/321d-solar-awg/>. [Acceso, mar,5,2021].

Como elemento más destacado, se encuentra el **colector solar** [58], este lo que permite es la captación de la energía solar para transformarla en energía eléctrica por medio de fotoceldas.

Luego de esto se conectan cables eléctricos para transportar la energía hacia un **inversor** el cual es capaz de transformar la corriente continua generada por los colectores en corriente alterna [59].

Es necesaria la implementación de un cuarto de **baterías** para poder almacenar la energía [60] generada durante el día, para poder hacer uso de ella en la noche cuando no se dispone de la radiación solar para la generación de energía. Finalmente, se conectan cables eléctricos desde las baterías hacia el AWG para suministrarle energía y permitirle su correcto funcionamiento.

5. SELECCIÓN Y DISEÑO DE LA ALTERNATIVA MÁS APROPIADA PARA EL GENERADOR DE AGUA ATMOSFÉRICO

5.1 Alternativas del sistema de energización

Previamente, se realizaron los cálculos con uso de un software libre y la selección de los intercambiadores de calor que se encuentran en la siguiente sección para calcular la energía mínima necesaria para el funcionamiento del equipo generador de agua. Se determinó un suministro de energía eléctrica para el compresor equivale a 0,717 kWh, y para los ventiladores del evaporador y condensador es de 0,17 kWh y 0,27 kWh respectivamente, el cual se explicará con más detalle en la sección de 5.2. Alternativas del sistema de condensación. Por lo tanto, la energía que se debe brindar al día será el equivalente a 27,8 kWh para generar los 30 litros de agua.

Con respecto al sistema de energización son varias las alternativas que se tienen contempladas como lo son AutoSolar, Natam, Impomac, Emergente y GreenCol. Los parámetros a los que se les prestó más atención fueron los siguientes: mantenimiento, área, cantidad mínima de horas solares para generar la energía necesaria, precio, origen de fabricante, instalación y mano de obra.

Tabla 4.

Comparación de proveedores.

	AutoSolar	Natam	Impomac	Emergente	GreenCol
Garantía de los equipos (años)	1	x	2	2	2
Garantía de instalación y mano de obra	x	25 años	x	x	x
Panel solar	Panel Solar 450W 24V Monocristalino PERC EcoGreen	450W marca Natam	Panel LUXEN 450W Monocristalino half cell	Panel solar monocristalino 440 ZXM6-440/M ZnshineSolar TRX	Panel Solar 405w - Trina Solar
Cantidad de paneles	16	12	16	16	10
Área de paneles (metros cuadrados)	35	27	35	34	20
Tiempo mínimo para generar la energía necesaria al día (horas)	6	6	6	6	7
Incluye Envío/Instalación	no	Solo Inst	no	no	Solo Inst
Costo Envío/Instalación	\$7.344.581	\$ 3.400.000	\$8.552.312	\$10.811.246	\$4.932.432
Precio	\$36.722.904	\$34.000.000	\$42.761.562	\$54.056.232	\$49.324.317
Precio Total	\$44.067.485	\$37.400.000	\$51.313.874	\$64.867.478	\$54.256.749

Nota. La Tabla muestra las diferentes propuestas de energía.

Como se puede evidenciar en la Tabla 4, hay un aspecto que es primordial a la hora de decantarse por una o por otra empresa. La cantidad de horas sol mínimas a las que van a estar sometidos estos paneles solares debe ser mayor o igual a 6 horas diarias, por lo tanto, GreenCol queda descartadas inmediatamente porque requiere como mínimo 7 horas de brillo solar cada día, una cantidad de tiempo que no está disponible en el municipio de Uribia.

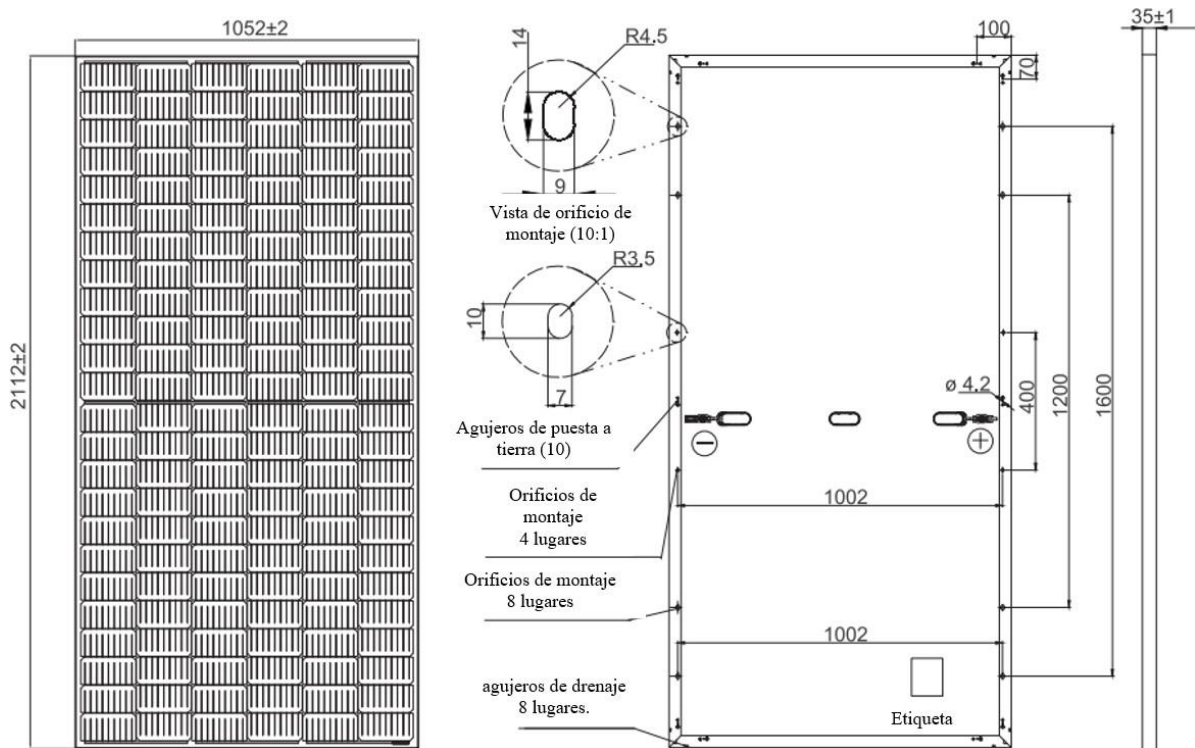
Ahora bien, el siguiente aspecto para tener en cuenta, es la cantidad de colectores solares que ofrece cada empresa. Natam ofrece el menor número de colectores, lo cual es benéfico con respecto al mantenimiento porque es más sencillo hacer el mantenimiento a una cantidad mínima de colectores, también con respecto al área que estos van a ocupar, menor cableado, menor cantidad de estructuras y menor cantidad de otros accesorios.

Se selecciona la propuesta de Natam debido a los parámetros anteriores y a que además es el que cuenta con el menor costo que satisface la energía con un mínimo de 6 horas solares. Por último, pero no menos importante es que esta empresa es nacional, lo cual es muy importante porque estamos comprando los productos que se fabrican en nuestro país. Además, es la única que garantiza mano de obra durante 25 años. Cabe recordar que la vida útil de un panel solar es casi de 30 años [95].

A continuación, se presenta el plano del panel solar escogido (ver Figura 20) y la posible estructura que llevarán estos paneles, se recomienda que sean instalados en un ángulo de 30° y orientado hacia el sur (ver Figura 21).

Figura 20.

Plano del panel solar. Unidades en milímetros.

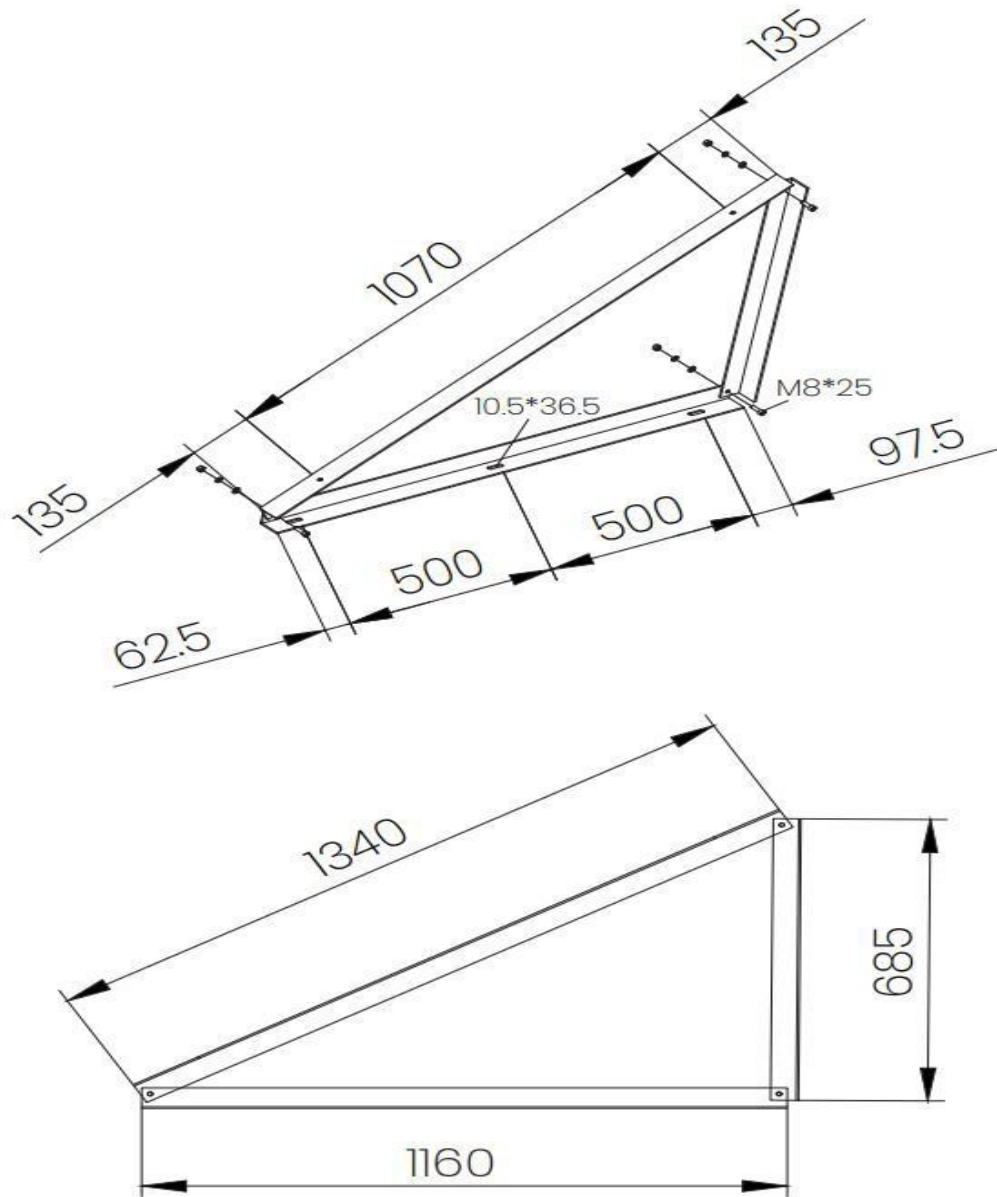


Nota. La Figura presenta el plano. Tomado de: “JaSolar-M72S20-MR440-465W”. [PDF].

Disponible: <https://autosolar.es/pdf/JaSolar-M72S20-MR440-465W.pdf>

Figura 21.

Estructura del panel.



Nota. La Figura muestra la estructura del panel solar. Tomado de: AutoSolar. (s.f.). “ficha tecnica.”. [En línea]. <https://autosolar.es/pdf/datasheet-estructura-inclinada-falcat-tri-bracket.pdf> [Acceso: abr,15,2022]

5.2 Alternativas del sistema de condensación

El sistema de condensación es el sistema fundamental del proyecto. Gracias a este sistema se puede extraer el agua que se encuentra en el aire, además, representa un gran reto a la hora de realizar los cálculos pertinentes para la selección de los equipos.

Todo empieza con la cantidad de agua a condensar (30 litros), se plantean unas condiciones estacionarias, se fija una temperatura límite en el evaporador de 0°C (la cual es la temperatura mínima a la que se puede llevar el agua para que no se congele y por ende afecte el rendimiento del generador atmosférico, además, esto también se hace para aumentar la capacidad de generación de agua, dado que a mayor diferencia de temperatura mayor condensación de agua), se toman unas condiciones mínimas de funcionamiento de temperatura y de humedad relativa 26°C y 65% respectivamente, para garantizar como mínimo los 30 litros de agua por día.

Seguido a esto se procede a determinar la primera variable del sistema que es el punto de rocío (ver Ecuación 1). Este se determina por medio de la siguiente relación [69]:

Ecuación 1. *Temperatura de punto de rocío*

$$T_{dp} = \frac{243,04 * [\ln(\frac{RH}{100}) + \frac{17,625 * T_a}{243,04 + T_a}]}{17,625 - \ln(\frac{RH}{100}) - \frac{17,625 * T_a}{243,04 + T_a}}$$

Donde,

T_{dp} Temperatura de punto de rocío [°C]

RH Humedad relativa

T_a Temperatura ambiente en grados Celsius

$$T_{dp} = 18,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

La importancia del punto de rocío es poder determinar la temperatura a la cual se empieza a condensar el agua. Con respecto al municipio elegido en La Guajira, y utilizando la relación anterior para calcular la temperatura del punto de rocío con su respectiva temperatura y humedad relativa antes mencionada, por lo tanto, la temperatura respectiva es de 18,9°C. Pero, para garantizar siempre la condensación se va a diseñar con una temperatura de 18°C.

$$T_{dp} = 18^{\circ}C$$

Potencia frigorífica que es capaz de generar la cámara frigorífica. La importancia de este parámetro es que se necesita como un dato de entrada para los datos iniciales que necesita el Software para poder seleccionar el compresor más adecuado. Esta potencia frigorífica (ver Ecuación 2) que es la que debe absorber el evaporador, se calcula mediante la siguiente relación [96]:

Ecuación 2. *Carga frigorífica*

$$Q_{eva} = \dot{m}_{air} * [(h_1 - h_2) - h_f * (w_1 - w_2)]$$

Donde,

- Q_{eva} Potencia del evaporador [kW]
- \dot{m}_{air} Flujo masico de aire [kg/s]
- h_1 Entalpia de entrada del aire [kJ/kg]
- h_2 Entalpia de salida del aire [kJ/kg]
- h_f Entalpia del punto de rocío [kJ/kg]
- w_1 Humedad específica a la entrada [kg/kg]
- w_2 Humedad especifica a la salida [kg/kg]

Para poder hacer lectura de las respectivas humedades específicas, se hace uso de la carta psicrométrica del aire. A continuación, se explica la forma de calcular la humedad específica w_1 y la entalpia h_1 a la entrada en el evaporador:

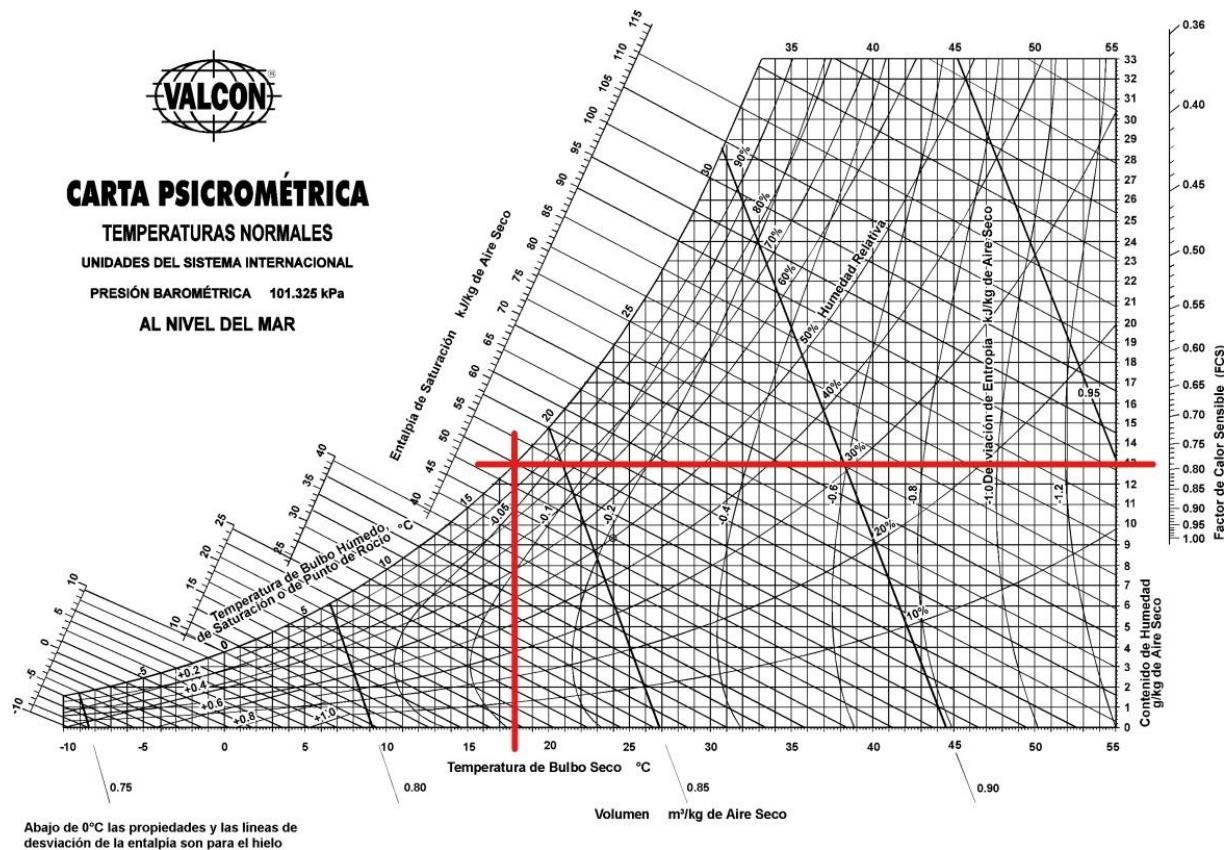
Se toma como referencia la temperatura del punto rocío (18°C) y su humedad relativa del 100% debido a que está completamente saturada y con estos dos datos ya se puede leer la humedad específica expresada en gramos de agua sobre kilogramo de aire e inmediatamente su respectiva entalpía en kilo Joules sobre kilogramos (ver Figura 20):

$$w_1 = 0,013 \frac{kg}{kg}$$

$$h_1 = 51 \frac{kJ}{kg}$$

Figura 22.

Carta Psicrométrica.



Nota. La Figura presenta la carta psicrométrica. Tomado de: “Psicometría”, [PDF] Disponible: <https://avdiaz.files.wordpress.com/2009/01/i-unidad3.pdf> Acceso: oct,5,2021.

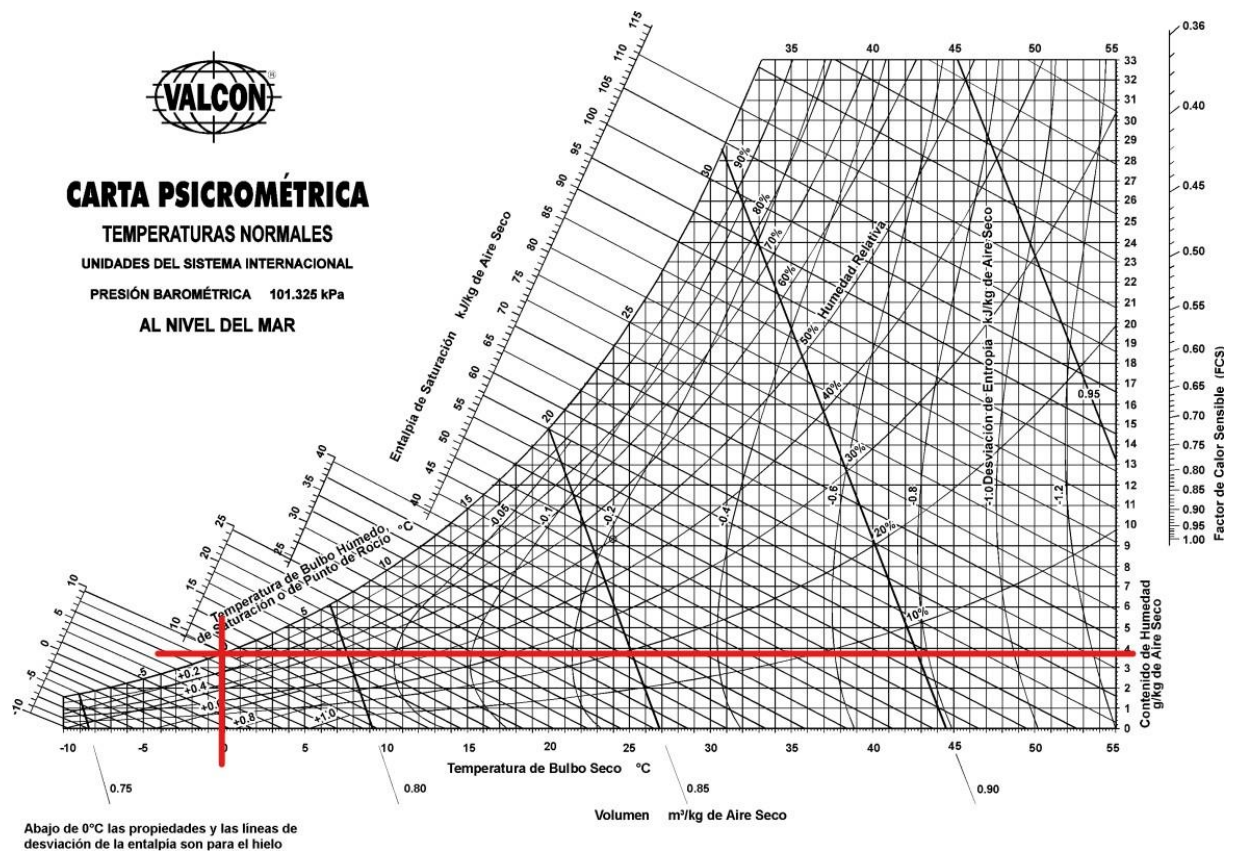
Seguido a esto, se procede a calcular los parámetros anteriores respectivos a la salida del evaporador. Para esto, se lee con la temperatura de bulbo húmedo a 0°C, para poder calcular la humedad específica y la entalpía (ver figura 21):

$$w_2 = 0,0036 \frac{kg}{kg}$$

$$h_2 = 9,25 \frac{kJ}{kg}$$

Figura 23.

Carta Psicrométrica.



Nota. La Figura presenta la carta psicrométrica. Tomado de: “Psicometría”, [PDF] Disponible: <https://avdiaz.files.wordpress.com/2009/01/i-unidad3.pdf> Acceso: oct,5,2021.

Ahora se necesita determinar el flujo masico del aire (ver Ecuación 3), para esto se cuenta con la siguiente relación [96]:

Ecuación 3. *Flujo másico de agua*

$$\dot{m}_{agua} = \dot{m}_{air} * (w_1 - w_2)$$

Despejando el flujo masico del aire de la ecuación 3:

$$\dot{m}_{air} = \frac{\dot{m}_{agua}}{w_1 - w_2}$$

Para determinar el flujo masico el agua necesitamos el volumen, la densidad y el tiempo. El volumen se expresa en metros cúbicos y el tiempo que es equivalente a un día se expresa en segundos:

$$V_{agua} = 0,03m^3$$

$$\rho_{agua} = 999,7 \frac{kg}{m^3}$$

$$t = 86.400s$$

Su respectivo flujo volumétrico se muestra a continuación:

$$\dot{V}_{agua} = 3,47 * 10^{-7} \frac{m^3}{s}$$

Recordando la definición de densidad (ver Ecuación 4) [98]:

Ecuación 4. Densidad

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

Despejando el flujo masico:

$$m_{agua} = 3,47 * 10^{-4} \frac{kg}{s}$$

Finalmente, se obtiene:

$$m_{air} = 0,03691 \frac{kg}{s}$$

Para determinar la entalpia del agua saturada, que es la correspondiente a la temperatura del punto de rocío, se lee de las tablas de propiedades del agua saturada (ver Tabla 5). Así que la entalpia del líquido saturado luego de hacer su respectiva interpolación es:

$$h_f = 75,5418 \frac{kJ}{kg}$$

Tabla 5.*Propiedades del agua saturada.*

TABLA A-4												
Agua saturada. Tabla de temperaturas												
Temp., <i>T</i> °C	Pres. sat., <i>P</i> _{sat} kPa	Volumen específico, m ³ /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Líquido sat., <i>v</i> _f	Vapor sat., <i>v</i> _g	Líquido sat., <i>u</i> _f	Evaporación sat., <i>u</i> _{fg}	Vapor sat., <i>u</i> _g	Líquido sat., <i>h</i> _f	Evaporación sat., <i>h</i> _{fg}	Vapor sat., <i>h</i> _g	Líquido sat., <i>s</i> _f	Evaporación sat., <i>s</i> _{fg}	Vapor sat., <i>s</i> _g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661

Nota. La Tabla muestra las propiedades del agua. Tomado de: Y. Cengel, M. Boles. (2009). Termodinámica. (Sexta edición). Disponible: (PDF) Termodinámica, 6ta Edición - Yunus A. Çengel y Michael A. Boles-FREELIBROS.ORG.pdf | ALISSON ANDREA RODRIGUEZ RODRIGUEZ - Academia.edu

Luego de obtener todas las variables anteriores se procede a determinar la potencia frigorífica del sistema:

$$Q_{eva} = 1,51kW$$

No es necesario medir a la perfección los valores de las variables anteriores, ya que se hará uso de un software con el cual se seleccionará una carga mayor para garantizar siempre la cantidad mínima de agua a condensar.

Ahora se procede a revisar cuales son las alternativas más viables para la configuración del sistema:

5.2.1 Refrigerante

Este componente del sistema es uno de los que más aspectos involucra a la hora de decantarse por uno o por otro, a diferencia de otros componentes. Dichos aspectos son: toxicidad e inflamabilidad, uso en la industria, temperaturas de operación, temperatura crítica y presiones de operación.

Toxicidad e inflamabilidad: el refrigerante 134a tiene una gran estabilidad térmica y química, también cuenta con una baja toxicidad y no es inflamable [76].

Uso en la industria: el R134a es el más usado en la industria y es un refrigerante verde, esto quiere decir que su potencia de calentamiento es baja, [75]. Otra ventaja es que no daña la capa de ozono [76].

Temperaturas de operación: la temperatura de condensación se va a reducir al máximo, ya que es directamente proporcional a la presión máxima a la que se va a someter el compresor. Esto quiere decir que la temperatura será ligeramente superior a la temperatura máxima registrada en la Alta Guajira. Esta es equivalente a 34°C [73].

Temperatura crítica: como en este sistema el condensador es enfriado por aire, es conveniente que el refrigerante tenga una temperatura por encima de los 55 °C. En el caso del R-134a su temperatura crítica es superior a los 100 °C c

Temperatura de congelación: esta debe ser inferior en comparación con la temperatura del evaporador. Esto se hace con el fin de que no se congele el refrigerante en el sistema. Para el R-134a su respectiva temperatura es inferior a los -100 °C [72].

Presiones de operación: la presión más baja del sistema se presenta en el evaporador y es importante que esta presión no sea inferior a la presión atmosférica para que no se presenten filtraciones dentro del sistema. El refrigerante R-134a es uno de los que cumple con estos parámetros y además trabaja a presión ligeramente superior a la atmosférica, esto representa una

ventaja respecto de los demás refrigerantes, dado que el compresor no tiene que ser tan robusto para poder realizar la compresión.

La presión más alta se encuentra en el condensador, es ideal que esta presión no sea demasiado alta para no forzar el compresor a que realice un gran trabajo, ya que esto representaría un problema porque el consumo de energía sería mayor.

Por dichas razones anteriores se selecciona el refrigerante R-134a debido a que es el más usado en la industria y porque es el más compatible con todos los elementos de una cámara frigorífica.

Con respecto a la carga de refrigerante, éste debe ser analizado por el personal especializado para que defina la cantidad que requiere el sistema. Esto será de gran importancia pues determina el flujo masico del refrigerante el cual se obtiene a partir del software Bitzer y Coolselector, como se describe en la sección 5.2.2.

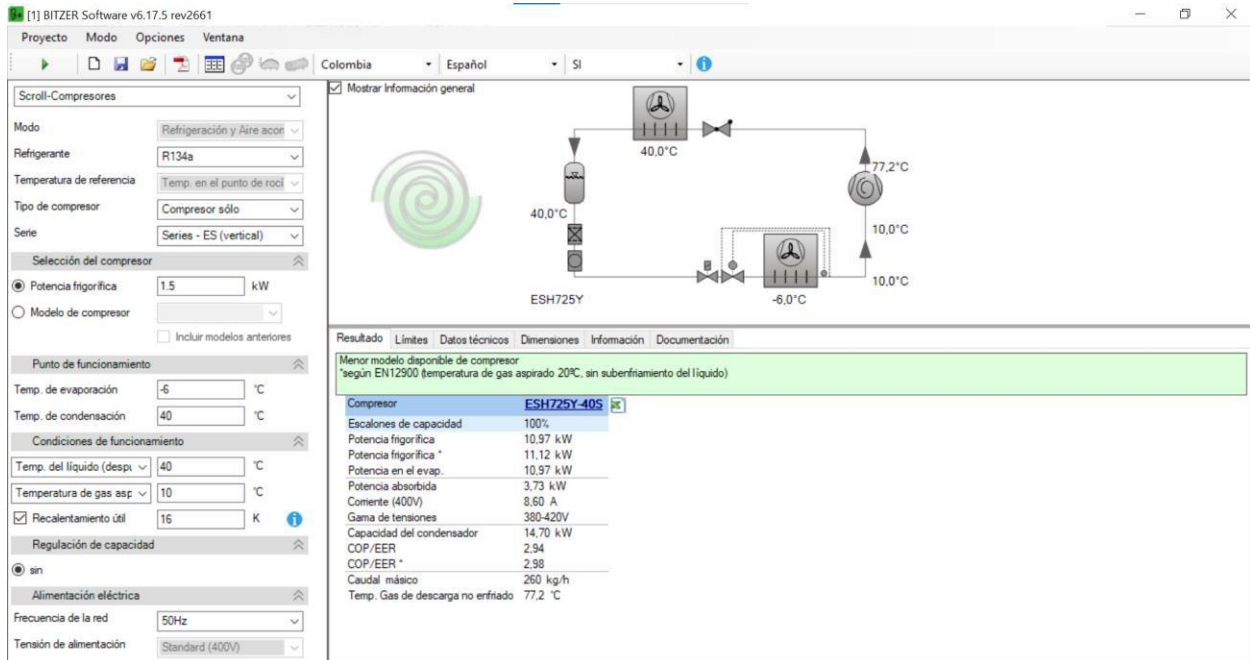
5.2.2 Compresor

Los compresores más utilizados para este tipo de sistemas son Scroll, Pistones y Alternativo. Los datos iniciales con los que se calcularon este tipo de compresores son: refrigerante (R-134a), potencia frigorífica (1.510 W), temperatura de condensación (40 °C), temperatura de evaporación (-6 °C), y temperatura del gas aspirado (10 °C). Estas dos últimas temperaturas equivalen al recalentamiento que se da en el evaporador siendo equivalente a 16 °C.

Scroll: con respecto a los compresores de tipo Scroll, estos presentan un costo bastante alto y cuentan con un consumo muy alto de energía, lo cual no es beneficioso para el generador de agua atmosférico. El software BITZER es libre y se puede descargar de: <https://www.bitzer.de/gb/en/tools-archive/software/software/software-versions.jsp>.

Figura 24.

Simulación BITZER (Scroll).



Nota: La Figura muestra la simulación. Tomado de: BITZER, v6.17.5, Rottenburg-Ergenzingen, Alemania. (s.f.).

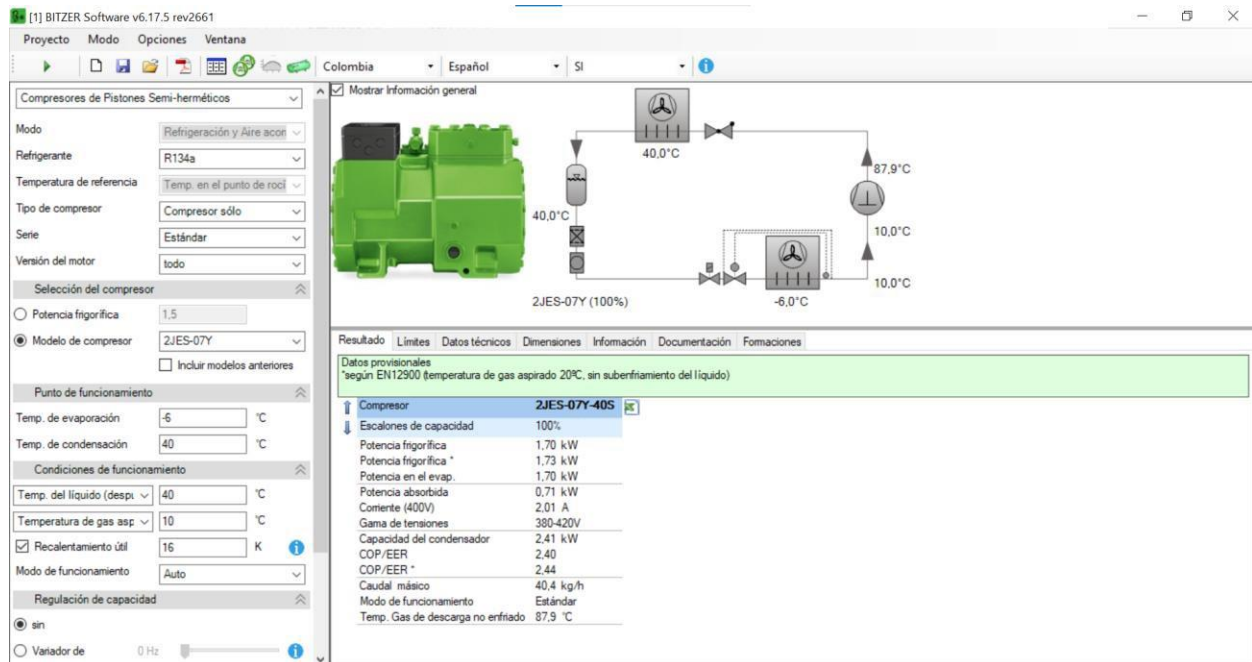
Como se puede ver en la Figura 24, el único compresor que recomienda el software BITZER, tiene una potencia de consumo de casi 4kW y permite que el sistema pueda generar carga frigorífica superior a 10kW, esto quiere decir que el evaporador será capaz de extraer calor del ambiente por un valor equivalente a más de 10kW. Esto representa una suma que es desproporcionada, porque solamente se requieren 1,5kW de carga térmica o de potencia asociada al intercambiador de calor de baja presión. Por esta razón y otras más, también se descarta esta opción.

Pistón: este tipo de compresores cuentan con una baja eficiencia, sus costos de producción son elevados.

A continuación, se presenta un adelanto para definir si es beneficioso o no la selección de un compresor de pistón teniendo en cuenta las variables anteriores:

Figura 25.

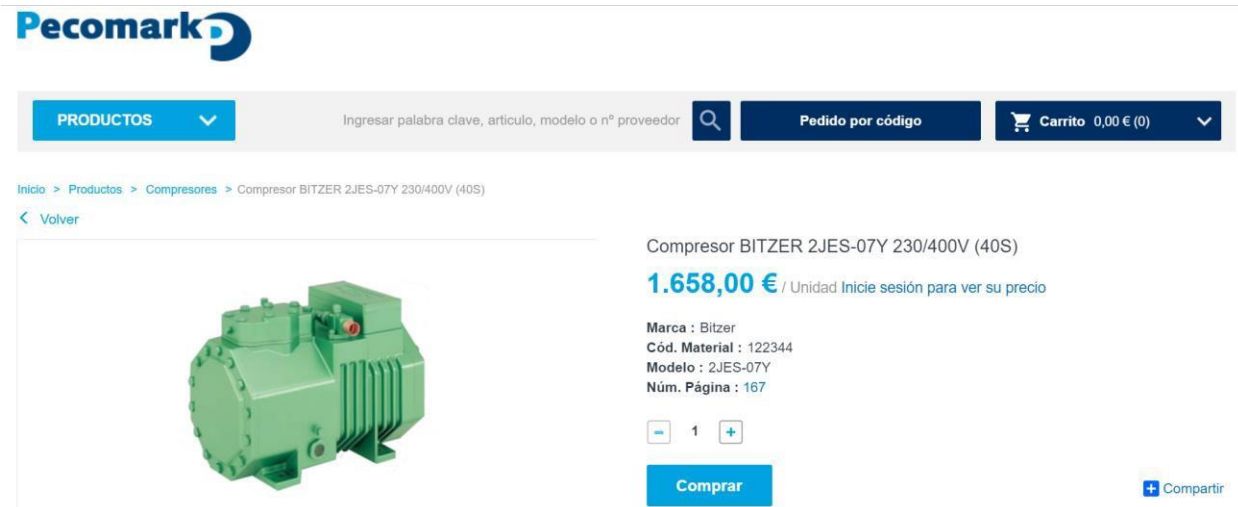
Simulación BITZER (Pistón).



Nota: La Figura muestra la simulación. Tomado de: BITZER, v6.17.5, Rottenburg-Ergenzingen, Alemania. (s.f.).

La Figura 25 ilustra el compresor que debe ser utilizado para satisfacer la carga frigorífica de 1.5kW. Ahora bien, su precio en el mercado es el siguiente (ver Figura 26):

Figura 26.
Compresor de Pistón.



Pecomark

PRODUCTOS

Ingresar palabra clave, artículo, modelo o nº proveedor

Pedido por código

Carrito 0,00 € (0)

Inicio > Productos > Compresores > Compresor BITZER 2JES-07Y 230/400V (40S)

< Volver

Compresor BITZER 2JES-07Y 230/400V (40S)

1.658,00 € / Unidad Inicie sesión para ver su precio

Marca : Bitzer
Cód. Material : 122344
Modelo : 2JES-07Y
Núm. Página : 167

- 1 +

Comprar

+ Compartir

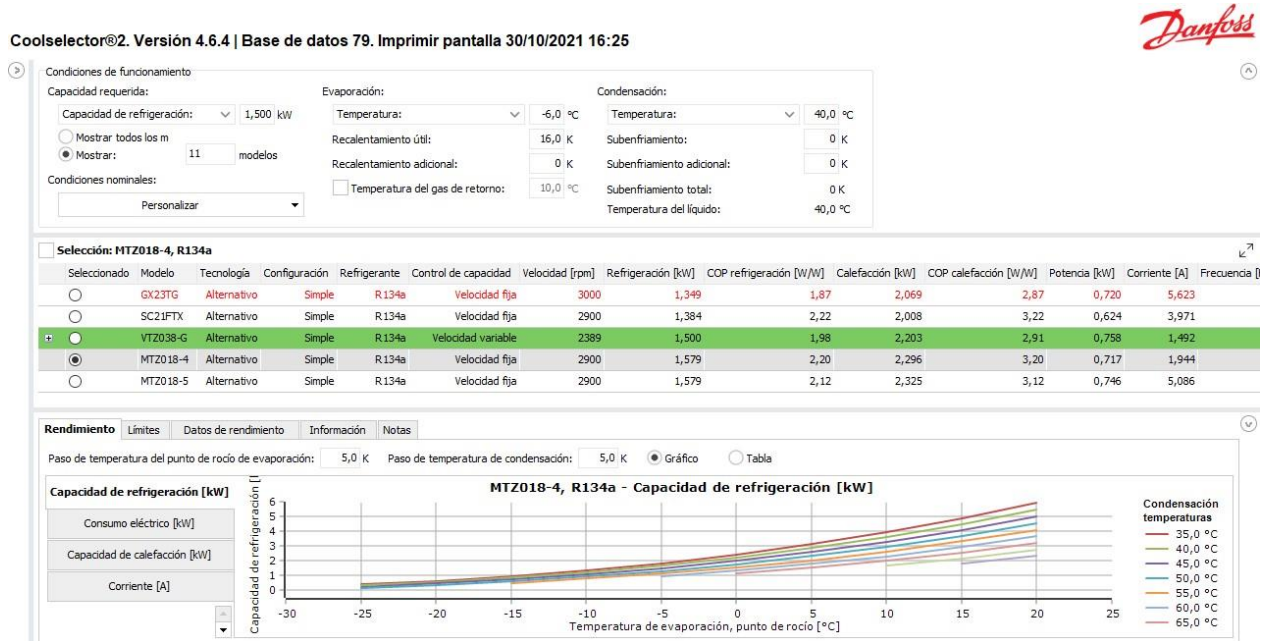
Nota. La Figura muestra la selección del compresor. Tomado de: Pecomark. (s.f.). “Compresor BITZER 2JES-07Y 230/400V (40S)”. [En línea]. <https://www.pecomark.com/es/c/p/122344> [Acceso: mar,5,2021]

Una de las principales razones por las que se descarta este compresor es por su precio es extremadamente alto frente al compresor alternativo que se presentará más adelante.

Alternativo: estos son los compresores más utilizados tanto en deshumidificadores como en generadores de agua atmosféricos, debido a que cuentan con una mayor flexibilidad en capacidad de flujo y rango de presiones, su eficiencia es más alta, y su costo potencia es más bajo [80]. El software Coolselector2 es libre y se puede descargar de: <https://www.danfoss.com/en/service-and-support/downloads/dcs/coolselector-2/>.

Figura 27.

Simulación Danfoss.



Nota. La Figura muestra la simulación. Tomado de: Coolselector2, 4.6.4.599, Danfoss A/S. (s.f.).

En la Figura 27, se muestran varias alternativas para la selección del compresor recíprocante, el modelo **MTZ018-4** es el más destacado entre los demás, porque satisface la carga frigorífica calculada previamente, su consumo no es tan alto y además el flujo masico en el evaporador equivale a 35,56 kg/h. Se recuerda que sus parámetros iniciales son: refrigerante (R-134a), capacidad de refrigeración (1510W), temperatura de evaporación (-6°C), recalentamiento útil (16K) y temperatura de condensación (40°C).

Figura 28.

Selección de compresor.



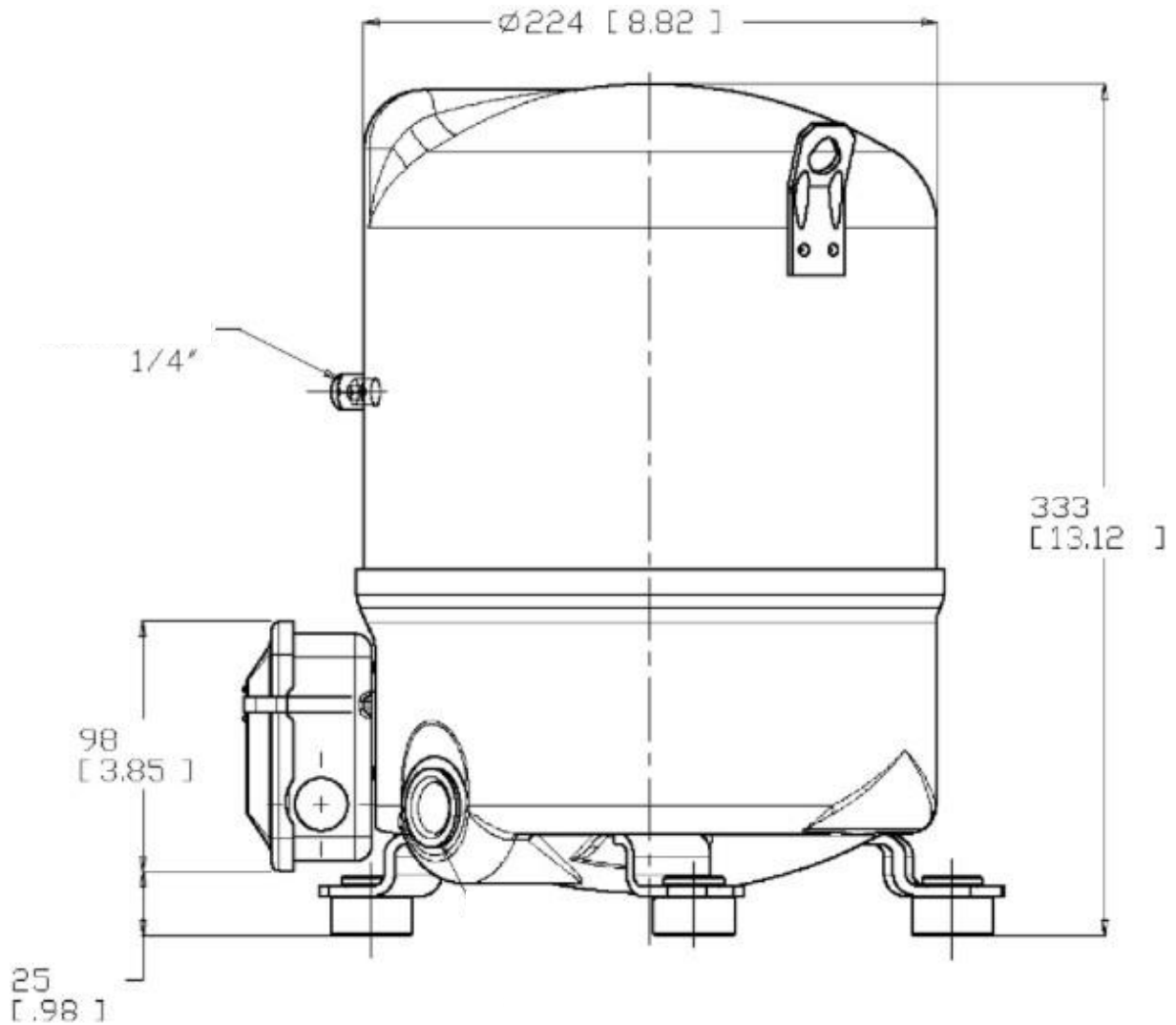
Nota. La Figura muestra la selección del compresor. Tomado de: CANTAS, (s.f.). “Danfoss MTZ 018 - 4VI”, [En línea]. <https://www.cantas.com/urun/danfoss-mtz-018-4vi/> [Acceso: Acceso: mar,5,2021].

En la Figura 28 se muestra el compresor escogido para el sistema del generador atmosférico de agua.

A continuación, se muestran los planos del compresor seleccionado, como lo son el plano de vista frontal (ver Figura 29), vista lateral (ver Figura 30) y vista superior (ver Figura 31).

Figura 29.

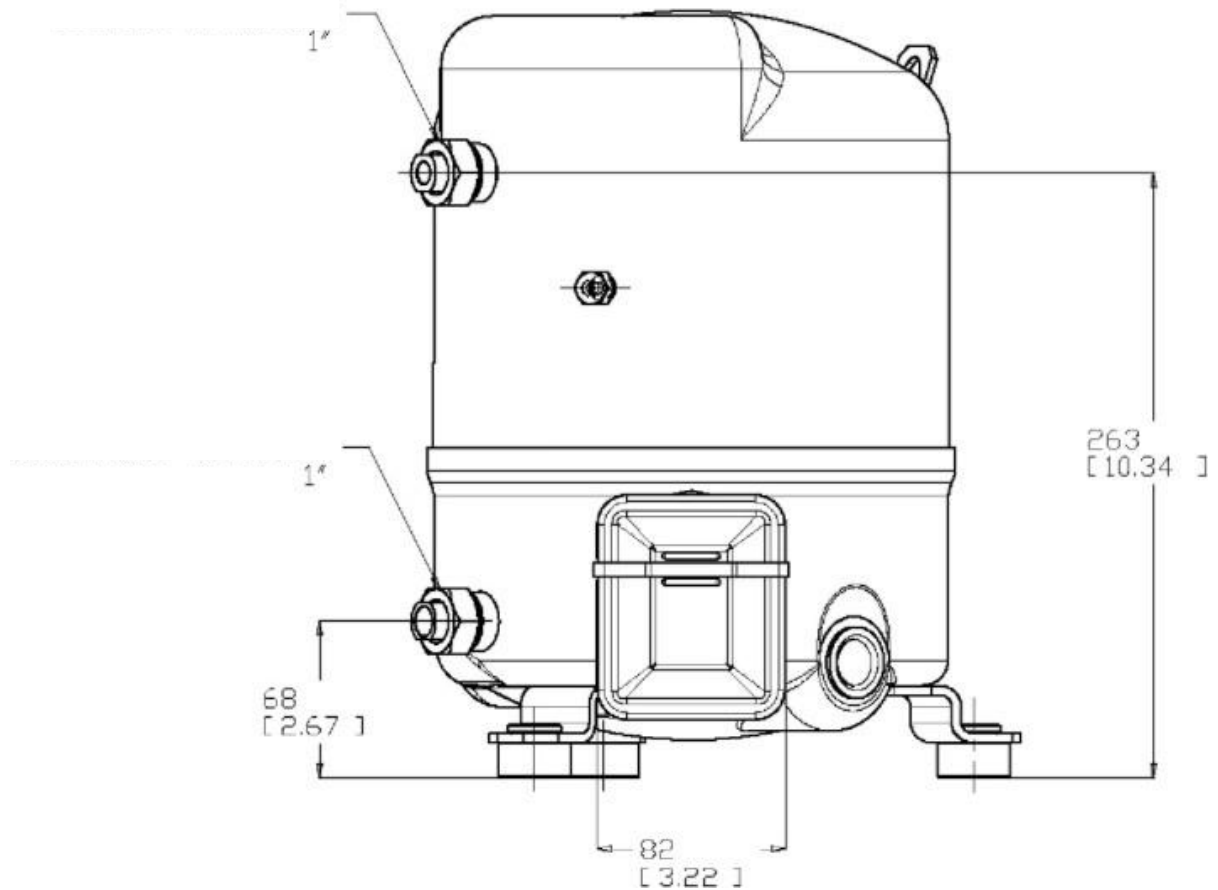
Plano del compresor (vista frontal). Unidades en milímetros.



Nota. La Figura muestra el plano y sus medidas en milímetros. Tomado de: Frigopack. (s.f).
“Compresor hermético Maneurop Danfoss MTZ 18 JA 4 VE de 1 1/2CV 380V”. [En línea].
<https://www.frigopack.com/Articulo~x~Compresor-hermetico-maneurop-danfoss-mtz-18-ja-4-ve-de-1-1-2cv-380v~IDArticulo~38044.html> [Acceso: oct,10,2021]

Figura 30.

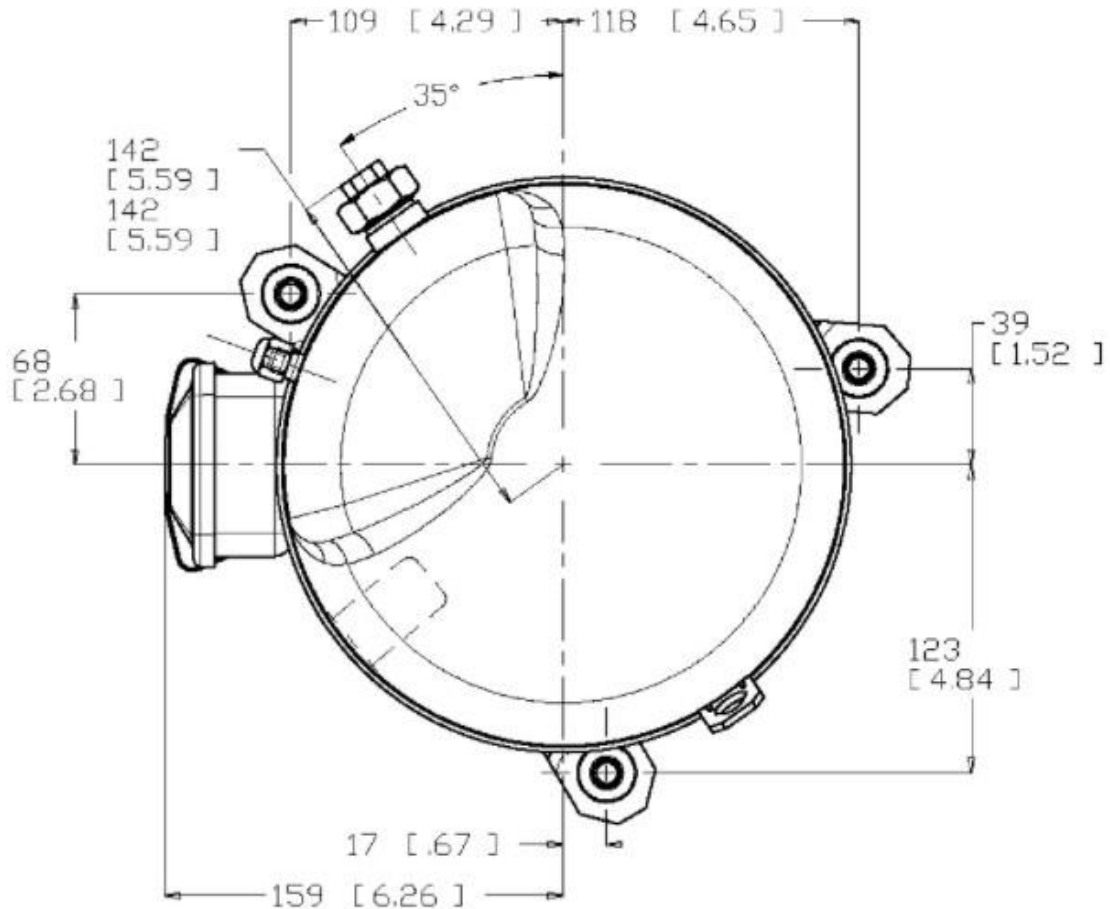
Plano del compresor (vista lateral). Unidades en milímetros.



Nota. La Figura muestra el plano y sus medidas en milímetros. Tomado de: Frigopack. (s.f).
“Compresor hermético Maneurop Danfoss MTZ 18 JA 4 VE de 1 1/2CV 380V”. [En línea].
<https://www.frigopack.com/Articulo~x~Compresor-hermetico-maneurop-danfoss-mtz-18-ja-4-ve-de-1-1-2cv-380v~IDArticulo~38044.html> [Acceso: oct,10,2021]

Figura 31.

Plano del compresor (vista superior). Unidades en milímetros.



Nota. La Figura muestra el plano y sus medidas en milímetros. Tomado de: Frigopack. (s.f). “Compresor hermético Maneurop Danfoss MTZ 18 JA 4 VE de 1 1/2CV 380V”. [En línea]. <https://www.frigopack.com/Articulo~x~Compresor-hermetico-maneurop-danfoss-mtz-18-ja-4-ve-de-1-1-2cv-380v~IDArticulo~38044.html> [Acceso: oct,10,2021]

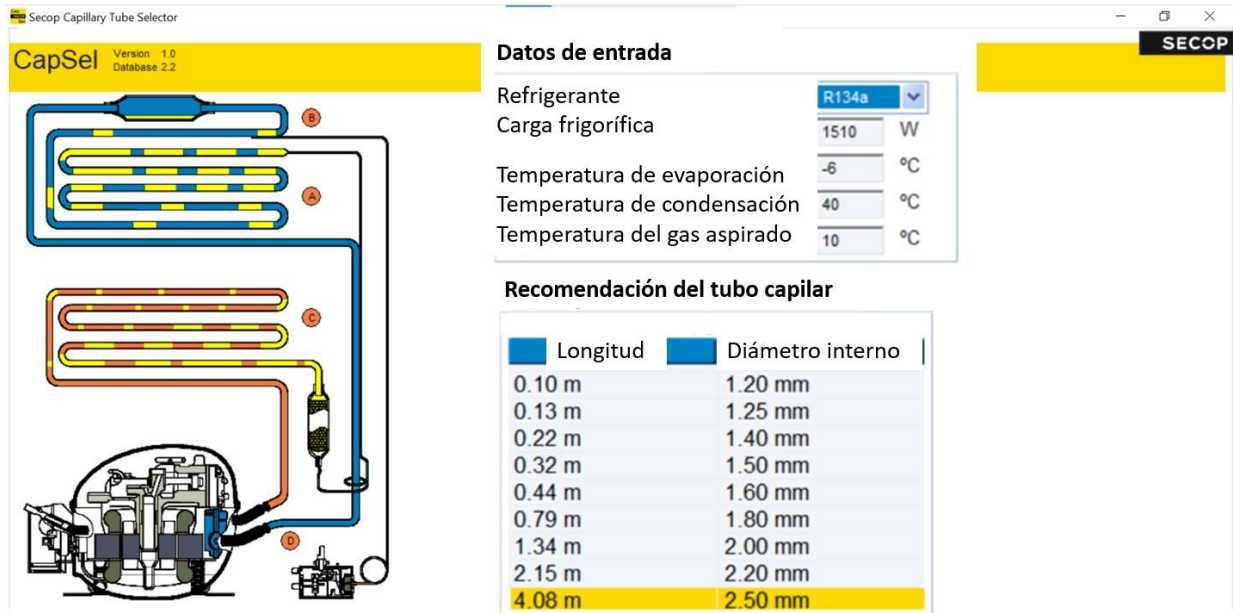
5.2.3 Dispositivo de Expansión

Existen dos diferentes dispositivos candidatos para la implementación en este proyecto uno de ellos es la válvula de expansión y el otro es el tubo capilar. Lo que lleva a decantarse por el tubo capilar es su bajo costo de producción, no requiere mantenimiento, cuando se detiene la unidad este permite el equilibrio de presiones reduciendo así el torque necesario para el arranque del motor

y es ideal para compresores herméticos, como el seleccionado previamente [82]. El software CapSel es libre y se puede descargar de: <https://www.secop.com/solutions/compressor-qa-tools/capillary-tube-selection>.

Figura 32.

Simulación de software.



Nota. La Figura muestra la simulación. Tomado de: Secop Capillary Tube Selector. 1.0. Capcel. (s.f.).

El software recomienda tu tubo capilar con los parámetros resaltados en amarillo (ver Figura 32). Los datos iniciales que introducimos fueron el R-134a, la potencia frigorífica (1.510W), la temperatura en el evaporador (-6°C), en el condensador (40°C) y por último la temperatura a la entrada del compresor (10°C). A continuación, se presenta la selección del tubo capilar (ver Figura 33).

Figura 33.

Selección del tubo capilar.



Nota. La Figura muestra la selección de tubo capilar. Tomado de: Amazon. (s.f.). “Tubos de refrigeración uxcell 0.098 in OD x 0.059 in ID x 24,5 pies de longitud de cobre bobina de tubo”. [En línea]. https://www.amazon.com/-/es/refrigeraci%C3%B3n-uxcell-0-071-0-031-longitud/dp/B08NJ1NBKN/ref=sr_1_4?dchild=1&keywords=copper%2Bcapillary%2Btube&qid=1634445844&sr=8-4&th=1 [Acceso: oct,5,2021].

Este tubo capilar no viene fabricado exactamente y por lo tanto se debe cortar.

5.2.4 Evaporador

La relación con el refrigerante es un tema para tener en cuenta, debido a que la temperatura cuando el sistema se encuentra en operación no es la misma, se estima que el refrigerante esté 6°C más frío que la superficie del evaporador [72].

Otro aspecto para tener en cuenta es que este dispositivo debe ser de cobre, dado a que es el material más utilizado en este tipo de aplicaciones, además de ser compatible con el refrigerante y con el agua para consumo [74].

El recalentamiento está pensado para que se pueda condensar la mayor cantidad de agua posible y para este caso corresponde a 16 °C. Esto quiere decir que el refrigerante va a ingresar al evaporador a -6 °C y saldrá a 10 °C, dado que la temperatura mínima en los serpentines del evaporador será de 0°C para evitar la congelación del agua y la máxima será de 16°C para garantizar siempre la condensación de agua que estará por debajo de la temperatura del punto de rocío, cabe recordar que las pérdidas de energía que hay en el sistema equivalen a aproximadamente 2.722 calorías.

Se determino dicho recalentamiento para garantizar el estado gaseoso del refrigerante a la entrada del compresor.

El evaporador debe contar con la potencia requerida que el sistema necesita absorber.

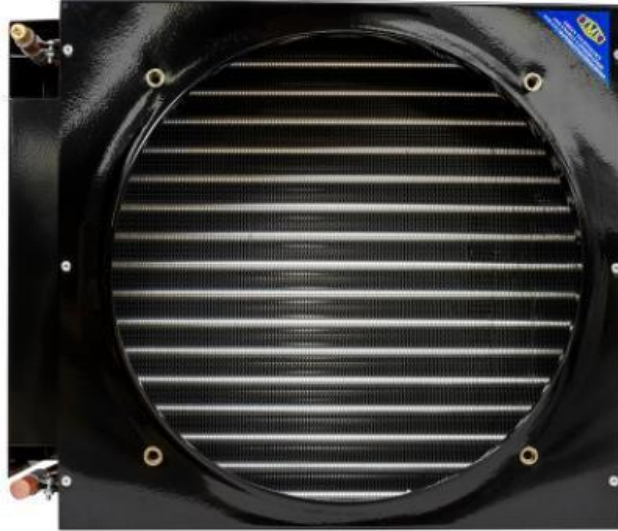
$$Q_{eva} = 1,51kW$$

$$Q_{eva} = 2,03HP$$

Se selecciona el evaporador de 2,5HP, para garantizar la capacidad que debe satisfacer (ver Figura 34).

Figura 34.

Selección del evaporador.

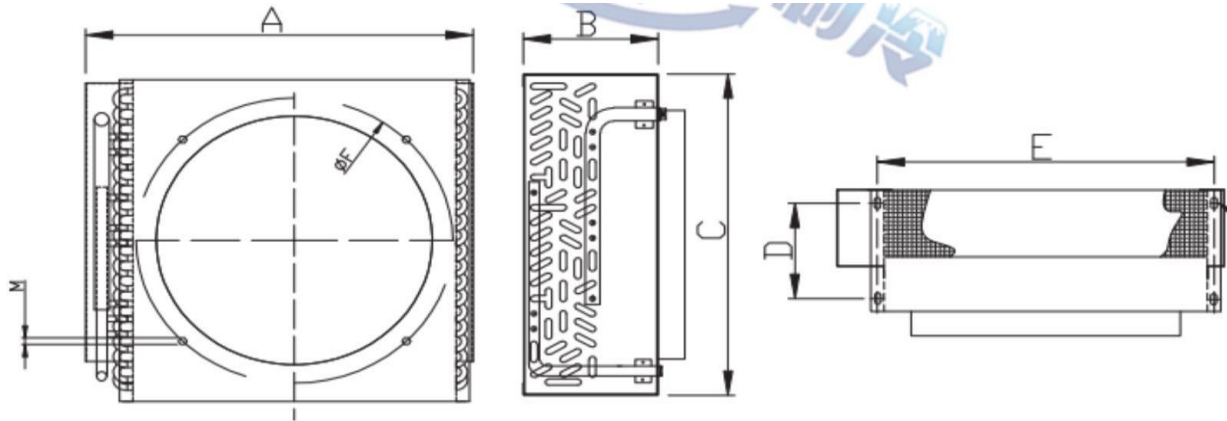


Nota. La Figura muestra la selección del evaporador. Tomado de: Alibaba. (s.f). “2HP 2.5 HP Copper Coil Air Cooled Condenser Condensing Unit Evaporator”. [En línea]. https://gzzhigao.en.alibaba.com/product/50039923402-817562544/2HP_2_5_HP_Copper_Coil_Air_Cooled_Condenser_Condensing_Unit_Evaporator.html [Acceso: oct,5,2021]

Este evaporador (ver Figura 35) cuenta con un ventilador, el cual tiene un consumo de 170W [86].

Figura 35.

Plano del evaporador. Unidades en milímetros.



Nota. La Figura muestra el plano del evaporador. Tomado de: 360 Zhileng. (s.f.). “West Macco”. [En línea]. <https://m.360zhileng.com/item/14267.html?u=0> [Acceso: oct,12,2021]

En la Tabla 6 se muestran los parámetros dimensionales del evaporador.

Tabla 6.

Parámetros dimensionales del evaporador.

Modelo	Especificaciones	A	B	C	D	E	F	M	Especificaciones	
FNF-1.8/9.8	1.5HP小	430	170	335	120	375	360	M6	φ15	φ15
FNF-2.5/11.3	1.5HP大	485	150	420	100	430	422	M8	φ15	φ15
FNF-2.8/13	2HP	505	170	420	120	430	422	M8	φ15	φ15
FNF-4.4/15	2.5HP	520	170	470	120	445	422	M8	φ15	φ15
FNF-5.5/18	3HP小	580	190	530	150	500	470	M8	φ19	φ19
FNF-6.0/22	3HP大单风	575	200	530	160	500	470	M8	φ22	φ15
FNF-8.8/28	4HP单风	780	215	580	175	700	470	M8	φ22	φ15
FNF-10/42	5HP单风	780	220	680	180	700	570	M8	φ22	φ15
FNF-12.9/49	6HP单风	810	220	730	180	730	570	M8	φ22	φ15

Nota. La Tabla muestra los parámetros dimensionales del evaporador. Tomado de: 360 Zhileng. (s.f.). “West Macco”. [En línea]. <https://m.360zhileng.com/item/14267.html?u=0> [Acceso: oct,12,2021]

En la Tabla 7 se muestran los parámetros principales del evaporador, en el cual la potencia del ventilador es de 170W.

Tabla 7.

Parámetros principales del evaporador.

Modelo	Especificaciones	Capacidad nominal T=6°C W(Kcal/h)	Área de transferencia		Diámetro ventilador (mm)	Ventilador		
			area(m ²)	数量 Quantity(台set)		Volumen de aire (m ³ /h)	Potencia W	Voltaje W
FNF-1.8/9.8	1.5HP小	1800	9.8	1	φ300	1460	115	220
FNF-2.5/11.3	1.5HP大	2500	11.3	1	φ350	2860	170	220
FNF-2.8/13	2HP	2800	13	1	φ350	2860	170	380
FNF-4.4/15	2.5HP	4400	15	1	φ350	2860	170	380
FNF-5.5/18	3HP小	5500	18	1	φ400	4150	270	380
FNF-6.0/22	3HP大单风	6000	22	1	φ400	4150	270	380
FNF-8.8/28	4HP单风	8800	28	1	φ400	4150	270	380
FNF-10/42	5HP单风	10000	42	1	φ500	6800	500	380
FNF-12.9/49	6HP单风	12900	49	1	φ500	6800	500	380

Nota. La Tabla muestra los parámetros principales del evaporador. Tomado de: 360 Zhileng. (s.f.). “West Macco”. [En línea]. <https://m.360zhileng.com/item/14267.html?u=0> [Acceso: oct,12,2021]

La solución que se brinda para que el agua que entre en contacto con el motor del ventilador del evaporador no caiga al tanque de almacenamiento, es colocar el tanque no precisamente debajo del evaporador, sino por el contrario moverlo unos centímetros para que no quede debajo del ventilador y así esa agua contaminada sea desechada para que no sea consumida, para ello se colocara una otro tanque para almacenar la posible agua que entre en contacto con estos elementos. A demás de contar con la ventaja de que si el agua llega a estar en contacto con el ventilador es gracias a que la fuerza del aire la ha desplazado hacia dicho lugar y esa distancia es la que nos garantiza que al agua no caiga dentro del tanque.

5.2.5 Condensador

La temperatura mínima del refrigerante en el condensador será de 40 °C, esto con el fin de que garantizar siempre una transferencia de calor hacia el medio ambiente y en consecuencia obtener la presión mínima a la que puede operar este condensador.

Este equipo debe contar con una potencia mínima equivalente a la suma del evaporador y el compresor (ver Ecuación 5) [71]:

Ecuación 5. *Potencia del condensador*

$$Q_{cond} = Q_{eva} + Q_{comp}$$

Donde:

Q_{cond} Potencia del condensador [kW]

Q_{comp} Potencia del compresor [kW]

Reemplazando:

$$Q_{cond} = 1,51kW + 0,717kW$$

Se obtiene:

$$Q_{cond} = 2,23kW$$

Se selecciona el condensador de 4HP, para garantizar la capacidad que debe satisfacer (ver Figura 36).

Figura 36.

Selección del condensador.

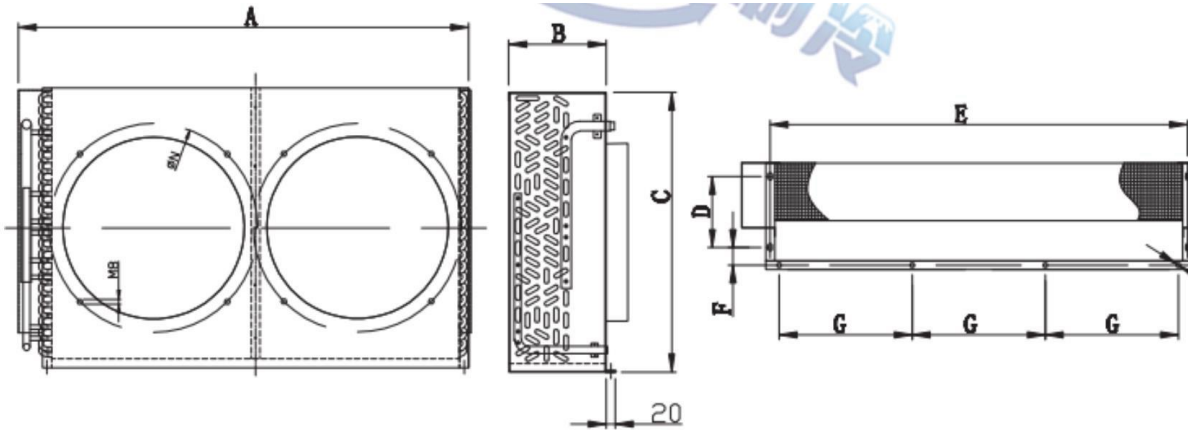


Nota. La Figura muestra la selección del condensador. Tomado de: Alibaba. (s.f). “4HP XMK FNF-8.8/28 Cold Room Air Cooled Price Copper Condenser”. [En línea]. https://www.alibaba.com/product-detail/4HP-XMK-FNF-8-8-28_62054457810.html [Acceso: oct,5,2021]

Este condensador cuenta con un ventilador (ver Figura 37), el cual tiene un consumo de 270W [87]. Como se puede apreciar a diferencia del esquema general del ciclo de refrigeración donde solo cuenta con un ventilador, en este caso los intercambiadores de calor cuentan independientemente con su ventilador ya que se va a tener una configuración diferente.

Figura 37.

Plano del condensador. Unidades en milímetros.



Nota. La Figura muestra el plano del condensador. Tomado de: 360 Zhileng. (s.f.). “West Macco”. [En línea]. <https://m.360zhileng.com/item/14267.html?u=0> [Acceso: oct,12,2021]

En la Tabla 8 se muestran los parámetros dimensionales del condensador.

Tabla 8.

Parámetros dimensionales del condensador.

Modelo	Especificaciones	A	B	C	D	E	F	G	N	Especificaciones	
FNF-7.2/24	3HP双风	875	165	430	120	800	32.5	250	422	φ16	φ15
FNF-8.8/28	4HP双风	1010	180	635	120	930	40	300	470	φ22	φ15
FNF-9.0/25	5HP小双风	1040	200	590	140	960	40	300	470	φ22	φ15
FNF-10.2/42	5HP大双风	1010	200	530	140	930	40	300	470	φ22	φ15
FNF-15.2/50	6.5HP双风	1040	200	590	140	960	40	300	470	φ22	φ15
FNF-19.2/60	7.5HP双风	1020	200	630	140	940	40	300	470	φ22	φ15
FNF-21.5/66	8.5HP双风	1020	220	630	160	940	40	300	470	φ22	φ15
FNF-24.2/88	10HP双风	1420	220	730	180	1340	30	220	570	φ25	φ19
FNF-36/120	15HP双风	1550	220	780	160	1470	40	290	570	φ25	φ19

Nota. La Tabla muestra los parámetros dimensionales del condensador. Tomado de: 360 Zhileng. (s.f.). “West Macco”. [En línea]. <https://m.360zhileng.com/item/14267.html?u=0> [Acceso: oct,12,2021]

En la Tabla 9 se muestran los parámetros principales del condensador, en el cual la potencia del ventilador es de 270 W.

Tabla 9.

Parámetros principales del condensador.

Modelo	Especificaciones	Capacidad nominal T=6°C W(Kcal/h)	Área de transferencia		Diámetro ventilador (mm)	Ventilador		
			area(m ²)	数量 Quantity(台set)		Volumen de aire m ³ /h	Potencia W	Voltaje W
FNF-1.8/9.8	1.5HP小	1800	9.8	1	φ 300	1460	115	220
FNF-2.5/11.3	1.5HP大	2500	11.3	1	φ 350	2860	170	220
FNF-2.8/13	2HP	2800	13	1	φ 350	2860	170	380
FNF-4.4/15	2.5HP	4400	15	1	φ 350	2860	170	380
FNF-5.5/18	3HP小	5500	18	1	φ 400	4150	270	380
FNF-6.0/22	3HP大单风	6000	22	1	φ 400	4150	270	380
FNF-8.8/28	4HP单风	8800	28	1	φ 400	4150	270	380
FNF-10/42	5HP单风	10000	42	1	φ 500	6800	500	380
FNF-12.9/49	6HP单风	12900	49	1	φ 500	6800	500	380

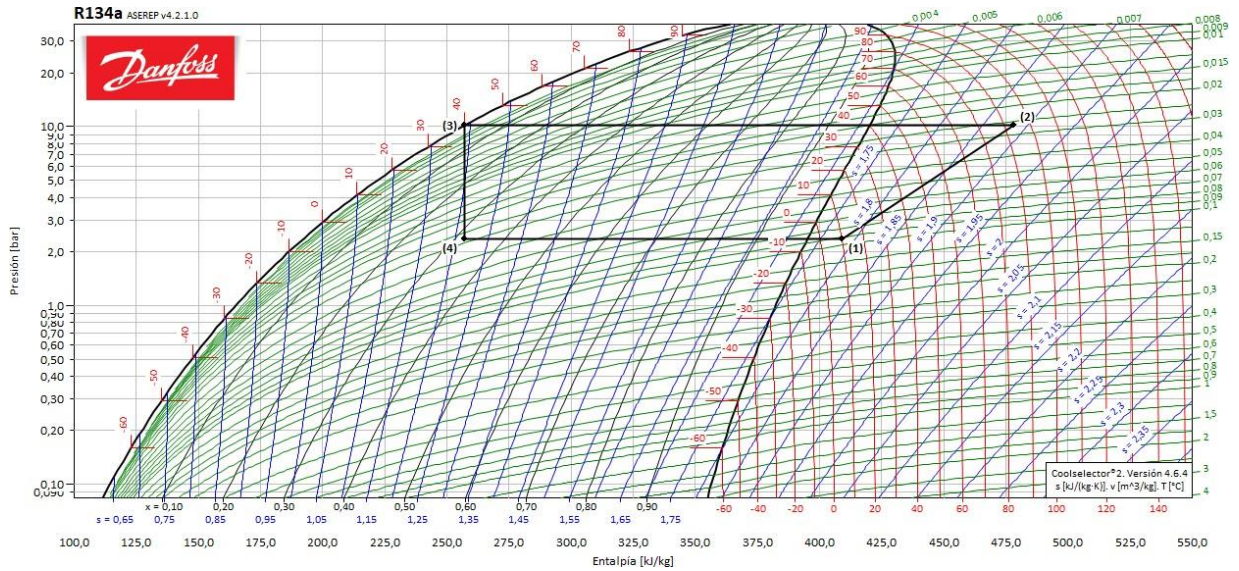
Nota. La Tabla muestra los parámetros principales del condensador. Tomado de: 360 Zhileng. (s.f). “West Macco”. [En línea]. <https://m.360zhileng.com/item/14267.html?u=0> [Acceso: oct,12,2021]

Se recomienda aplicar un recubrimiento anticorrosivo a estos materiales de cobre para evitar la corrosión en sus serpentines como lo son los intercambiadores de calor, el tubo capilar y para las tuberías de succión y descarga. También se recomienda evaluar la posibilidad de un instrumento de medición como lo es el detector de fugas de refrigerante Testo 316-3 que puede detectar hasta las fugas más pequeñas, enviando señales de sonido y visuales para poder hacer la intervención.

A continuación, se presentan las etapas del ciclo de refrigeración como se presenta en la Figura 38, etapa 1-2 (compresión), etapa 2-3 (condensación), etapa 3-4 (expansión) y etapa 4-1 (evaporación).

Figura 38.

Etapas del ciclo de refrigeración.



Nota. La Figura las etapas del ciclo de refrigeración. Tomado de: Coolselector2, 4.6.4.599, Danfoss A/S. (s.f.).

La Tabla 10 presenta lo parámetros más relevantes en cada uno de los puntos del ciclo de refrigeración.

Tabla 10.*Parámetros del ciclo de refrigeración.*

Punto	Descripción	Temperatura [°C]	Presión [bar]	Densidad [kg/m ³]	Entalpía [kJ/kg]	Entropía [kJ/(kg·K)]
1	Aspiración del compresor	10,0	2,343	10,8	409	1,781
2	Descarga del compresor (estimada)	93,4	10,16	37,93	478	1,884
2s	Punto de rocío de condensación	40,0	10,16	50,06	420,1	1,713
3s	Punto de burbuja de condensación	40,0	10,16	1148	257,2	1,193
3a	Salida del condensador	40,0	10,16	1148	257,2	1,193
3	Incluyendo subenfriamiento adicional	40,0	10,16	1148	257,2	1,193
4	Después de la válvula de expansión	-6,0	2,343	35,58	257,2	1,214
4s	Punto de burbuja de evaporación	-6,0	2,343	1315	191,9	0,9701
1s	Punto de rocío de evaporación	-6,0	2,343	11,65	395	1,73
1a	Salida del evaporador	10,0	2,343	10,8	409	1,781

Nota. La Tabla muestra los *parámetros del ciclo de refrigeración*. Tomado de: Coolselector2, 4.6.4.599, Danfoss A/S. (s.f.).

5.3 Alternativas del sistema de filtración

Con respecto a los filtros, se revisaron diferentes dispositivos en los cuales se revisó su respectivo sistema de filtración. A demás, se investigó el estado del arte para un sistema de potabilización de agua, por lo tanto, se ha definido el siguiente sistema de filtración, el cual se compone de los siguientes elementos que son los más usados en la actualidad: filtro de sedimentos, filtro de carbón activado, filtro de ultrafiltración y filtro de mineralización. Y también sistema de filtración de aire, el cual es importante para que no ingresen de forma accidental insectos al equipo y tampoco polvo de forma considerada.

5.3.1 PreFiltro de aire

Este filtro es de suma importancia para prevenir que ingresen insectos y partículas gruesas al generador de agua atmosférico. Uno de los aspectos que se tuvieron en cuenta para la selección

del prefiltro fue que presentara una mínima restricción al flujo del aire, para que no afecte de manera considerable la potencia en los intercambiadores de calor.

Se selecciona un prefiltro (ver Figura 39) con un diámetro de aproximadamente el mismo tamaño que el de los ventiladores de los intercambiadores de calor y además se busca que sea económico y que cumpla con los requerimientos mínimos, como los expuestos anteriormente.

Figura 39.

Pre-Filtro de aire.



Nota. La Figura presenta la selección del prefiltro. Tomado de: Servovendi. (s.f.). “Pantalla / Filtro de aire contra insectos para extractor RAM Bug Barrier (250mm)”. [En línea]. Pantalla / Filtro de aire contra insectos para extractor RAM Bug Barrier (250mm) - ServoVendi: tu tienda online de Medidores, Cultivo, Grow Shop, Jardinería y Hidroponía [Acceso: octubre 5, 2021].

5.3.2 Filtro de aire

Los filtros más económicos y robustos son los filtros de bolsa, además de ser duraderos y eficientes, proporcionan una filtración fina y una baja pérdida de la carga [62].

En principio los filtros se caracterizan por su tamaño de partículas, estos pueden ser de polvo grueso (tamaño de partícula superior a 10 micrómetros), polvos finos (de 1-10 micrómetros), partículas suspendidas (inferior a 1 micrómetro). Las primeras son ideales para los insectos, la arena, además es ideal para los sistemas que cuentan con ventiladores, esa es una razón de la selección de un prefiltro. La segunda es ideal para este tipo de aplicaciones debido a que no es necesario filtrar partículas de menos de 1 micrómetro, ya que estas se utilizan para habitaciones con altos y mayores requisitos de pureza, como por ejemplo los laboratorios [63].

Figura 40.

Filtro de aire.



Nota. La Figura presenta la selección del filtro. Tomado de: Isofilter. (s.f.). “Filtro de bolsas flexibles”. [En línea]. Filtro de bolsas flexibles, eficiencia G3, G4, M5, F6, F7, F8 y F9 (isofilter.es) [Acceso: octubre 5, 2021].

Se selecciono este tipo de filtro debido a que cumple con los requisitos mínimos y por su reducido precio (ver Figura 40).

A continuación, se mostrará la respectiva selección para la potabilización de agua.

5.3.3 Filtro de sedimentos

Este tipo de filtro es el más habitual (ver Figura 41), debido a que retiene elementos que miden entre 1 y 100 micrómetros [64].

Figura 41.

Filtro de sedimentos.



Nota. La Figura presenta la selección del filtro de sedimentos. Tomado de: Fibras y normas de Colombia. (s.f). “FILTRO CARTUCHO DE POLIPROPILENO TERMOFUSIONADO MARCA PURIKOR DE 2.5" X 10" PARA FILTRADO DE 5 MICRAS”. [En línea]. ▷ FILTRO CARTUCHO DE POLIPROPILENO TERMOFUSIONADO MARCA PURIKOR DE 2.5" X 10" PARA FILTRADO DE 5 MICRAS - Tienda en Línea (fibrasynormasdecolombia.com) [Acceso: octubre 5, 2021]

Este filtro es ideal (ver Figura 39), porque además de su reducido costo, cumple con las especificaciones necesarias para poder retener los sedimentos y oponer una resistencia mínima al paso del agua y ser un producto nacional.

5.3.4 *Filtro de carbón activado*

Este elemento es uno de los más vendidos (ver Figura 42), lo cual habla de su buena calidad. Cuenta con dos etapas, lo cual indica ser más robusto que los demás y permite un flujo masico adecuado para que no se vea comprometida la generación de agua por día. Este filtro es compatible con todas las marcas y su precio no es considerablemente alto [66].

Figura 42.

Filtro de carbón activado.



Nota. La Figura presenta la selección del filtro de carbón activado. Tomado de: Mercado Libre. (s.f.). “Filtro Para Agua Con Carbón Activado Ozono Toda Marca”. [En línea]. Filtro Para Agua Con Carbón Activado Ozono Toda Marca | Cuotas sin interés (mercadolibre.com.co) [Acceso: octubre 5, 2021]

5.3.5 Filtro de ultrafiltración

Este filtro es uno de los más económicos que hay actualmente en el mercado y uno de los más eficientes, ya que es capaz de retener partículas por debajo de 1 micra (ver Figura 43). Su duración puede alcanzar hasta los 18 meses y tampoco representa un problema con respecto a la obstrucción

del paso del agua. También destaca por reducir del agua los coloides, algas, quistes, bacterias, entre otros [67].

Figura 43.

Filtro de ultrafiltración.



Nota. La Figura presenta la selección del filtro de ultrafiltración. Tomado de: Mercado Libre. (s.f.). “Membrana Ultrafiltración Uf-10c Para Filtro De Agua”. [En línea]. Membrana Ultrafiltración Uf-10c Para Filtro De Agua | MercadoLibre [Acceso: octubre 5, 2021]

5.3.6 Filtro de mineralización

5.3.6 Filtro de mineralización

Por último, uno de los filtros más importantes, el de mineralización. Este filtro es el que va a nutrir el agua y va a permitir que el agua sea más saludable y rica en sabor. Gracias a que cuenta con esferas minerales naturales que eliminan bacterias que regulan el pH (ver Figura 44). Estas esferas liberan distintos tipos de iones, como lo son potasio, sodio, calcio y otros más, para mineralizar el agua [68].

Figura 44.

Filtro de mineralización.



Nota. La Figura presenta la selección del filtro de mineralización. Tomado de: Mercado Libre. (s.f.). “Filtro Multicapas Alcalinizador Esferas Mineralizadoras”. [En línea]. Filtro Multicapas Alcalinizador Esferas Mineralizadoras | Cuotas sin interés (mercadolibre.com.co) [Acceso: octubre 5, 2021]

5.3.7 *Tanque de almacenamiento*

5.3.7 *Tanque de almacenamiento*

Es importante que el material del que se compone el tanque no sea tóxico, tampoco que afecte las propiedades físicas o químicas del agua y que no represente posibles problemas para la salud (ver Figura 45).

Figura 45.

Selección del tanque de almacenamiento.



Nota. La Figura presenta la selección del tanque de almacenamiento. Tomado de: Homecenter. (s.f.). “Tanque Comedero 75 Litros Rectangular”. [En línea]. <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/129791/tanque-comedero-75-litros-rectangular/129791/> [Acceso: oct,5,2021]

Este tanque cuenta con las características ideales para la recolección de agua debido a que sus medidas son apropiadas en relación con el evaporador (27x50x112 cm), y cuenta con un volumen de 75 litros, lo cual permite cubrir una mayor generación de agua cuando exista una mayor condensación y su material es de polietileno. Además de no soltar sedimentos, no corroerse y ser un producto colombiano [88].

6. ESTRUCTURA

En este capítulo se presenta la estructura del generador de agua atmosférico y el conjunto de paneles solares. Se presentan los materiales seleccionados para su mejor desempeño, se enseñan imágenes de la estructura y se muestran los cálculos para determinar los esfuerzos y deformaciones críticas a las que está sometida esta estructura. Además, se brinda un dimensionamiento del peso total de la estructura y sus dimensiones definitivas.

6.1 Selección de materiales para la estructura

Inicialmente, se escogen las bases de la estructura, los cuales serán perfiles tubulares rectangulares, debido a que son los más usados en elementos estructurales. El material seleccionado es el acero al carbono, ya que cuenta con cualidades como alta resistencia y dureza y además es el que más se trabaja en la industria.

Al momento de revisar los materiales que se encuentran disponibles comercialmente y con el volumen que se requiere, se encuentra que el acero al carbono cumple con estos parámetros, además de estar disponible en un precio bastante inferior en comparación con otros materiales.

Figura 46.

Selección del perfil.



Nota. La Figura presenta la selección del perfil tubular rectangular. Tomado de: Homecenter. (s.f).
“Tubo Cuadrado 1-1/2 x 1-1/2pg x 1.1mm C18 x 6m”. [En línea].
<https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/183862/tubo-cuadrado-1-1-2-x-1-1-2pg-x-11mm-c18-x-6m/183862/> [Acceso: abr,10,2022]

Las medidas del perfil cuadrado son las siguientes (en milímetros):

$$l_1 = l_2 = 38,1mm$$

$$espesor = 1,1mm$$

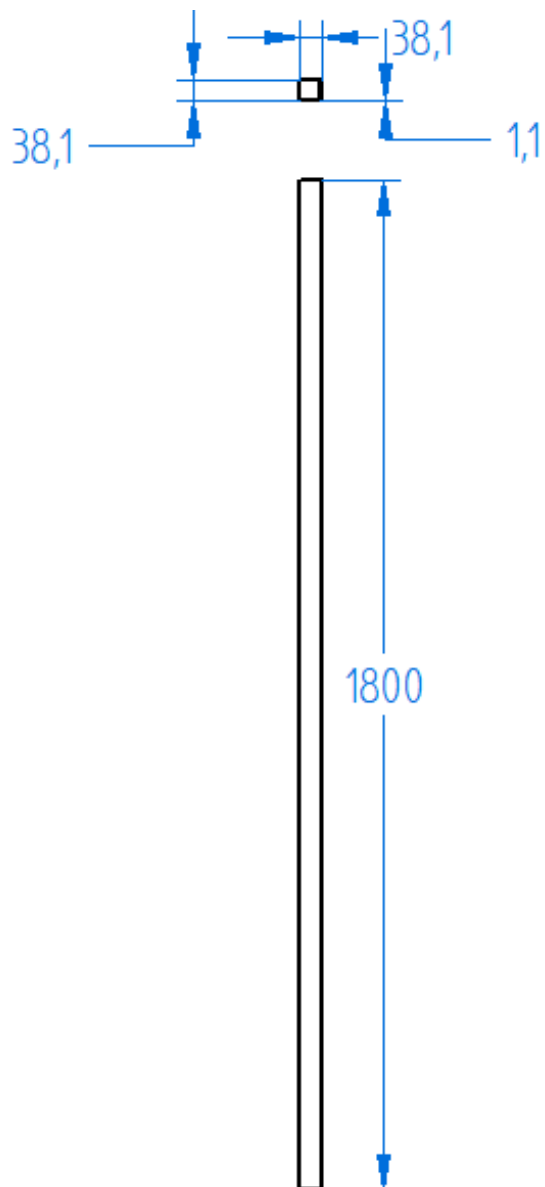
$$longitud = 6000mm$$

El material requerido para la estructura serán 6 columnas de 1,8 m, 10 vigas cortas de 0,95 m y 8 vigas largas de 1,3 m para un total de 30,7 m. Por lo tanto, se deberán comprar 6 perfiles cuadrados

(ver Figura 47, 48 y 49). Se ha escogido este arreglo, debido a que brinda mayor estabilidad a la estructura.

Figura 47.

Planos columna.



Nota. Planos de la columna.

Figura 48.

Viga larga.



Nota. Planos de la viga larga misma sección transversal.

Figura 49.

Viga corta.



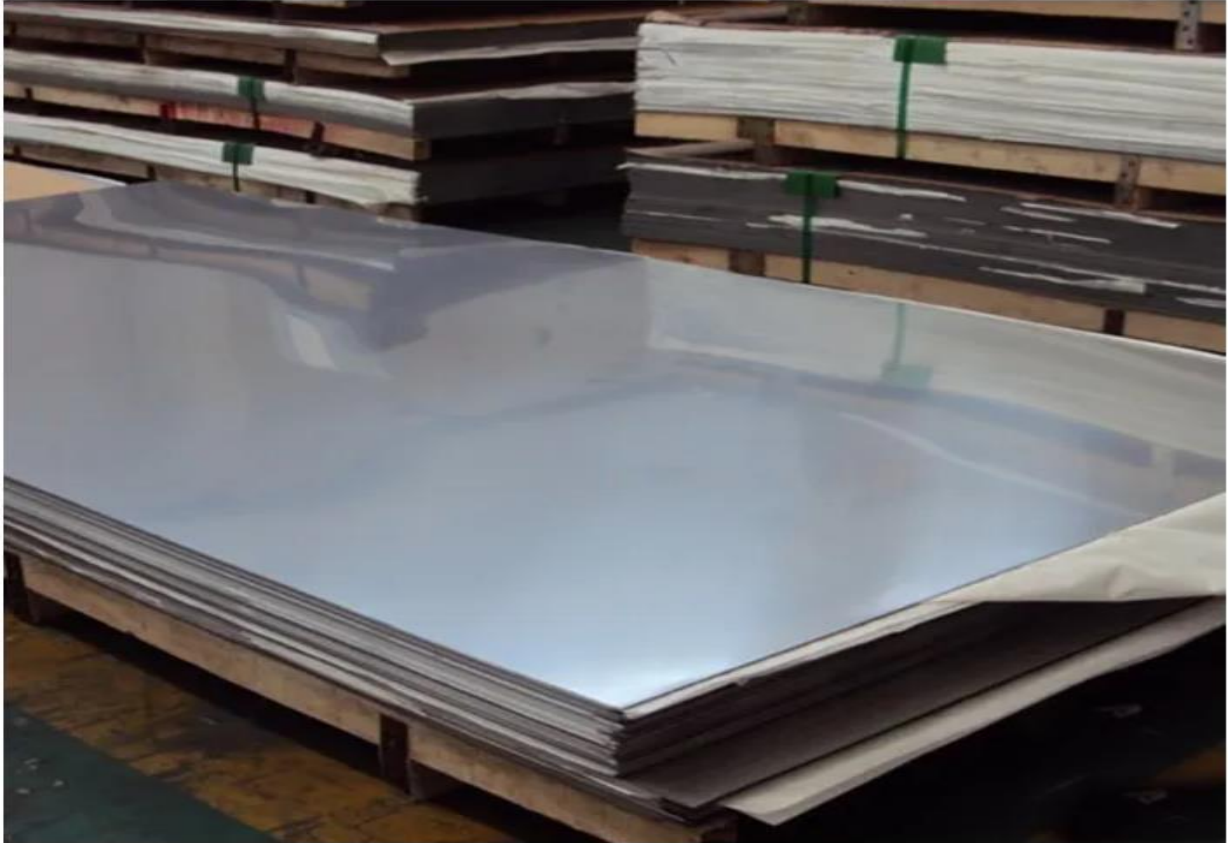
Nota. Planos de la viga corta misma sección transversal.

En relación con los acabados se recomienda utilizar una pintura anticorrosiva de tipo C5-M que es ideal para exteriores de zonas costeras y marítimas con alta salinidad y en ambientes interiores con condensaciones permanentes; al igual que en las láminas de acero inoxidable ya que está diseñada para usarse en aceros. Por último, con respecto a las tolerancias se estiman que estén alrededor de 1 milímetro más o menos en lo que respecta a los cortes de los aceros.

Con respecto a las láminas, estas se seleccionan de acero inoxidable, porque es el material que va a mantener aislados a los componentes que están dentro de la estructura del ambiente exterior, los cuales deben trabajar en las mejores condiciones posibles. Además, estarán en contacto con el agua que generará el sistema, este material no es tóxico para la salud y no altera las propiedades del agua, además de ser resistente a la corrosión (ver Figura 50).

Figura 50.

Selección de láminas de acero inoxidable.



Nota. La Figura presenta la selección de las láminas. Tomado de: Mercado Libre. (s.f.). “Lámina Lisa Acero Inoxidable 304 Calibre 22 De 4x10ft”. [En línea]. https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-870920251-lamina-lisa-acero-inoxidable-304-calibre-22-de-4x10ft-_JM?searchVariation=74790514535#searchVariation=74790514535&position=18&search_layout=grid&type=item&tracking_id=36d9c1a5-34df-44b0-ae60-e89c67391e92 [Acceso: abr,5,2022]

Las medidas de las láminas son las siguientes (en milímetros):

$$largo = 3048mm$$

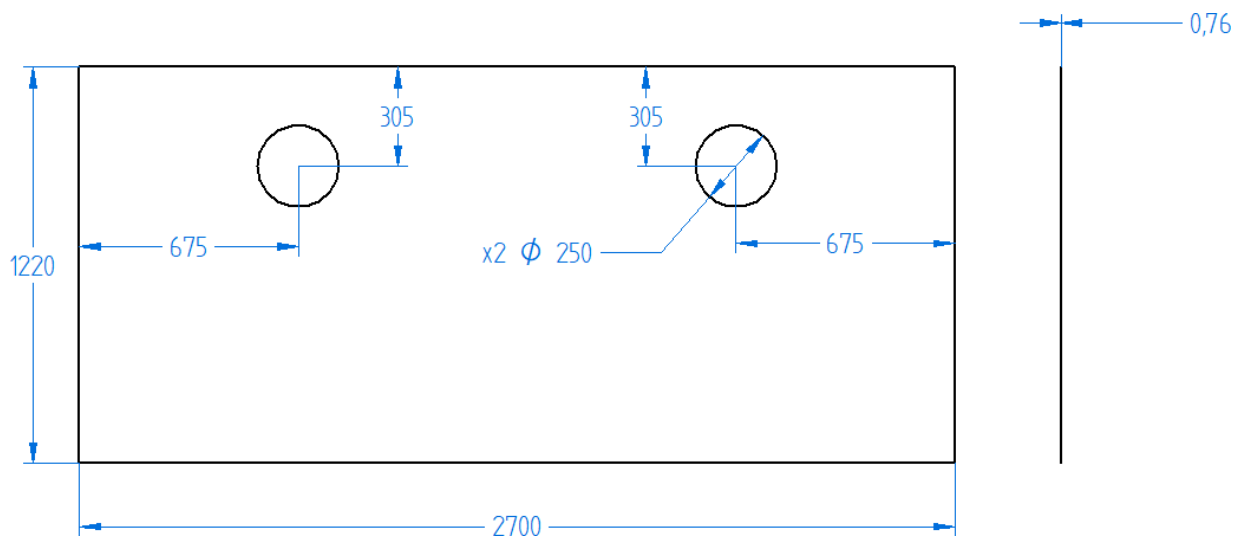
$$ancho = 1220mm$$

espesor = 0,76mm

Las láminas se deben cortar para respetar las medidas de diseño, en total son 8, por lo tanto, se deben comprar 8 láminas de acero. Además, dos cortes que se deben realizar en dos láminas, las cuales permitirán el flujo de aire (como se puede ver en las figuras 51, 52, 53 y 54).

Figura 51.

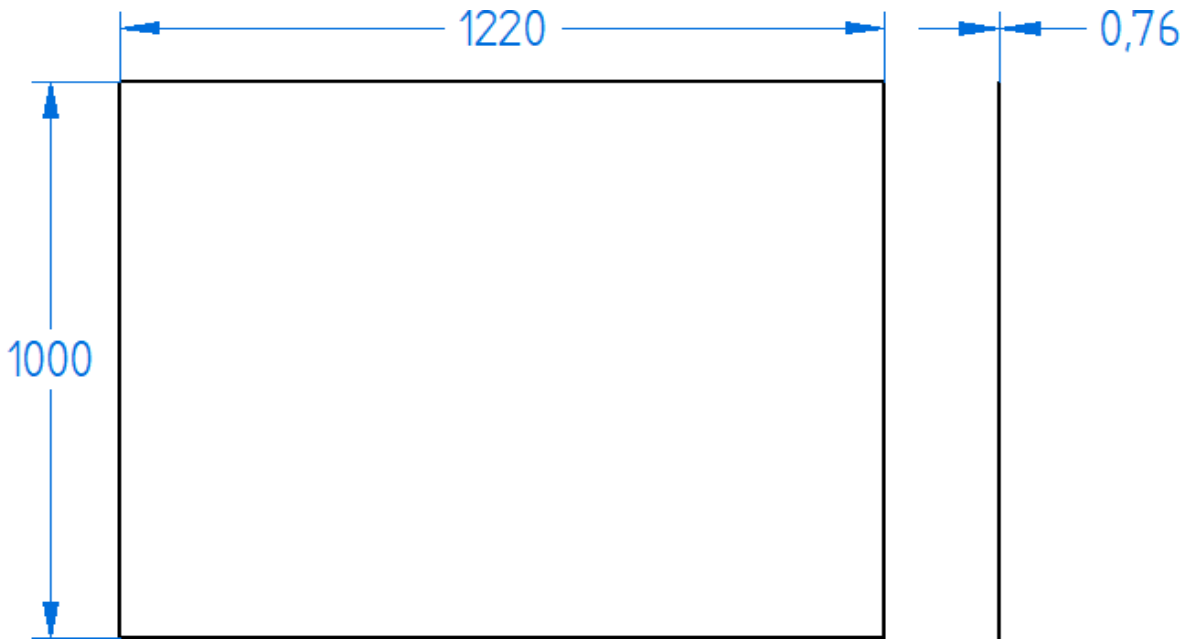
Lamina alzado.



Nota. La Figura presenta la lámina que está perforada para insertar los prefiltros de aire (medidas en mm).

Figura 52.

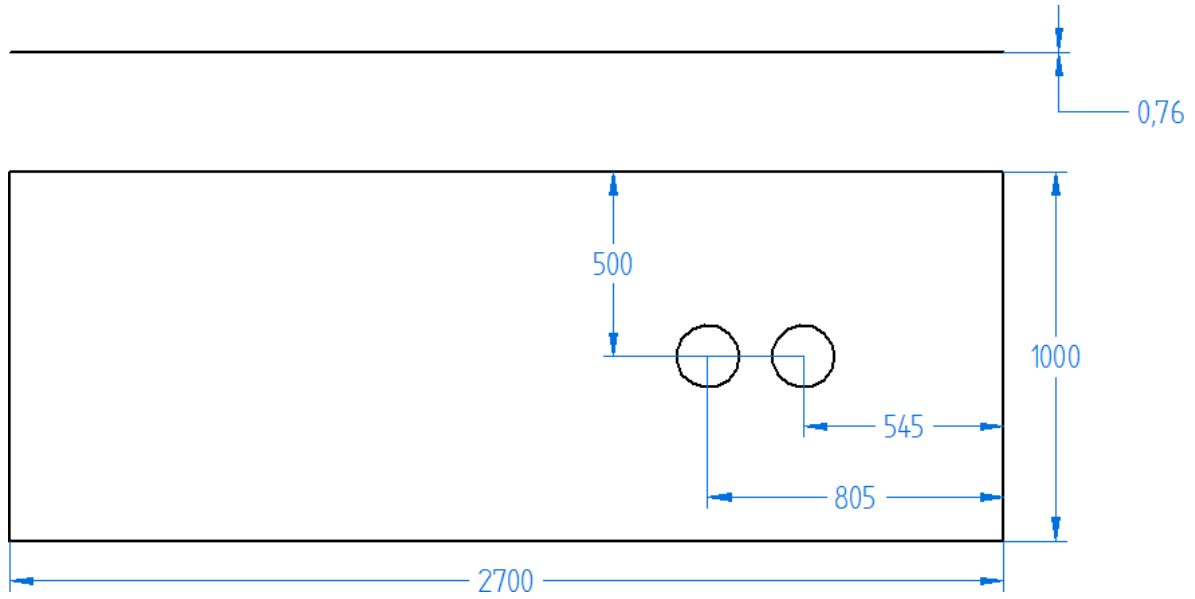
Lamina perfil.



Nota. La Figura presenta la lámina perfil (medidas en mm). Elaboracion propia.

Figura 53.

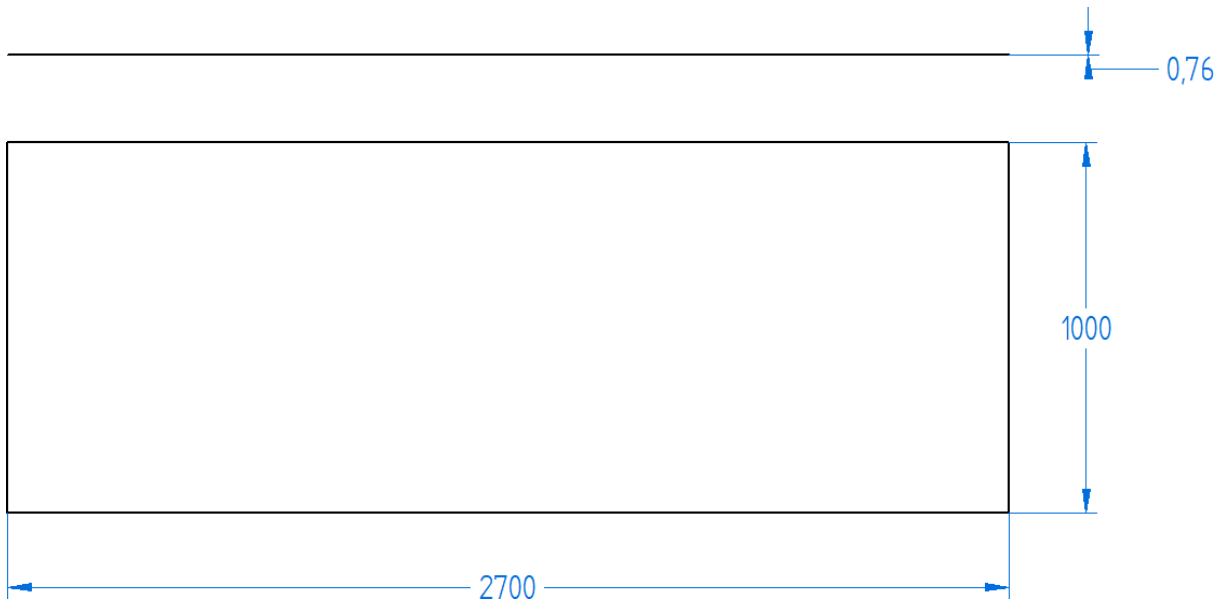
Lámina planta intermedia.



Nota. La Figura presenta la lámina planta intermedia (medidas en mm).

Figura 54.

Lamina planta



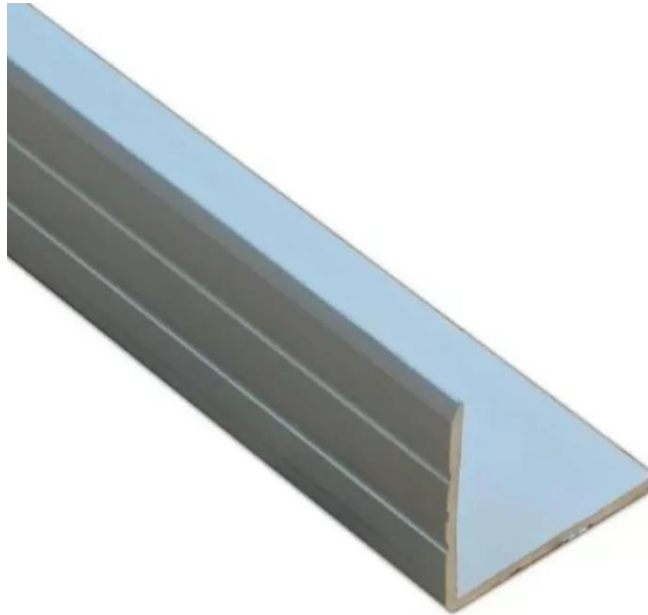
Nota. La Figura presenta *la lámina planta superior e inferior (medidas en mm). Elaboracion propia.*

A grandes rasgos, el generador de agua atmosférico se soportará sobre 6 columnas y cuatro vigas principales, además de láminas que dividirán las secciones y que aislarán al sistema del ambiente exterior. Se selecciona un perfil cuadrado hueco, el cual se utilizará para las columnas y para las vigas. Estos perfiles son muy utilizados en elementos que no requieren gran poder de soporte de cargas, ideales en estanterías y para fines estructurales.

Ahora, para asegurar el sistema se deben fijar los componentes termodinámicos y demás. Para eso se hará uso de ángulos de aluminio y tornillos avellanados como los que se presentan a continuación (ver Figura 55).

Figura 55.

Selección de ángulos.



Nota. La Figura presenta la selección de los ángulos. Tomado de: Mercado Libre. (s.f.). “Angulo Aluminio 30mm Para Fabricar Racks Estuches”. [En línea]. https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-451909823-angulo-aluminio-30mm-para-fabricar-racks-estuches-_JM#position=1&search_layout=stack&type=item&tracking_id=41e75046-6d3d-400e-9525-c2019380fee8 [Acceso: abr,1,2022]

Con la longitud del ángulo de aluminio, este se puede cortar en varias partes. Estos cortes se harán cada 20 mm, sumando en total 240 mm, de los 3 metros con los que cuenta esta unidad.

La cantidad de tornillos que se necesitan para fijar estos ángulos es de 24 y la caja trae 100 tornillos como se puede observar en la Figura 56.

Figura 56.

Selección del tornillo.



Nota. La Figura presenta la selección del tornillo. Tomado de: Homecenter. (s.f.). “Tornillo Lámina Avellanado Negro 8X1/2 100un”. [En línea]. https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/30419/tornillo-lamina-avellanado-negro-8x1-2-100un/30419/?kid=bnnext1031763&shop=googleShopping&gclid=Cj0KCQjw29CRBhCUARIsAOboZbJphgDJ9K-DicFyIrVTZP_s3s7e8XDErHZTFPkIo9i9l-ITBFAR-xIaAtx1EALw_wcB [Acceso: abr,12,2022]

Con respecto a las tuberías de succión y de descarga, estas se escogen en un material de cobre, al igual que el de los tubos serpentines del evaporador. Las dimensiones con las que se seleccionaron estas tuberías fueron acogidas a las especificaciones del compresor, se sugiere que la línea de succión sea de media pulgada y que la línea de descarga sea de 3/8 de pulgada, como se puede ver en la Figura 57 y Figura 58.

Figura 57.

Línea de succión.



Nota. La Figura presenta la selección la tubería de succión. Tomado de: Homecenter. (s.f.). “Tubo Cobre M 1/2pg x 3m”. [En línea]. https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/101623/tubo-cobre-m-1-2pg-x-3m/101623/?kid=bnnext1031759&shop=googleShopping&gclid=Cj0KCQjwmPSSBhCNARIsAH3cYgaUiPA18WwXdXmVnvsUFZkKnSKBHOjTOcKOaXyfWFAATESph7n4Gj0aAoaSEALw_wcB [Acceso: abr,15,2022]

Figura 58.

Línea de descarga.



Nota. La Figura presenta la selección la tubería de succión. Tomado de: Mercadoshops. (s.f). “Tubo De Cobre 3/8 Flexible Por Metro.”. [En línea]. https://caboverdestorelc.mercadoshops.com.co/MCO-566130717-tubo-de-cobre-38-flexible-por-metro-_JM [Acceso: abr,15,2022]

Es preciso recordar que la longitud de estas líneas de succión y aspiración son lo suficientemente largas para poder conectar los elementos sin problema alguno.

Se dispondrá de un sistema de detección de fugas, el cual ayudará a identificar los posibles escapes del fluido refrigerante. Se hará uso del método más tradicional y conocido para los fluidos refrigerantes. Este se llama detección de agua con burbujas o agua jabonosa, donde si se identifica que hay burbujeo, ahí es donde estará la fuga. Este método se llevará a cabo por personal especializado que determinará la periodicidad con la que se debe atender esta inspección. Por último, en la estructura se ubicará el dispensador de agua (Figura 59).

Figura 59.

Selección del dispensador de agua.



Nota. La Figura presenta la selección del dispensador de agua. Tomado de: Mercado Libre. (s.f.). “Llave Magnética Imantada Filtro Purificador Agua”. [En línea]. https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-501563075-llave-magnetica-imantada-filtro-purificador-agua-_JM?matt_tool=93435794&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14633851800&matt_ad_group_id=122277564450&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=545410559202&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=505268370&matt_product_id=MCO501563075&matt_product_partition_id=1402510632380&matt_target_id=aud-345731277302:pla-1402510632380&gclid=Cj0KCQjwmPSSBhCNARIsAH3cYgYPCZwTvoZCS0szIgpCFuFSyp9zcL1msiO0EfwqVMkZoU4nmzr4ZC8aAgHkEALw_wcB [Acceso: abr,15,2022]

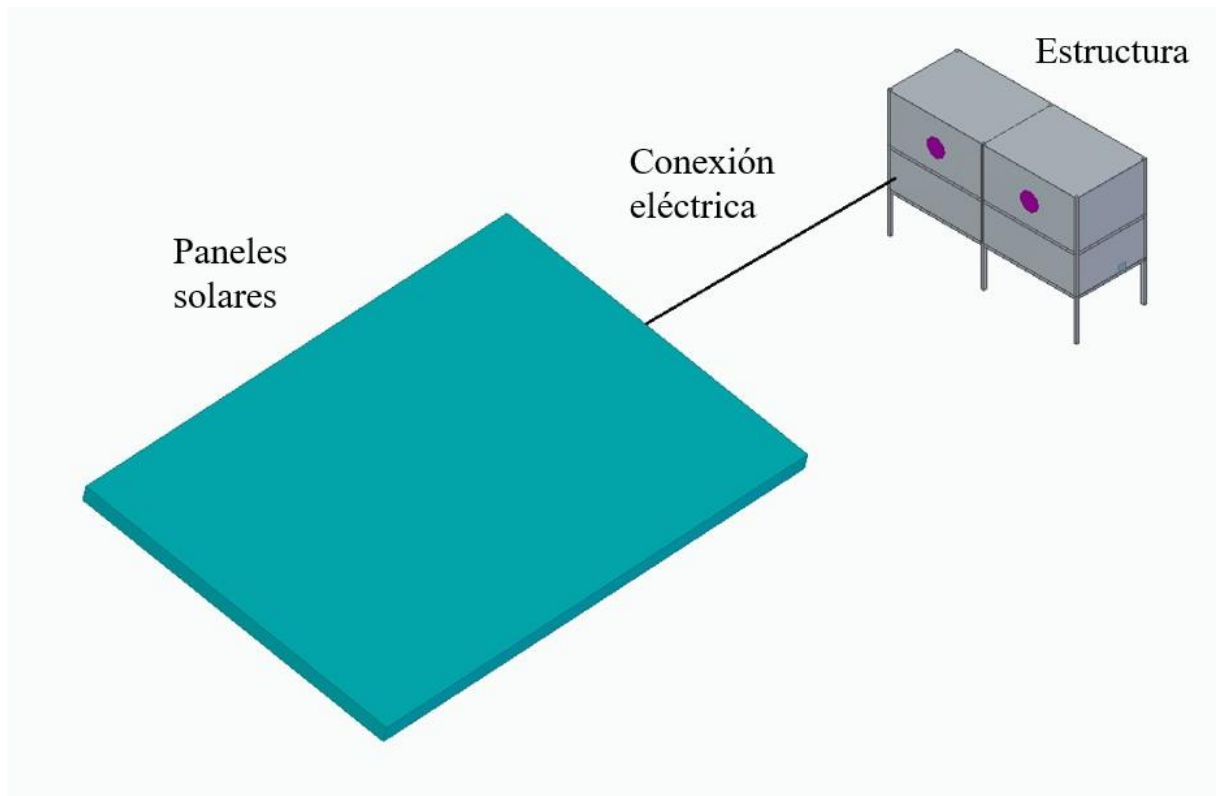
Con los elementos anteriores, la estructura tendrá un peso máximo total de 340 kg aproximadamente. Y contará con unas dimensiones de 1m x 1,8 m x 2,7 m, representando un volumen de 4,86 metros cúbicos, como se verá más adelante.

6.2 Configuración de la estructura

A continuación, se muestra la configuración de la estructura creada con la ayuda del software **Solid Edge 2022** (disponible en: <https://solidedge.siemens.com/en/>). El color cian representa el conjunto de paneles solares, el color negro representa el cable que transporta la energía eléctrica y el color gris es la estructura donde irán todos los elementos encargados del área termodinámica, el sistema de potabilización y filtración. Como se verá a continuación en las Figuras 60 - 67.

Figura 60.

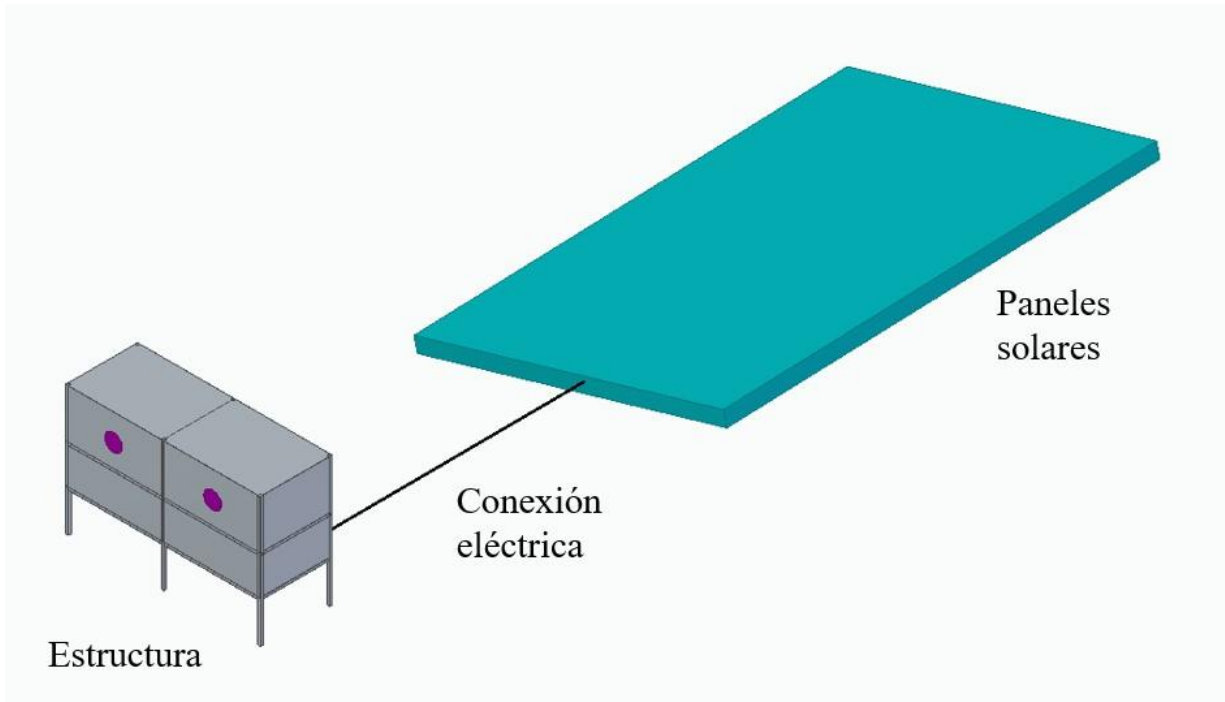
Vista isométrica del conjunto.



Nota. La Figura presenta una vista isométrica de la estructura y el sistema de energía.

Figura 61.

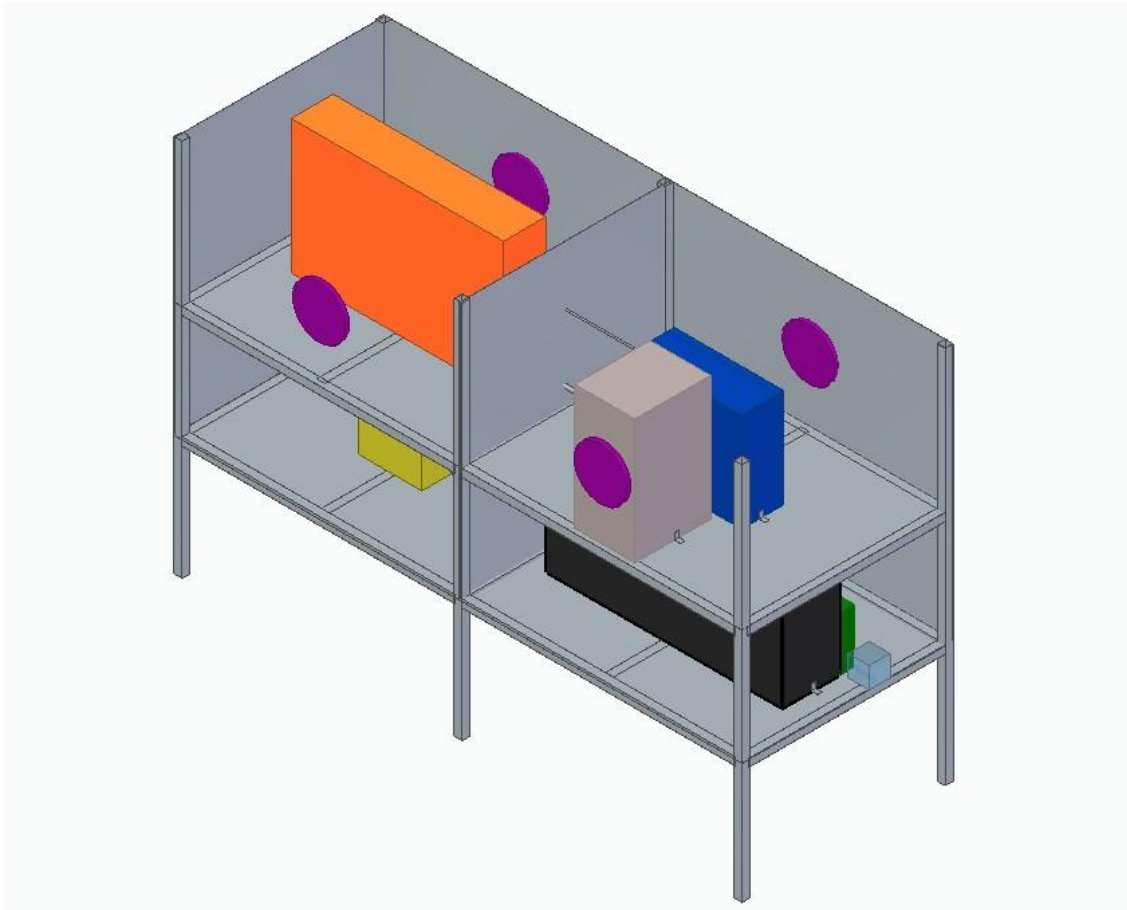
Vista isométrica posterior del conjunto.



Nota. La Figura presenta una vista isométrica posterior de la estructura y el sistema de energía.

Figura 62.

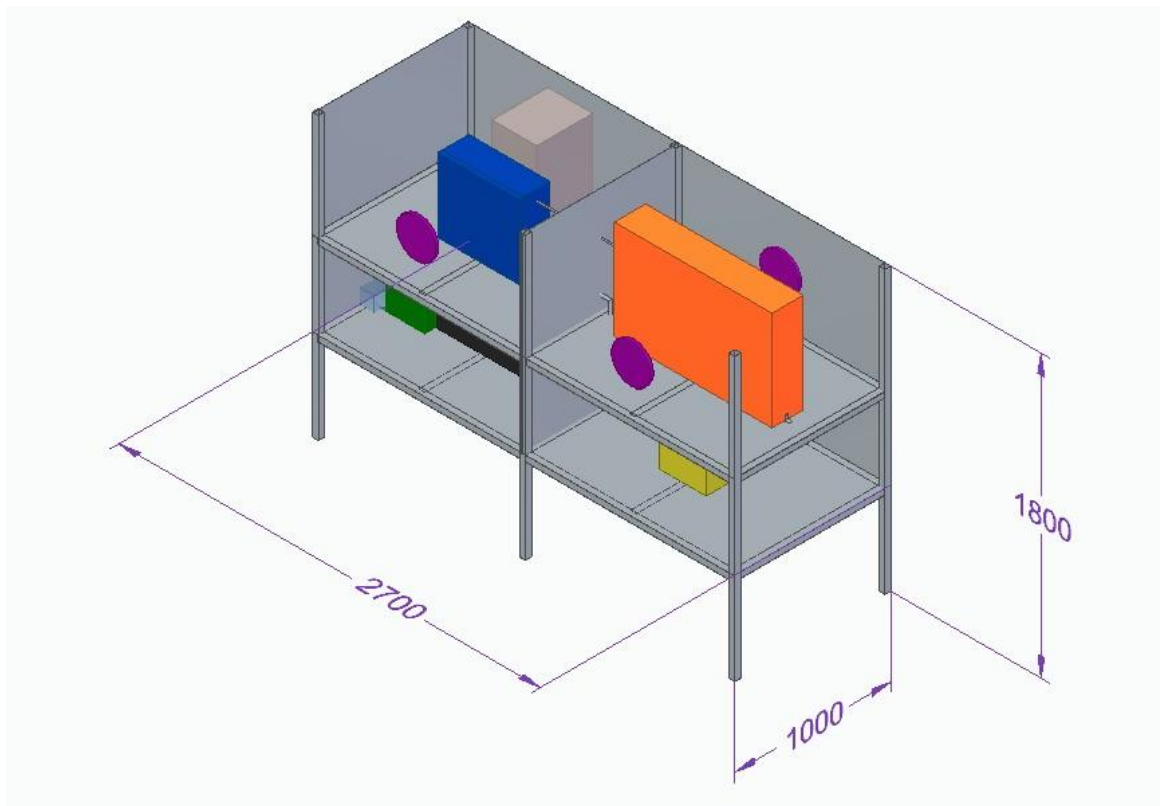
Vista isométrica de la estructura.



Nota. La Figura presenta una vista isométrica posterior de la estructura en la cual se han ocultado la vista de algunas láminas para poder ver el interior de la estructura, la cual tiene en su interior un condensador (naranja), evaporador (azul), filtro de aire (canela), prefiltros de aire (morados), compresor (amarillo), tanque (negro), filtro de potabilización (verde) y dispensador (azul transparente).

Figura 63.

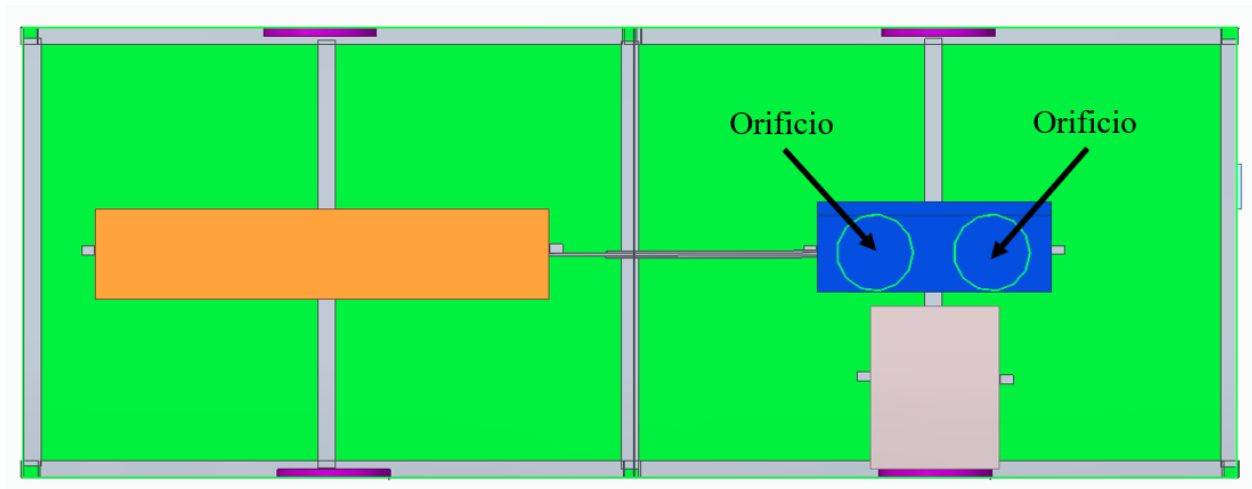
Vista isométrica posterior de la estructura (dimensiones en mm).



Nota. La Figura presenta una vista isométrica posterior de la estructura que muestra las dimensiones en milímetros de las cuales consta el AWG, condensador (naranja), evaporador (azul), filtro de aire (canela), prefiltros de aire (morados), compresor (amarillo), tanque (negro), filtro de potabilización (verde) y dispensador (azul transparente).

Figura 64.

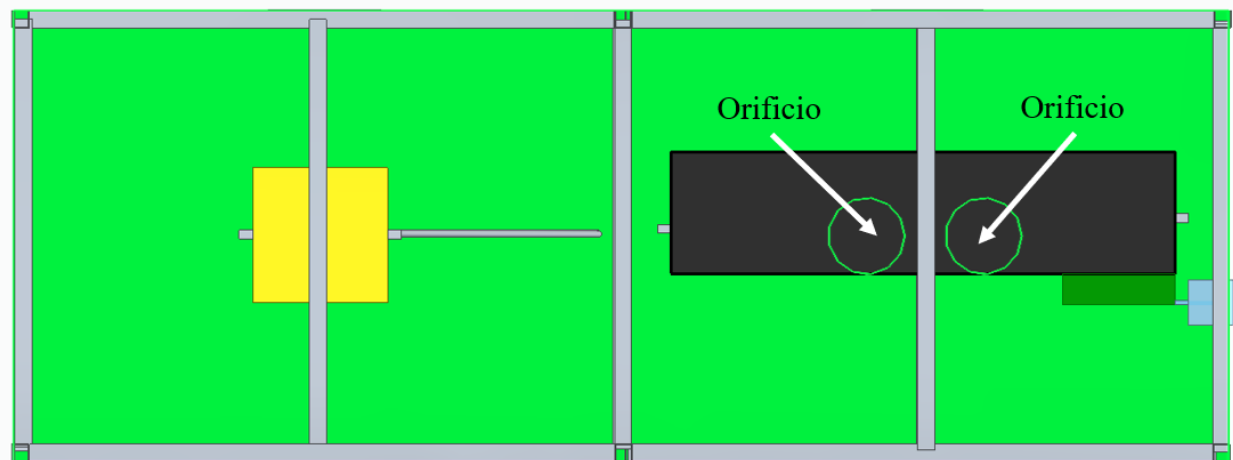
Vista superior de la estructura.



Nota. La Figura presenta una vista superior de la estructura que muestra los orificios (señalados por las flechas de color negro) por los cuales fluirá el agua generada en el evaporador.

Figura 65.

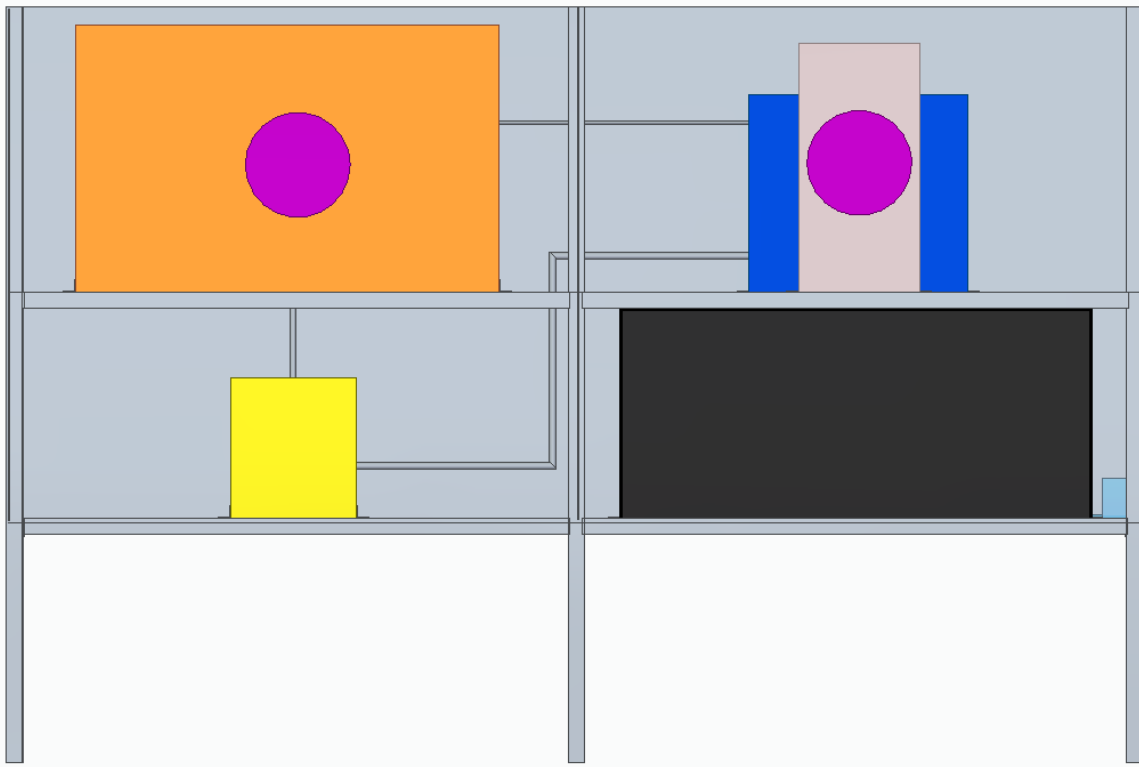
Vista inferior de la estructura.



Nota. La Figura presenta una vista inferior de la estructura, que al igual que en la anterior se ocultaron algunas láminas para poder visualizar de una mejor forma los orificios (señalados por flechas de color blanco) que conducen el agua al tanque para poder almacenar el agua y dejarla allí depositada.

Figura 66.

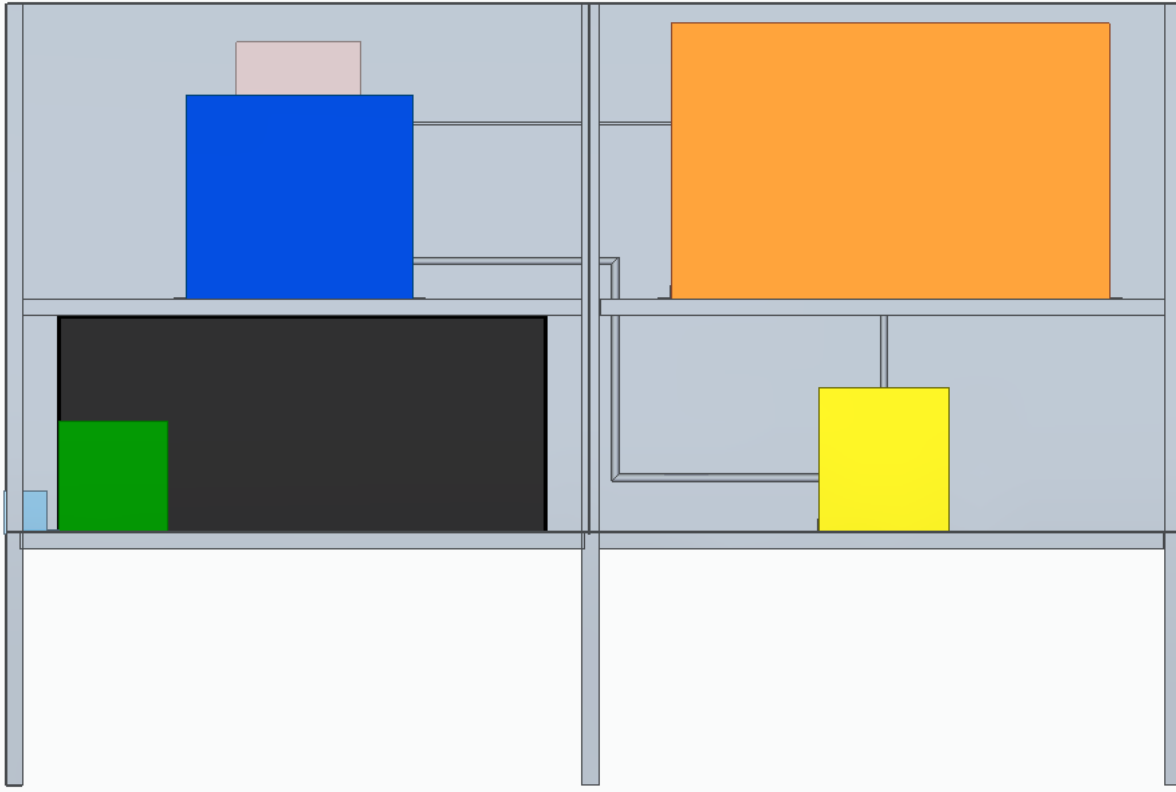
Vista frontal de la estructura.



Nota. La Figura presenta una vista frontal de la estructura, aquí se pueden apreciar los serpentines que conectan el evaporador con el compresor y el compresor con el condensador. Y también se puede visualizar la representación del tubo capilar que está conectado entre el condensador y el evaporador.

Figura 67.

Vista posterior de la estructura.



Nota. La Figura presenta una vista posterior de la estructura.

En los siguientes apartados se muestran los cálculos realizados que deben soportar elementos como las vigas y las columnas. Para eso se tuvo como referencia el libro de **Mecánica de materiales** disponible en www.academia.edu/29086135/MECANICA_DE_MATERIALES_beer

6.3 Vigas

Hay que recordar que los cálculos se realizarán únicamente para una de las vigas principales. Esta es la que soporta el tanque, ya que esta es la sección que más carga debe soportar a comparación de las cargas del compresor, evaporador y condensador, que representan un peso inferior en comparación al tanque. Se debe tener en cuenta que este tanque pesará aproximadamente 77 kg cuando se llene su capacidad máxima.

Dimensiones de la viga:

$$b = 0,0381m$$

$$= 0,0381m$$

$$b_1 = 0,0359m$$

$$h_1 = 0,0359m$$

$$l = 0,95m$$

Donde: b y h son los lados exteriores de la viga, b_1 y h_1 son los lados internos de la viga y l es la longitud de la viga (estas medidas están en metros).

Módulo de elasticidad del acero al carbono:

$$E = 200 \times 10^6 \frac{kN}{m^2}$$

Momento de inercia:

$$I = \frac{bh^3 - b_1h_1^3}{12}$$

$$I = 3,71784 \times 10^{-8} m^4$$

Con estos datos previos, se procede a realizar los cálculos para las vigas que soportan los siguientes elementos.

6.3.1 Tanque

Peso del tanque:

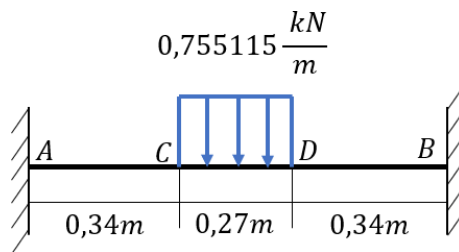
$$w_t = 0,7551159kN$$

Longitud de la carga sobre la viga (ver Figura 68):

$$l_{wt} = 0,27m$$

Figura 68.

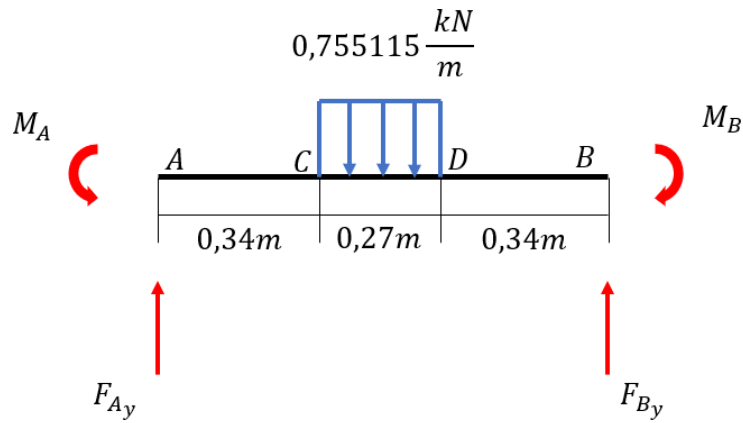
Ilustración de la carga del tanque.



Nota. La Figura muestra una representación de la carga del tanque sobre la viga.

Figura 69.

Diagrama de cuerpo libre.



Nota. La Figura muestra una representación del diagrama de cuerpo libre.

Por simetría (ver Figura 69):

$$F_{Ay} = F_{By} \rightarrow F, M_A = M_B \rightarrow M$$

Sumatoria de fuerzas (hacia arriba positivo):

$$\sum F_y = 0$$

$$2F - 0,7551159 * 0,27 = 0$$

$$F = 0,101940647kN$$

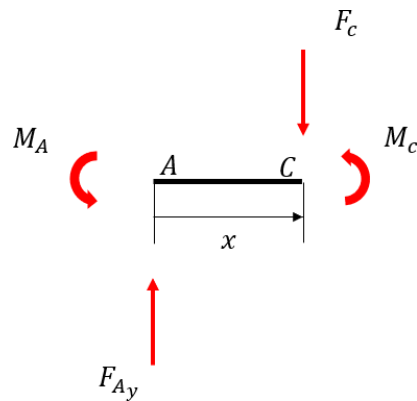
La viga se va a analizar en dos secciones gracias a su geometría.

Sección 1-1 (ver Figura 70):

$$0 \leq x \leq 0,34m$$

Figura 70.

Sección 1-1.



Nota. La Figura muestra la sección 1-1.

Ecuación diferencial elástica (ver Ecuación 6):

Ecuación 6. *Diferencial de la elástica*

$$EI \frac{d^2y}{dx} = M(x)$$

Sumatoria de momentos (sentido antihorario positivo):

$$\sum M_c = 0$$

$$M - F * x + M_c$$

$$M_c = 0,101940647x - M$$

$$EIy''(x) = 0,101940647x - M$$

$$EIy'(x) = \frac{0,101940647x^2}{2} - Mx + C_1$$

$$EIy(x) = \frac{0,101940647x^3}{2 * 3} - \frac{1}{2}Mx^2 + C_1 * x + C_2$$

Condiciones de frontera (empotramiento):

$$\text{Deflexión: } y = 0 \rightarrow y(0) = 0$$

$$\text{Pendiente: } \theta = 0 \rightarrow y'(0) = 0$$

$$EIy'(0) = \frac{0,101940647*(0)^2}{2} - M(0) + C_1$$

$$EIy(0) = \frac{0,101940647*(0)^3}{2*3} - \frac{1}{2}M(0)^2 + C_1 * (0) + C_2$$

$$C_1 = C_2 = 0$$

Ecuación 7. *Pendiente sección 1-1*

$$EIy'(x) = \frac{0,101940647}{2}x^2 - M * x$$

Ecuación 8. *Deflexión sección 1-1*

$$EIy(x) = \frac{0,101940647}{2*3}x^3 - \frac{M}{2}x^2$$

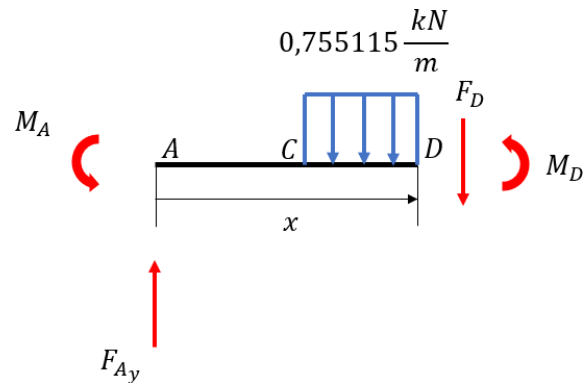
Las Ecuaciones 7 y 8, son las que se deben emplear para realizar los cálculos es la sección 1-1.

Sección 2-2 (ver Figura 71):

$$0,34m \leq x \leq 0,61m$$

Figura 71.

Sección 2-2.



Nota. La Figura muestra la sección 2-2.

$$EIy''(x) = M(x)$$

$$\sum M_D = 0$$

$$M - F * x + [0,755115(x - 0,34)] * (x - 0,34) + M_D = 0$$

$$M_D = 0,101940647x - 0,755115(x - 0,34)^2 - M$$

$$EIy''(x) = 0,101940647x - 0,755115(x - 0,34)^2 - M$$

$$EIy'(x) = \frac{0,101940647}{2}x^2 - \frac{0,755115}{3}(x - 0,34)^3 - M * x + C_3$$

$$EIy(x) = \frac{0,101940647}{2*3}x^3 - \frac{0,755115}{3*4}(x - 0,34)^4 - \frac{M}{2}x^2 + C_3 * x + C_4$$

Aplicando el principio de continuidad:

En $x = 0,34m$

$$\text{Sección 1-1} \rightarrow EIy'(x) = \frac{0,101940647}{2}x^2 - M * x$$

$$\text{Sección 2-2} \rightarrow EIy'(x) = \frac{0,101940647}{2}x^2 - \frac{0,755115}{3}(x - 0,34)^3 - M * x + C_3$$

Se igualan las ecuaciones de Deflexión:

$$\frac{0,101940647}{2}x^2 - Mx = \frac{0,101940647}{2}x^2 - \frac{0,755115}{3}(0,34 - 0,34)^3 - M * x + C_3$$

$$\rightarrow C_3 = 0$$

En $x = 0,34m$

$$\text{Sección 1-1} \rightarrow EIy(x) = \frac{0,101940647}{2*3}x^3 - \frac{M}{2}x^2$$

$$\text{Sección 2-2} \rightarrow EIy(x) = \frac{0,101940647}{2*3}x^3 - \frac{0,755115}{3*4}(x - 0,34)^4 - \frac{M}{2}x^2 + C_3 * x + C_4$$

Se igualan las ecuaciones de Pendiente:

$$\frac{0,101940647}{2*3}x^3 - \frac{M}{2}x^2 = \frac{0,101940647}{2*3}x^3 - \frac{0,755115}{3*4}(0,34 - 0,34)^4 - \frac{M}{2}x^2 + 0 * x + C_4$$

$$\rightarrow C_4 = 0$$

Ecuación 9. Pendiente sección 2-2

$$EIy'(x) = \frac{0,101940647}{2}x^2 - \frac{0,755115}{3}(x - 0,34)^3 - M * x$$

Ecuación 10. Deflexión sección 2-2

$$EIy(x) = \frac{0,101940647}{2*3} x^3 - \frac{0,755115}{3*4} (x - 0,34)^4 - \frac{M}{2} x^2$$

Las Ecuaciones 9 y 10, son las que se deben emplear para realizar los cálculos es la sección 2-2.

Determinación del momento flector:

$$\text{En } y'(0,475) = 0$$

$$EIy'(0,475) = \frac{0,101940647}{2} * 0,475^2 - \frac{0,755115}{3} (0,475 - 0,34)^3 - M * (0,475)$$

$$\mathbf{M = 0,022907136kNm}$$

Determinación de la deflexión máxima:

$$\text{En } y'(0,475)$$

$$EIy(0,475) = \frac{0,101940647}{2*3} * 0,475^3 - \frac{0,755115}{3*4} (0,475 - 0,34)^4 - \frac{0,022907136}{2} * 0,475^2$$

$$y(0,475) = \frac{\frac{0,101940647}{2*3} * 0,475^3 - \frac{0,755115}{3*4} (0,475 - 0,34)^4 - \frac{0,022907136}{2} * 0,475^2}{200000000 * 3,71784 * 10^{-8}}$$

$$y(0,475) = -0,000105471m$$

$$\mathbf{y(0,475) = 0,105471373mm}$$

Determinación del momento máximo (ver Ecuación 11):

Ecuación 11. Momento máximo

$$M_{m\acute{a}x} = \acute{A}rea_1 + \acute{A}rea_2$$

$$M_{m\acute{a}x} = AC * F + \frac{\frac{CD}{2} * F}{2}$$

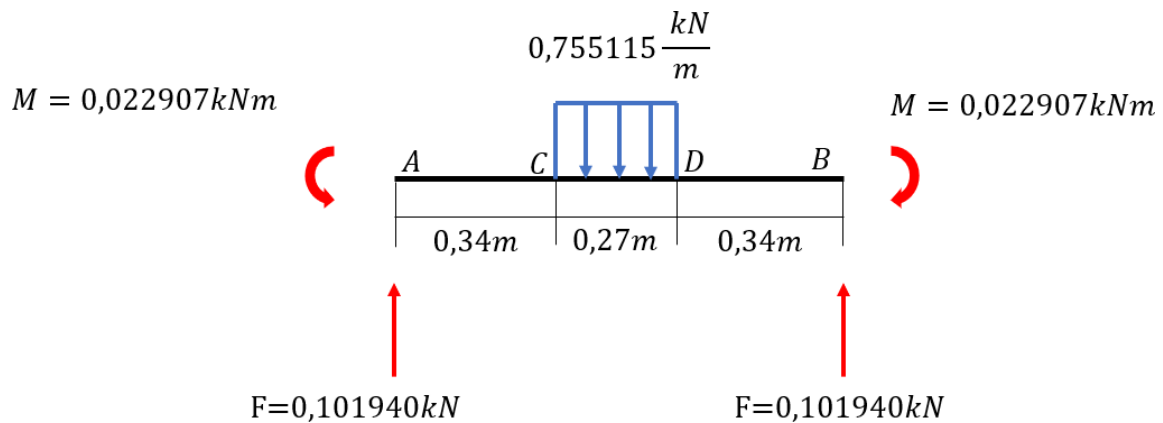
$$M_{m\acute{a}x} = 0,34 * 0,101940647 + \frac{\frac{0,27}{2} * 0,101940647}{2}$$

$$M_{m\acute{a}x} = 0,041540813kNm$$

A continuaci3n, se presenta el diagrama de cuerpo libre final (ver Figura 72):

Figura 72.

Diagrama de cuerpo libre final.

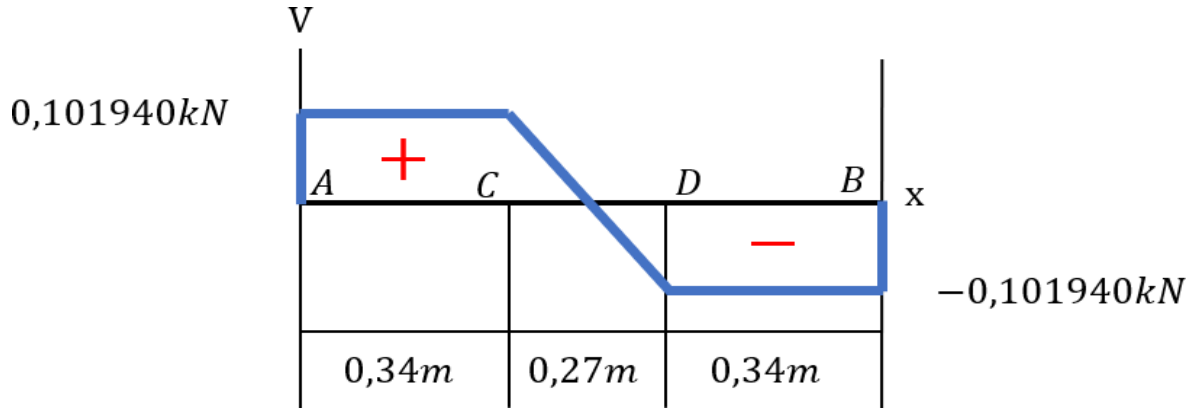


Nota. La Figura muestra el diagrama de cuerpo libre final.

La Figura 73 ilustra el diagrama de fuerza cortante.

Figura 73.

Diagrama de fuerza cortante: $V(x)$.

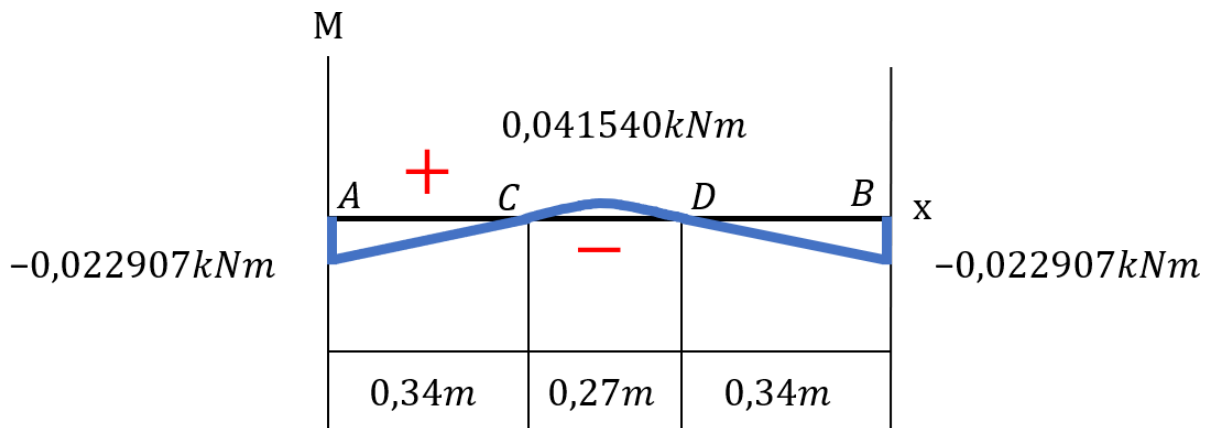


Nota. La Figura muestra el diagrama de fuerza cortante: $V(x)$.

La Figura 74 ilustra el diagrama de momento flector.

Figura 74.

Diagrama de momento flector: $M(x)$.



Nota. La Figura muestra el diagrama de momento flector: $M(x)$.

Con respecto al esfuerzo de flexión se tiene que (ver Ecuación 12):

Ecuación 12. Flexión

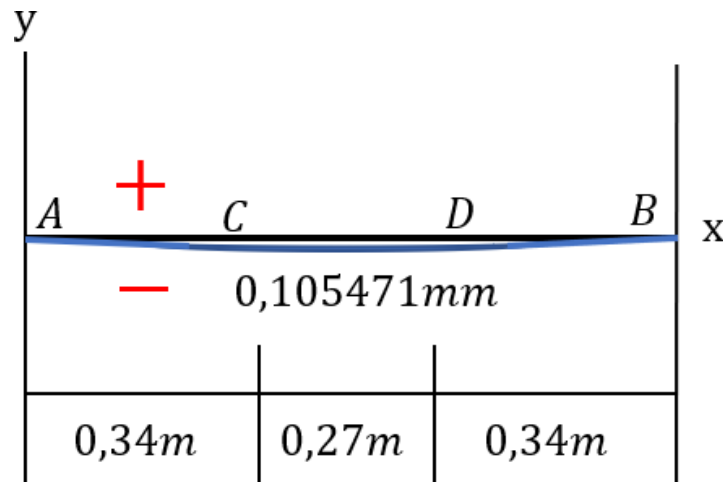
$$\sigma_m = \frac{M}{S}$$

$$\sigma_m = 558,65 \text{ kPa}$$

La Figura 75 ilustra el diagrama de deflexión.

Figura 75.

Diagrama de deflexión: $y(x)$.



Nota. La Figura muestra el diagrama de deflexión: $y(x)$.

6.4 Columnas

Las dimensiones de la columna son similares a las de las vigas, a diferencia que la longitud es de 1,8 metros.

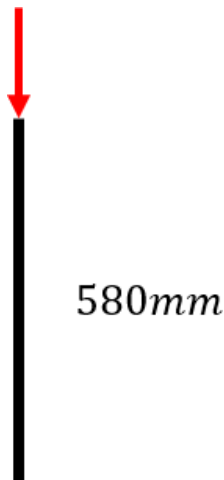
Para realizar los cálculos se tomarán diferentes longitudes para la columna debido a que las cargas están situadas a unas distancias diferentes a la longitud total de la columna. La distancia desde la

base de la columna hasta donde se encuentra la primera carga en conjunto es de 580 mm y la segunda carga se encuentra situada a una distancia de 1120 mm.

Inicialmente, los cálculos se harán a una distancia desde la base de 580 mm como se puede ver en la Figura 76. La carga a la que será sometida cada columna equivale a 1/6 de toda la carga en conjunto que se encuentra a la distancia de 580 mm.

Figura 76.

Carga sobre la columna.



Nota. La Figura muestra la carga que debe soportar la columna.

A continuación, en la Figura 77 se muestra una columna a la cual se le aplica una carga y si esta carga supera la carga crítica hará que esta se pandee.

Figura 77.

Columna pandeada.

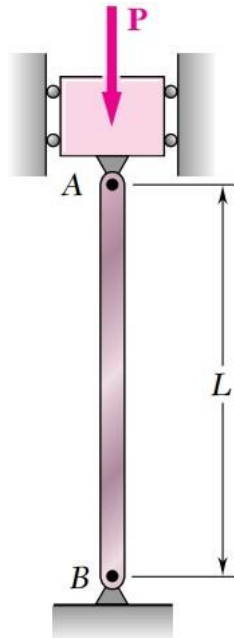


Figura 10.1

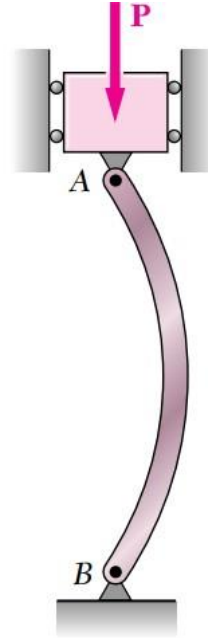


Figura 10.2

Nota. La Figura muestra una columna pandeada luego de que la carga supera la carga crítica.
Tomado de: Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston, John T. DeWolf. *Mecánica de materiales*.
Quinta edición. 2009.

Módulo de elasticidad del acero al carbono:

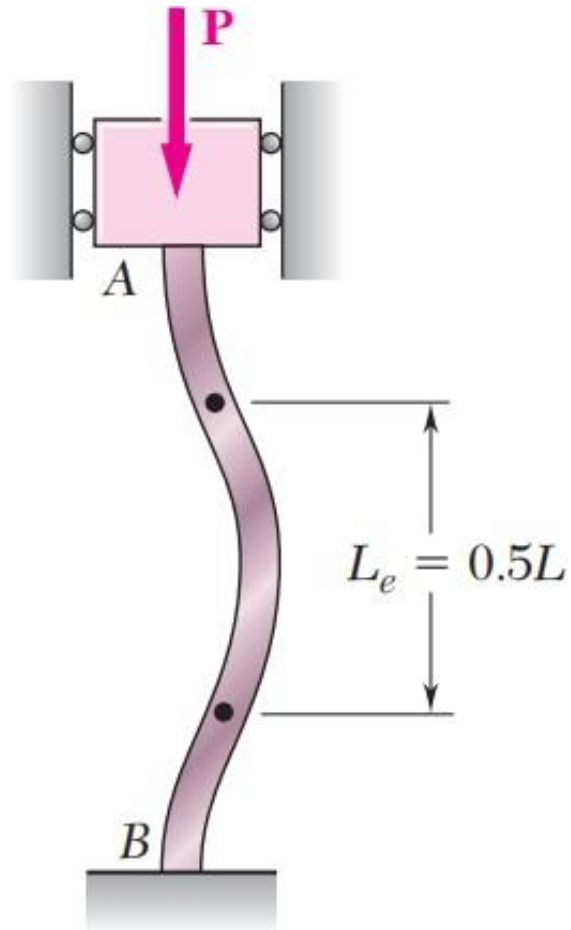
$$E = 200 \times 10^6 \frac{kN}{m^2}$$

Momento de inercia:

$$I = 3,71784 \times 10^{-8} m^4$$

Figura 78.

Longitud efectiva.



Nota. La Figura muestra la longitud efectiva cuando ambos extremos son fijos. Tomado de: Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston, John T. DeWolf. *Mecánica de materiales*. Quinta edición. 2009.

Longitud efectiva (ver Figura 78):

Donde: L es la longitud desde la base de la columna hasta donde se encuentra la carga (0,58 metros). Y l_e es la longitud efectiva.

$$l_e = \frac{L}{2}$$

$$l_e = \frac{0,58}{2}$$

$$l_e = 0,29m$$

Dado que ambos extremos son fijos.

Para determinar la carga crítica P_{cr} en una columna se debe recurrir a la siguiente relación (ver Ecuación 13):

Ecuación 13. Carga crítica

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l_e^2}$$

Donde:

P_{cr} Carga crítica.

E Módulo de elasticidad del acero al carbono.

I Momento de inercia.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * 200 \times 10^6 * 3,71784 \times 10^{-8}}{0,29^2}$$

$$P_{cr} = 872,6177207kN$$

Ahora se determina la carga para saber si es un sistema estable en comparación con la carga crítica:

Las cargas que actúan en el nivel inferior son: compresor y tanque.

$$w_{comp} = 0,2157474kN$$

$$w_{tanq} = 0,7551159kN$$

$$w_{total} = 0,9708633kN$$

Ahora, la carga que soporta cada columna será de:

$$w_{columna} = \frac{0,9708633}{6}$$

$$w_{columna} = 0,16181055kN$$

Como es una carga distribuida se tiene que:

$$w_{dist} = 0,16181055 \frac{kN}{m}$$

Longitud de la carga sobre la columna (l_w):

$$l_w = 0,0381m$$

$$P_{punt} = 0,16181055 * 0,0381$$

$$P_{punt} = 0,006164982kN$$

$$P_{punt} \leq P_{cr}$$

Siendo P_{punt} la carga puntual.

El sistema retornará a su posición original de equilibrio, no se alejará de su posición original, siendo un sistema estable.

Si se comparan los esfuerzos se tiene que:

El esfuerzo de fluencia del acero al carbón equivale a:

$$\sigma_{perm} = 250000 \frac{kN}{m^2}$$

Y el esfuerzo al que está sometido la estructura es:

$$\sigma = \frac{0,006164982}{0,0381^2}$$

$$\sigma = 4,246996063 \frac{kN}{m^2}$$

$$\sigma \leq \sigma_{perm}$$

La columna siempre trabajara en la zona elástica.

El esfuerzo critico equivale a (ver Ecuación 14):

Ecuación 14. *Esfuerzo crítico*

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A}$$

$$\sigma_{cr} = \frac{872,6177207}{0,0381^2}$$

$$\sigma_{cr} = 601137,8543 \frac{kN}{m^2}$$

Recordando que:

$$\sigma = 4,246996063 \frac{kN}{m^2}$$

$$\sigma \leq \sigma_{cr}$$

La columna no tendrá pandeo.

Respecto al factor de seguridad este es muy alto. Pero, en este caso no se corresponde a un diseño caro y tampoco no funcional, es decir, en relación con las láminas de acero inoxidable no se recomienda cambiar el material ya que van a estar en contacto con el agua y en relación con el acero al carbono, este no es costoso y es ideal para poder realizar la soldadura en conjunto con las láminas. Se considera que este juicio es acertado ya que contempla parámetros tales como:

- ✓ Las variaciones que pueden ocurrir en el proceso de su manufactura afectando el material como la composición, resistencia y deformaciones.
- ✓ La adición de nuevos elementos que puedan mejorar el rendimiento de la máquina que esta tendrá durante su vida útil.
- ✓ Fallas repentinas.
- ✓ Deterioro debido al mantenimiento inadecuado o a causas naturales incontrolables (debido a la corrosión).
- ✓ Mayor uso en la industria y menor precio en general.

Como se pudo observar anteriormente, estas cargas son casi despreciables. Porque si se hace un cálculo a la ligera habría que aplicarle más de cien mil veces su peso, para lograr que la columna se pandee. Por lo tanto, no se considera necesario hacer el cálculo para las cargas que se encuentran en el nivel superior, tampoco se tiene en cuenta el peso de las láminas, las columnas y demás elementos en la estructura.

7. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL GENERADOR DE AGUA ATMOSFÉRICO

7.1 Operación del sistema

Para operar el sistema de la manera correcta es necesario seguir los siguientes pasos para no dañar el sistema inconscientemente.

7.1.1 Sistema de energización

Para preservar el buen funcionamiento de los colectores solares a estos se les debe hacer un mantenimiento recurrente que es fácil y muy sencillo. Donde se realiza una limpieza cada mes o cada dos meses con agua y jabón y un cepillo (que puede ser una escoba) para retirar el polvo se acumula en la superficie de estos y así mantener la eficiencia del panel lo más alta posible.

7.1.2 Sistema de condensación

Con respecto al sistema de condensación es muy importante limpiar los intercambiadores de calor, tales como lo son el evaporador y el condensador, esto se hace con el fin de maximizar su eficiencia, porque de no realizarse su desempeño se puede ver afectado considerablemente. Cabe resaltar que este mantenimiento debe ser realizado por profesionales de la materia, los cuales también revisaran elementos como compresor a diferencia del tubo capilar que no requiere un estricto mantenimiento.

Es importante realizar el mantenimiento a estos sistemas porque estas cámaras frigoríficas presentan más del 80% de averías por su escaso mantenimiento [92].

7.1.3 Sistema de filtración

Para el mantenimiento de los filtros de aire es muy sencillo, por lo general basta enjuagarlos con agua tibia, no se recomienda usar productos químicos, porque estos lo pueden dañar [93].

La filtración del agua potable este se recomienda que sea realizado por personal especializado. Teniendo en cuenta que el filtro de carbón activado es muy fácil y sencillo de realizar su mantenimiento, porque este solo debe limpiarse con un pañito mojado, no se recomienda introducirlo en el agua y como mínimo se debe cambiar una vez cada doce meses [94].

Y con respecto al filtro de ultrafiltración este debe ser reemplazado máximo cada año y medio [67]. Por último, el filtro de mineralización, este puede tener una vida útil ya sea de 2 metros cúbicos o de 8 meses [68].

7.2 Dimensionamiento del terreno

Como la empresa colombiana que se seleccionó instala los paneles y deja el proyecto puesto en marcha, entonces ellos serán los encargados de determinar qué tipo de estructura corresponde al terreno disponible ubicado en el municipio de Uribia.

7.3 Realización del montaje de los subsistemas

Esta será dirigida por profesionales de la materia, dedicados a sus respectivos campos, como lo es el sistema de energización, el de condensación y el de filtración. Esto se hace con el objetivo de no dañar los componentes accidentalmente por falta de conocimiento acerca de estos dispositivos, se recomienda que la carga de refrigerante sea de aproximadamente 200 gramos ya que es una medida muy común en estos equipos.

7.4 Identificación y solución de fallas

Como se dijo previamente sobre algunos elementos, hay fallas que pueden ser detectadas inmediatamente, como lo es el caso de los colectores solares, donde, si la potencia suministrada disminuye es posible que sea por causa de polvo sobre la superficie de estos y para implementar una solución efectiva se deben limpiar un con agua y jabón junto con un cepillo esta superficie. Se recuerda que esta empresa brinda un servicio de mano de obra durante los siguientes 25 años (la cual cubre las posibles fallas en la estructura y demás componentes).

A diferencia de la cámara frigorífica, debido a que este es un sistema más complejo y por eso es necesaria la presencia de personal especializado en esta área.

Y por último para el sistema de filtración, también se tuvieron presentes las posibles fallas y soluciones en el capítulo 5.

8. ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO

Este proyecto cuenta con dos tipos de costos principales, el primero de ellos es el que se requiere invertir en materiales y mano de obra. El segundo es el presupuesto que cobra el desarrollador del proyecto para realizarlo.

8.1 Costo de los materiales

El total de los costos de los materiales de sistemas es equivalente a \$ **48.800.000** pesos colombianos (COP) aproximadamente. A continuación, se muestran los costos de los materiales incluidos en el proyecto en las Tablas 11 y 12.

8.1.1 Sistema de energización

Estos suman un total de \$ **37.400.000,00**

8.1.2 Sistema de condensación

Tabla 11.

Precios para el sistema de condensación.

Compresor	\$ 1.818.978,00
Tubo Capilar	\$ 85.145,00
Evaporador	\$ 251.680,00
Condensador	\$ 503.360,00
Subtotal	\$ 2.659.163,00

Nota. La Tabla presenta los precios del sistema de condensación.

8.1.3 Sistema de filtración

Tabla 12.

Precios para el sistema de filtración.

Pre-filtro de aire	\$ 142.284,00
Filtro de aire	\$ 93.513,00
Filtro de sedimentos	\$ 13.499,00
Filtro de carbón activado	\$ 47.000,00
Filtro de ultrafiltración	\$ 48.000,00
Filtro de mineralización	\$ 25.555,00
Subtotal	\$ 369.851,00

Nota. La tabla presenta los precios del sistema de filtración.

8.1.4 Estructura

Estos suman un total de **\$ 8.350.000,00**

8.2 Costo de mano de obra

A demás, se asume un costo adicional que es el de mano de obra que corresponde a la instalación de la estructura y sus debidos arreglos y también se tiene en cuenta la posibilidad de algunos imprevistos. Estos se asumirán en un 10% con respecto a los costos de los materiales. Por lo tanto, el costo definitivo del proyecto será de **\$ 53.700.000** pesos colombianos.

8.3 Presupuesto que requiere el proyecto

Por último, se requiere un presupuesto para poder emprender el proyecto de \$ **27.610.000** pesos colombianos, como se puede ver en la Tabla 13. Que es diferente al valor de los materiales y mano de obra realizada por el personal especializado.

Tabla 13.

Presupuesto para la realización del proyecto.

ÍTEMS	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR TOTAL	Fuente Financiera
Talento Humano					
Investigador	horas	\$ 10.000,00	700	\$ 7.000.000,00	Proponente
Director	horas	\$ 70.000,00	100	\$ 7.000.000,00	FUA
Total: Talento Humano				\$14.000.000,00	
Gastos de Maquinaria y Equipos					
Computadora	horas	\$ 5.000,00	700	\$ 3.500.000,00	Proponente
Software	horas	\$ 10.000,00	70	\$ 700.000,00	FUA
Total: Maquinaria y Equipos				\$4.200.000,00	
Fungibles					
Internet	horas	\$ 2.000,00	1400	\$ 2.800.000,00	Proponente
Libros	-	-	-	-	-
Papel	-	-	-	-	-
Tinta	-	-	-	-	-
Total: Fungibles				\$2.800.000,00	
Otros gastos					
Luz	horas	\$ 4.000,00	500	\$ 2.000.000,00	Proponente
Bases de datos	horas	\$ 10.000,00	10	\$ 100.000,00	Proponente
Asesorías externas	horas	\$ 50.000,00	40	\$ 2.000.000,00	Proponente
Total: Otros gastos				\$4.100.000,00	
Total, sin Imprevistos				\$25.100.000,00	
Imprevistos 10%				\$2.510.000,00	
COSTO TOTAL DEL PROYECTO				\$27.610.000,00	

Nota. La tabla presenta el presupuesto del proyecto.

9. RESULTADOS

En esta investigación se halló que el sistema de generación de agua más apropiado para resolver el presente problema es el ciclo de refrigeración por compresión.

9.1 Parámetros

En la Tabla 14 se presentan los parámetros de diseño para el generador de agua atmosférico. Se diseñó con una humedad relativa mínima de **65%** y temperatura mínima de **26°C**, para que cuando el equipo se encuentre en estas condiciones sea capaz de generar 30 litros de agua a lo largo del día, sí se mantienen estas condiciones. A demás, se determinó que la temperatura del punto de rocío a estas condiciones es de **18°C**, parámetro importante para la condensación de agua en el evaporador.

Las alternativas de las cotizaciones que se postularon se revisaron cada una y se verificó que fueran capaces de generar la energía que requiere la cámara frigorífica con un mínimo de **6 horas al día** (ver Tabla 4). Hubo una de ellas que no cumplía con este parámetro por lo cual se descartó, ya que requería 7 horas de sol al día como mínimo y también porque era demasiado costosa.

Se llegó a determinar que la temperatura del refrigerante en los intercambiadores de calor maximizaría la cantidad de agua condensada y disminuiría la potencia absorbida por el compresor. Siendo la temperatura del refrigerante en el evaporador igual a **-6°C** y para el condensador una temperatura de **40°C**.

Tabla 14.

Parámetros de diseño.

Humedad relativa	65%
Horas de sol al día	6
Temperatura ambiente	26°C
Temperatura Evaporador R-134a	-6°C
Temperatura Condensador R-134a	40°C
Temperatura de rocío	18°C

Nota. La Tabla presenta los parámetros de diseño del AWG.

9.2 Selección y diseño

Los aspectos que se tuvieron en cuenta para la selección y diseño del equipo fueron primero determinar la potencia del evaporador, esta fue hallada y su respectivo valor fue **1,51kW**, con este valor y los parámetros de diseño se hizo uso de diferentes software para determinar cuál representaba una mejor opción para la selección del compresor e intercambiadores de calor (ya que estos consumen energía debido a los ventiladores que traen incluidos) y la posterior selección de las propuestas del sistema de energía.

Por parte de diferentes empresas expertas en el campo, se seleccionó la propuesta de la empresa colombiana **Natam**, ya que esta cuenta con los parámetros mínimos establecidos, además de varias ventajas como su mano de obra, costo, instalación y puesta en marcha. El costo del sistema de energía es de **\$ 37.400.000** pesos. Esta opción ofrece el menor número de paneles, lo cual es beneficioso para su mantenimiento, además, de ocupar un área menor.

Se selecciono el **R-134a** debido a que es el más usado en la industria, es el más compatible con todos los elementos de la cámara frigorífica, tiene una gran estabilidad térmica y porque su temperatura crítica es apropiada ya que es superior a los 100°C.

Se selecciono el compresor de **alternativo** ya que es de los más usados, por su alta eficiencia y bajo costo. A demás de ser el que cumplía con los mejores beneficios para el sistema de refrigeración. Su respectiva potencia fue de **0,717kW**.

El **tubo capilar** fue el dispositivo de expansión seleccionado, porque es apropiado para las cargas que se presentan en este ciclo de refrigeración. Sus ventajas son su bajo costo, no requiere mantenimiento y es ideal para compresores herméticos. La forma como se determinaron sus parámetros fue por medio de un software, al cual se le dictaron datos como potencia frigorífica, temperatura de evaporador, condensador y temperatura a la entrada del compresor. Por lo tanto, sus características fueron de **4,08 metros** de longitud y **2,5 milímetros** de diámetro interno.

Los **intercambiadores de calor** se escogieron por medio de los sugeridos por el software y por medio de la ecuación 7, para este caso la potencia del condensador fue de **2,23kW**. Y la potencia de los ventiladores que vienen incluidos en estos equipos de calor sumaron **0,44kW**.

Y finalmente para el sistema de filtración se seleccionaron las mejores alternativas posibles tomando como referencia equipos similares, estado del arte y precio. En los cuales se encuentran el prefiltro de aire, filtro de aire, filtro de sedimentos, filtro de carbón activado, filtro de ultrafiltración y filtro de mineralización. A demás del tanque de almacenamiento el cual cuenta con dimensiones acordes a las del evaporador para poder recolectar el agua que se desprende del intercambiador.

9.3 Operación y mantenimiento

Se dispone de la garantía del proveedor del sistema solar por un periodo de 25 años para su respectivo mantenimiento. Y con respecto a los otros dos sistemas se recomienda que el personal especializado sea quien trate estas áreas, aunque hay algunas salvedades como, por ejemplo, el

filtro de aire que basta con enjuagarse con agua tibia para limpiarlo. Se recuerda que el tubo capilar no requiere mantenimiento.

9.4 Costos

El costo definitivo del proyecto será de **\$ 53.700.000** pesos colombianos. Y el presupuesto con el que se debe contar para realizar el proyecto debe ser de **COP\$ 27.610.000**.

10. CONCLUSIONES

Una reflexión que nace luego de realizar la culminación del proyecto es saber que se puede brindar una solución hecha a la medida a un problema como lo es la escasez de agua y plasmarlo en un documento para que posteriormente pueda ser realizado y que se vea reflejado el beneficio que brinda a estas comunidades en el municipio de Uribia, ubicado en el departamento de La Guajira, Colombia. Se demuestra cómo se condensa el agua que contiene el ambiente por medio del contacto con una superficie fría a un ritmo de 30 litros por día.

Se justifica la selección de los sistemas escogidos porque su costo no es tan elevado en comparación con las demás alternativas, es eficiente y no demanda un alto consumo energético, su operación, mantenimiento y mano de obra está garantizada por parte del proveedor durante 25 años con respecto al sistema solar, hay elementos que no requieren mantenimiento, son elementos compatibles universalmente y es justo lo que necesita el sistema para su correcto funcionamiento.

El impacto ambiental que representa el generador de agua atmosférico es mínimo porque su fuente de alimentación de energía no depende de combustibles fósiles y tampoco de ningún tipo de fuentes que generen contaminación. Por el contrario, funciona con energía verde, la cual representa 0% de contaminación durante su vida útil. La tecnología de la energía solar es una de la más pujantes hoy en día, porque cuentan con la disponibilidad de una fuente casi inagotable como lo es el sol. Por último, el tipo de refrigerante seleccionado no representa ningún efecto contraproducente para el medio ambiente.

Una de las principales recomendaciones es ampliar las alternativas (proveedores) de suministro de energía, porque el costo del proyecto depende en gran medida de su selección, además de, el área requerida para su instalación (27 metros cuadrados) y la cantidad de colectores (12 paneles fotovoltaicos que cuestan aproximadamente 12 millones de pesos) que está relacionado directamente con su mantenimiento. Y con respecto al compresor también se debe ampliar la cantidad de tipos de software para su selección, con el fin de poder revisar equipos que consuman una menor potencia y que su costo sea menor.

Se sugiere que cuando se materialice el proyecto se hagan pruebas rigurosas realizadas por personal especializado, para garantizar que el agua es potable para beber (por ejemplo, un medidor de pH), ya que, si no es así, se corre el riesgo de desarrollar alguna enfermedad por causa de su consumo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] WHO. (jun,14,2019). “Agua.”. [En línea] <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/drinking-water>. [Acceso, ene,16,2021]
- [2] Banco mundial. “Agua: Panorama general.” [En línea] <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview>. [acceso: feb,12,2021]
- [3] WWF . “Water Scarcity” [En línea] <https://www.worldwildlife.org/threats/water-scarcity>. [Acceso: mar,1,2021]
- [4] BM. “Water in Agriculture.” [En línea] <https://www.worldbank.org/en/topic/water-in-agriculture>. [Acceso: ene,12,2021]
- [5] ONU, “Objetivo 6. Agua Limpia Y Saneamiento: Por Que Es Importantes,” *United Nations*, pp. 1–2, 2015, [Online]. Available: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/6_Spanish_Why_it_Matters.pdf.
- [6] Human right to water and sanitation. “Water for Life”. [En línea] https://www.un.org/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml. [Acceso: ene,12,2021]
- [7] Colombia reports. “Colombia headed for serious water shortage by 2050.” [En línea] <https://colombiareports.com/colombia-headed-serious-water-shortage-2050/>. [Acceso: ene,12,2021]
- [8] El tiempo “Agua potable en Colombia - Archivo Digital de Noticias de Colombia y el Mundo desde 1.990 - eltiempo.com.” [En línea] <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15445939>. [Acceso: ene,12,2021]
- [9] Cepei. “352 municipios de Colombia no cuentan con acceso a agua potable de calidad” [En línea] <https://cepei.org/novedad/352-municipios-de-colombia-no-cuentan-con-acceso-a-agua-potable-de-calidad/>. [Acceso: ene,12,2021]
- [10] La silla vacia. “La Guajira enfrenta la pandemia con hambre y sin agua potable | La Silla Vacía.” [En línea] <https://lasillavacia.com/guajira-enfrenta-pandemia-hambre-y-sin-agua-potable-76409>. [Acceso: ene,12,2021]
- [11] RCN Radio “Rancherías de La Guajira: así se vive por la falta de agua” [En línea] <https://www.rcnradio.com/recomendado-del-editor/asi-se-vive-en-las-rancherias-de-la-guajira-por-la-falta-de-agua>. [Acceso: ene,12,2021]

- [12] El país. “La Guajira sequía: La comunidad que se muere de sed | Internacional | EL PAÍS.” [En línea] https://elpais.com/internacional/2015/05/22/actualidad/1432256383_171660.html. [Acceso: ene,12,2021]
- [13] Noticias Canal 1. (oct,19,2018). “Municipios de La Guajira siguen sin acceso a agua potable: Corte Constitucional” [En línea]. <https://noticias.canal1.com.co/noticias/municipios-de-la-guajira-siguen-sin-acceso-a-agua-potable-corte-constitucional/>. [Acceso: abr,20,2021].
- [14] La otra cara. (s.f.). “Se Robaron el Río Ranchería”. [En línea]. <https://laotracara.co/destacados/se-robaron-el-rio-rancheria/>. [Acceso, ma,5,2021].
- [15] El tiempo. “Así Se Identifican Los Municipios Guajiros - Archivo Digital de Noticias de Colombia y el Mundo desde 1.990” [En línea]. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-354129>. [Acceso, ma,5,2021].
- [16] “Análisis De Situación De Salud (Asis) En Municipios De Frontera, Departamento De La Guajira, 2.010.” [PDF]. Disponible: [https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/ED/PSP/Fronteras ASIS Guajira 2010.pdf](https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/ED/PSP/Fronteras%20ASIS%20Guajira%202010.pdf).
- [17] ArcGIS Hub. (s.f.). “Hidrografía Colombiana - IDEAM y SiGaia” [En línea]. <https://hub.arcgis.com/datasets/89f6818e093f4b0faa99b456ad98018d?fullScreen=true&geometry=-73.189%2C11.630%2C-70.876%2C12.479>. [Acceso: may,20,2021].
- [18] Contraloría General de la Nación, “La Guajira: revisión de la situación en Agua Potable y Saneamiento Básico,” *Bol. Macro Sect.*, vol. 18, p. 6, 2018, [Online]. Available: www.elcampesino.co.
- [19] A. L. Bautista-Olivas, J. L. Tovar-Salinas, and O. R. Mancilla-Villa, “¿Puede utilizarse el agua atmosférica para el consumo doméstico y universal?,” *AGROProductividad*, vol. 6, no. 3, pp. 15–21, 2013, [Online]. Available: <http://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/459/339>.
- [20] F. Salek, A. N. Moghaddam, and M. M. Naserian, “Thermodynamic analysis and improvement of a novel solar driven atmospheric water generator,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 161, no. November 2017, pp. 104–111, 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2018.01.066.

- [21] “Distribución De La Temperatura Media Anual (°C).” [PDF]. Disponible: http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Temp_Med_Anual.pdf.
- [22] M. Fill, F. Muff, and M. Kleingries, “Evaluation of a new air water generator based on absorption and reverse osmosis,” *Heliyon*, vol. 6, no. 9, p. e05060, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e05060.
- [23] G. Atmosf, “Catálogo 2021,” [PDF]. 2021.
- [24] A. A. Salehi, M. Ghannadi-Maragheh, M. Torab-Mostaedi, R. Torkaman, and M. Asadollahzadeh, “A review on the water-energy nexus for drinking water production from humid air,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 120, no. March, p. 109627, 2020, doi: 10.1016/j.rser.2019.109627.
- [25] A. H. Shourideh, W. Bou Ajram, J. Al Lami, S. Haggag, and A. Mansouri, “A comprehensive study of an atmospheric water generator using Peltier effect,” *Therm. Sci. Eng. Prog.*, vol. 6, no. September 2017, pp. 14–26, 2018, doi: 10.1016/j.tsep.2018.02.015.
- [26] J. H. Humphrey *et al.*, “The potential for atmospheric water harvesting to accelerate household access to safe water,” *Lancet Planet. Heal.*, vol. 4, no. 3, pp. e91–e92, 2020, doi: 10.1016/S2542-5196(20)30034-6.
- [27] Atlas Interactivo. “Radiación IDEAM.” [En línea]. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>. [Acceso: may,4,2021].
- [28] F. Bagheri, “Performance investigation of atmospheric water harvesting systems,” *Water Resour. Ind.*, vol. 20, no. May, pp. 23–28, 2018, doi: 10.1016/j.wri.2018.08.001.
- [29] H. Jarimi, R. Powell, and S. Riffat, “Review of sustainable methods for atmospheric water harvesting,” *Int. J. Low-Carbon Technol.*, vol. 15, no. 2, pp. 253–276, 2020, doi: 10.1093/ijlct/ctz072.
- [30] A. Tripathi, S. Tushar, S. Pal, S. Lodh, S. Tiwari, and R. S. Desai, “Atmospheric Water Generator,” *Int. J. Enhanc. Res. Sci. Technol. Eng.*, vol. 5, no. 4, pp. 2319–7463, 2016.
- [31] S. Zolfagharkhani, M. Zamen, and M. M. Shahmardan, “Thermodynamic analysis and evaluation of a gas compression refrigeration cycle for fresh water production from atmospheric air,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 170, no. December 2017, pp. 97–107, 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2018.05.016.
- [32] “Corporate Overview 1.”
- [33] C. S. Mandal, M. Agarwal, V. Reddy, and V. Krishna Kudapa, “Water from air – A

- sustainable source of water,” *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.11.477.
- [34] O. Inbar, I. Gozlan, S. Ratner, Y. Aviv, R. Sirota, and D. Avisar, “Producing safe drinking water using an atmospheric water generator (Awg) in an urban environment,” *Water (Switzerland)*, vol. 12, no. 10, pp. 1–19, 2020, doi: 10.3390/w12102940.
- [35] A. Dash, H. P. Roy, and A. Mohapatra, “Atmospheric Water Generator : To meet the drinking water requirements of a household in coastal regions of India,” *Natl. Inst. Technol.*, pp. 1–7, 2015, [Online]. Available: <http://ethesis.nitrkl.ac.in/7482/1/140.pdf>.
- [36] A. L. Bautista-Olivas, J. L. Tovar-Salinas, O. L. Palacios-Velez, and O. R. Mancilla-Villa, “La humedad atmosférica como fuente opcional de agua para uso doméstico,” *Agrociencia*, vol. 45, no. 3, pp. 293–301, 2011.
- [37] OPUR “International Organization For Dew Utilization.” [En línea] <https://www.opur.fr/index.htm>. [Acceso: may,15,2021]
- [38] C. Rica and S. Leone, “Turning air into drinking water,” *Filtr. + Sep.*, vol. 57, no. 1, pp. 20–21, 2020, doi: 10.1016/s0015-1882(20)30032-x.
- [39] Atlas Interactivo. “Visor atlas climatologico”. [En línea]. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>. [Acceso: feb,5,2021].
- [40] Achoo! “How Does a Dehumidifier Work?” [En línea] <https://www.achooallergy.com/blog/learning/how-does-a-dehumidifier-work/>. [Acceso: may,20,2021]
- [41] “Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda 2018 Riohacha, La Guajira.” [PDF]
- [42] “Technical Notes On Drinking-Water, Sanitation And Hygiene In Emergencies 9.1 Technical Notes On Drinking-Water, Sanitation And Hygiene In Emergencies.” [PDF]
- [43] University of Illinois Extension. “Relative Humidity”. [En línea] <https://web.extension.illinois.edu/treehouse/clouds.cfm?Slide=2>. [Acceso: abr,12,2021]
- [44] weather. “Dew Point vs Humidity.” [En línea] https://www.weather.gov/arx/why_dewpoint_vs_humidity. [Acceso: jun,1,2021]
- [45] Energy. “Solar Radiation Basics” [En línea] <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-radiation-basics>. [Acceso: jun,2,2021]
- [46] NASA “Solar Irradiance.” [En línea]

- https://www.nasa.gov/mission_pages/sdo/science/Solar_Irradiance.html. [Acceso: jul,3,2021]
- [47] Meteoblue “Precipitation.” [En línea] <https://content.meteoblue.com/en/specifications/weather-variables/precipitation>. [Acceso, ago,1,2021]
- [48] Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston, John T. DeWolf. *Mecanica de materiales*. Quinta edición. 2009.
- [49] Bob Vila. “How Dehumidifiers Work”. [En línea]. <https://www.bobvila.com/articles/how-dehumidifiers-work/>. [Acceso: feb,2,2021].
- [50] HVAC “Evaporator Coil” [En línea] <https://www.lennox.com/buyers-guide/guide-to-hvac/glossary/evaporator-coil>. [Acceso: mar,1,2021]
- [51] Cero grados Celcius. (jun,28,2018). “Tubo capilar”. [En línea]. <https://0grados.com.mx/tubo-capilar/> [Acceso: may,19,2021]
- [52] Meltonhvac “The Difference Between Condenser Coils and Evaporator Coils.” [En línea] <https://www.meltonhvac.com/blogs/the-difference-between-condenser-coils-and-evaporator-coils>. [Acceso: ene,12,2021]
- [53] Como funciona “¿Como funciona un VENTILADOR? Tipos, partes y consumo.” [En línea] <https://como-funciona.co/un-ventilador/>. [Acceso: ene,12,2021]
- [54] P. K. Barn, C. T. Elliott, R. W. Allen, T. Kosatsky, K. Rideout, and S. B. Henderson, “Portable air cleaners should be at the forefront of the public health response to landscape fire smoke,” *Environ. Heal. A Glob. Access Sci. Source*, vol. 15, no. 1, pp. 1–8, Nov. 2016, doi: 10.1186/s12940-016-0198-9.
- [55] Urth “UV Lens Filter Know-How: When to Use One and Why?” [En línea] <https://urth.co/magazine/uv-lens-filter-usage/>. [Acceso: ene,12,2021]
- [56] Merriam-Webster “Pump” [En línea] <https://www.merriam-webster.com/dictionary/pump>.
- [57] Atmospheric water generator. “Making water from air”. [En línea]. <https://www.firsth2o.com/portfolio-items/32ld-solar-awg/>. [Acceso, mar,5,2021].
- [58] MrSolar “What Is A Solar Panel? How does a solar panel work?” [En línea]. <https://www.mrsolar.com/what-is-a-solar-panel/>. [Acceso, mar,5,2021].
- [59] MpptSolar “Cómo Funciona un Inversor: Esquema y Funcionamiento.” [En línea]. <https://www.mpptsolar.com/es/esquema-funcionamiento-inversor.html>. [Acceso,

- mar,5,2021].
- [60] learn.sparkfun “What is a Battery?” [En línea]. <https://learn.sparkfun.com/tutorials/what-is-a-battery/all>. [Acceso, mar,5,2021].
- [61] Servovendi. (s.f.). “Pantalla / Filtro de aire contra insectos para extractor RAM Bug Barrier (250mm)”. [En línea]. [Pantalla / Filtro de aire contra insectos para extractor RAM Bug Barrier \(250mm\) - ServoVendi: tu tienda online de Medidores, Cultivo, Grow Shop, Jardinería y Hidroponía](#) [Acceso: Octubre 5, 2021].
- [62] Isofilter. (s.f.). “Filtro de bolsas flexibles”. [En línea]. [Filtro de bolsas flexibles, eficiencia G3, G4, M5, F6, F7, F8 y F9 \(isofilter.es\)](#) [Acceso: Octubre 5, 2021].
- [63] EMW. (s.f.). “Clases de filtros según EN 779 y EN 1822”. [En línea]. [Categorización de clases de filtros y tamaños de partículas \(emw.de\)](#) [Acceso: Octubre 5, 2021].
- [64] Aguaeden. (s.f.). “Filtro para agua: ¿que tipos existen y cuales son los mejores?”. [En línea]. [Filtro para agua: ¿qué tipos existen y cuáles son los mejores? \(aguaeden.es\)](#) [Acceso: Octubre 5, 2021]
- [65] Fibras y normas de Colombia. (s.f.). “Filtro Cartucho De Polipropileno Termofusionado Marca Purikor De 2.5" X 10" Para Filtrado De 5 Micras”. [En Línea]. [▷ Filtro Cartucho De Polipropileno Termofusionado Marca Purikor De 2.5" X 10" Para Filtrado De 5 Micras - Tienda en Linea \(fibrasynormasdecolombia.com\)](#) [Acceso: Octubre 5, 2021]
- [66] Mercado Libre. (s.f.). “Filtro Para Agua Con Carbón Activado Ozono Toda Marca”. [En línea]. [Filtro Para Agua Con Carbón Activado Ozono Toda Marca | Cuotas sin interés \(mercadolibre.com.co\)](#) [Acceso: Octubre 5, 2021]
- [67] Mercado Libre. (s.f.). “Membrana Ultrafiltración Uf-10c Para Filtro De Agua”. [En línea]. [Membrana Ultrafiltración Uf-10c Para Filtro De Agua | MercadoLibre](#) [Acceso: Octubre 5, 2021]
- [68] Mercado Libre. (s.f.). “Filtro Multicapas Alcalinizador Esferas Mineralizadoras”. [En línea]. [Filtro Multicapas Alcalinizador Esferas Mineralizadoras | Cuotas sin interés \(mercadolibre.com.co\)](#) [Acceso: Octubre 5, 2021]
- [69] B. Perović, D. Klimenta, M. Jevtić, M. Milovanović, “The Effect Of Different Sky Temperature Models On The Accuracy In The Estimation Of

- The Performance Of A Photovoltaic Module”, *Journal Of The Technical University Of Gabrovo*, 2019, [Pdf], Disponible: [\(Pdf\) The Effect Of Different Sky Temperature Models On The Accuracy In The Estimation Of The Performance Of A Photovoltaic Module \(Researchgate.Net\)](#) [Acceso: nov,30,2021].
- [70] “Psicrometría”, [PDF] Disponible: <https://avdiaz.files.wordpress.com/2009/01/i-unidad3.pdf> Acceso: oct,5,2021.
- [71] Y. Cengel, M. Boles. (2009). *Termodinámica. (Sexta edición)*. Disponible: [\(PDF\) Termodinámica, 6ta Edición - Yunus A. Çengel y Michael A. Boles-FREELIBROS.ORG.Pdf | ALISSON ANDREA RODRIGUEZ RODRIGUEZ - Academia.Edu](#)
- [72] “Refrigerantes”, [PDF] Disponible: <http://www.indubel.com.ar/pdf/gases/refrigerantes.pdf>
- [73] Arango, C. Dorado, J. Guzmán D. Ruiz, J. F, “Climatología Trimestral De Colombia” [PDF]. Disponible: <https://es.scribd.com/document/229064239/Climatologia-Trimestral-para-Colombia-Ruiz-Guzman-Arango-y-Dorado-pdf> [Acceso: mar,5,2021]
- [74] Codelco. (s.f.). “Usos del cobre”. [En línea]. https://www.codelco.com/usos-del-cobre/prontus_codelco/2011-06-03/223706.html [Acceso: mar,5,2021]
- [75] Gases refrigerantes Europa. (s.f.). “¿Cuál es el gas refrigerante más utilizado?”. [En línea]. <https://gasesrefrigeranteseuropa.com/blog/gases-refrigerantes/cual-es-el-gas-refrigerante-mas-utilizado/> [Acceso: mar,5,2021]
- [76] Gas Servei. (s.f.). “Ficha técnica R134a”. [En línea]. <https://gas-servei.com/shop/docs/ficha-tecnica-r-134a-gas-servei.pdf> [Acceso: mar,5,2021]
- [77] BITZER, v6.17.5, Rottenburg-Ergenzingen, Alemania. (s.f.).
- [78] Pecomark. (s.f.). “Compresor BITZER 2JES-07Y 230/400V (40S)”. [En línea]. <https://www.pecomark.com/es/c/p/122344> [Acceso: mar,5,2021]
- [79] Coolselector2, 4.6.4.599, Danfoss A/S. (s.f.).
- [80] Monografías. (s.f.). “Compresores reciprocantes”. [En línea]. <https://www.monografias.com/trabajos95/compresores-reciprocantes/compresores-reciprocantes.shtml> [Acceso: mar,5,2021]

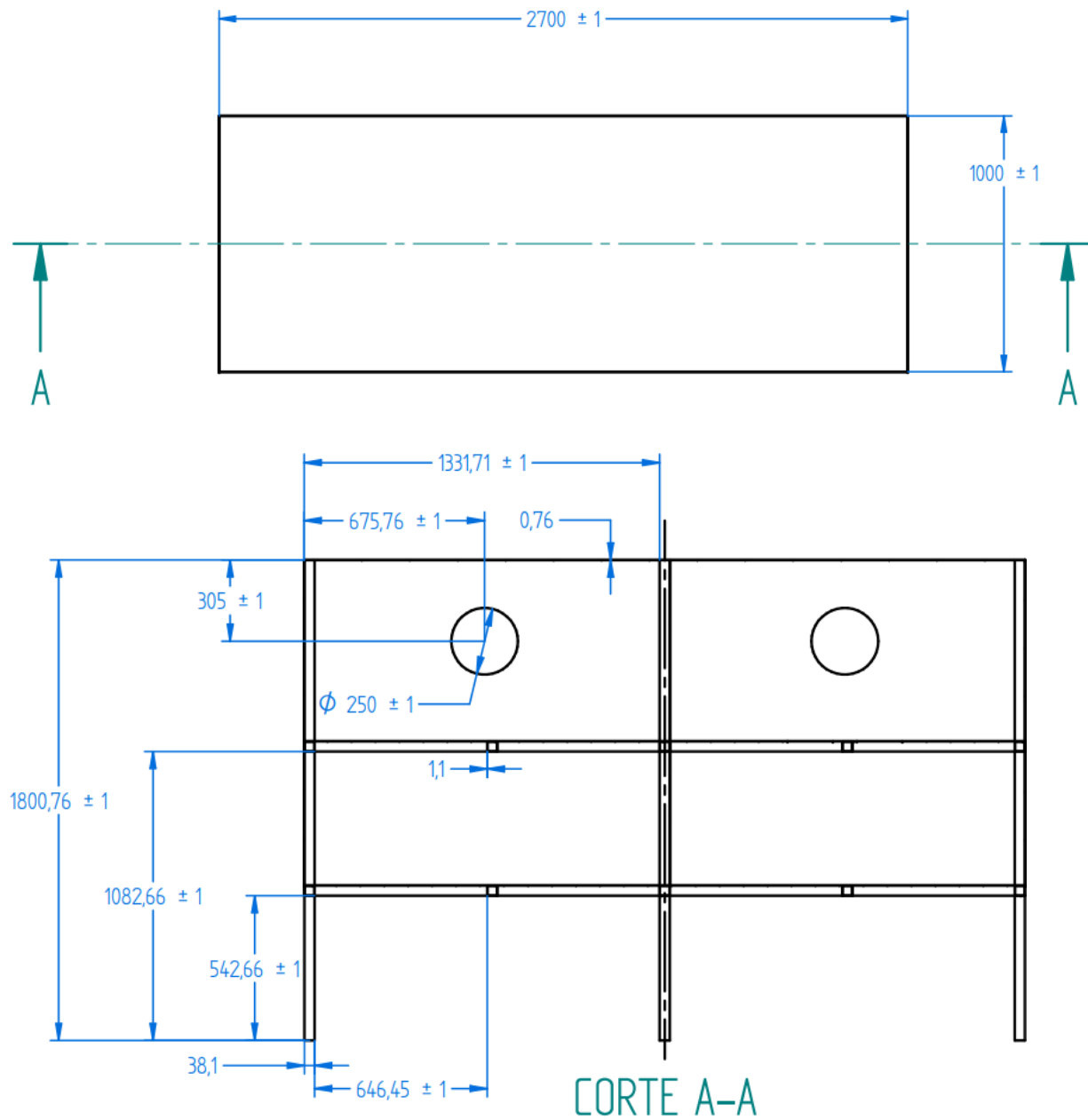
- [81] CANTAS, (s.f.). “Danfoss MTZ 018 - 4VI”, [En línea]. <https://www.cantas.com/urun/danfoss-mtz-018-4vi/> [Acceso: mar,5,2021].
- [82] Frionline. (s.f.). “Estudio de los dispositivos de expansión y control del refrigerante de una instalación frigorífica”. [En línea]. <https://www.frionline.net/articulos-tecnicos/171-estudio-de-los-dispositivos-de-expansion-y-control-del-refrigerante-de-una-instalacion-frigorifica.html> [Acceso: mar,5,2021].
- [83] Secop Capillary Tube Selector. 1.0. Capcel. (s.f.).
- [84] Amazon. (s.f.). “Tubos de refrigeración uxcell 0.098 in OD x 0.059 in ID x 24,5 pies de longitud de cobre bobina de tubo”. [En línea]. https://www.amazon.com/-/es/refrigeraci%C3%B3n-uxcell-0-071-0-031-longitud/dp/B08NJ1NBKN/ref=sr_1_4?dchild=1&keywords=copper%2Bcapillary%2Btube&qid=1634445844&sr=8-4&th=1 [Acceso: oct,5,2021].
- [85] Alibaba. (s.f.). “2HP 2.5 HP Copper Coil Air Cooled Condenser Condensing Unit Evaporator”. [En línea]. https://gzzhigao.en.alibaba.com/product/50039923402-817562544/2HP_2_5_HP_Copper_Coil_Air_Cooled_Condenser_Condensing_Unit_Evaporator.html [Acceso: oct,5,2021]
- [86] Gzximaike. (s.f.). “Condenser refrigerator heat exchanger 2HP to 6HP 1 blower”. [En línea]. https://www.gzximaike.com/condenser-refrigerator-heat-exchanger-2hp-to-6hp-1-blower_p211.html [Acceso: oct,5,2021]
- [87] Alibaba. (s.f.). “4HP XMK FNF-8.8/28 Cold Room Air Cooled Price Copper Condenser”. [En línea]. https://www.alibaba.com/product-detail/4HP-XMK-FNF-8-8-28_62054457810.html [Acceso: oct,5,2021]
- [88] Homecenter. (s.f.). “Tanque Comedero 75 Litros Rectangular”. [En línea]. <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/129791/tanque-comedero-75-litros-rectangular/129791/> [Acceso: oct,5,2021]
- [89] “JaSolar-M72S20-MR440-465W”. [PDF]. Disponible: <https://autosolar.es/pdf/JaSolar-M72S20-MR440-465W.pdf>
- [90] Frigopack. (s.f.). “Compresor hermético Maneurop Danfoss MTZ 18 JA 4 VE de 1 1/2CV 380V”. [En línea]. <https://www.frigopack.com/Articulo~x~Compresor-hermetico-maneurop-danfoss-mtz-18-ja-4-ve-de-1-1-2cv-380v~IDArticulo~38044.html> [Acceso: oct,10,2021]

- [91] 360 Zhileng. (s.f.). “West Macco”. [En línea]. <https://m.360zhileng.com/item/14267.html?u=0> [Acceso: oct,12,2021]
- [92] Cofrico. (sep,23,2021). “Mantenimiento de cámaras frigoríficas: una tarea vital”. [En línea]. <https://www.cofrico.com/consejos-tecnicos/mantenimiento-de-camaras-frigorificas/> [Acceso: ago,25,2021].
- [93] Lowcostclima. (abr,24,2021). “Tipos filtro aire acondicionado”. [En línea]. <https://lowcostclima.es/blog/tipos-filtro-aire-acondicionado/> [Acceso: ago,23,2021]
- [94] Aleph. (mar,24,2021). “¿Cómo se limpian los filtros de carbón activado?”. [En línea]. <https://aleph.org.mx/como-se-limpian-los-filtros-de-carbon-activado> [Acceso: ago,23,2021].
- [95] The Convesation. (s.f.). “¿Qué pasará con las plantas solares cuando termine su vida útil?”. [En línea]. <https://theconversation.com/que-pasara-con-las-plantas-solares-cuando-termine-su-vida-util-165708> [Acceso: mar,5,2020,].
- [96] F. Espejo. D., *Propuesta De Diseño De Equipo De Recuperacion De Agua De La Humedad Ambiental*, Tesis pre, Facultad de ingenierías, Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña Del Mar, 2019.
- [97] iagua. (s.f.). “¿Qué es un caudal?”. [En línea]. <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-caudal> [Acceso: ene,20,2021].
- [98] Concepto. (s.f.). “Densidad”. [En línea]. <https://concepto.de/densidad/> [Acceso: ene,21,2020].

ANEXOS

Figura 79.

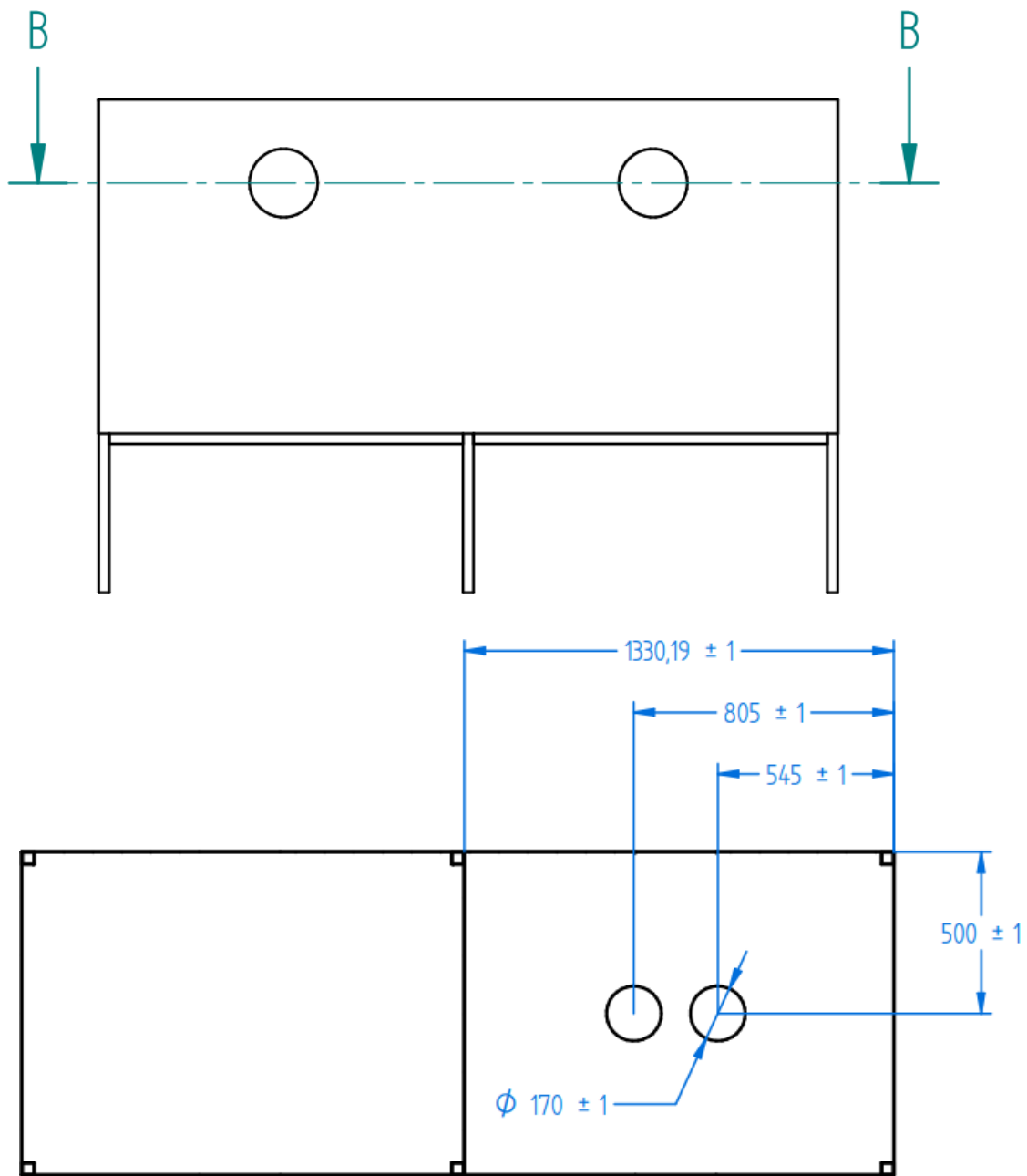
Plano estructura - corte A.



Nota. La Figura muestra el plano de la estructura con un corte A (medidas en milímetros).

Figura 80.

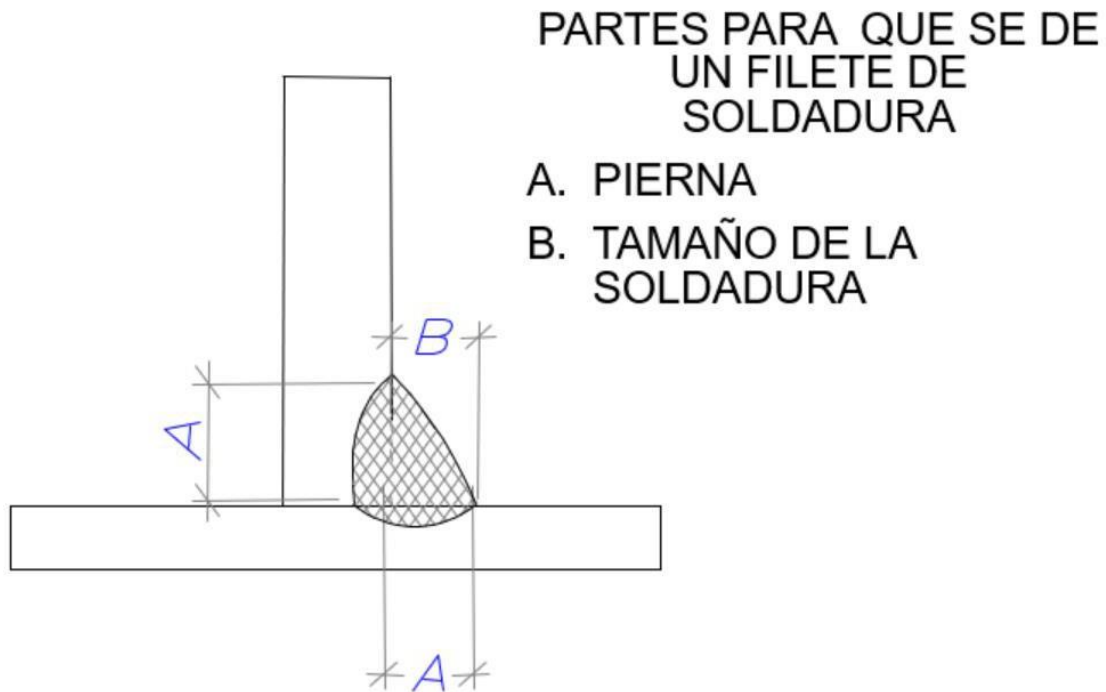
Plano estructura - corte B.



CORTE B-B

Nota. La Figura muestra el plano de la estructura con un corte B (medidas en milímetros).

Figura 81.
Soldadura.



Nota. La Figura muestra la soldadura que se va a llevar a cabo en la estructura para unir los perfiles y las láminas.

La soldadura que se realizará para unir las partes de esta máquina será por medio de arco eléctrico con electrodo revestido ya que es ideal para acoplar estos dos materiales y estructuras de tipo estantería. Se va a utilizar una de las más comunes a la cual se le conoce como soldadura de tipo filete. Que básicamente es cuando se sueldan dos superficies que son perpendiculares entre sí, como se puede ver en la Figura 81.