

Diseño de un Dispositivo para la Captación de Agua utilizando Humedad del Aire Ambiente a través de Métodos Activos de Condensación en la Ranchería Santa Rosa, Manaure, La Guajira

Oscar Andrés Ramos Corzo y Alejandra Sandoval Bonilla

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico

Director

Yesid Javier Rueda Ordoñez

Doctor en Ingeniería Química

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2022

Dedicatoria

A mis padres por darme la determinación y motivación además del apoyo económico para cursar y graduarme de esta carrera.

A mi nona Alix por tenerme siempre presente en sus oraciones y pedirle a Dios que me de la fuerza y la inteligencia para alcanzar mis objetivos.

Oscar Ramos

A mi abuela María Luisa por todo, por su esfuerzo y por ser la persona que me brindó su apoyo incondicional para sacar adelante esta carrera. También le agradezco por ser mi guía e inspiración para no rendirme, por su ejemplo de firmeza, fuerza y dedicación.

A mi tía Diani Krishna por sus palabras de motivación y aliento.

Alejandra Sandoval

Agradecimientos

Primeramente, a Dios por guiar nuestro camino hasta aquí

A la Universidad Industrial de Santander y sus profesores por brindarnos los conocimientos que nos permitieron formarnos como ingenieros

A nuestro directo de tesis Yesid Javier Rueda Ordoñez por guiarnos en la realización de este proyecto

A nuestras familias por acompañarnos durante todo el proceso de formación

Contenido

	Pág.
Introducción	16
1. Descripción de la Problemática	17
2. Objetivos.....	22
2.1 Objetivo General.....	22
2.2 Objetivos Específicos.....	22
3. Justificación	23
4. Marco Referencial.....	24
4.1 Estado del Arte.....	24
4.1.1 Antecedentes Internacionales.....	25
4.1.2 Antecedentes Nacionales	28
4.1.3 Antecedentes Locales.....	30
4.2 Referentes Teóricos	32
4.2.1 Termodinámica	33
4.2.1.1 Condensación.....	33
4.2.1.2 Temperatura de Punto de Rocío.....	34
4.2.1.3 Psicrometría.	34
4.2.1.3.1 Humedad relativa (Φ)	35

4.2.1.3.2 Humedad absoluta (ω)	36
4.2.1.4 Transferencia de Calor.....	36
4.2.1.4.1 Flujo másico m.....	37
4.2.1.5 Refrigeración por Compresión de Vapor.....	38
4.2.2 Energía Renovable	39
4.2.2.1 Energía Solar.....	39
4.2.2.1.1 Colector de Energía Solar.....	40
4.2.2.1.2 Tipos de Paneles Solares.....	42
4.2.2.1.3 Vida de una Instalación Fotovoltaica.....	42
4.2.2.2 Energía Eólica.....	43
4.2.2.2.1 Cuánta Energía contiene el Viento Aproximadamente.....	43
4.2.2.2.2 Clasificación de los Aerogeneradores.....	43
4.2.3 Sistema Híbrido de Generación de Energía.....	46
4.2.3.1 Componentes de un Sistema Híbrido de Generación de Energía.....	47
4.2.3.1.1 Inversor	47
4.2.3.1.2 Batería.....	47
4.2.4 Dispositivo Extractor de Humedad Atmosférica.....	48
4.3 Referente Legal.....	49
4.3.1 Ley 1715 de 2014.....	49
4.3.2 Resolución 703 de 2018 [Unidad de Planeación Minero-Energética -UPME-].....	51
4.3.3 Resolución 1312 de 2016 [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]	52
4.3.4 Resolución 281 de 2015 [Unidad de Planeación Minero-Energética -UPME-].....	53
5. Método	53

5.1 Tipo de Investigación.....	54
5.2 Caracterización del Contexto.....	54
5.2.1 Recolección de Información	55
5.2.1.1 Temperatura Ambiente.	55
5.2.1.2 Humedad Relativa.....	56
5.2.1.3 Presión Atmosférica.....	57
5.2.1.4 Velocidad del Viento	58
5.2.1.5 Energía Solar.....	59
5.3 Diseño Conceptual	60
5.3.1 Selección del Refrigerante	60
5.3.1.1 Refrigerantes Halocarbonados	61
5.3.1.2 Refrigerantes Inorgánicos	63
5.3.1.3 Refrigerantes Orgánicos.....	63
5.3.1.4 Consideraciones Preliminares del Ciclo.	65
5.3.1.5 Datos Obtenidos.....	68
5.3.1.6 Resultados de Refrigerantes.....	70
5.3.2 Análisis del Ciclo.....	71
5.3.2.1 Análisis de la Temperatura de Evaporización y Condensación Óptimas.	71
5.4 Selección de Elementos Correspondientes al Sistema de Generación de Agua	75
5.4.1 Evaporador.....	75
5.4.2 Condensador	77
5.4.3 Compresor.....	79
5.4.4 Válvula de Expansión y Filtro Secador	81

DISEÑO DE UN DISPOSITIVO PARA LA CAPTACIÓN DE AGUA	7
5.4.5 Tubería	83
5.4.6 Selección de Componentes Eléctricos	84
5.4.6.1 Cálculo del Banco de Baterías.	91
5.5 Cálculo Definitivo del Ciclo	94
5.6 Modelado en SolidWorks	100
5.7 Costo del Equipo de Generación de Agua	101
5.7.1 Sistema de Generación de Agua	101
5.7.2 Sistema de Generación de Energía	102
5.7.3 Accesorios.....	102
5.7.4 Costo Total de Equipo de Generación de Agua.....	103
5.7.5 Costo de Producción de Un Litro de Agua	104
5.7.5.1 Para el Sistema de Energía.....	104
5.7.5.2 Para el Sistema de Generación de Agua.	105
6. Análisis de Resultados	106
6.1 Comparación de Resultado con Diferentes Alternativas	106
6.1.1 Contraste de Resultados	111
7. Conclusión	114
Referencias Bibliográficas	116
Apéndices.....	121

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Muestra de la Temperatura de Rocío</i>	34
Figura 2. <i>Carta Psicrométrica</i>	35
Figura 3. <i>Tipos de Tránsito de Calor</i>	36
Figura 4. <i>Energía Solar</i>	40
Figura 5. <i>Capacitor Solar Térmico</i>	41
Figura 6. <i>Células Solares</i>	42
Figura 7. <i>Aerogenerador Vertical</i>	45
Figura 8. <i>Molinos de Eje Horizontal</i>	45
Figura 9. <i>Funcionamiento de Dispositivo Generador de Agua Atmosférica</i>	49
Figura 10. <i>Temperatura Máxima y Mínima</i>	56
Figura 11. <i>Humedad Relativa</i>	57
Figura 12. <i>Velocidad del Viento</i>	58
Figura 13. <i>Energía Solar</i>	59
Figura 14. <i>Clasificación de Seguridad de los Refrigerantes e Inflamabilidad de los Hidrocarburos</i>	64
Figura 15. <i>Resultados R718</i>	68
Figura 16. <i>Resultados R134a</i>	69

Figura 17. <i>Resultados R404a</i>	69
Figura 18. <i>(A) Tc vs Tev vs Wcomp & (B) Tb vs Wcomp vs V</i>	71
Figura 19. <i>Resultados Finales del R134a</i>	73
Figura 20. <i>Temperatura vs Entropía</i>	74
Figura 21. <i>Presión vs Entalpía</i>	74
Figura 22. <i>Evaporador Gama LC</i>	76
Figura 23. <i>Ventilador HEP-25-4T/H Sodeca</i>	77
Figura 24. <i>Condensador Seleccionado</i>	78
Figura 25. <i>Ventilador HFT 56-4/8T-1 Sodeca</i>	79
Figura 26. <i>Compresor SZ110-3</i>	80
Figura 27. <i>Válvula de Expansión Electrónica para Refrigeración Industrial</i>	82
Figura 28. <i>Filtro Secador DCL</i>	83
Figura 29. <i>Turbina Eólica ENAIR E70PRO</i>	86
Figura 30. <i>Panel solar CS6W-545MB-AG – Solartex</i>	87
Figura 31. <i>Inversor SUN-7.6K-SG01LP1 – Grupo Inspirare</i>	89
Figura 32. <i>Batería Turbo Energy</i>	90
Figura 33. <i>Banco de Baterías</i>	93
Figura 34. <i>Ciclo de Refrigeración Final</i>	94
Figura 35. <i>Producción de Agua en un Año</i>	96
Figura 36. <i>Tanque de Almacenamiento</i>	97
Figura 37. <i>Válvula</i>	98
Figura 38. <i>Sensor LA16M-40</i>	99
Figura 39. <i>Filtro de Malla Metálica Modelo K514-013</i>	100

Figura 40. <i>Modelado en SolidWorks</i>	101
Figura 41. <i>Tarifas Servicio de Acueducto – Fonseca, La Guajira</i>	108
Figura 42. <i>Costo del Litro de Agua</i>	109
Figura 43. <i>Previsión del Porcentaje de IPC para 25 años</i>	110
Figura 44. <i>Precio del Litro de Agua Previsto a 25 años</i>	111

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>HFC Puro – Controlados/Protocolo de Kyoto</i>	61
Tabla 2. <i>Mezclas de HFC – Controlados/Protocolo de Montreal</i>	61
Tabla 3. <i>Refrigerantes Naturales</i>	63
Tabla 4. <i>Hidrocarburos</i>	63
Tabla 5. <i>Mezclas de Hidrocarburos</i>	64
Tabla 6. <i>Propiedades de los Refrigerantes</i>	65
Tabla 7. <i>Condiciones Ambientales</i>	67
Tabla 8. <i>Resultados Obtenidos</i>	70
Tabla 9. <i>Parámetros de Trabajo</i>	73
Tabla 10. <i>Características del Evaporador Gama LC</i>	76
Tabla 11. <i>Características del Ventilador Sodeca</i>	77
Tabla 12. <i>Características del Modelo</i>	78
Tabla 13. <i>Características del Ventilador Sodeca</i>	79
Tabla 14. <i>Características del Compresor</i>	81
Tabla 15. <i>Características de la Válvula de Expansión</i>	82
Tabla 16. <i>Características de la Válvula de Expansión</i>	83
Tabla 17. <i>Dimensiones de Áreas de Succión y Descarga</i>	84

DISEÑO DE UN DISPOSITIVO PARA LA CAPTACIÓN DE AGUA	12
Tabla 18. <i>Propiedades Eléctricas</i>	84
Tabla 19. <i>Consumo Diario del Equipo</i>	85
Tabla 20. <i>Turbina ENAIR E70PRO</i>	86
Tabla 21. <i>Especificaciones del módulo solar</i>	87
Tabla 22. <i>Especificaciones del Inversor</i>	90
Tabla 23. <i>Especificaciones de la Batería</i>	91
Tabla 24. <i>Parámetros de los Equipos Seleccionados</i>	94
Tabla 25. <i>Datos de Caudal de Agua a 24°C y 34°C</i>	95
Tabla 26. <i>Humedad Relativa de la Ranchería Santa Rosa</i>	95
Tabla 27. <i>Características del Tanque de Almacenamiento</i>	97
Tabla 28. <i>Características del Filtro</i>	100
Tabla 29. <i>Costos Sistema de Generación de Agua</i>	102
Tabla 30. <i>Costos Sistema de Generación de Energía</i>	102
Tabla 31. <i>Costos de Accesorios</i>	103
Tabla 32. <i>Costos del Equipo</i>	103
Tabla 33. <i>Tarifa de Litro de Agua</i>	108

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. <i>Evaporador</i>	121
Apéndice B. <i>Ventilador del Evaporador</i>	122
Apéndice C. <i>Condensador</i>	124
Apéndice D. <i>Ventilador del Condensador</i>	125
Apéndice E. <i>Compresor</i>	127
Apéndice F. <i>Válvula de Expansión Danfoss Modelo CCMT-4</i>	129
Apéndice G. <i>Filtro Secador DCL165s</i>	131
Apéndice H. <i>Turbina Eólica ENAIR E70PRO</i>	133
Apéndice I. <i>Panel Solar CS6W-545MB-AG</i>	134
Apéndice J. <i>Inversor SUN-7.6K-SG01LP1</i>	135
Apéndice K. <i>Batería de Litio, Turbo Energy</i>	136
Apéndice L. <i>Dimensiones, en Metros, del Modelado en SolidWorks</i>	137
Apéndice M. <i>Ficha Técnica Dispositivo Watergen Modelo GENNY</i>	139
Apéndice N. <i>Variación del IPC</i>	140
Apéndice O. <i>Código EES</i>	141

Resumen

Título: Diseño De Un Dispositivo Para La Captación De Agua Utilizando Humedad Del Aire Ambiente A Través De Métodos Activos De Condensación En La Ranchería Santa Rosa, Manaure, La Guajira.*

Autor: Oscar Andrés Ramos Corzo y Alejandra Sandoval Bonilla**

Palabras claves: Sistema de refrigeración, Humedad relativa, Energía eólica, Aerogenerador, Energía solar, Panel solar.

Descripción: Este proyecto tiene por objetivo diseñar un dispositivo autosustentable, alimentado por energía renovable, para extraer el vapor de agua que se encuentra en el aire y condensarlo, con el fin de brindar agua a la población de la ranchería “Santa Rosa”, Manaure, La Guajira. Para llegar a esto se estipuló la cantidad de agua requerida al día por una persona para poder calcular la cantidad de agua generada, posterior a esto se realizó una recolección de datos sobre las condiciones climáticas presentes en la ranchería, y su recurso eólico y solar.

Con los datos recolectados se postularon unas condiciones iniciales del ciclo de refrigeración que nos permitieron hallar el refrigerante más adecuado para el ciclo, una vez encontrado el refrigerante, se realizó un análisis, bajo las condiciones de temperatura ambiente y humedad relativa menos favorables, de la relación de temperatura de condensación y evaporización que permitieron encontrar el menor valor del trabajo del compresor.

Después procedimos a seleccionar los componentes que cubrieran con los requerimientos de cada uno en base a los resultados del análisis anterior, una vez hecho esto; se calculó el consumo de energía diario para posteriormente seleccionar los componentes eléctricos requeridos por el equipo.

Seleccionados todos los componentes, se hace el cálculo definitivo del ciclo, con los parámetros de los equipos elegidos, de esta forma pudimos obtener los valores del caudal de agua generada por el equipo, en un año, con diferentes valores de temperatura ambiente y humedad relativa, de esto deducimos un valor promedio de agua generada al día para seleccionar el tanque de almacenamiento, con esto último realizamos un modelado en SolidWorks para dimensionar el equipo.

Se elaboró un análisis del costo del equipo y el costo de un litro de agua, se comparó el costo del litro de agua con diferentes alternativas de obtención de agua para observar su viabilidad proyectándose su costo a 25 años, con los resultados de costos y agua generada por el equipo se realizó una comparación con lo que hace actualmente el gobierno para llevar agua a el municipio de Manaure.

Finalmente concluimos que el dispositivo funciona para un rango de 24°C a 34°C, y la humedad relativa. A parte de esto el dispositivo tiene la capacidad de producir más de 350 litros de agua al día bajo las condiciones ambientales de la Ranchería.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Yesid Javier Rueda Ordoñez. Doctor en Ingeniería Química

Abstract

Title: Design of A Device for The Collection of Water Using Moisture from The Ambient Air Through Active Condensation Methods in The Santa Rosa Ranchería, Manaure, La Guajira.*

Author: Oscar Andrés Ramos Corzo and Alejandra Sandoval Bonilla**

Keywords: Cooling system, Relative humidity, Wind energy, Wind turbine, Solar energy, Solar panel.

Description: This project aims to design a self-sustainable device, powered by renewable energy, to extract the water vapor found in the air and condense it, to provide water to the population of the ranchería "Santa Rosa", Manaure, La Guajira. To achieve this, the amount of water required per day by a person was stipulated to calculate the amount of water generated, after which data was collected on the climatic conditions present in the ranchería, and its wind and solar resources.

With the data collected were postulated initial conditions of the refrigeration cycle that allowed us to find the most suitable refrigerant for the cycle, once found the refrigerant, an analysis was performed under the conditions of ambient temperature and relative humidity less favorable, of the ratio of condensation and evaporation temperature that allowed to find the lowest value of the compressor work.

Then we proceeded to select the components that meet the requirements of each one based on the results of the previous analysis, once this was done; the daily energy consumption was calculated to subsequently select the electrical components required by the equipment.

Once all the components were selected, we made the final calculation of the cycle, with the parameters of the chosen equipment, in this way we could obtain the values of the water flow generated by the equipment, in a year, with different values of ambient temperature and relative humidity, from this we deduced an average value of water generated per day to select the storage tank, with the latter we made a modeling in SolidWorks to size the equipment.

An analysis of the cost of the equipment and the cost of a liter of water was elaborated, the cost of a liter of water was compared with different alternatives of obtaining water to observe its viability projecting its cost to 25 years, with the results of costs and water generated by the equipment a comparison was made with what the government currently does to bring water to the municipality of Manaure.

Finally, we conclude that the device works for a range of 24°C to 34°C, and relative humidity. Apart from this, the device has the capacity to produce more than 350 liters of water per day under the environmental conditions of the Ranchería.

* Bochelos Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Yesid Javier Rueda Ordoñez. Doctor en Ingeniería Química

Introducción

Uno de los requisitos más importantes para garantizar la calidad de vida de las personas, y seres vivos en general, es contar con acceso al agua. El recurso hídrico es totalmente fundamental para la supervivencia del ser humano, no solo por necesitarse para el consumo, sino porque de este dependen actividades esenciales para el sostenimiento, actividades como la agricultura y la cría de animales.

Uno de los efectos que tiene la falta de agua, es que obliga a la población a desplazarse kilómetros por un poco de agua que, aparte de estar lejos, no es apta para el consumo. Esta situación es la que viven la población de la Guajira desde hace mucho tiempo, en esta zona muchas personas sufren de problemas de salud debido a esto.

Para aliviar esto el gobierno nacional implementó un programa llamado “Guajira Azul”, en dicho programa pretenden ayudar a la población proveyendo de agua, sacando el recurso de aguas subterráneas.

Una forma de obtener agua, sin intervenir de forma negativa en el ambiente, es por medio de un ciclo de refrigeración que permita transformar la humedad del aire en agua, obteniendo de esta forma una fuente ilimitada.

Aparte de esto, el sistema de condensación cuenta con una fuente de energía limpia, compuesta por energía solar y eólica, que son recursos abundantes en la Guajira, lo que lo convierte en una forma de obtención de agua autosustentable evitando el uso de combustibles contaminantes.

1. Descripción de la Problemática

Problemática: Abastecimiento de agua potable a la ranchería Santa Rosa, Manaure, la Guajira, por medio del diseño de un dispositivo generador de agua auto sustentable mediante la captación de la humedad del aire ambiente.

El planeta tierra cuenta con una numerosa cantidad de seres vivos, todos repartidos en diversas categorías según sus características; pero a pesar de esto todos comparten una cosa en común y es la necesidad del uso de los recursos naturales para subsistir, uno de estos es el agua, tal es la importancia de este que las primeras civilizaciones se establecían en zonas cercanas a cuerpos de agua dulce para el desarrollo y sostenimiento de la población, gran parte de estas civilizaciones basaban su economía en actividades como la agricultura y la ganadería, actividades que requieren en gran medida de agua para su desarrollo. Ahora bien, con el aumento de la población se abrió paso al crecimiento de las ciudades haciéndose imprescindible lograr una correcta distribución y almacenamiento de agua, lo que impulsó la construcción de diques, canales y cisternas. En la actualidad se goza en la gran mayoría del mundo de este recurso, a pesar de esto aún existen lugares en donde este no es de fácil acceso.

Los principales factores que inciden en el desabastecimiento y la escases del preciado recurso son: La contaminación, según el informe “*A Snapshot of the World’s Water Quality: Towards a global assessment*” realizado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente -PNUMA-:

La contaminación por patógenos, o materia fecal coliforme, afecta hasta la mitad de tramos de los ríos de Asia, un cuarto de los tramos de los ríos de América Latina, y entre 10% y 25% de tramos de los de África (2016, pág. 53).

La sobrepoblación que se presenta por el incremento de la tasa de natalidad. El incremento de migrantes que se traduce en ocasiones en decaimiento de los recursos naturales, desempleo, aumento del costo de vida, degradación del medio ambiente, entre otros. Y la urbanización desorganizada.

La situación de desabastecimiento de agua potable es un problema de vital importancia, abordando el panorama global, según el informe “*Progress on drinking water, sanitation and hygiene: Special focus on inequalities*” realizado por la Organización Mundial de la Salud -OMS- y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia -UNICEF-, “alrededor de 2.200 millones de personas en todo el mundo no cuentan con servicios de agua potable gestionados de manera segura” (2019). Esta población carente del servicio de agua potable establece sus viviendas cerca de cuerpos de agua contaminándolos y sobreexplotándolos, y como consecuencia la fuente desaparece o queda con altos problemas de contaminación. En este mismo sentido la organización no gubernamental (ONG) GREENPEACE indica que el 79% de todo el plástico producido y consumido termina en vertederos que se encuentran cercanos a fuentes de agua (2017).

Por otra parte, este problema abordado desde un punto de vista nacional se encuentra que en Colombia según “*El Estudio Nacional del Agua*” realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM- asegura que el sector que consume mayor cantidad de agua es el agrícola con un 52% del consumo total (2019, pág. 171). Esto puede constituir un problema a la contaminación del recurso hídrico debido a que en este sector se usan,

en grandes cantidades, agroquímicos que aportan altos niveles de toxicidad al ecosistema que podrían conllevar a una futura escasez de agua potable. En este mismo estudio se trata el vertimiento de mercurio a cuerpos de agua para obtener oro y plata en 17 departamentos del país (pág. 224). El daño se ve reflejado en los indicadores de calidad del agua cuyos resultados mostraron descripciones de muy malo; por lo tanto, el estudio sugiere mejorar la investigación de cargas contaminantes y sustancias químicas que son vertidas a las corrientes hídricas (pág. 263).

Como se menciona anteriormente el problema de escasez de agua afecta a todo el país. Sin embargo, existen zonas donde esta situación llega a niveles preocupantes. El representante a la cámara Alfredo Deluque citado por Sandra Guerrero señala que en la Guajira: “El 40% del agua potable de la represa del río Ranchería se la roban” (2019), esto debido a conexiones ilegales que se presentan en las tuberías principales para poder regar cultivos, no es de sorprender este comportamiento ya que según datos reportados en el programa “*Guajira Azul*” llevado a cabo por el Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio: “sólo el 4% de la población rural tiene acceso a agua potable y sólo 3 de 15 municipios tienen agua apta para el consumo humano” (2018).

Una de las localidades de la guajira que no cuenta con el acceso a agua potable es la Ranchería Santa Rosa ubicada en el municipio de Manaure, entre las principales causas por las cuales no cuenta con el servicio se encuentra: la difícil accesibilidad, ya que es necesario recorrer diez kilómetros de un camino no pavimentado y en malas condiciones desde Riohacha. Además de esto se encuentra en una zona desértica y alejada que la hace susceptible al olvido, en la Resolución 60/2015 la Comisión Internacional de Derechos Humanos -CIDH- solicita que el Estado de Colombia tome las medidas inmediatas para que la comunidad de Manaure pueda tener, a la brevedad, posible acceso al agua potable y salubre (2015, pág. 14). Aunque hoy en día existen programas de ayuda solidaria para intentar satisfacer la necesidad del recurso hídrico para esta

comunidad como el programa “*Guajira Azul*” al cual se unió Empresas Públicas de Medellín - EPM- con el fin de beneficiar a 11.000 indígenas, de 131 comunidades del municipio de Manaure (2019), aun no se logra satisfacer la necesidad de agua potable en la Ranchería Santa Rosa.

Las zonas afectadas por esta problemática implementan diferentes tipos de métodos alternativos para poder obtener agua, como lo son: excavación de pozos de forma artesanal, condensadores de enfriamiento radiativo, atrapa niebla, cosecha de lluvia, entre otros, estas alternativas a pesar de ser efectivas en el proceso de recolección de agua presentan inconvenientes, ya que la cantidad de agua que se puede recolectar suele ser muy poca y su calidad muy baja. Por otra parte, existen alternativas que presentan un desarrollo tecnológico mayor como lo son: las plantas desalinizadoras de agua y sofisticados filtros, estas alternativas contrario a las anteriores tienen la capacidad de recolectar grandes cantidades de agua y garantizan la potabilidad de esta. Algunas de las alternativas anteriores requieren de características ambientales específicas para que puedan cumplir su función.

Con base a esto se plantea dar solución a esta problemática diseñando un dispositivo con la capacidad de captar la humedad del aire ambiente para convertirla en agua potable apta para el consumo humano aprovechando las condiciones ambientales de la zona, el dispositivo se encontrará dividido en dos sistemas, el primero es el encargado de extraer la humedad del aire ambiente y transformarla en agua potable a través de métodos activos de condensación, debido al uso de métodos activos resulta imprescindible el segundo sistema que es el encargado de suministrarle energía al dispositivo para cumplir su función, esto mediante el uso de energía renovable con la implementación de paneles solares. Todo lo anterior con el fin de brindar un servicio de calidad a los habitantes de la Ranchería Santa Rosa que se beneficiaran de este recurso permitiéndoles avanzar en las tareas que requieran de este servicio fundamental.

Pregunta del proyecto:

¿Qué características presenta el diseño de un dispositivo autosustentable para la captación de agua utilizando la humedad del aire ambiente, el cual será diseñado para la ranchería Santa Rosa, Manaure, la Guajira, bajo las condiciones locales de la zona?

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Diseñar un dispositivo autosustentable, alimentado mediante un sistema de energía renovable, para la captación de agua aprovechando la humedad del aire ambiente, el cual será diseñado para la ranchería “Santa Rosa”, Manaure, la Guajira, bajo las condiciones locales de la zona.

2.2 Objetivos Específicos

Determinar las condiciones ambientales y técnicas de la zona para que el dispositivo funcione bajo estas restricciones, utilizando energía eólica y solar.

Diseñar un dispositivo para coleccionar agua aprovechando la humedad del ambiente, que cumpla las siguientes especificaciones: a) produzca 350 litros de agua diarios; b) que trabaje dentro de un rango de temperatura ambiente de 24°C a 34°C; c) que consuma un promedio de 122,5 kW/día.

Simular el diseño final del sistema generador de agua por medio de los softwares de SOLIDWORKS y EES.

3. Justificación

Como aporte ambiental el proyecto pretende evitar que se implementen métodos de obtención de agua que puedan causar consecuencias negativas al medio ambiente a corto, mediano o largo plazo, impidiendo que se cambien las condiciones naturales, que se contaminen o se sobreexploten otras fuentes de agua. Lo anterior se logra mediante el uso de aire ambiental de la zona y de la luz solar como fuentes ilimitadas de agua y energía respectivamente. De esta forma se cumple con el objetivo sin afectar ni intervenir con el ciclo natural del ecosistema de la zona. Todo esto constituye en el mejoramiento de la calidad de vida y de la sociedad.

Como aporte a la sociedad se brinda inicialmente la mitigación del problema de abastecimiento de agua por el que se pasa actualmente, por consiguiente, se genera una mejora en las condiciones y calidad de vida de los habitantes de este lugar, ya que podrán utilizar este recurso para el riego de cultivos, ganadería, limpieza, entre otros; sin dejar de satisfacer sus necesidades básicas.

Este proyecto busca aprovechar al máximo las condiciones ambientales de la zona para generar la mayor cantidad de agua posible, creando un dispositivo no contaminante y autosustentable que funcione 100% con recursos y energía limpia, mitigando el impacto ambiental ya que no necesita de combustibles fósiles o de algún otro recurso que genere fuentes de contaminación que pueda alterar el ecosistema de la zona. Esto con el fin de brindar un servicio de calidad a los habitantes de la Ranchería Santa Rosa que se beneficiaran de este recurso incitando un avance socioeconómico, ya que además de mejorar la calidad de vida podrán incursionar en actividades comerciales que requieran de este recurso para su implementación.

4. Marco Referencial

Aborda los temas que permiten orientar el desarrollo del proyecto, definiendo primeramente investigaciones y proyectos que ayuden a establecer antecedentes de la temática para proceder a realizar una definición teórica, ofreciendo una conceptualización adecuada de los términos que se definirán como base en las cuales se apoya la planeación del mismo, el cual se basa en la creación de un dispositivo para la captación de agua utilizando humedad del aire ambiente a través de métodos activos de condensación, que contribuye a la mitigación de contaminantes al medio ambiente y proporciona un servicio de calidad a la comunidad de la Ranchería Santa Rosa, impulsando el desarrollo económico a largo plazo.

4.1 Estado del Arte

Se llevó a cabo una búsqueda sobre el diseño de sistemas de generación de agua que implementarán fuentes de energía renovable con el fin de obtener información pertinente que puede contribuir al desarrollo del proyecto en cuestión, en el aspecto internacional se encontró que estos sistemas muestran una gran flexibilidad en el momento de implementarse en alguna zona, demostrando su capacidad a la hora de cubrir la demanda de agua. En el ámbito nacional se encuentran las características de los beneficios que representan el uso de energías renovables como las celdas fotovoltaicas y el uso de energía eólica, aparte de esto también se muestra la efectividad de los sistemas activos de condensación de aire atmosférico en cuanto a la calidad de agua que produce, y en el ámbito local se encontró el impacto económico que estos sistemas generadores de agua pueden llegar a tener determinando la viabilidad que presenta en comparación con el costo.

4.1.1 Antecedentes Internacionales

El proyecto titulado “MÓDULO DE CONDESNSACIÓN DE HUMEDAD DEL AIRE PARA LA GENERACIÓN DE AGUA UTILIZANDO COMO FUENTE DE ENERGÍA, LAS ENERGÍAS RENOVABLES” (2017). Realizado por Sergio Saul Osuna Peraza, Gabriela del Carmen Suarez Lizárraga, Edson Francisco Osuna Peraza, Álvaro Peraza Garzón, Gonzalo Ortega Huizar y Ramiro Gutiérrez Aguilar, cuyo objetivo es el diseño y fabricación de un sistema generador de agua mediante la absorción de la humedad atmosférica que sea autosustentable. Para realizar esto se hizo una consideración previa de las variables de temperatura y humedad relativa encontradas en la zona de Mazatlán, en el estado de Sinaloa. Y por medio de un software libre de psicrometría de la compañía *McQuaytools*, el cual permite la medición y manejo de diferentes variables necesarias para el cálculo de la condensación del agua, se obtuvo la cantidad de condensación de las unidades de aire acondicionado ingresando los valores de temperatura y humedad relativa que se obtuvieron, y el punto de rocío. Posteriormente se realizaron cuatro subsistemas que son: la unidad de condensado, el banco de acumuladores, el sistema autosustentable de panel solar y turbina eólica Savonius para la generación de energía, y el circuito que capta las señales de sensores de temperatura, humedad relativa y presión barométrica. Finalmente se obtuvieron como resultados que el módulo de condensación obtenía en promedio 850 ml de agua en 1 hora con una humedad relativa que oscila entre el 80% y el 90%. Este proyecto aporta una serie de componentes bases para poder realizar el proceso de extracción de la humedad del aire.

El proyecto realizado por Juan Martin Ruiz Gutiérrez en el (2017) titulado “Modelo para abastecer agua potable implementando un generador de agua atmosférica para viviendas ubicadas en una ladera – El Caballero Carabayllo”. Tiene como objetivo implementar un generador de agua

atmosférica en un modelo para abastecer agua potable para viviendas ubicadas en laderas. Para llegar a esto se planteó el análisis de tiempo atmosférico en un modelo, la determinación de la relación de condiciones del lugar y el modelo de abastecimiento de agua potable con el fin de proponer un sistema de suministro viable. Se llevo a cabo la elección de un prototipo para un consumo promedio de 15897,6 l/día, para esta elección se tuvieron en cuenta datos, recolectados con anterioridad mediante un análisis de tiempo atmosférico, de temperatura de la zona y humedad relativa para realizar el cálculo de la producción de agua que el generador podría obtener. Y por último se realizó el diseño de un aerogenerador Savonius para la alimentación de energía del prototipo seleccionado. Llegando a la conclusión de la implementación de 4 prototipos SW-A5000 y uno de SW-A1000 para generar un total de 16220 L/día de agua con una variación de +- 30.52. Hace aporte al presentarnos un panorama de la variación de agua generada por un mismo dispositivo dependiendo de la zona en la que esté ubicada, como lo es la altitud, y las condiciones climáticas presentes en dicha zona.

Por otro lado, en el proyecto de Otto F. Balseca Sampedro, Jorge I. Caicedo Reyes, Diego F. Mayorga Pérez, Javier E. Orna Chávez y Edwin F. Viteri Núñez llamado “Proyecto de diseño de un condensador con Fuente Eólica para obtención de agua” (2018). Publicado en la revista científica Dominio de la Ciencia de Ecuador el cual postula el análisis de la temperatura a la cual debe estar el aire en función de la temperatura del suelo, que en este caso de estudio es el condensador, cuyo valor optimo será la temperatura de condensación. Para este análisis se necesitaron datos de presión atmosférica, temperatura de rocío y humedad relativa que fueron ingresados al programa *CYTSoft Psychrometric Chart 2.2*, posteriormente se realizan los cálculos para la obtención de 40 litros de agua por día hallando una ecuación que defina la temperatura del aire atmosférico según el tiempo transcurrido del día, así como con la temperatura del suelo, esto

se define teniendo en cuenta que el aire ingresa y sale por el mismo agujero de ventilación. Finalizando entonces con la obtención de datos de diseño del condensador y obteniendo resultados que indican que el agua obtenida por condensación genera un agua de alta calidad y pureza, y que las condiciones ideales de condensación para implementar el dispositivo son en zonas con temperatura ambiental cercana a 20°C y humedad aproximada al 70%. El proyecto hace aporte teórico y matemático para determinar parámetros a los cuales va a trabajar el dispositivo.

Por último, la tesis “PROPUESTA DE DISEÑO DE EQUIPO DE RECUPERACIÓN DE AGUA DE LA HUMEDAD AMBIENTAL”. Realizada por Felipe Espejo Duran en (2019). Este proyecto tiene como objetivo condensar 120 litros de agua para el consumo óptimo de una persona y que la producción de agua tenga un costo competitivo en el mercado, para esto se realiza el seguimiento de los datos climatológicos de la comuna la Ligua, Chile. Obtenidos de la estación meteorológica ubicada en la localidad de Catapilco. Posterior a esto se realizó el cálculo donde se busca condensar 120 litros de agua, con los datos obtenidos en el seguimiento se obtuvieron condiciones iniciales y propiedades necesarias para realizar los cálculos de un ciclo de refrigeración con ayuda del software *Engineering Equation Solver* -EES-. A partir de los resultados obtenidos se llevó a cabo la selección de los componentes como lo son: compresor, evaporador, ventilador, condensador y válvula de expansión. Por último, en base a lo anterior, se realizó el diseño del equipo condensador de agua incluyendo los costos de este y un sistema de energización con paneles solares. El proyecto llega a la conclusión de que alimentándose con energía fotovoltaica cumple su objetivo al comparar valores de agua embotellada, y resulta rentable bajo la condición de ser una alternativa cuando no exista suministro de agua. Así mismo recomienda mejorar el sistema de alimentación eléctrica utilizando varios equipos para generación.

Como aporte inicial encontramos los cálculos y diseño del ciclo de refrigeración que resulta de utilidad como guía base para este proyecto.

4.1.2 Antecedentes Nacionales

Basados en la viabilidad de los dispositivos de obtención de agua Ferney Andrés Días Bernal, Mónica Paz, Liyed Moyano y Freddy Ballesteros realizaron el proyecto “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ATMOSFÉRICO DE AGUA POTABLE PARA LOS HABITANTES DE LA VEREDA PARAMÓN EN EL MUNICIPIO DE PULÍ, DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA.” (2018). El cual tiene el objetivo de evaluar la factibilidad del sistema generador de agua para contribuir al mejoramiento de las condiciones de vida de los habitantes del municipio. Este proyecto se llevó a cabo mediante el desarrollo de un estudio que permitía identificar las condiciones socioeconómicas del departamento donde se encontró que el 85% de los municipios tienen escases de abastecimiento, esto debido a la ubicación de algunos predios que dificulta la conexión a las redes de acueductos y las condiciones habitacionales de dichos predios, y el 70% de agua no es apta para el consumo humano. Posterior a esto se realizó el aspecto técnico donde se establecieron las condiciones atmosféricas de la zona, la distancia a la que se encuentra del casco urbano, los recursos capaces de soportar, y los indicadores de morbilidad y acceso a servicios públicos básicos. Por último, se hizo un análisis financiero del proyecto para determinar su viabilidad. Con los análisis anteriores se llegó a la conclusión de que el proyecto cuenta con una factibilidad desde el componente financiero, y que desde el punto de vista de las necesidades y condiciones de la población es factible ya que no se encontraron limitantes de tipo cultural que influyan de forma negativa en la aplicación del proyecto, y desde el análisis técnico se concluyó que el municipio cuenta con las condiciones

atmosféricas, presupuestales y poblacional suficientes para la implementación del dispositivo. Este proyecto realiza un aporte en cuanto a la determinación de condiciones sociales y el factor financiero, en cuanto a los costos del equipo y los costos de producción de agua, que permiten llevar a la visualización de la viabilidad del proyecto teniendo en cuenta dichos aspectos.

Por otra parte, el trabajo: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUA POR ROCÍO Y NIEBLA PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA COMUNIDAD DEL BARRIO LA ESPERANZA, LOCALIDAD DE CHAPINERO” (2016). Realizado por Cony Gizell Cabeza García y Yudy Katherine Castillo Vargas, inició con el estudio de la zona en la cual se iba a implementar, evaluando factores como: la precipitación, temperatura, punto de rocío, velocidad del viento, humedad relativa, niebla y rocío. Para realizar un balance hidrológico de la zona, además se tuvo en cuenta la altura a la cual se iba a instalar el dispositivo y los materiales de este. Se realizaron varias pruebas, instalando seis neblinómetros a tres alturas diferentes y con dos tipos de materiales, uno con malla de polipropileno y uno con malla tipo Raschel (polietileno) para poder comparar la eficiencia de las mallas. De acuerdo con ensayos realizados se determinó que el polipropileno es el material que presenta mayor flexibilidad y puede soportar mayores presiones; propiedades deseadas en materiales estructurales debido a que presenta deformación, pero vuelve a su estado inicial. Este proyecto es de gran relevancia y aporte para el estudio, ya que se evidencia la importancia de realizar un análisis completo de la zona donde se va a implementar el sistema, teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas, y geográficas, asimismo también se requiere un estudio detallado de las propiedades mecánicas de los materiales que se van a utilizar para el diseño del dispositivo, y así evitar posibles inconvenientes a futuro.

Finalmente encontramos el trabajo de Sonia E. Aguirre, Nelson V. Piraneque y Arturo Rozo, titulado “Potencial de Uso del Agua proveniente de los Sistemas de Aire Acondicionado en

el Caribe Seco Colombiano” (2018). El presente trabajo tiene como objetivo la valoración y evaluación del potencial uso del agua generada por unidades de aire acondicionado de la Universidad del Magdalena. Para su desarrollo primeramente se realizó un inventario de las unidades de aire acondicionado para realizar una matriz de triple entrada donde se especifica la marca, la capacidad de refrigeración y la facilidad de recolección de agua, esto para saber cuánto volumen genera cada equipo y calcular el caudal obtenido en 10 horas. Posterior a esto se realiza la selección de los parámetros de calidad del agua, los cuales debe cumplir con los niveles fijados en la Resolución 2115 del Ministerio de la Protección Social -MPS- y el Decreto 1575 de 2007 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial -MAVDT-. Se efectuó un muestreo selectivo para la caracterización química y física del agua durante cuatro días para determinar la calidad de esta, los resultados que se obtuvieron se compararon con los criterios para la evaluación de calidad de agua. De lo anterior se concluyó que el agua generada de aire acondicionado es un recurso favorable y ambientalmente sostenible, y que el recurso se encuentra dentro de los límites establecidos por las normas nacionales para el agua potable, necesitando un sistema de desinfección y tratamiento de potabilización si se quiere de este recurso para consumo. Este proyecto es de gran relevancia ya que muestra la importancia que tiene la realización de pruebas que confirmen el estado de potabilización del agua que se obtiene mediante el proceso de condensación por métodos activos, y que este cumpla con los niveles necesarios para el consumo humano.

4.1.3 Antecedentes Locales

El trabajo de grado titulado “ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE DOS TECNOLOGÍAS DE POTABILIZACIÓN DE AGUA IMPULSADAS POR ENERGÍAS

RENOVABLES EN EL MUNICIPIO DE MANAURE – LA GUAJIRA” (Ojeda, 2020). Cuyo objetivo es comparar la factibilidad técnica y económica de dos tecnologías de potabilización del agua impulsadas por energías renovables en el municipio de Manaure, Guajira. Para lograr el objetivo se realizó el cálculo de la demanda consultando antecedentes y documentación sobre censos poblacionales de los últimos años, para tener conocimiento sobre el volumen de agua necesario para abastecer el municipio, calculando el caudal máximo diario, el caudal máximo horario y el periodo de diseño. Posteriormente se realizó el dimensionamiento del sistema con los datos obtenidos anteriormente, para esto se contemplaron dos propuestas las cuales son: El proceso de desalación por osmosis inversa y el proceso de condensación teniendo en cuenta la humedad relativa. Para el funcionamiento del sistema se determinó el recurso eólico con datos suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM- de la estación “Monguí”, y el recurso solar para el cual se hizo uso del software Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources -HOMER-. Después de hacer un análisis de resultados del funcionamiento de cada propuesta se llegó a la conclusión de que las dos tecnologías planteadas proporcionan a la población agua potable totalmente apta para el consumo. Sin embargo, el sistema de desalación ofrece mayor factibilidad dado que genera menos costos mientras que el sistema de condensación necesitaría una inversión suficiente para treientos condensadores. Este proyecto destaca la viabilidad de aplicación de un proyecto de generación de agua en el municipio de Manaure al demostrar que en este se encuentran las condiciones necesarias para el desarrollo, aporta datos de la población del municipio, cálculo de caudales y dimensionamientos. Aparte de esto muestra la viabilidad económica de ambas tecnologías.

Por otro lado, el proyecto realizado por Alba Yaneth Joya Orduz llamado “Alternativas tecnológicas para el suministro de agua para riego en las comunidades indígenas wayuu en el

municipio de Manaure, La Guajira” (2020). Plantea la identificación, descripción y evaluación de la eficiencia de tecnologías para el suministro de agua, para el desarrollo de lo anterior se realizó el estudio de la variable, que en este caso son las alternativas tecnológicas para implementar, teniendo en cuenta la población. Seguido a esto se elaboró un cuadro de operacionalización donde se tienen en cuenta los objetivos del proyecto y las dimensiones e indicadores que corresponden a la variable como lo son: Rentabilidad, obsolescencia tecnológica, riesgo de adquisición, eficiencia tecnológica, contratación tecnológica y asimilación de tecnología. Después de esto se seleccionó la técnica adecuada y se lleva a cabo el desarrollo para determinar su confiabilidad. Por último, se aplicó la alternativa seleccionada llegando a la conclusión de que esta comunidad carece de elementos gerenciales adecuados para la correcta adquisición de tecnologías y que por ende se realiza de manera inadecuada el proceso de adquisición. La importancia y aporte de este proyecto radica en la noción de la situación de adquisición de tecnologías en el que se encuentra el municipio de Manaure, resaltando el problema de abastecimiento de agua por el que pasa.

4.2 Referentes Teóricos

Al momento de realizar un proyecto de investigación es importante tener el mayor conocimiento de las variables y fenómenos involucrados, por tanto, es de gran relevancia comprender de manera amplia los conceptos relacionados para su ejecución. En búsqueda de una mejor comprensión por parte del lector, se presenta de manera resumida los conceptos más importantes.

4.2.1 Termodinámica

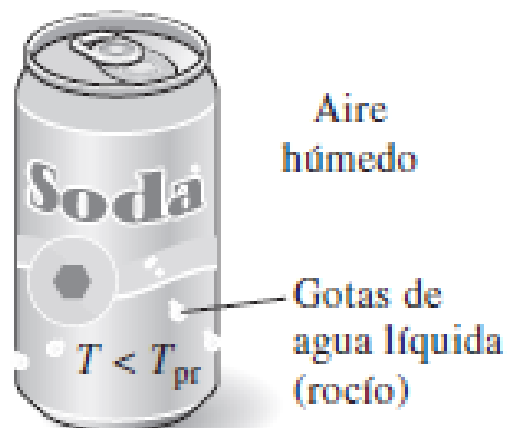
La termodinámica se puede definir como la ciencia de la energía. Aunque todo el mundo tiene idea de lo que es la energía, es difícil definirla de forma precisa. La energía se puede considerar como la capacidad para causar cambios. El término termodinámica proviene de las palabras griegas *therme* (calor) y *dynamis* (fuerza), lo cual corresponde a lo más descriptivo de los primeros esfuerzos por convertir el calor en energía. En la actualidad, el concepto se interpreta de manera amplia para incluir los aspectos de energía y sus transformaciones, incluida la generación de potencia, la refrigeración y las relaciones entre las propiedades de la materia (Boles & Cengel, 2012, pág. 2).

4.2.1.1 Condensación. Se presenta la condensación cuando la temperatura de un vapor se reduce por debajo de su temperatura de saturación, T_{sat} esto suele llevarse a cabo cuando el vapor entra en contacto con una superficie sólida cuya temperatura T , esté por debajo de la temperatura de saturación (T_{sat}) de ese vapor.

En la condensación en película el condensado moja la superficie y forma una película de líquido sobre la superficie, la cual resbala hacia abajo debido a la influencia de la gravedad. El espesor de la película aumenta en la dirección del flujo a medida que más vapor se condensa sobre ella. Esta es la forma en la que por lo general ocurre la condensación en la práctica (Romero, 2013, págs. 15-16).

4.2.1.2 Temperatura de Punto de Rocío. La temperatura de punto de rocío T_{pr} se define como la temperatura a la que se inicia la condensación si el aire se enfría a presión constante. En otras palabras, T_{pr} es la temperatura de saturación del agua correspondiente a la presión de vapor (Boles & Cengel, 2012, pág. 742).

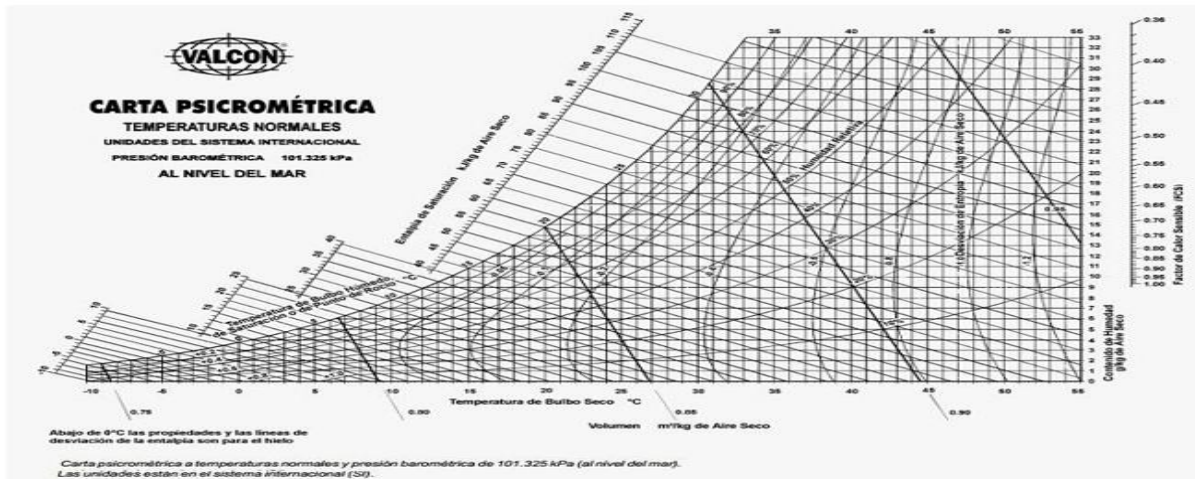
Figura 1. Muestra de la Temperatura de Rocío



Nota: Cengel y Boles. (2012). Libro termodinámica. pág.742

4.2.1.3 Psicrometría. La Psicrometría es el estudio relacionado a las propiedades termodinámicas del aire húmedo (mezcla de aire seco con vapor de agua), tales como temperatura, humedad, entalpía y volumen específico. Todas estas propiedades pueden ser visualizadas y relacionadas en el Diagrama Psicrométrico (Almeida, 2017).

Figura 2. Carta Psicrométrica



Nota: Ingeniería Química IQR. (septiembre 07, 2020). ¿Qué son las cartas psicrométricas?
<https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/09/cartas-psicrometricas.html>

4.2.1.3.1 Humedad relativa (Φ). La cantidad de humedad en el aire tiene un efecto definitivo en las condiciones de comodidad que ofrece un ambiente. Sin embargo, el nivel de comodidad depende más de la cantidad de humedad que el aire contiene (m_v) respecto a la cantidad máxima de humedad que el aire puede contener a la misma temperatura (m_g). La relación entre estas dos cantidades se conoce como humedad relativa (Boles & Cengel, 2012, pág. 739).

$$\phi = \frac{m_v}{m_g} = \frac{P_v}{P_g}$$

P_v = Presión de vapor de agua

P_g = Presión de saturación a la temperatura que se encuentre

4.2.1.3.2 Humedad absoluta (ω). La cantidad de vapor de agua en el aire puede determinarse de varias maneras. Es probable que la más lógica sea precisar directamente la masa de vapor de agua presente en una cantidad de masa de aire seco a la que se le denomina humedad absoluta (Boles & Cengel, 2012, pág. 739).

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} = 0,622 * \frac{P_v}{P_a} = \frac{0,622 * P_v}{P - P_v}$$

P_a = Presión de aire seco

P = Presión de la mezcla

4.2.1.4 Transferencia de Calor. La termodinámica trata de la cantidad de transferencia de calor a medida que un sistema pasa por un proceso de un estado de equilibrio a otro y no hace referencia a cuánto durará ese proceso. Pero en la ingeniería a menudo estamos interesados en la rapidez o razón de esa transferencia, la cual constituye el tema de la ciencia de la transferencia de calor.

Figura 3. Tipos de Trasferencia de Calor



Nota: Concepto. (sf). Transferencia de calor. <https://concepto.de/transferencia-de-calor/>

En este texto está interesado sobre todo en el calor, que es la forma de la energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia en la temperatura. La ciencia que trata de la determinación de las razones de esa transferencia es la transferencia de calor (Cengel & Ghajar, 2007, pág. 2).

$$E_{entra} = E_{sale}$$

Para el aire húmedo la ecuación de transferencia de calor es:

$$\dot{Q} = \dot{m}_a(h_{1airH_2O} - h_{2airH_2O}) - \dot{m}_w h_w$$

Para el refrigerante la ecuación de transferencia de calor es:

$$\dot{Q} = \dot{m}_R(h_1 - h_2)$$

\dot{Q} = Tasa de transferencia de calor

\dot{m} = Flujo másico. Donde, el subíndice a es el aire seco, el subíndice w es el agua, y el subíndice R es el refrigerante.

h = Entalpía

4.2.1.4.1 Flujo másico (\dot{m}). Los volúmenes de control en general están relacionados con el flujo de un fluido durante largos periodos, y es conveniente expresar en forma de tasa el flujo de energía asociado al flujo de un fluido. Esto se consigue al incorporar el flujo másico (\dot{m}), que

es la cantidad de masa que fluye por una sección transversal por unidad de tiempo; y se relaciona con el flujo volumétrico (\dot{V}) (Boles & Cengel, 2012, pág. 54).

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}}{v}$$

v = Volumen específico

4.2.1.5 Refrigeración por Compresión de Vapor. Muchos de los aspectos imprácticos asociados con el ciclo invertido de Carnot pueden ser eliminados al evaporar el refrigerante por completo antes de que se comprima, y al sustituir la turbina con un dispositivo de estrangulamiento, tal como una válvula de expansión o un tubo capilar. El ciclo que resulta se denomina ciclo idea de refrigeración por compresión de vapor.

El ciclo de refrigeración por compresión de vapor es el que más se utiliza en refrigeradores, sistemas de acondicionamiento de aire y bombas de calor (Boles & Cengel, 2012, pág. 618).

Donde el trabajo del compresor se da por la siguiente fórmula:

$$\dot{W}_{compresor} = \dot{m}_R(h_{r2} - h_1)$$

Para el cálculo de la eficiencia isentrópica del compresor se tiene la siguiente fórmula:

$$\eta_{compresor} = \frac{h_2 - h_1}{h_{r2} - h_1}$$

h_{r2} = Entalpía real del estado 2

4.2.2 Energía Renovable

Actualmente se pasa por una crisis energética en todo el mundo, abastecer energía a todas las zonas del mundo se convierte en una dificultad y las energías convencionales significan un enorme impacto ambiental, la solución para esta problemática es la implementación de energías renovables para la generación de electricidad y abastecer a la población.

Las fuentes de energía renovable son fuentes que producen constantemente energía, de forma que la energía consumida se renueva continuamente y, en consecuencia, su utilización es ilimitada (De Juana, 2003, pág. 8).

4.2.2.1 Energía Solar. El sol es la principal fuente primaria de energía, que puede ser usada directamente, en sistemas pasivos, así llamados porque no utilizan otra fuente de energía, o en sistemas activos, que usan otra fuente de energía, generalmente eléctrica, empleada para mover el fluido calefactor.

La energía solar puede transformarse en eléctrica bien directamente, mediante celular fotovoltaicas, o bien de forma indirecta, a través de sistemas térmicos de concentración, utilizados para producir el vapor que moverá las turbinas generadoras (De Juana, 2003, pág. 8).

Figura 4. *Energía Solar*

Nota: Schallenberg J. (2008). Energías renovables y eficiencia energética. pág. 53.

4.2.2.1.1 Colector de Energía Solar. El colector es el elemento que capta la energía solar.

Normalmente consta de los siguientes elementos:

- Cubierta frontal transparente, por lo general vidrio.
- Superficie absorbente, por donde circula el fluido (normalmente agua) y que suele ser de color negro.
- Aislamiento térmico, para evitar las pérdidas de calor.
- Carcasa externa, para su protección.

El colector solar basa su funcionamiento en el efecto invernadero: la radiación solar –rayos solares– (onda corta) incide en el vidrio y lo atraviesa y es absorbida por una superficie que se calienta. Esta superficie emite, a su vez, calor –radiación térmica– (onda larga); no obstante, este tipo de onda no puede atravesar el vidrio, por lo que se queda atrapada dentro del colector (Shallerberg, 2008, pág. 52).

Figura 5. Capacitor Solar Térmico.



Nota: Schallenberg J. (2008). Energías renovables y eficiencia energética. pág. 53.

Para una instalación solar se requiere conocer el número de módulos solares que componen dicha instalación, esto se puede obtener mediante las siguientes formulas:




$$Potencia_{fotovoltaica} = \frac{Consumo}{Hora Solar Pico}$$

$$Número de módulos solares = \frac{Potencia_{fotovoltaica}}{Potencia_{módulo}} + \left(\frac{Potencia_{fotovoltaica}}{Potencia_{módulo}} * 25\% \right)$$

4.2.2.1.2 Tipos de Paneles Solares

1. Silicio cristalino (mono cristalino y policristalino)
2. Silicio amorfo

Figura 6. Células Solares

Célula	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocristalino	24%	15-18%	Son típicos los azules homogéneos. Sus cantos son redondeados, debido al proceso de fabricación.	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19-20%	12-14%	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos de azul.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16%	< 10%	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de ser semiflexible, y poder depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato, como vidrio o plástico.

Nota: Carmona & Díaz. (2018). Instalaciones solares fotovoltaicas. pág. 14

4.2.2.1.3 Vida de una Instalación Fotovoltaica. El módulo fotovoltaico se estima que tiene una vida útil superior a 30 años, constituyendo la parte más fiable de la instalación. La experiencia indica que los paneles nunca dejan de producir electricidad, aunque su rendimiento pueda disminuir ligeramente con el tiempo.

Las instalaciones más antiguas, de los años 60-70, aún continúan operativas. De hecho, a menudo se encuentran en el mercado módulos con garantías de 20 años. En general se trata de equipos fabricados para resistir todas las inclemencias del tiempo, además las células están hechas de silicio, que es un material muy resistente (Shallerberg, 2008, pág. 74).

4.2.2.2 Energía Eólica. El viento también tiene su origen último en el sol, ya que se origina por el diferente calentamiento de las distintas zonas de la atmosfera, dando lugar a masas de aire de diferente densidad lo que hace descender a las más densas y elevarse a las más ligeras. Sobre ese movimiento también inciden el de rotación de la tierra y la configuración orográfica de su superficie. La energía eólica ha sido una fuente de energía, utilizada a través de molinos de viento para moler grano, bombear agua y producir electricidad, en la actualidad las turbinas eólicas han tenido un gran desarrollo tecnológico y son ampliamente usados en muchas zonas de forma competitiva con otras fuentes de electricidad (De Juana, 2003, pág. 9).

4.2.2.2.1 Cuánta Energía contiene el Viento Aproximadamente. La masa de aire en movimiento es energía cinética que puede ser transformada en energía eléctrica. Al incidir el viento sobre las palas de una aeroturbina se produce un trabajo mecánico de rotación que mueve a su vez un generador para producir electricidad. La cantidad de energía que contiene el viento antes de pasar por un rotor en movimiento depende de tres parámetros: la velocidad del viento incidente, la densidad del aire y el área barrida por el rotor.

La velocidad a la que el aire pase por las palas resulta determinante, pues la energía cinética del viento aumenta proporcionalmente al cubo de la velocidad a la que se mueve. Por ejemplo: si la velocidad se duplica, la energía será ocho veces mayor (2^3) (Álvarez, 2006, pág. 28).

4.2.2.2.2 Clasificación de los Aerogeneradores. Los aerogeneradores se pueden clasificar según las características siguientes:

1. Potencia nominal:

Aerogenerador de pequeña potencia: turbinas de hasta 30 kW. Sus aplicaciones más comunes son la carga de baterías, instalaciones remotas de telecomunicaciones, instalaciones domésticas, caravanas, yates, pequeñas granjas aisladas, etc. La mayoría de estas aplicaciones son sistemas aislados y se instalan cerca del centro de consumo.

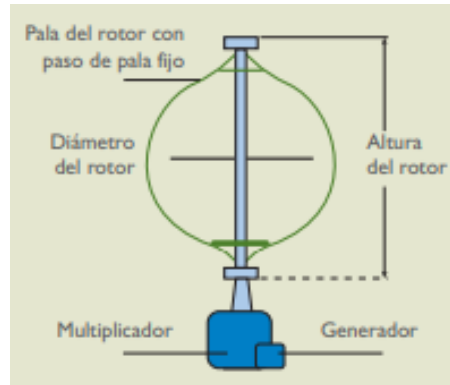
Aerogenerador de mediana potencia: turbinas entre 30 kW y 300 kW. Se utilizan fundamentalmente para alimentar demandas eléctricas importantes. Si bien existen casos de sistemas aislados, se trata por lo general de instalaciones interconectadas con la red eléctrica.

Aerogenerador de gran potencia: turbinas de más de 300 kW. Se utilizan fundamentalmente en la producción de electricidad, para inyectarla en las redes eléctricas (Shallerberg, 2008, pág. 86).

2. Orientación del rotor

Eje vertical: en estas máquinas, el eje que transmite el movimiento de las palas es vertical. Al no necesitar orientarse (por la simetría de las palas) permite aprovechar los vientos de cualquier dirección. El generador eléctrico se instala a la altura del suelo, por lo que es menor la complejidad a la hora de efectuar labores de mantenimiento. El más desarrollado en el mercado es el tipo Darrieus. Este tipo de máquinas eólicas también tienen desventajas, entre las que se encuentran la necesidad de utilizar un motor, debido a que su configuración no permite el autoarranque y a que reciben menos viento al estar más cerca del suelo.

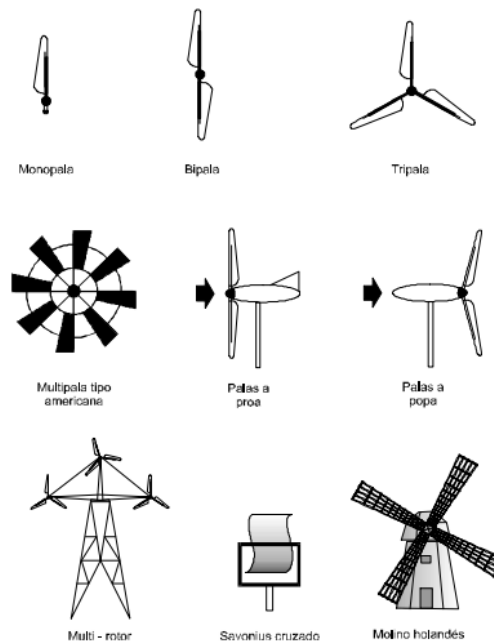
Figura 7. Aerogenerador Vertical



Nota: Schallenberg J. (2008). Energías renovables y eficiencia energética. pág. 86.

Eje horizontal: en estas máquinas el eje que transmite el movimiento de las palas es horizontal. Se trata de la constitución más común de las máquinas eólicas (Shallerberg, 2008, pág. 86).

Figura 8. Molinos de Eje Horizontal



Nota: Moragues, J & Rapallini, A. (2003). Energía Eólica, pág. 12.

3. Número de palas

Según el número de palas se pueden diferenciar máquinas: bipalas (2 palas), tripalas (3 palas) y multipalas (más de 3 palas).

4. Mecanismo de regulación de potencia

Paso fijo: las palas se mantienen en una posición fija con respecto a su eje, se ajustan durante el montaje y permanecen invariables durante el funcionamiento. Debido al uso completamente pasivo de las palas, esta regulación es simple y fiable en cualquier condición. Con este sistema se producen variaciones en la producción según sea la intensidad del viento. Un extremo de la pala se puede girar 90° en torno a su eje. Este movimiento se utiliza como sistema principal de frenado y es lo que se denomina aerofreno.

Paso variable: las palas pueden girar sobre su propio eje para regular el paso. A altas velocidades de viento se ajusta el ángulo de la pala, por lo que se puede mantener la potencia de salida prácticamente constante en dichas condiciones.

La regulación de potencia con este último sistema es más fina que con el sistema de paso fijo, pudiéndose mantener, una vez alcanzada, la potencia nominal de la máquina prácticamente invariable, aun cuando aumente la intensidad del viento. Este sistema, además de regular la potencia de salida de la máquina, se utiliza como aerofreno (Shallerberg, 2008, pág. 87).

4.2.3 Sistema Híbrido de Generación de Energía

Actualmente tiene especial relevancia la llamada hibridación (utilización combinada de energías) por las ventajas que conlleva. Entre los distintos tipos de hibridación, el más utilizado es el de fotovoltaica más eólica.

Los sistemas de energía híbrida generan energía a través de fuentes renovables, tales como el sol o el viento. Con la instalación de paneles solares fotovoltaicos y aerogeneradores, se consigue un aporte de energía durante las horas de sol o de máximo viento para un funcionamiento continuado del suministro eléctrico (Trashorras, 2021, pág. 3).

4.2.3.1 Componentes de un Sistema Híbrido de Generación de Energía. Los elementos principales que componen un sistema híbrido de generación de energía son: panel solar, turbina eólica, estos ya fueron definidos anteriormente, baterías e inversor.

4.2.3.1.1 Inversor. Este convierte la corriente continua del sistema en corriente alterna, para alimentar los aparatos que trabajan con corriente alterna (Carmona & Diaz, 2018, pág. 11).

4.2.3.1.2 Batería. Solo presente en instalaciones autónomas. Proporciona energía a la instalación durante los periodos sin suficiente recurso energético (luminosidad o viento). Acumula energía para la instalación (Carmona & Diaz, 2018, pág. 11).

Para acumular la energía se necesita, según sea el caso un banco de baterías. Para ello es necesario calcular el número de baterías indicado para la instalación.

Para este cálculo tienen las siguientes ecuaciones:

$$Potenciaa\ del\ sistema = \frac{Consumo}{Profundidad\ de\ descarga}$$

La profundidad de descarga= es el porcentaje de descarga máximo al que puede llegar la batería, para prevenir el daño de esta.

$$Ah = \frac{\text{Potencia del sistema}}{\text{Voltaje del sistema}}$$

Ah = Capacidad de almacenamiento de energía eléctrica del sistema

$$\text{Número de filas de baterías} = \frac{Ah_{\text{sistema}}}{Ah_{\text{baterías}}}$$

$$\text{Número de baterías} = \frac{\text{Potencia del sistema}}{\text{Capacidad de la batería}}$$

4.2.4 Dispositivo Extractor de Humedad Atmosférica

Un generador atmosférico de agua obtiene agua potable de la condensación del vapor de agua contenido en el aire. Utiliza un ciclo termodinámico con tecnología de refrigeración mecánica con control electrónico avanzado.

Para garantizar la mejor calidad del agua, el proceso incluye tratamientos que eliminan las partículas suspendidas en el aire y en el agua, los compuestos orgánicos volátiles disueltos en el agua, aumentan la mineralización para ser usada como agua potable y también incluye tratamientos de conservación que permiten su almacenamiento (GENAQ, 2018).

Figura 9. *Funcionamiento de Dispositivo Generador de Agua Atmosférica*

Nota: Genaq. (2018). La nueva alternativa: Generadores Atmosféricos de Agua GENAQ.

<http://www.genaq.com/es/agua/>

4.3 Referente Legal

Debido al uso de fuentes no convencionales de energía se deben tener en cuenta las leyes y resoluciones bajo las cuales se rigen estas energías al momento de ser implementadas en un proyecto. En dicho aspecto se tienen los siguientes.

4.3.1 Ley 1715 de 2014

Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético. 13 de mayo de 2014. DO. N° 49150.

Artículo 4°. Declaratoria de utilidad pública e interés social. La promoción, estímulo e incentivo al desarrollo de las actividades de producción y utilización de fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable se declara como un asunto de utilidad

pública e interés social, público y de conveniencia nacional, fundamental para asegurar la diversificación del abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección del ambiente, el uso eficiente de la energía y la preservación y conservación de los recursos naturales renovables Ley 1715 (Ministerio de Minas y Energía, 2014).

Artículo 12°. Instrumentos para la promoción de las FNCE., incentivo tributario IVA. Para fomentar el uso de la energía procedente de FNCE, los equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados que se destinen a la preinversión e inversión, para la producción y utilización de energía a partir de las fuentes no convencionales, así como para la medición y evaluación de los potenciales recursos estarán excluidos de IVA Ley 1715 (Ministerio de Minas y Energía, 2014).

Artículo 19°. Desarrollo de la energía solar.

1. La energía solar se considerará como fuente no convencional renovable.
2. se fomentará el aprovechamiento del recurso solar en proyectos de urbanización municipal o distrital, en edificios oficiales, en los sectores industrial, residencial y comercial.
3. Se establecerá la reglamentación técnica y de calidad a cumplir por las instalaciones que utilicen la energía solar, así como los requisitos de conexión, mecanismos de entrega de excedentes, y normas de seguridad para las instalaciones.
4. El Gobierno nacional considerará la viabilidad de desarrollar la energía solar como fuente de autogeneración para los estratos 1, 2 y 3 como alternativa al subsidio existente para el consumo de electricidad de estos usuarios.

5. El Gobierno nacional determinará los parámetros ambientales que deberán cumplir los proyectos desarrollados con energía solar, así como la mitigación de los impactos ambientales que puedan presentarse en su implementación Ley 1715 (Ministerio de Minas y Energía, 2014).

Artículo 20. Desarrollo de la energía eólica.

1. se deberá estudiar y analizar las condiciones propias de la naturaleza de la fuente para su reglamentación técnica por parte de la CREG.

2. el Gobierno nacional fomentará el aprovechamiento del recurso eólico en proyectos de generación en zonas aisladas o interconectadas.

3. Se determinarán requerimientos técnicos y de calidad a cumplir por las instalaciones que utilicen el recurso eólico como fuente de generación

4. El Gobierno Nacional determinará los parámetros ambientales que deberán cumplir los proyectos desarrollados con energía eólica, así como la mitigación de los impactos ambientales que pueden presentarse en la implementación (Ley 1715) (Ministerio de Minas y Energía, 2014).

4.3.2 Resolución 703 de 2018

Por la cual se establecen el procedimiento y los requisitos para obtener la certificación que avala los proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), con miras a obtener el beneficio de la exclusión del IVA y la exención de gravamen arancelario de que tratan los artículos 12 y 13 de la ley 1715 de 2014, y se adoptan otras disposiciones (Unidad de Planeación Minero-Energética -UPME-, 2018)

Artículo 3°. Definición del listado de bienes y servicios excluidos del IVA y exentos de gravamen arancelario. Se deben verificar que los equipos, elementos, maquinaria, materiales e

insumos y servicios relacionados con el proyecto FNCE, se encuentran incluidos en el listado y que estos serán destinados exclusivamente a etapas de preinversión e inversión. (Unidad de Planeación Minero-Energética -UPME-, 2018)

4.3.3 Resolución 1312 de 2016 [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]

Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración de Estudio de Impacto Ambiental -EIA-, requerido para el trámite de la licencia ambiental de proyectos de uso de fuentes de energía eólica continental y se toman otras determinaciones (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016).

Artículo 3°. Verificación. El interesado en obtener la Licencia Ambiental deberá verificar que no queden excluidos de la evaluación aspectos que puedan afectar y/o producir deterioro grave a los recursos naturales renovables o al ambiente o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje. De la misma manera, podrá suprimir o no aportar parcialmente alguna de la información solicitada en los términos de referencia, que considere que no es pertinente y que por lo tanto no aplica a su proyecto, obra o actividad (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016).

Artículo 4°. Información Adicional. La presentación del estudio de impacto ambiental con sujeción a los términos de referencia adoptados en esta resolución no limita la facultad que tiene autoridad ambiental de solicitar al interesado la información adicional específica que considere indispensable para evaluar y decidir sobre la viabilidad del proyecto, a pesar de que la misma no esté contemplada en los términos de referencia, ni garantiza el otorgamiento de la licencia ambiental (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016).

Artículo 5°. Régimen de transición. Los proyectos de uso de fuentes de energía eólica continental, que a la fecha de entrada en vigor de esta hayan presentada el respectivo estudio de impacto ambiental con base en los términos de referencia fijados de forma específica, continuarán su trámite y deberán ser evaluados de conformidad con los mismos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016).

4.3.4 Resolución 281 de 2015

Por la cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala (Unidad de Planeación Minero-Energética -UPME-, 2015).

Artículo 1°. El límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala será de un (1) MW, y corresponderá a la capacidad instalada del sistema de generación del auto generador. (Resolución 281) (Unidad de Planeación Minero-Energética -UPME-, 2015).

5. Método

Para poder asegurar la ejecución de los objetivos específicos planteados, se deben seguir las siguientes fases en el proceso metodológico donde se describirá cada una de las actividades que se deben llevar a cabo a lo largo del proyecto de investigación y también poder dar una referencia del tiempo que este proyecto gastará en ejecutarse.

5.1 Tipo de Investigación

Teniendo en cuenta que el objetivo del proyecto es diseñar un sistema de generación de agua para la ranchería Santa Rosa ubicada en Manaure, La Guajira. Se llevará a cabo un diseño experimental descriptivo que se aplicará de forma longitudinal debido a que se hace también un análisis de viabilidad teniendo en cuenta un antes y un después. Sabiendo que se cuenta con información proporcionada en el marco teórico y que se trata del diseño de un prototipo, orientado principalmente a la búsqueda de características de dicho prototipo.

Hernández Pina citado por Cesar Augusto Bernal Torres el diseño experimental como su nombre lo indica se soporta en el experimento, el cual es un proceso planificado de investigar en el que al menos una variable es manipulada u operada intencionalmente por el investigador para conocer los efectos que produce está en al menos otra variable llamada independiente (2016, p. 153). El mismo autor menciona que las investigaciones descriptivas son aquellas en las que se identifican hechos, situaciones, rasgos, características, se realizan perfiles o diseños de prototipos, modelos etc. (p. 143).

5.2 Caracterización del Contexto

El proyecto se llevar a cabo en la Ranchería Santa Rosa ubicada en Manaure, La Guajira. Esta ranchería se encuentra ubicada a 12.3 km del municipio de Manaure, cuenta aproximadamente con 30 viviendas las cuales obtienen agua de un abrevadero en el cual también usan para dar de beber a los animales. Se trata de un terreno seco donde los veranos son muy calientes y nublados, y los inviernos son cortos, secos y con fuertes corrientes de aire, además es de difícil acceso ya que se encuentra sin pavimentar. Esta Ranchería cuenta con una temperatura que varía entre los 24 y 31 grados centígrados durante todo el año, en raras ocasiones presenta temperaturas de 23 y

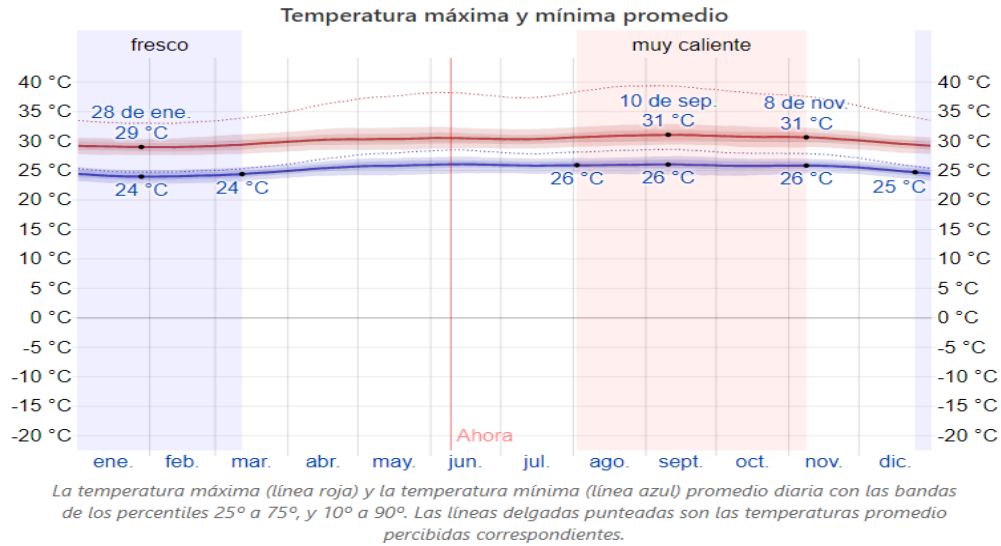
33 grados centígrados. Al tener estas condiciones ambientales se puede deducir que cuenta con los parámetros

5.2.1 Recolección de Información

Para llevar a cabo el desarrollo del diseño del dispositivo recolector de agua se debe determinar primeramente las condiciones ambientales bajo las que se rige Manaure como lo son la temperatura del aire ambiente, la humedad relativa, la presión atmosférica, la velocidad del viento y la energía solar. Para la determinación de dichos parámetros se contó con la ayuda de la página Weather Spark la cual se basa en el análisis estadístico de informes climatológicos y reconstrucciones de modelos provenientes de la estación meteorológica Aeropuerto Internacional de la Chinita ubicada en Maracaibo, Venezuela. Del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM- y la página tiempo y temperatura que ofrece datos meteorológicos obtenidos de Foreca Ltd y la Agencia Estatal de Meteorología -AEMET-. De acuerdo con lo anterior se obtuvieron los siguientes datos (Weather Spark, sf), (IDEAM, sf)

5.2.1.1 Temperatura Ambiente. Se encontró que Manaure cuenta con una temperatura promedio de 31°C durante los meses de agosto hasta noviembre, en los cuales se presenta una temporada de calor. Mientras que, durante los meses de diciembre a marzo, la temporada más fresca del año, cuenta con una temperatura promedio menor a los 29°C, durante esta temporada la temperatura podría bajar incluso a los 24°C.

Casi nunca en este municipio se presentan temperaturas menores a los 23°C o mayores a los 33°C. (Weather Spark, sf)

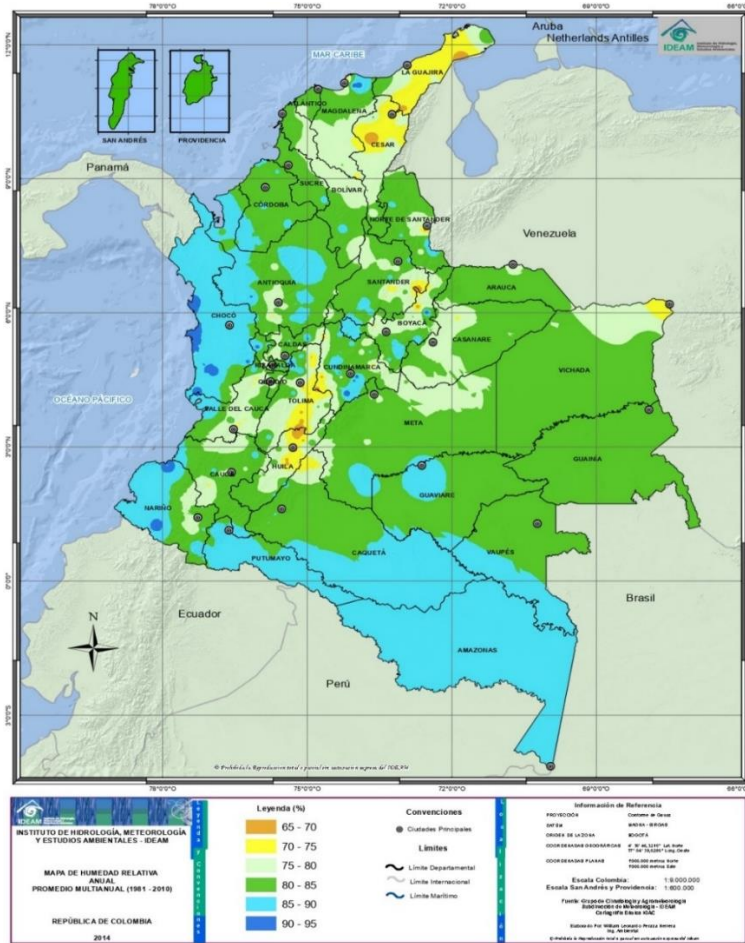
Figura 10. Temperatura Máxima y Mínima

Nota: Weather Spark. (sf). El clima y el tiempo promedio en todo el año en Manaure.

<https://es.weatherspark.com/y/25357/Clima-promedio-en-Manaure-Colombia-durante-todo-el-año>

5.2.1.2 Humedad Relativa. Los datos que se muestran a continuación son datos promedios sobre la humedad relativa que se presenta en la guajira. Sin embargo, en el territorio de Manaure pueden presentarse porcentajes de mínimo 55% y máximos de 90% de humedad relativa en algunas épocas del año.

Figura 11. Humedad Relativa

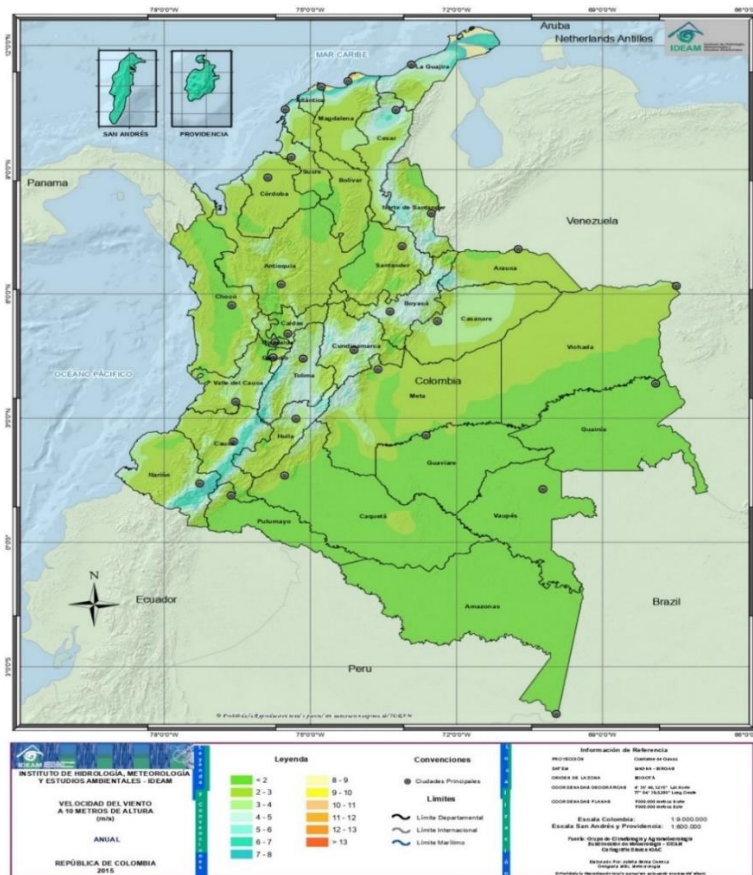


Nota: Atlas Ideam. (sf). Visor Atlas Climatológico de Colombia.
<http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>

5.2.1.3 Presión Atmosférica. Según los datos obtenidos de la página tiempo y temperatura la presión atmosférica en Manaure oscila entre los valores de 100,7 kPa y 101,3 kPa durante todo el año (Tiempo y Temperatura, sf).

5.2.1.4 Velocidad del Viento. Para la temporada más ventosa en Manaure, que se presenta entre los meses de diciembre y agosto, encontramos que la velocidad del viento esta entre 5,53 m/s y 6,75 m/s. Mientras que en los meses de agosto a octubre presenta una temporada calmada con vientos de 4,30 m/s. En promedio la velocidad del viento en Manaure durante un año es de 5,68 m/s (Weather Spark, sf).

Figura 12. Velocidad del Viento

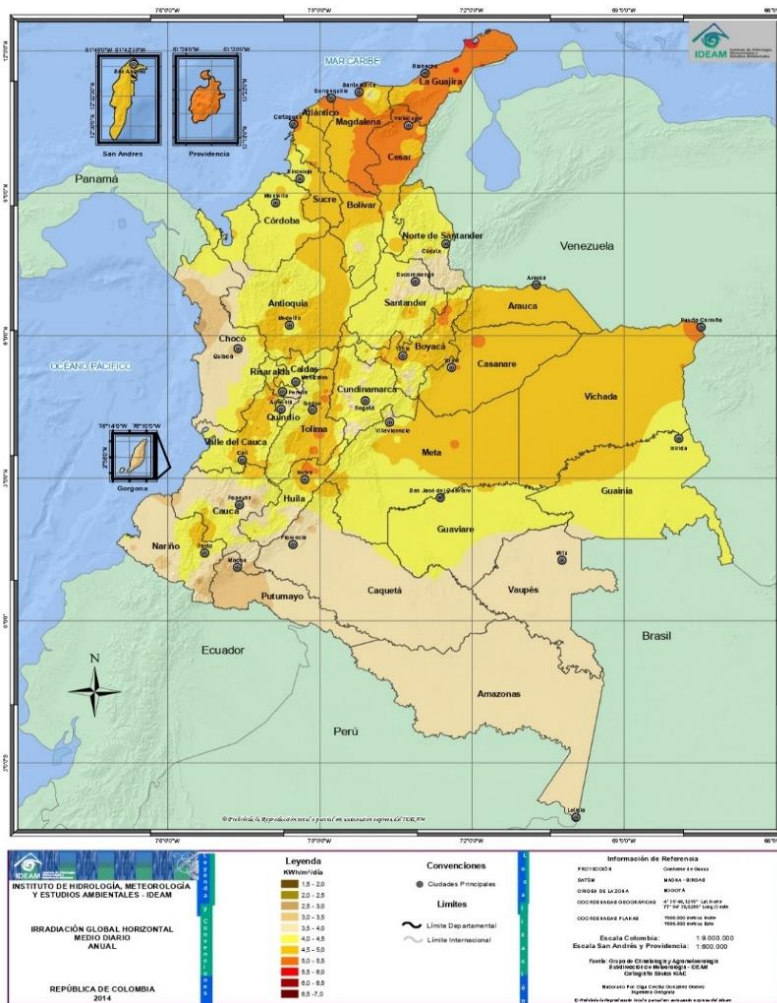


Nota: Atlas Ideam. (sf). Visor Atlas Climatológico de Colombia.

<http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>

5.2.1.5 Energía Solar. Para este se encontró que, en el periodo más resplandeciente del año, desde el 6 de febrero al 19 de abril, Manaure cuenta con una energía de onda corta incidente por metro cuadrado de 6,1 kWh, y en su periodo más obscuro, que va desde el 5 de septiembre al 14 de noviembre, cuenta con una energía de onda corta incidente por metro cuadrado de 4,3 kWh. En general, en el año Manaure cuenta en promedio con un -HSP- (Hora Solar Pico) de 5,2 kWh/m² (Weather Spark, sf).

Figura 13. Energía Solar



Nota: Atlas Ideam. (sf). Visor Atlas Climatológico de Colombia.

<http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>

5.3 Diseño Conceptual

5.3.1 Selección del Refrigerante

En primera medida se procederá a realizar el proceso de selección del refrigerante que se utilizara en el ciclo, para esto se tendrán en cuenta las propiedades ambientales y de seguridad como lo son:

- el potencial agotador de ozono -PAO-
- el potencial de calentamiento global -PCG-
- la clasificación de seguridad de los refrigerantes e inflamabilidad de los hidrocarburos
- Temperatura de descarga
- Presión de descarga
- Coeficiente de desempeño (COP)
- Flujo másico

Para la selección de los refrigerantes a analizar se tendrá en cuenta la clase de estos, los refrigerantes se clasifican en tres grupos que son los halocarbonados, los inorgánicos y los orgánicos. A continuación, se mostrará una lista de los refrigerantes con uso permitido en Colombia.

5.3.1.1 Refrigerantes Halocarbonados

Tabla 1. HFC Puro – Controlados/Protocolo de Kyoto

Número R	Componentes	PAO	PCG ⁵	Seguridad
R125	HFC- 125	0	3500	A1
R134a	HFC- 134a	0	1430	A1
R143a	HFC- 143a	0	4470	A2
R152a	HFC- 152a	0	124	A2
R161	HFC- 161	0	12	
R227ea	HFC- 227ea	0	3220	A1
R23	HFC- 23	0	14760	A1
R236ea	HFC- 236ea	0	1370	
R236fa	HFC- 236fa	0	9810	A1
R245fa	HFC- 245fa	0	1,30	B1
R32	HFC- 32	0	675	A2

Nota: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (sf). Manual de buenas prácticas en refrigeración. pág. 20

Tabla 2. Mezclas de HFC – Controlados/Protocolo de Montreal

Número R	Componentes	PAO	PCG ⁸	Seguridad
R404A	R125/R143a/R134a (44,0/52,0/4,0)	0	3900	A1
R407A	R32/R125/R134a (20,0/40,0/40,0)	0	2100	A1
R407B	R32/R125/R134a (10,0/70,0/10,0)	0	2800	A1
R407C	R32/R125/R134a (23,0/25,0/52,0)	0	1800	A1
R407D	R32/R125/R134a (15,0/15,0/70,0)	0	1600	A1
R407E	R32/R125/R134a (25,0/15,0/60,0)	0	1600	A1

Número R	Componentes	PAO	PCG ⁸	Seguridad
R410A	R32/R125 (50,0/50,0)	0	2100	A1
R413A	R218/R134a/R600a (9,0/88,0/3,0)	0	2100	A1
R417A	R125/R134a/R600a (46,0/50,0/3,4)	0	2300	A2
R419A	R125/R134a/R170 (77,0/19,0/4,0)	0	3000	A2
R421A	R125/R134a (58,0/42,0)	0	2600	A1
R421B	R125/R134a (85,0/15,0)	0	3200	A1
R422A	R125/R134a/R600a (85,1/11,5/3,4)	0	3100	A2
R422B	R125/R134a/R600a (55,1/42,0/3,0)	0	2500	A2
R422C	R125/R134a/R600a (82,0/15,0/3,0)	0	3100	A2
R422D	R125/R134a/R600a (65,1/31,5/3,4)	0	2700	A1
R423A	R134a/R227ea (52,5/47,5)	0	2300	A2
R424A	R125/R134a/R600a/R600/601a (50,5/47,0/0,9/1,0/0,6)	0	2400	A2
R425A	R32/R134a/R227a (18,5/69,5/12,0)	0	1500	A2
R426A	R125/R134a/R600/R601a (5,1/93,0/1,3/0,6)	0	1500	A1
R427A	R32/R125/R143a/R134a (15,0/25,0/10,0/50,0)	0	2100	A2
R428A	R125/R143a/R290/R600a (77,5/20,0/0,6/1,9)	0	3600	A2
R429A	RE170/R152a/R600a (60,0/10,0/30,0)	0	20	A3
R430A	R152a/R600a (76,0/24,0)	0	110	A3
R431A	R290/R152a (71,0/29,0)	0	53	A3
R434A	R125/R143a/R134a/R600a (63,2/78,5/1,4/0,6)	0	3100	A2
R435A	RE170/R152a (80,0/20,0)	0	27	A3
R437A	R125/R134a/R600/R601 (19,5/78,5/1,4/0,6)	0	1700	A1
R507A	R125/R143a (50,0/50,0)	0	3800	A2
R508A	R23/R116 (39,0/61,0)	0	13000	A1
R508B	R23/R116 (46,0/54,0)	0	13000	A1

Nota: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (sf). Manual de buenas prácticas en refrigeración. pág. 23-24

5.3.1.2 Refrigerantes Inorgánicos

Tabla 3. *Refrigerantes Naturales*

Número R	Componentes	PAO	PCG ⁹	Seguridad
R702	H_2 – Hidrógeno normal	0	-	A3
R704	He – Helio	0	-	A1
R717	NH_3 – Amoníaco	0	0	B2
R718	H_2O – Agua	0	0	A1
R729	Aire (78% N_2 /21% O_2 /0,9% Ar/0,04% CO_2 /0,06% otros)	0	-	A1
R744	CO_2 – Dióxido de carbono	0	1	A1
R764	SO_2 – Dióxido de azufre	0	300	B1

Nota: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (sf). Manual de buenas prácticas en refrigeración pág. 25

5.3.1.3 Refrigerantes Orgánicos

Tabla 4. *Hidrocarburos*

Número R	Componentes	PAO	PCG ¹⁰	Seguridad
R1150	Etileno	0	-	A3
R1270	Propileno	0	-	A3
R170	Etano	0	3	A3
R290	Propano	0	3	A3
R600	Butano	0	3	A3
R600a	Isobutano	0	3	A3

Nota: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (sf). Manual de buenas prácticas en refrigeración. pág. 27

Tabla 5. Mezclas de Hidrocarburos

Número R	Componentes	PAO	PCG ¹¹	Seguridad
R432A	R1270/ RE170 (80,0/20,0)	0	3	A3
R433A	R1270/R290 (30,0/70,0)	0	3	A3
R436A	R290/R600a (56,0/44,0)	0	3	A3
R436B	R290/R600a (52,0/48,0)	0	3	A3
R510A	RE170/R600a (88,0/12,0)	0	3	A3

Nota: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (sf). Manual de buenas prácticas en refrigeración. pág. 27

Revisando las tablas se puede observar que los refrigerantes halocarbonados cuentan con un PCG mayor a los refrigerantes inorgánicos y orgánicos. Además, la clasificación de seguridad en algunos refrigerantes es superior y esto se puede evidenciar por la siguiente figura:

Figura 14. Clasificación de Seguridad de los Refrigerantes e Inflamabilidad de los Hidrocarburos



Nota: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (sf). Manual de buenas prácticas en refrigeración. pág. 17

Teniendo en cuenta que la instalación del dispositivo se realizara dentro de una zona urbana, específicamente al interior de una residencia, el nivel de seguridad se convierte en un factor importante. En consecuencia, solo se tendrán en cuenta refrigerantes cuyo nivel de seguridad sea A1, por lo anterior se descartarán los refrigerantes de tipo orgánico ya que estos no cumplen con el nivel de seguridad requerido. Dentro del grupo de los inorgánicos se seleccionaron los siguientes: R704 (Helio), R718 (Agua), R729 (Aire) y R744 (Dióxido de carbono), y para el grupo de los halocarbonados se elegirán: R134a y R404a, ya que estos son los más comunes para equipos de refrigeración de uso doméstico como neveras y aires acondicionados.

Tabla 6. *Propiedades de los Refrigerantes*

Refrigerantes	Temperatura de ebullición (°C)	Temperatura de congelación (°C)	Temperatura crítica (°C)	Calor latente de vaporización (kJ/kg)
R704 (Helio)	-268	----	-268	22,8
R718 (Agua)	100	0	374,5	2257
R729 (Aire)	----	----	-140,6	17,19
R744 (Dióxido de carbono)	-78,5	-56,57	31,1	131,59
R134a	-26,1	-103	101,1	217,2
R404a	-46,45	----	72,07	200

5.3.1.4 Consideraciones Preliminares del Ciclo. Para poder seleccionar el refrigerante más adecuado es necesario modelar un sistema de refrigeración de compresión simple bajo condiciones extremas para posteriormente comparar el desempeño de cada refrigerante. Para esto se realizará un análisis de los componentes del ciclo:

Para el cálculo y análisis preliminar del **evaporador** se debe tener en cuenta que en este se produce el intercambio de energía térmica proveniente del exterior y por lo tanto donde sucede la

condensación del vapor de aire ambiente, para este caso la temperatura en el evaporador se tomara como cero, se debe tener en cuenta que en realidad la temperatura de las aletas en el evaporador es unos grados mayor a la temperatura de evaporación, ya que se quiere evitar que el agua condensada se congele dado que esto podría generar obstrucciones en el proceso y a su vez una disminución de la eficiencia. Así mismo se debe resaltar que en este paso no se tendrán en cuenta las resistencias térmicas por conducción o convección.

En el **condensador** se tiene que el refrigerante que pasa por este intercambia calor con el aire ambiente, esto con el fin de aprovechar el aire frío proveniente del evaporador para refrigerar un espacio y con esto mejorar el confort de los habitantes de la zona. Realizando el modelamiento del ciclo para la condición más extrema, en la cual se cuenta con una temperatura ambiente de 32°C, se requiere que la temperatura de condensación sea superior a esta, por lo tanto, se supondrá un delta de temperaturas igual a 13 entre la temperatura ambiente y la temperatura de condensación, lo cual correspondería a una temperatura de condensación de 45°C respectivamente.

Además de realizar el análisis del ciclo resulta importante tener en cuenta las siguientes consideraciones para el refrigerante:

1. Debe tener una temperatura crítica por arriba de la temperatura de condensación.
2. Debe tener una temperatura de congelación por debajo de la temperatura del evaporador.
3. Debe tener una temperatura de ebullición baja.
4. Debe tener un valor alto de calor latente de vaporización.

Una vez establecidas las condiciones del ciclo se procederá a proporcionar los parámetros iniciales teniendo en cuenta que se desean obtener 350 litros de agua al día es decir 0,0040509 l/s y que el aire que ingresa al sistema será suministrado por dos ventiladores, este flujo de aire se selecciona en base a los requerimientos del sistema de tal forma que nos brinde el agua requerida, los cuales se encontraran ubicados en el evaporador y otro en el condensador. En cuanto a las condiciones ambientales se tomarán los datos para la peor condición posible los cuales se mostrarán en la siguiente tabla:

Tabla 7. *Condiciones Ambientales*

Condiciones ambientales y datos del ciclo	
Temperatura de condensación	45°C
Temperatura de evaporación	0°C
Temperatura ambiente	32°C
Humedad relativa	55%
Caudal de agua condensada	350 l/día
Caudal de aire en el evaporador	0,5 m ³ /s
Caudal de aire en el condensador	2,5 m ³ /s
Sobrecalentamiento	5°C
Subenfriamiento	3°C
Eficiencia isentrópica del compresor	75%

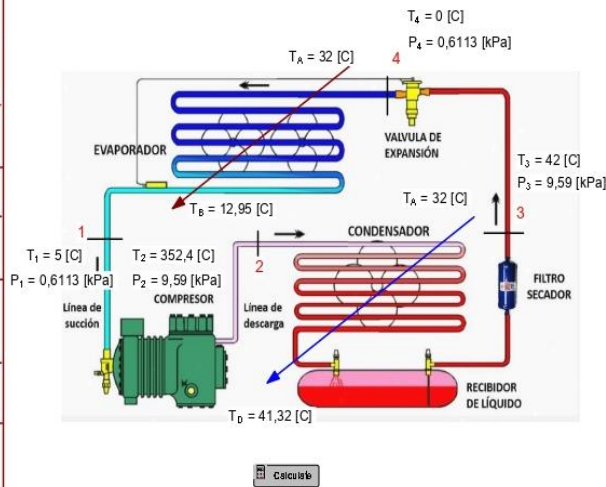
Teniendo en cuenta los datos proporcionados en la Tabla 7 y las consideraciones que deben cumplir, se descartan el refrigerante R704 (Helio), el R729 (Aire) y el R744 (Dióxido de carbono) debido a que no cumplen con estos parámetros. Con ayuda de las ecuaciones termodinámicas y el

programa EES se realiza la simulación del ciclo de refrigeración con los datos que se proporcionan en la Tabla 7.

5.3.1.5 Datos Obtenidos

Figura 15. Resultados R718

CARACTERÍSTICAS DEL AIRE	
Caudal de aire (Evaporador)	0,5 [m ³ /s]
Caudal de aire (Condensador)	2,5 [m ³ /s]
Humedad relativa (%)	55 %
Temperatura ambiente	32 [C]
Temperatura deseada a la salida del evaporador	12,95 [C]
Temperatura de rocío	21,83 [C]
Presión atmosférica	101,2 [kPa]
Caudal de agua condensada	350 [l/día]

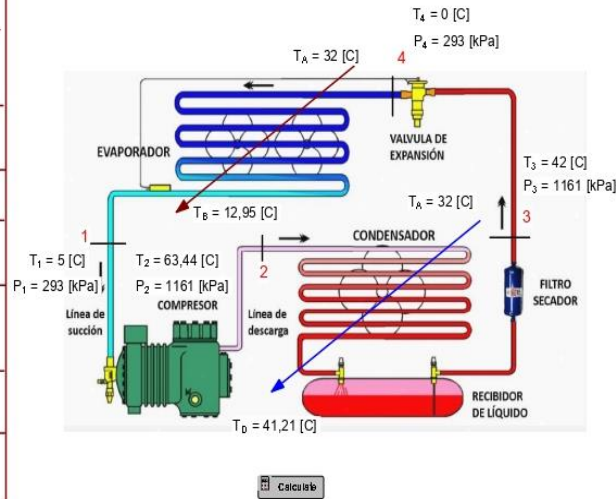


Refrigerante: R718

CARACTERÍSTICAS DEL CICLO DE REFRIGERACION	
Flujo másico de refrigerante	0,00904 [kg/s]
Temperatura de evaporación	0 [C]
Temperatura de condensación	45 [C]
Sobrecalentamiento (evaporador)	5 [C]
Subenfriamiento (condensador)	3 [C]
Taza de transferencia de calor en el evaporador	21,1 [kW]
Taza de transferencia de calor en el condensador	27,17 [kW]
Potencia del compresor	6,075 [kJ/s]
Eficiencia (%) isentrópica del compresor	75 %
COPr	3,473

Figura 16. Resultados R134a

CARACTERÍSTICAS DEL AIRE	
Caudal de aire (Evaporador)	0,5 [m ³ /s]
Caudal de aire (Condensador)	2,5 [m ³ /s]
Humedad relativa (%)	55 %
Temperatura ambiente	32 [C]
Temperatura deseada a la salida del evaporador	12,95 [C]
Temperatura de rocío	21,83 [C]
Presión atmosférica	101,2 [kPa]
Caudal de agua condensada	350 [l/day]

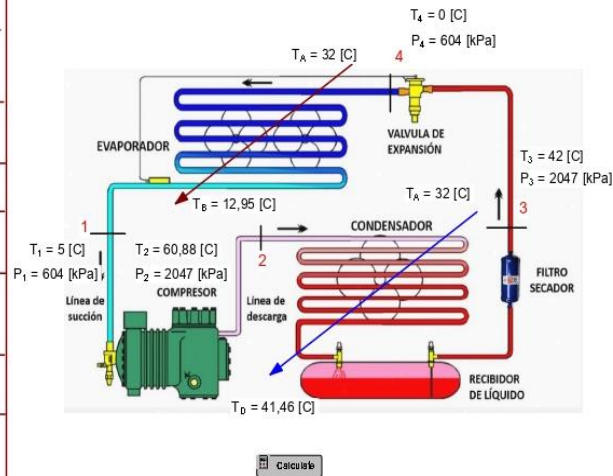


Refrigerante: R134a

CARACTERÍSTICAS DEL CICLO DE REFRIGERACION	
Flujo másico de refrigerante	0,1469 [kg/s]
Temperatura de evaporización	0 [C]
Temperatura de condensación	45 [C]
Sobrecalentamiento (evaporador)	5 [C]
Subenfriamiento (condensador)	3 [C]
Taza de transferencia de calor en el evaporador	21,1 [kW]
Taza de transferencia de calor en el condensador	26,86 [kW]
Potencia del compresor	5,764 [kJ/s]
Eficiencia (%) isentrópica del compresor	75 %
COPr	3,661

Figura 17. Resultados R404a

CARACTERÍSTICAS DEL AIRE	
Caudal de aire (Evaporador)	0,5 [m ³ /s]
Caudal de aire (Condensador)	2,5 [m ³ /s]
Humedad relativa (%)	55 %
Temperatura ambiente	32 [C]
Temperatura deseada a la salida del evaporador	12,95 [C]
Temperatura de rocío	21,83 [C]
Presión atmosférica	101,2 [kPa]
Caudal de agua condensada	350 [l/day]



Refrigerante: R404a

CARACTERÍSTICAS DEL CICLO DE REFRIGERACION	
Flujo másico de refrigerante	0,1969 [kg/s]
Temperatura de evaporización	0 [C]
Temperatura de condensación	45 [C]
Sobrecalentamiento (evaporador)	5 [C]
Subenfriamiento (condensador)	3 [C]
Taza de transferencia de calor en el evaporador	21,1 [kW]
Taza de transferencia de calor en el condensador	27,57 [kW]
Potencia del compresor	6,468 [kJ/s]
Eficiencia (%) isentrópica del compresor	75 %
COPr	3,262

5.3.1.6 Resultados de Refrigerantes

Tabla 8. Resultados Obtenidos

Refrigerante	PAO	PCG	Clasificación de seguridad	Temperatura de Descarga [°C]	Presión de Descarga [kPa]	Coefficiente de Desempeño	Flujo másico [Kg/s]	Potencia del compresor [KJ/s]
R718	0	0	A1	352,4	9,59	3,473	0,00904	6,075
R134a	0	1,43 ⁵	A1	63,44	1161	3,661	0,1469	5,764
R404a	0	3,9 ⁸	A1	60,88	2047	3,262	0,1969	6,468

En la tabla 8 se observa que el refrigerante inorgánico no constituye un riesgo para el medio ambiente. Sin embargo, en el R718 se puede evidenciar que la presión de descarga es mucho menor a la atmosférica y esto puede generar ingreso de aire ambiente al sistema, además de esto su temperatura de descarga podría deteriorar la vida útil del compresor al ser tan elevada.

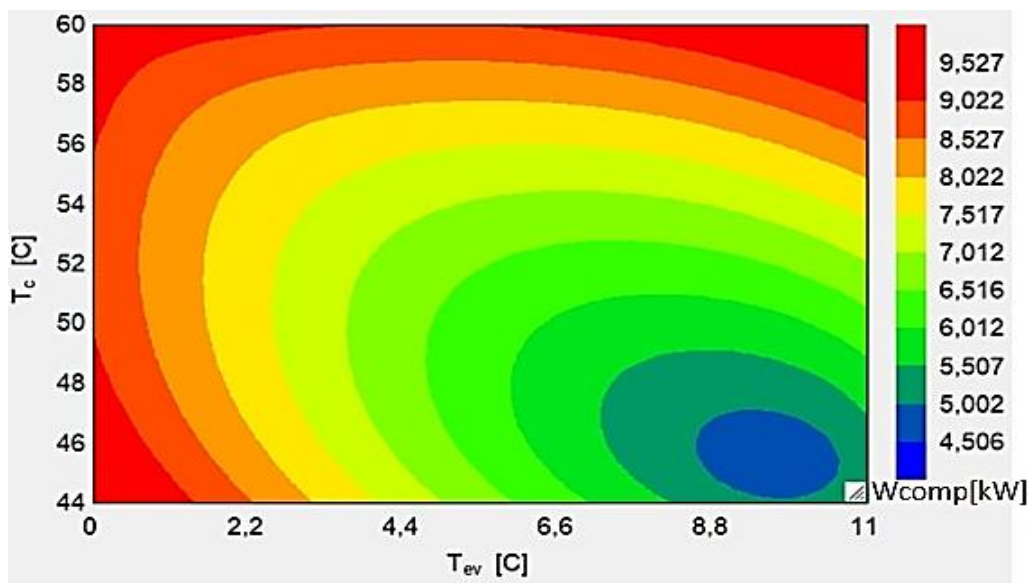
En cuanto a los refrigerantes halocarbonados se puede evidenciar en los resultados de ambos son viables para el proceso. Sin embargo, se puede observar que el R134a tiene un mejor rendimiento en comparación con el R404a debido a que presenta un menor PCG, un coeficiente de desempeño superior y una presión de descarga menor que evitaría inconvenientes.

La baja presión de descarga del R718 lo vuelve inviable y que el R404a presente resultados inferiores al R134a hace que este se descarte. Por último, para el R134a se resalta que el halocarbonado necesita una presión de descarga mucho menor, tiene un coeficiente de desempeño superior y es el refrigerante que tiene la menor potencia requerida en el compresor. Teniendo en cuenta lo anterior se selecciona el refrigerante R134a como el óptimo.

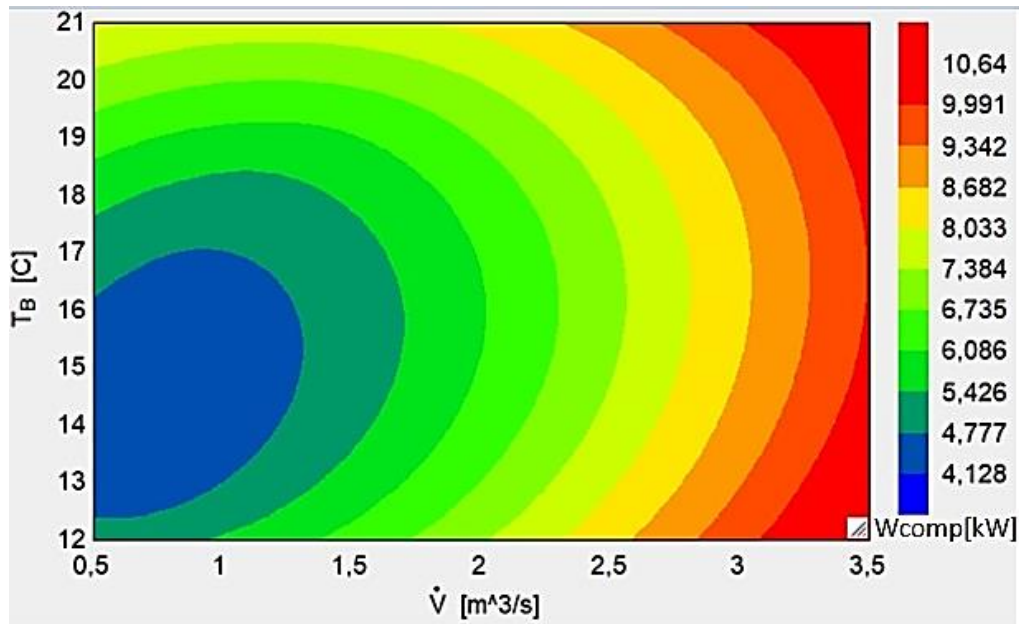
5.3.2 Análisis del Ciclo

5.3.2.1 Análisis de la Temperatura de Evaporización y Condensación Óptimas. En esta parte se requiere identificar la temperatura de evaporización y condensación con las cuales se genere un menor trabajo en el compresor. Para llevarlo a cabo se realizará con ayuda del programa EES un rango de temperaturas de evaporación (T_{ev}) y condensación (T_c), en la cual el sistema cuente con las condiciones menos favorables que son 32°C de temperatura ambiente y 55% de humedad relativa correspondientemente, está será la gráfica A. Así mismo se realiza un análisis del caudal de aire (\dot{V}) requerido en el evaporador que mantenga una diferencia de temperatura, entre la temperatura de evaporización y la temperatura del aire que sale del evaporador (T_b), todo esto que sea afín con el valor del trabajo del compresor, la cual corresponde a la gráfica B. De estas se obtienen los siguientes resultados del trabajo del compresor:

Figura 18. (A) T_c vs T_{ev} vs W_{comp} & (B) T_b vs W_{comp} vs \dot{V}



(A)



(B)

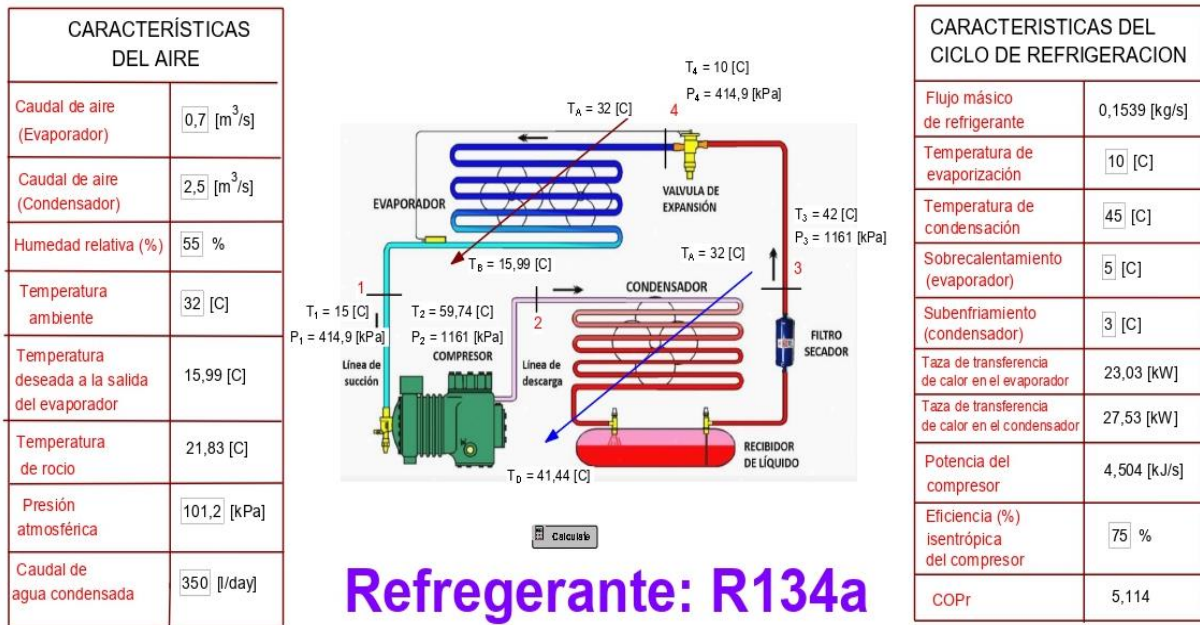
Se puede observar en la gráfica B que entre menor sea el caudal en el evaporador menor será la potencia en el compresor, pero así mismo será más pequeña la diferencia de temperatura entre la temperatura a la salida del evaporador y la temperatura de evaporización, esto generaría el requerimiento de un área muy grande de intercambio de calor en el evaporador.

Por lo tanto, para el rango de temperaturas en el evaporador se tuvo en cuenta que se desea una temperatura de 15,99 °C (T_b) a la salida del evaporador. Como se puede observar en la gráfica A, entre más cercanas sean la temperatura de condensación y evaporación menor es el trabajo realizado por el compresor. De modo que, se selecciona una temperatura de evaporación de 10 °C y una temperatura de condensación de 45°C. Por lo cual se selecciona un caudal de aire de $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ ya que se encuentra dentro del rango de trabajo más bajo del compresor y tiene una diferencia de temperatura considerable de 5,99°C. Teniendo en cuenta todo lo anterior se va a realizar una tabla con los parámetros de trabajo para el sistema:

Tabla 9. Parámetros de Trabajo

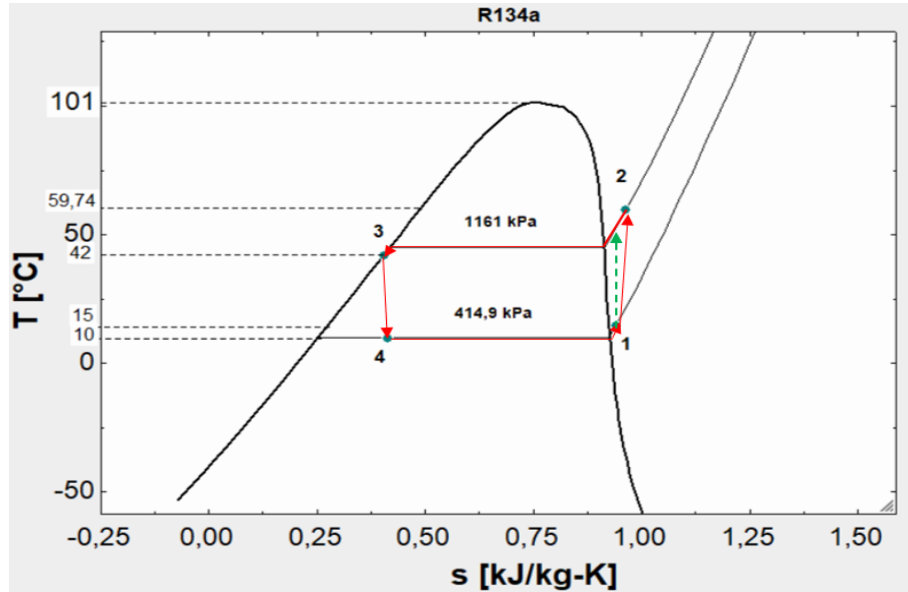
Caudal de agua	Caudal de aire en el evaporador	Caudal de aire en el condensador	Temperatura Evaporación	Temperatura Condensación	Potencia del compresor
350 L/día	$0,7 \frac{m^3}{s}$	$2,5 \frac{m^3}{s}$	10°C	45°C	$4,504 \frac{kJ}{s}$

Figura 19. Resultados Finales del R134a



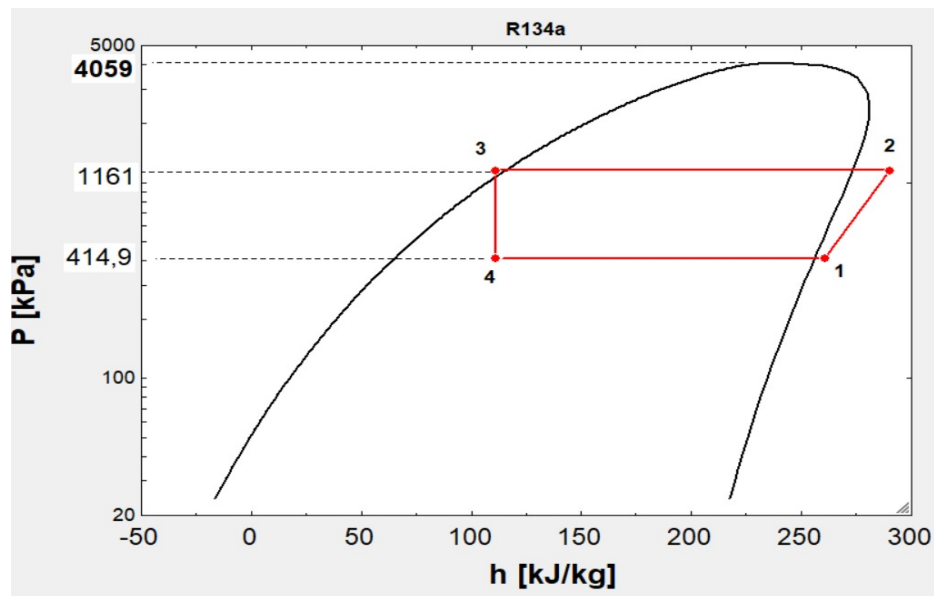
Con las temperaturas de condensación y evaporación definidas se puede modelar gráficamente el ciclo del refrigerante R134a, como se muestra a continuación:

Figura 20. Temperatura vs Entropía



La línea roja representa el proceso real del ciclo, mientras la línea verde muestra el proceso ideal de un compresor isentrópico.

Figura 21. Presión vs Entalpía



5.4 Selección de Elementos Correspondientes al Sistema de Generación de Agua

En este apartado se procederá a realizar la selección de los componentes que conforman el dispositivo condensador de humedad. Aquí se tendrán en cuenta los requerimientos necesarios de cada uno de los equipos para garantizar su correcto funcionamiento.

5.4.1 Evaporador

El evaporador es quizás el componente más importante del ciclo ya que este se encarga de realizar el condensado del vapor de agua que se encuentra en el aire, por lo tanto, se debe escoger uno que tenga capacidad igual o superior a la requerida, ya que de otra forma no se obtendrá el agua necesaria. Para su selección se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

- Taza de transferencia de calor: 23,03 kW
- Temperatura de evaporización: 10 °C
- Temperatura en la cámara: 15,99 °C
- Delta de temperatura de la cámara y de evaporización: 5,99 °C
- Humedad relativa: 55%
- Caudal de aire: $0,7 \frac{m^3}{s}$

Teniendo en cuenta estos parámetros de selección se escoge el evaporador modelo LC347A de la empresa GarcíaCámara, en la siguiente tabla se encuentran las especificaciones principales, incluyéndose en el **Apéndice A** la ficha técnica del equipo con las características proporcionadas por el fabricante.

Figura 22. Evaporador Gama LC

Nota: García Cámara. (sf). Evaporador: <https://www.garciacamara.com/categoria-oem-4.html>

Tabla 10. Características del Evaporador Gama LC

Evaporador LC329B	
Capacidad de refrigeración (<i>kW</i>)	24,214
Presión máxima (<i>kPa</i>)	2100
Temperatura máxima (<i>°C</i>)	60
Temperatura mínima (<i>°C</i>)	-40
Superficie de intercambio (<i>m²</i>)	141,4

Nota: GarcíaCámara. (sf). Evaporador. <https://www.garciacamara.com/categoria-oem-4.html>

Debido a que los ventiladores que vienen incorporados en el evaporador nos suministran un caudal de aire mayor al requerido equivalente a un 362,96% más, se decide realizar un cambio por otros que nos brinden un valor más cercano al necesario.

Con base en lo anterior se selecciona un ventilador helicoidal modelo HEP-25-4T/H de la empresa Sodeca, cuyas especificaciones se encuentran en la siguiente tabla. En el **Apéndice B** se incluyen los datos y medidas proporcionadas por el fabricante.

Figura 23. Ventilador HEP-25-4T/H Sodeca

Nota: Sodeca. (sf). Ventiladores (evaporador y condensador). <https://www.sodeca.com/es/catalogs>

Tabla 11. Características del Ventilador Sodeca

Ventilador HEP-25-4T/H	
Potencia instalada (kW)	0,087
Caudal máximo (m^3/h)	1250 c/u
Nivel presión sonora (dB(A))	52
Peso aproximado (Kg)	4,5
Diámetro (m)	0,31
Número de ventiladores	2

Nota: Sodeca. (sf). Ventiladores (evaporador y condensador):

<https://www.sodeca.com/es/catalogs>

5.4.2 Condensador

Para la selección del condensador se tendrá en cuenta su tasa de transferencia de calor, que es 27,53 kW, y el tipo de aplicación para el que se necesita. Teniendo en cuenta lo anterior se selecciona el modelo de condensador HCM68SSX del catálogo de la empresa GarcíaCámara ya que este cumple con los requerimientos necesarios.

Figura 24. *Condensador Seleccionado*

Nota: GarcíaCámara. (sf). Condensador. <https://www.garciacamara.com/categoria-oem-4.html>

Se trata de un condensador axial de gama HCM, es de alto rendimiento y su montaje se puede hacer en horizontal o vertical. A continuación, se mostrará una tabla con las principales características del modelo, incluyéndose en el **Apéndice C** la ficha técnica del equipo:

Tabla 12. *Características del Modelo*

Condensador modelo HCM68SSX	
Potencia (<i>kW</i>)	29,778
Superficie de intercambio (<i>m²</i>)	68
Separación de aletas (mm)	2,5
Presión máxima (kPa)	2600
Temperatura máxima (°C)	80
Temperatura mínima (°C)	-40

Nota: GarcíaCámara. (sf). Condensador. <https://www.garciacamara.com/categoria-oem-4.html>

Debido a que la frecuencia usada en los componentes es de 60 Hz y la frecuencia de los ventiladores incorporados en el condensador es de 50 Hz, es necesario cambiar los ventiladores del condensador por unos que nos brinden el caudal necesario a la frecuencia requerida. Por lo tanto, se seleccionó el ventilador modelo HFT 56-4/8T-1 del catálogo de ventiladores SODECA. Cuyas especificaciones se encuentran en el **Apéndice D**.

Figura 25. Ventilador HCDF-45-6T Sodeca



Nota: Sodeca. (sf). Ventiladores (evaporador y condensador). <https://www.sodeca.com/es/catalogs>

Tabla 13. Características del Ventilador Sodeca

Ventilador modelo HCDF-45-6T	
Número de ventiladores	2
Diámetro de los ventiladores (<i>m</i>)	0,462
Caudal de aire (<i>m</i> ³ /h)	5200 c/u

Nota: Sodeca. (sf). Ventiladores (evaporador y condensador). <https://www.sodeca.com/es/catalogs>

5.4.3 Compresor

A la hora de seleccionar el compresor se deben tener en cuenta ciertos parámetros que resultan especialmente importantes para hacer una correcta elección, para este caso dichos parámetros son:

- Temperatura de evaporización: 10 °C
- Temperatura de condensación: 45 °C
- Capacidad de refrigeración: 23,03 kW
- Subenfriamiento: 3 K
- Sobrecalentamiento: 5 K

Para esta selección se realizó una comparación de compresores de diferentes fabricantes que cumplieran con los valores requeridos para este ciclo de refrigeración. Teniendo en cuenta los parámetros anteriores se selecciona un compresor Danfoss modelo SZ110-3 por medio de un software suministrado por dicha empresa en el cual se indica el adecuado para esta aplicación.

Figura 26. *Compresor SZ110-3*



Nota: Danfoss. (sf). Compresor. <https://www.danfoss.com/en-us/products/dcs/compressors/compressors-for-refrigeration/#tab-overview>

Este es un compresor tipo scroll. A continuación, se mostrará una tabla que contiene las especificaciones de este, incluyéndose en el **Apéndice E** datos y planos proporcionados por el fabricante:

Tabla 14. *Características del Compresor*

Compresor Danfoss modelo SZ110-3	
Capacidad nominal de refrigeración (<i>kW</i>)	24,84
Flujo másico ($\frac{kg}{s}$)	0,1667
Potencia del compresor (<i>kW</i>)	5,264

Nota: Danfoss. (sf). Compresor. <https://www.danfoss.com/en-us/products/dcs/compressors/compressors-for-refrigeration/#tab-overview>

5.4.4 Válvula de Expansión y Filtro Secador

Para la válvula de expansión se tuvieron en cuenta diferentes modelos de válvulas de expansión electrónicas y termostáticas, en este caso se decide utilizar una válvula de expansión electrónica para refrigeración industrial debido a los rangos de temperaturas, de presión y flujo volumétrico necesarios para esta aplicación:

- Temperatura de evaporización: 10 °C
- Temperatura de condensación: 45 °C
- Flujo másico: 554,04 $\frac{kg}{h}$
- Subenfriamiento: 3 *k*
- Sobrecalentamiento: 5 *k*

Figura 27. *Válvula de Expansión Electrónica para Refrigeración Industrial*

Nota: Danfoss. (sf). Válvula. <https://www.danfoss.com/en-us/products/dcs/valves/electric-expansion-valves/ccmt-electric-regulating-valves-transcritical-co2/#tab-overview>

Esta válvula de expansión es una válvula de la empresa Danfoss modelo CCMT-4 seleccionado por medio del software proporcionado por ellos, cuyas especificaciones se pueden observar en la siguiente tabla, incluyéndose en el **Apéndice F** las dimensiones proporcionadas por el fabricante:

Tabla 15. *Características de la Válvula de Expansión*

Válvula de expansión Danfoss modelo CCMT-4	
Flujo másico ($\frac{kg}{h}$)	608,9
Capacidad máxima (kW)	38,85
Capacidad mínima (kW)	0,613
Presión de trabajo máxima (kPa)	14000

Nota: Danfoss. (sf). Válvula. <https://www.danfoss.com/en-us/products/dcs/valves/electric-expansion-valves/ccmt-electric-regulating-valves-transcritical-co2/#tab-overview>

Del mismo modo se procede a realizar la selección del filtro, el cual se hace mediante el mismo software. Se indica que el más adecuado para el ciclo es el modelo DCL165s, cuyas especificaciones y medidas se proporcionan en el **Apéndice G**.

Figura 28. *Filtro Secador DCL*



Nota: Danfoss. (sf). Filtro secador. <https://www.danfoss.com/en-us/products/dcs/filter-driers-and-strainers/filter-driers/>

Tabla 16. *Características de la Válvula de Expansión*

Filtro secador DCL165s	
Capacidad de líquido (<i>L</i>)	12845,52
Presión máxima (<i>kPa</i>)	4598,8

Nota: Danfoss. (sf). Válvula de Expansión. <https://www.danfoss.com/en-us/products/dcs/filter-driers-and-strainers/filter-driers/>

5.4.5 Tubería

Para la tubería se cuenta con las dimensiones de las áreas de succión y descarga en cada componente como se ilustra en la siguiente tabla.

Tabla 17. Dimensiones de Áreas de Succión y Descarga

Componente	Succión (mm)	Descarga (mm)
Evaporador	34,925	41,27
Condensador	28,575	22,225
Compresor	34,925	22,225
Válvula	19,05	19,05
Filtro secador	15,875	15,875

Nota: Adaptado a partir de datos tomados de catálogos Danfoss y GarcíaCámara

5.4.6 Selección de Componentes Eléctricos

Para la selección de los componentes eléctricos que alimentaran el dispositivo primero se realiza un análisis de energía consumida por cada equipo. En la siguiente tabla se podrán evidenciar las propiedades eléctricas de cada componente lo cual permitirá realizar dicho análisis.

Tabla 18. Propiedades Eléctricas

Equipo	Cantidad	Voltaje (V)	Frecuencia (Hz)	Corriente (A)	Potencia (kW)
Compresor	1	220	60	0,023927	5,264
Evaporador (ventiladores)	2	220	60	0,69	0,087
Condensador (ventiladores)	2	220	60	0,95	0,12

Nota: Adaptado a partir de datos tomados de catálogos Danfoss y Sodeca

Para el cálculo del consumo diario de energía de cada componente se hace el uso de la siguiente ecuación:

$$Pot(kW) * t_{de\ trabajo}(h) * Cantidad = Consumo\ diario\ (kWh/día)$$

De la ecuación se obtienen los resultados de consumo diario para cada equipo, estos se ilustran en la siguiente tabla en la cual se contempla también un factor de protección de 10% para el respaldo de batería:

Tabla 19. *Consumo Diario del Equipo*

Equipo	Consumo diario (kWh/día)
Compresor	126,336
Evaporador (ventiladores)	4,176
Condensador (ventiladores)	5,76
Total	136,272
Más el 10%	149,8892

Teniendo en cuenta el requerimiento energético necesario en un día, mostrado en la tabla 19, y los datos de velocidad del viento, que corresponde a 5,68 m/s, y energía solar, que son 5,2 kWh/m², en Manaure, recolectado con anterioridad en el inciso 1, se realiza la selección de los componentes que nos brinden esta energía. Ahora bien, considerando que el panel solar tiene un funcionamiento ligado a las horas de luz solar, se decide seleccionar primero la turbina eólica.

Por medio del simulador de generación de energía eólica de ENAIR se pudo realizar una estimación de producción eólica en el territorio con los diferentes modelos de aerogeneradores con los que cuentan, decidiendo seleccionar el modelo ENAIR E70PRO que brinda 23.1 kWh/día que corresponde a 15.41% de la energía total requerida. Por lo tanto, los paneles solares deberán suplir el 84.59% de la energía restante lo cual corresponde a 126,7893 kWh/día

Figura 29. *Turbina Eólica ENAIR E70PRO*

Nota: ENAIR. (sf). Turbina. <https://www.enair.es/es/>

En la siguiente tabla se encuentran las especificaciones correspondientes a la turbina eólica ENAIR E70PRO. Se incluye en el **Apéndice H** la ficha técnica con los datos proporcionados por el fabricante.

Tabla 20. *Turbina ENAIR E70PRO*

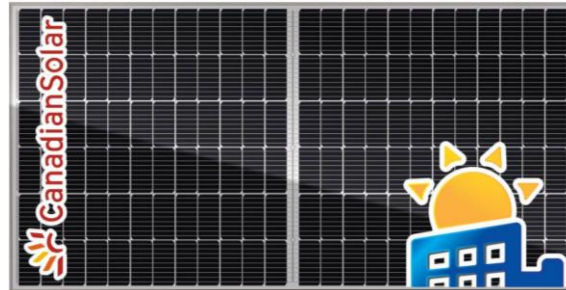
Especificaciones Turbina Eólica ENAIR 200	
Inicio de rotación	2 m/s
Peso	165 kg
Número de palas	3
Diámetro	4,3 m
Potencia nominal	4 kW

Nota: ENAIR. (sf). Turbina. <https://www.enair.es/es/>

Para la selección del panel solar, retomamos el dato de la hora solar pico promedio en Manaure la cual es de 5,2 kWh/m², seguido a esto procedemos a calcular la cantidad de módulos solares necesarios para generar 126,7893 kWh/día, para esto se buscó un módulo solar que nos

diera la mayor cantidad de energía por metro cuadrado y conforme a esto seleccionamos un módulo solar modelo CS6W-545MB-AG de la empresa Solartex cuyas especificaciones se encuentran en la siguiente tabla.

Figura 30. Panel solar CS6W-545MB-AG – Solartex



Nota: Solartex. (sf). Panel solar. <https://www.solartex.co/tienda/producto/panel-solar-545-watts-monoperc-canadian-solar/>

Tabla 21. Especificaciones del módulo solar

Panel solar CS6W-545MB-AG	
Potencia (kW)	0,545
Eficiencia del panel	21,2 %
Tolerancia de potencia	+2%
Dimensiones (m)	2,266*1,134*0,035
Peso (kg)	32,2
Tipo de célula	PERC bifacial

Nota: Solartex. (sf). Panel solar. <https://www.solartex.co/tienda/producto/panel-solar-545-watts-monoperc-canadian-solar/>

En el **Apéndice I** se incluye la ficha técnica que incluye medidas proporcionadas por el fabricante. Una vez seleccionado el panel se encuentra la cantidad de módulos solares a partir de las siguientes ecuaciones:

$$Pot_{fotovoltaica} = \frac{\text{Consumo}}{\text{Hora Solar Pico}}$$

$$Pot_{fotovoltaica} = \frac{126,7893 \text{ kWh/día}}{5,2 \text{ kWh/m}^2} = 24,382 \text{ kWp}$$

$$N^{\circ} \text{ de módulos} = \frac{Pot_{fotovoltaica}}{Pot_{módulo}} + \left(\frac{Pot_{fotovoltaica}}{Pot_{módulo}} * 25\% \right)$$

$$N^{\circ} \text{ de módulos} = \frac{24,689 \text{ kWp}}{0,545 \text{ kW}} + \left(\frac{24,689 \text{ kWp}}{0,545 \text{ kW}} * 25\% \right)$$

$$N^{\circ} \text{ de módulos} = 55.92 \cong 56 \text{ módulos solares}$$

Con lo anterior tenemos entonces que el área total ocupada por los paneles solares sería:

$$A_{total} = (\text{Largo [m]} * \text{Ancho [m]})$$

$$A_{total} = (2,266\text{m} * 1,134\text{m}) * (56 \text{ paneles})$$

$$A_{total} = 143.900064 \text{ m}^2$$

Teniendo en cuenta la cantidad de módulos solares que necesitamos disponemos, entonces, de 7 paneles en paralelo y 8 en serie, arreglo que nos permite organizar los 56 paneles necesarios.

Posterior a esto procedemos a realizar la selección del inversor, para este caso es necesario que dicho componente sea adecuado para la conexión de turbina eólica y panel solar. El parámetro principal para la selección del inversor es la potencia total en kW consumida por los componentes eléctricos del sistema. Ahora bien, sabiendo que la potencia total consumida en un día, incluyendo el 10% de respaldo de baterías, es 149,8892 kWh/día, tenemos que la potencia en kW para el inversor, agregando un factor de seguridad del 20% debido a que los fabricantes recomiendan trabajar al 80% de su capacidad, es:

$$6,245383 \text{ kW} * 1,20 = 7,49446 \text{ kW}$$

Con lo anterior se selecciona un inversor híbrido del Grupo Inspirare modelo SUN-7.6K-SG01LP1, que cuenta con las siguientes características, incluyendo en el **Apéndice J** la ficha técnica proporcionada por el fabricante:

Figura 31. *Inversor SUN-7.6K-SG01LP1 – Grupo Inspirare*



Nota: Grupo Inspirare. (sf). Inversor. <https://ginspirare.com/inspirare-solar/>

Tabla 22. *Especificaciones del Inversor*

Inversor SUN-7.6K-SG01LP1	
Potencia de salida nominal	7600 W
Frecuencia	50/60 Hz
Voltaje de salida	120V - 240V
Corriente nominal de salida	31,7A/22A
Eficiencia máxima	97,6%
Rango de temperatura	-25°C – 60°C

Nota: Grupo Inspirare. (sf). Inversor. <https://ginspirare.com/inspirare-solar/>

Por último, se realiza la selección de la batería. Para este caso, y teniendo en cuenta la cantidad de potencia y voltaje necesaria, se selecciona una batería de Litio de Turbo Energy, cuya ficha técnica se encuentran en el **Apéndice K**, la cual es compatible con inversores híbridos, cuyas características están en la siguiente tabla:

Figura 32. *Batería Turbo Energy*

Nota: Pylontech. (sf). Batería. <https://www.turbo-e.com/bateria-lithium-series-5-1kwh-48v/>

Tabla 23. Especificaciones de la Batería

Batería Turbo Energy	
Compatible con	Inversores híbridos
Sistema de monitorización de la batería	Sí
Descarga	>90%
Voltaje	48 V
Capacidad nominal	5,12 kW
Capacidad de almacenamiento de energía	106,66 Ah

Nota: Pylontech. (sf). Batería. <https://www.turbo-e.com/bateria-lithium-series-5-1kwh-48v/>

5.4.6.1 Cálculo del Banco de Baterías. Ya que las baterías no deben descargarse más del 90%, debido a que esto generaría una reducción de su vida útil, se tiene que la capacidad de almacenamiento para un día de autonomía debe ser:

$$\text{Capacidad de almacenamiento} = \frac{\text{Consumo diario}}{\text{profundidad de descarga}}$$

$$\text{Capacidad de almacenamiento} = \frac{149,8892 \text{ kWh/día}}{90\%}$$

$$\text{Capacidad de almacenamiento} = 166,543 \text{ kW} = 166543,5 \text{ W}$$

Con este valor podemos calcular la capacidad de almacenamiento de energía eléctrica del sistema Ah:

$$\text{Ah} = \frac{\text{Capacidad de almacenamiento}}{\text{Voltaje del sistema}}$$

$$Ah = \frac{168315 W}{220 V}$$

$$Ah = 757,01$$

Para saber el número de filas de baterías:

$$N^{\circ} \text{ filas baterías} = \frac{Ah \text{ sistema}}{Ah \text{ batería}}$$

$$N^{\circ} \text{ filas baterías} = \frac{757,01}{106,66}$$

$$N^{\circ} \text{ filas baterías} = 7,1 \cong 7 \text{ baterías}$$

Tomando la capacidad en W de la batería y la potencia requerida por el sistema podemos calcular el número total de baterías necesarias:

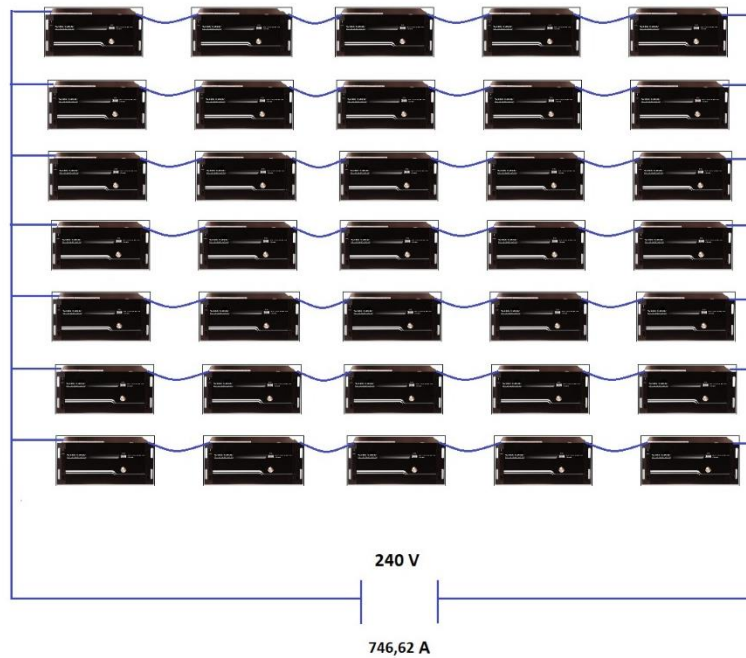
$$N^{\circ} \text{ baterías} = \frac{Pot \text{ del sistema}}{Capacidad \text{ de la batería}}$$

$$N^{\circ} \text{ baterías} = \frac{166543,5 W}{5100 W}$$

$$N^{\circ} \text{ baterías} = 32,6555$$

Para el arreglo del banco de baterías tomamos en cuenta el voltaje requerido por los componentes seleccionados para el ciclo y el número de baterías totales necesarias. Sin embargo, teniendo en cuenta el número de filas y el beneficio del arreglo del banco de baterías, se plantea un arreglo de 7 baterías conectadas en paralelo y 5 conectadas en serie, que nos darían un total de 35 baterías.

Figura 33. Banco de Baterías



Por lo anterior, realizamos el cálculo de la potencia total y el voltaje obtenido con este arreglo de baterías:

$$5 \text{ baterías en serie} * 48 \text{ V} = 240 \text{ V}$$

$$7 \text{ baterías en paralelo} * 106,66 \text{ Ah} = 746,62 \text{ Ah}$$

Con la ecuación de potencia:

$$Pot = I * V$$

$$Pot = 746,62 \text{ Ah} * 240 \text{ V}$$

$$Pot = 179188,8 \text{ W} \cong 179,1888 \text{ kW}$$

5.5 Cálculo Definitivo del Ciclo

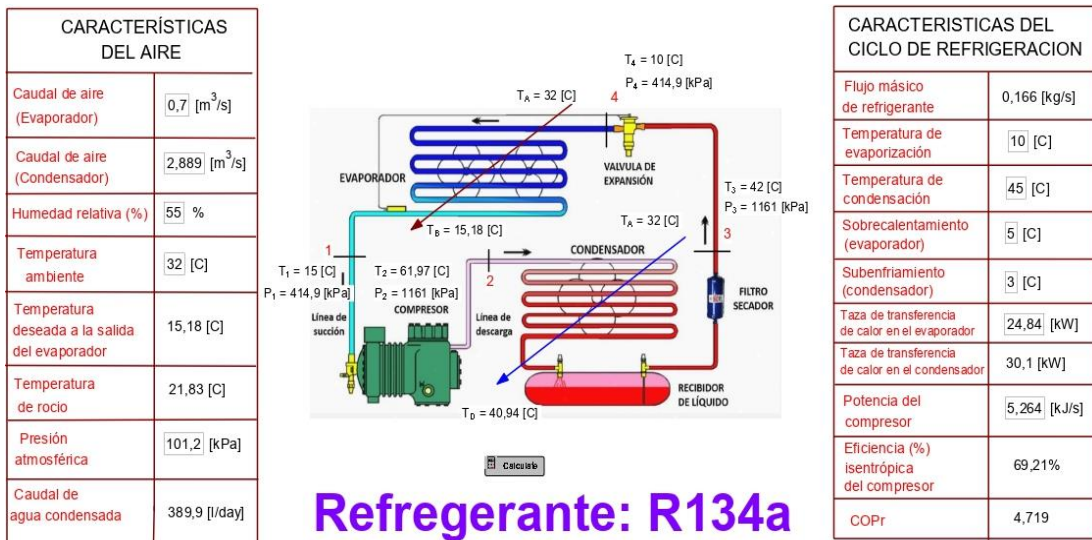
En este apartado calcularemos la cantidad de agua recolectada por el dispositivo teniendo en cuenta los datos de potencia de los equipos seleccionados anteriormente, estos datos están proyectados en la siguiente tabla:

Tabla 24. Parámetros de los Equipos Seleccionados

Equipos			
Compresor		Ventiladores	
Potencia	Capacidad de refrigeración	Caudal de aire	
		En el Evaporador	En el Condensador
5,264 kW	24,84 kW	$0,7 \frac{m^3}{s}$	$2,889 \frac{m^3}{s}$

Con los parámetros anteriores tenemos que el ciclo queda de la siguiente forma:

Figura 34. Ciclo de Refrigeración Final



Teniendo en cuenta que uno de los requerimientos del proyecto es que trabaje a temperaturas extremas, que se podrían llegar a presentar en la Ranchería Santa Rosa, se muestra a continuación una tabla con el caudal de agua generado por el dispositivo a 24°C y 34°C:

Tabla 25. *Datos de Caudal de Agua a 24°C y 34°C*

Datos de Caudal de Agua a 24°C y 34°C		
Temperatura (°C)	Humedad relativa %	Agua generada L/día
24	90	540,9
34	50	362,3

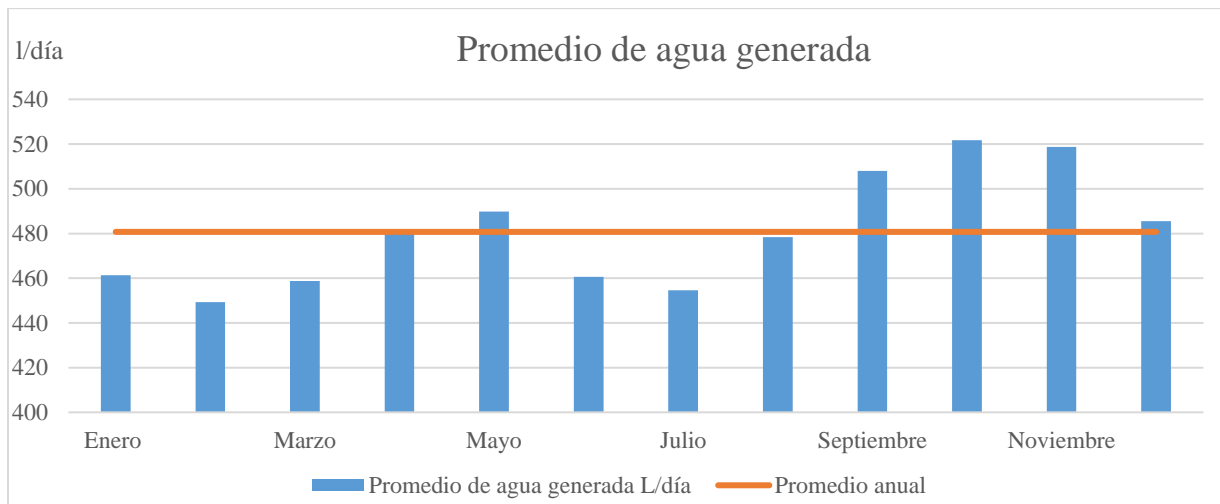
En la tabla anterior se puede evidenciar que, efectivamente, cumple su funcionamiento bajo estas temperaturas. Así mismo se realizará el cálculo de agua obtenida variando los parámetros de temperatura ambiente y humedad relativa que se presentan en la Ranchería Santa Rosa, Manaure, La Guajira. Durante un año.

Tabla 26. *Humedad Relativa de la Ranchería Santa Rosa*

Datos Del Año				
Meses	Temperatura promedio °C	Humedad relativa promedio %	Promedio de agua generada L/día	Promedio anual
Enero	27	71	461,3	
Febrero	27,1	69	449,3	
Marzo	27,4	70	458,7	
Abril	27,8	73	482	480,72
Mayo	28,6	73	489,8	
Junio	29,8	67	460,6	

Datos Del Año				
Meses	Temperatura promedio °C	Humedad relativa promedio %	Promedio de agua generada L/día	Promedio anual
Julio	29,9	66	454,6	
Agosto	29,5	70	478,3	
Septiembre	28,5	76	508	
Octubre	28	79	521,8	
Noviembre	27,7	79	518,7	
Diciembre	27,5	74	485,5	

Figura 35. Producción de Agua en un Año



Conociendo el promedio anual de generación de agua al día se procede a seleccionar un tanque para el almacenamiento del agua producida por el dispositivo que tenga una capacidad igual o mayor a 480,72 Litros. Por lo anterior se selecciona un tanque de 500 litros de Skinco® que cubre la necesidad de almacenamiento de agua.

Figura 36. *Tanque de Almacenamiento*

Nota: Skinco®. (sf). Tanque de almacenamiento. <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/59505/tanque-500-litros/59505/>

Tabla 27. *Características del Tanque de Almacenamiento*

Tanque de almacenamiento	
Capacidad	500 litros
Material	Polietileno 100% Virgen
Diámetro superior	99 cm
Altura	112 cm
Diámetro inferior	73 cm

Nota: Skinco®. (sf). Tanque de almacenamiento. <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/59505/tanque-500-litros/59505/>

También se selecciona una válvula de PVC roscada que se encontrará en la parte inferior del tanque de almacenamiento para el control de la extracción del fluido.

Figura 37. Válvula

Nota: Proyectarcomfer. (sf). Válvula del tanque. https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-551688693-llave-valvula-1-universal-pvc-presion-1-pulgada-_JM?matt_tool=41025276&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14633851812&matt_ad_group_id=122277565130&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=545410559223&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=156143572&matt_product_id=MCO551688693&matt_product_partition_id=1404046347083&matt_target_id=aud-978928009671:pla-1404046347083&gclid=CjwKCAjwxZqSBhAHEiwASr9n9I3u1WeUffod12Jiq7t0ulQTxiBl_fDQYjIT4LxeEqI3AeRDiDy1NxoCJvoQAvD_BwE

Se desea implementar un sistema de control de nivel de agua para poder detener la producción del líquido cuando el tanque de almacenamiento este en su capacidad máxima. Así mismo, estos sensores permitirán iniciar la producción cuando el nivel de agua llegue a un valor mínimo en el tanque. Para esto se seleccionan dos sensores de nivel de líquidos modelo LA16M-40 de la empresa Eicos que cumplen con dicha tarea.

Figura 38. Sensor LA16M-40

Nota: Eicos. (sf). Sensor. <https://www.eicos.com/>

Uno de los sensores se encontrará en la parte superior del tanque y se activará cuando este al 100% de su capacidad, es decir, 500 litros. El segundo se encontrará en la parte inferior y se activará cuando este esté en una capacidad mínima de 50 litros de agua, es decir, el 10% de su capacidad total.

El sistema de control para estos sensores se realizará mediante un Arduino que activará un contactor según el sensor que mande la señal, si el sensor de la parte superior se activa este contactor cortará el fluido eléctrico del equipo para detener su producción. Por otro lado, cuando se active el sensor inferior la señal que enviará al contactor permitirá alimentar el equipo y empezar la producción de agua. Lo anterior se realiza en aras de evitar el estancamiento de agua y un exceso de producción.

Debido a la finalidad que tiene el equipo, producir agua para el consumo y uso en actividades domésticas, resulta necesaria la instalación de un filtro que no permita el paso de

partículas de polvo, pelusa, tierra o insectos que se puedan encontrar en el aire que se toma para el proceso. Por tanto, se selecciona un filtro de malla metálica modelo K514-013 de la empresa KLC-Kinglandclean.

Figura 39. Filtro de Malla Metálica Modelo K514-013



Nota: KLC-Kinglandclean. (sf). Filtro de malla metálica para el evaporador.

<https://www.klcintl.com/>

Tabla 28. Características del Filtro

Filtro K514-013	
Tamaño (mm)	592*490*46
Capacidad de aire ($\frac{m^3}{h}$)	2650

Nota: KLC-Kinglandclean. (sf). Filtro de malla metálica para el evaporador.

<https://www.klcintl.com/>

5.6 Modelado en SolidWorks

A continuación, se muestra el montaje del dispositivo condensador de la humedad del aire ambiente, cuyas medidas se encuentran en el **Apéndice L**.

Figura 40. *Modelado en SolidWorks*

5.7 Costo del Equipo de Generación de Agua

El costo del equipo de generación de agua se ve reflejado en las tablas presentadas a continuación, las cuales se encuentran divididas según el sistema al que pertenecen los componentes que se seleccionaron en el inciso anterior.

5.7.1 Sistema de Generación de Agua

Estimación de costos para el sistema de generación de agua.

Tabla 29. *Costos Sistema de Generación de Agua*

Sistema de Generación de Agua			
Componentes	Cantidad	Precio por unidad	Precio total
Evaporador	1	\$ 22.039.809,40	\$ 22.039.809,4
Condensador	1	\$ 11.612.835,01	\$ 11.612.835,0
Ventilador evaporador	2	\$ 1.412.015,17	\$ 2.824.030,3
Ventilador condensador	2	\$ 2.534.435,99	\$ 5.068.872,0
Válvula de expansión	1	\$ 6.856.612,71	\$ 6.856.612,7
Filtro secador	1	\$ 150.204,07	\$ 150.204,1
Compresor	1	\$ 3.700.000,00	\$ 3.700.000,0
Total			\$ 52.252.363,5

5.7.2 Sistema de Generación de Energía

Estimación de costos para el sistema de generación de energía.

Tabla 30. *Costos Sistema de Generación de Energía*

Sistema de Generación de Energía			
Componentes	Cantidad	Precio por unidad	Precio total
Panel solar	57	\$ 974.000,00	\$ 55.518.000,0
Turbina	1	\$ 47.081.323,48	\$ 47.081.323,5
Inversor	1	\$ 6.186.939,00	\$ 6.186.939,0
Batería	35	\$ 8.080.259,32	\$ 282.809.076,2
Total			\$ 391.595.338,7

5.7.3 Accesorios

Estimación de costos de los accesorios para los componentes.

Tabla 31. *Costos de Accesorios*

Accesorios y Distribución			
Componentes	Cantidad	Precio por unidad	Precio total
Tanque de almacenamiento de agua	1	\$ 422.800,00	\$ 422.800,0
Sensor de nivel de agua	2	\$ 75.684,21	\$ 151.368,4
Filtro de aire	1	\$ 158.435,00	\$ 158.435,0
Válvula del tanque	1	\$ 20.000,00	\$ 20.000,0
Arduino	1	\$ 110.000,00	\$ 110.000,0
Contactador On/Off	1	\$ 174.300,00	\$ 174.300,0
Tubería de cobre 7/8 pulgadas	5 m	\$ 66.625,02	\$ 333.125,1
Tubería de cobre 5/8 pulgadas	6 m	\$ 34.942,95	\$ 209.657,7
Tubería de cobre 3/4 pulgadas	1 m	\$ 35.650,00	\$ 35.650,0
Tubería de cobre 1 3/8 pulgadas	9 m	\$ 58.345,34	\$ 525.108,0
Cables de conexión sistema de generación de energía (240V)	102 m	\$ 38.815,46	\$ 3.959.177,3
Cables de conexión sistema de generación de energía (220V)	46 m	\$ 5.397,38	\$ 248.279,6
Total			\$ 6.347.901,1

5.7.4 Costo Total de Equipo de Generación de Agua

Costo del equipo.

Tabla 32. *Costos del Equipo*

Costo Total del Equipo		
Sistema	Precio	Porcentaje del costo
Sistema de generación de agua	\$ 52.252.363,50	11,61%

Sistema de generación de energía	\$ 391.595.338,7	86,98%
Accesorios	\$ 6.347.901,10	1,41%
Total	\$ 450.195.603,3	100%

5.7.5 Costo de Producción de Un Litro de Agua

La elaboración del costo del litro de agua se hace bajo los conceptos del costo de energía utilizada para la producción de un litro de agua y el costo según el sistema de generación que comprende al ciclo de refrigeración.

Por lo anterior las características bajo las cuales se calculará el litro de agua son: la producción promedio anual calculada anteriormente, en el apartado del cálculo definitivo del ciclo, en el cual se especifica que la producción de agua promedio diaria es de 480,72 litros/ día. Y la vida útil del equipo la cual se considera de aproximadamente 25 años.

5.7.5.1 Para el Sistema de Energía. Para este se tiene en cuenta el consumo diario del equipo, el cual es de 149,8892 kWh/día y el precio del sistema de generación de energía que es de 391.595.338,7 COP. Para esto se va a calcular cuanta energía genera el sistema en un año, por lo cual se tomará la equivalencia del precio de los equipos de producción de energía para un año. De lo anterior se procede a realizar el siguiente análisis:

$$\frac{149,8892 \frac{kWh}{día}}{480,72 \frac{litros}{día}} = 0,3118014645 \frac{kWh}{litro}$$

Teniendo lo anterior procedemos a calcular el precio del kWh según el sistema de generación de energía con el que contamos:

$$\left(149,8892 \frac{kWh}{día}\right) * \left(\frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}}\right) = 54709,558 \frac{kWh}{año}$$

$$\frac{391'595.338,7 \text{ COP}}{25 \text{ años}} = 15'663.813,55 \frac{\text{COP}}{\text{año}}$$

$$\frac{15'663.813,55 \frac{\text{COP}}{\text{año}}}{54709,558 \frac{kWh}{año}} = 286,3085377 \frac{\text{COP}}{kWh}$$

En base a esto se calcula el costo de energía para la generación de un litro, el cual sería:

$$\left(0,3118014645 \frac{kWh}{litro}\right) * \left(286,3085377 \frac{\text{COP}}{kWh}\right) = 89,27142135 \frac{\text{COP}}{\text{litro}}$$

5.7.5.2 Para el Sistema de Generación de Agua. En este se tendrá en cuenta la cantidad de agua generada en un año, y, por ende, se tomará la equivalencia del precio de los equipos del sistema de generación de agua para un año también. Por lo anterior se tiene entonces que:

$$\left(480,72 \frac{\text{litros}}{día}\right) * \left(\frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}}\right) = 175462,8 \frac{\text{litros}}{\text{año}}$$

$$\frac{52252363,50 \text{ COP}}{25 \text{ años}} = 2090094,54 \frac{\text{COP}}{\text{año}}$$

Con lo anterior se obtiene el precio del litro de agua para el sistema de generación:

$$\frac{2090094,54 \frac{\text{COP}}{\text{año}}}{175462,8 \frac{\text{litros}}{\text{año}}} = 11,91189551 \frac{\text{COP}}{\text{litro}}$$

Por lo anterior se puede determinar que el valor total del litro de agua generado por el equipo es de:

$$\left(89,27142135 \frac{COP}{litro}\right) + \left(11,91189551 \frac{COP}{litro}\right) = 101,18 \frac{COP}{litro}$$

6. Análisis de Resultados

6.1 Comparación de Resultado con Diferentes Alternativas

En este apartado se realizará una comparativa del costo del litro de agua del dispositivo de este proyecto con otras alternativas de obtención. Para esto seleccionamos como alternativas de comparación:

- **Agua embotellada brisa** perteneciente a la empresa Coca-Cola.
- **Watergen modelo Genny**, el cual es un dispositivo de obtención de agua por medio de la condensación de la humedad del aire ambiente.
- **Veolia**, la cual es una empresa de servicio público de la guajira que suministra agua por medio de sus redes de acueducto.

Para determinar el precio del litro de agua se consultaron las tarifas correspondientes, para el agua brisa se obtuvo la tarifa directamente de la página de Coca-Cola, para Watergen el valor del precio del litro de agua se calculó de la misma forma que el dispositivo del proyecto con la

única diferencia de que este dispositivo depende de energía convencional para su funcionamiento, en este caso se realizó la simulación de las condiciones ambientales utilizadas para el dispositivo del proyecto, por medio de un simulador brindado por la página de Watergen, esto para encontrar el valor de producción diaria, el cual es 18,8 litros/día. A su vez se obtuvo el valor de consumo de energía, que es 550W, de la ficha técnica que se encuentra en el **Apéndice M**.

Teniendo en cuenta que el dispositivo requiere de 24 horas de trabajo, tenemos que el consumo diario es de 13,2 kWh/día. Debido a que este requiere energía convencional utilizamos el precio del kWh de la empresa distribuidora de energía Air-e el cual para abril del 2022 se encuentra en 759,46 COP para el estrato 1, como lo estipula la empresa en sus publicaciones mensuales de tarifas aplicadas. Además de esto se requiere el precio del equipo, que se encuentra en 5'939.505 COP. Con los datos anteriores tenemos que el precio del litro de agua para este dispositivo es de 567,86 COP.

Por último, el valor del litro de agua para la empresa Veolia se toma directamente de la tarifa establecida para el valor del m^3 de agua, tarifa mostrada a continuación:

Figura 41. Tarifas Servicio de Acueducto – Fonseca, La Guajira

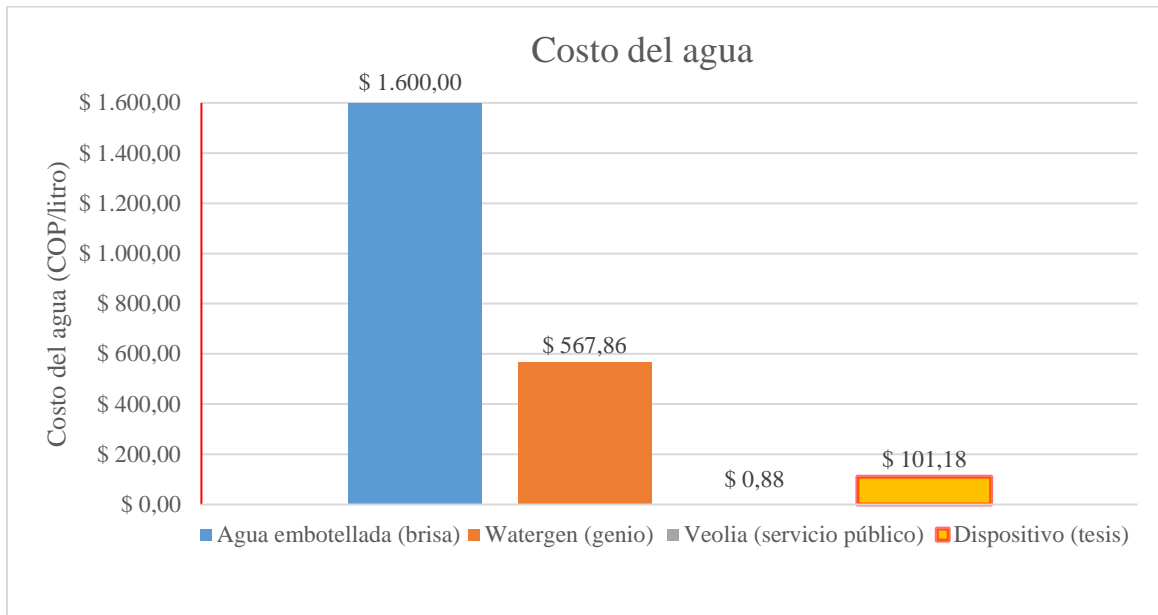
SERVICIO DE ACUEDUCTO				
Estrato/Uso	Cargo Fijo (\$/Usuario)	Consumo Básico (\$/m3)	Consumo Complementario (\$/m3)	Consumo Suntuario
Residencial 1	3.703,88	878,89	1.597,98	1.597,98
Residencial 2	5.050,75	1.198,49	1.597,98	1.597,98
Residencial 3	6.128,24	1.454,16	1.597,98	1.597,98
Residencial 4	6.734,33	1.597,98	1.597,98	1.597,98
Residencial 5	10.101,50	2.396,97	2.396,97	2.396,97
Residencial 6	10.774,93	2.556,77	2.556,77	2.556,77
Comercial	10.101,50	2.396,97	2.396,97	2.396,97
Industrial	8.754,63	2.077,37	2.077,37	2.077,37
Oficial	6.734,33	1.597,98	1.597,98	1.597,98

Nota: Veolia. (sf). Servicio al cliente. <https://www.veolia.com.co/guajira/servicio-cliente/normatividad/tarifas>

A continuación, se muestra una tabla con los valores del litro de agua para cada alternativa:

Tabla 33. Tarifa de Litro de Agua

Alternativas de obtención de agua	Precio por litro de agua obtenida (COP)
Agua embotellada (Brisa)	1600
Dispositivo WATERGEN (modelo – GENNY)	567,86
Veolia (Servicio público de la guajira)	0,88
Dispositivo (Tesis)	101,18

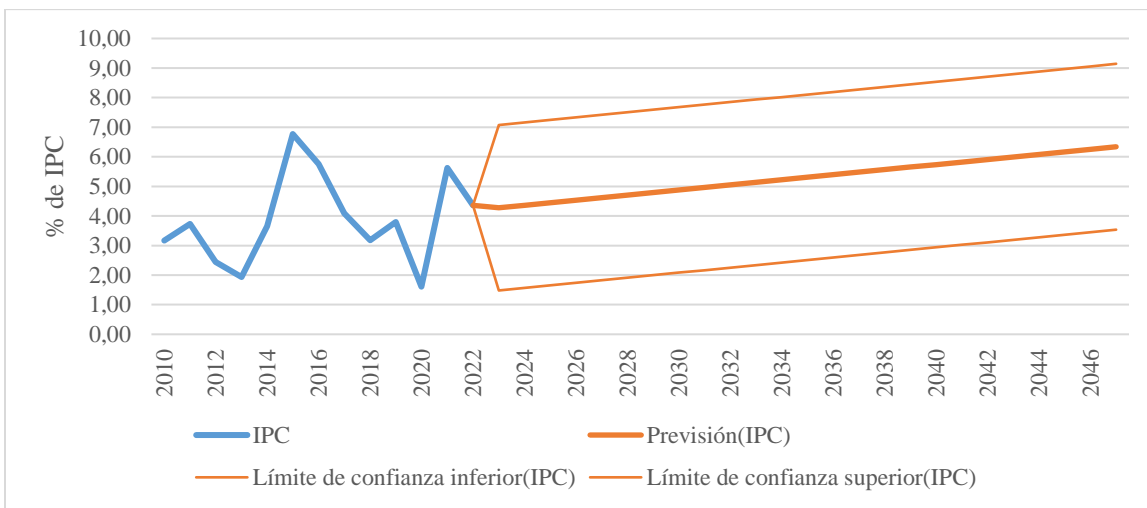
Figura 42. Costo del Litro de Agua

Comparando el dispositivo de obtención de agua del proyecto con cada alternativa podemos observar que cuenta con gran ventaja sobre el agua embotellada, y el dispositivo de la empresa Watergen. En la gráfica también se observa que Veolia es la que tiene el menor costo por litro de agua posicionándose por encima de las demás alternativas. Sin embargo, para este valor no se tomaron en cuenta factores externos como el transponer de dicha agua hasta el municipio de Manaure ya que esta red de acueductos se encuentra en un municipio diferente.

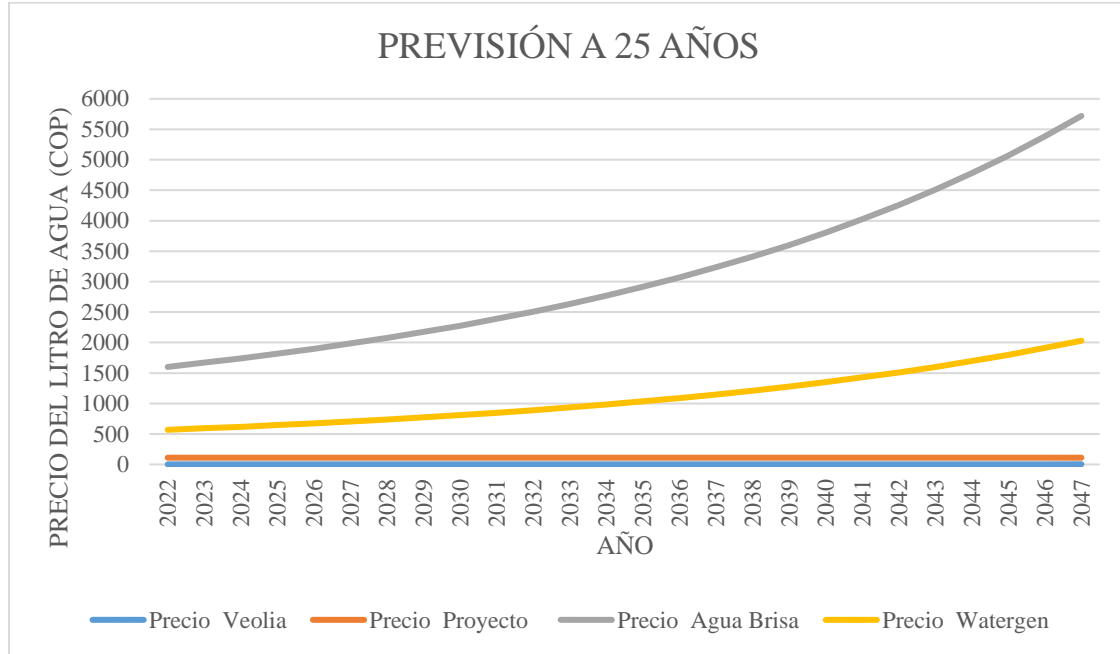
Debido a que la vida útil del dispositivo está prevista para aproximadamente 25 años y su fuente de energía es renovable, el precio del litro de agua durante este tiempo se mantendrá estable. Sin embargo, a consecuencia del IPC – Índice de Precios al Consumidor – el costo del litro de agua de las otras alternativas aumenta con el paso de los años. El IPC es un índice cuyo valor cambia cada mes y, por ende, cada año dicho porcentaje es distinto al año anterior. Ahora bien, los intervalos de variación de este son complejos de calcular para años futuros debido a las divisiones de gastos sobre las que se calcula.

Por lo anterior, para realizar la previsión de la variación del precio del litro de agua se tomaron los datos de IPC, proporcionados por el DANE – Departamento Administrativo Nacional de Estadística –, de los últimos 12 años y el valor del año en curso hasta el mes de marzo, estos valores están expresados en el **Apéndice N**. Con esto se obtuvo, mediante Excel, la siguiente gráfica con los posibles valores de IPC de los próximos 25 años:

Figura 43. Previsión del Porcentaje de IPC para 25 años



A continuación, se realiza un análisis del aumento del costo del litro de agua, a través de los años, con la previsión que se realizó para el IPC.

Figura 44. Precio del Litro de Agua Previsto a 25 años

Como se puede observar en la gráfica, el servicio público brindado por Veolia continúa teniendo ventaja en comparación al dispositivo planteado en este proyecto. Sin embargo, este dispositivo resulta viable debido a que el lugar al que está destinado no cuenta con una red de tuberías que le permitan recibir el líquido vital y no se cuenta con la infraestructura necesaria para su distribución.

6.1.1 Contraste de Resultados

En este apartado se realizará una comparación del dispositivo del proyecto con lo que se está haciendo actualmente para llevar agua a este municipio. Cabe resaltar que de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud -OMS-, una persona requiere de 100 litros de agua al día para satisfacer sus necesidades tanto de consumo como de higiene.

Actualmente el gobierno nacional esta implementado el proyecto llamado “Guajira Azul” que consiste en la obtención de agua, usando como fuentes corrientes subterráneas, y la construcción de una planta de tratamiento de agua para hacerla apta para el consumo. Posteriormente dicha agua será transportada en carro tanques a puntos de distribución llamados “pilas públicas” que tienen una capacidad de 10.000 litros.

En 2018 se avanzó en la implementación de 6 pilas públicas de la zona denominada “Casa Azul” en el municipio de Manaure. Este proyecto beneficia alrededor de 9.500 personas y tuvo un costo total de \$4.500 millones de pesos. Haciendo la relación Litro/persona:

$$\text{Litro por persona} = \frac{6 * 10.000 \text{ Litros}}{9.500 \text{ personas}}$$

$$\text{Litro por persona} = 6,316 \frac{\text{litros}}{\text{Personas}}$$

Con lo anterior se puede decir que para que todas las personas reciban agua de forma diaria le debe corresponder no más de 6,316 litros, dicho valor no corresponde a la cantidad necesaria para satisfacer sus necesidades diarias. A pesar de ser una ayuda para la comunidad de Manaure, al no ser la cantidad idónea sus habitantes manifestaron que las enfermedades de la piel persisten debido a que deben realizar su aseo personal con las aguas tradicionales no tratadas (pozos artesanales y jagüeyes), que generalmente están contaminadas.

Otra problemática se presenta con el mal estado de las trochas, ya que los carro tanques no pueden llevar el agua a las pilas cuando llueve haciendo imposible el acceso al agua potable en esas situaciones. Otro aspecto para tener en cuenta, es que las pilas solo benefician a las

comunidades a 2,5 km a la redonda y recorrer esta distancia se hace imposible para personas que no cuentan con la capacidad física para hacerlo, como lo son los adultos mayores y niños.

Cabe resaltar que con la propuesta de “Guajira Azul” la fuente hídrica se puede ver expuesta a sobre explotación, lo que desencadenaría efectos ambientales negativos, como pueden ser:

- Compartimentación de acuíferos
- Aumento de los costos de explotación
- Deterioro de la calidad del agua
- Abandono de pozos
- Afección o secado de zonas húmedas
- Salinización de suelos
- Desertización progresiva
- Inducción de hundimientos y colapsos
- Cambios en las propiedades físicas de los acuíferos

En resumen, con este método de obtención de agua no se satisface la necesidad de agua de la población, y además de esto, las consecuencias medioambientales podrían ser muy negativas.

En contraste a esto, el proyecto de obtención de agua por medio de la condensación de aire ambiente, suple a cabalidad con la necesidad de agua en cada hogar, además de esto, mejora su comodidad ya que suministra aire acondicionado a los hogares en los que sea instalado, significando un alivio para el clima bochornoso de la zona. También existe la posibilidad de brindar energía eléctrica donde sea implementado. Adicionalmente, este dispositivo evita el

proceso de distribución teniendo el líquido al alcance inmediato, eliminando así los grandes recorridos hacia pilas públicas. Por último, al realizarse con energía renovable y obtener el agua del aire ambiente no presenta consecuencias altamente negativas para el medio ambiente.

7. Conclusión

En este dispositivo se puede evidenciar el uso de energía renovable al implementar, como fuente de energía, paneles solares y una turbina eólica, con esto se puede afirmar que dicho dispositivo cumple con el propósito de ser autosustentable, significando una enorme ventaja para la población de la Ranchería Santa Rosa, que se beneficia de los recursos eólicos y solares con los que cuentan en dicho territorio, logrando evitar el uso de combustibles que perjudiquen el ecosistema de la zona.

Los equipos que se seleccionaron al determinar las condiciones ambientales de la Ranchería cumplen a cabalidad, ya que estos equipos efectivamente logran condensar el aire ambiente aun cuando se presenten cambios en la temperatura, funcionando para un rango de 24°C a 34°C, y la humedad relativa. A parte de esto el dispositivo tiene la capacidad de producir más de 350 litros de agua al día bajo las condiciones ambientales de la ranchería, superando así el objetivo de producción de agua.

Por lo anterior, se demuestra que efectivamente este dispositivo entrega resultados que cumplen con las expectativas para las que fue diseñado, ya que los equipos cumplen con las características óptimas para su implementación y mejor puesta en marcha en la Ranchería.

De EES se obtuvieron los resultados idóneos para la correcta selección de los componentes, lo que permitió realizar el modelado del dispositivo en SOLIDWORK y así mostrar una, posible, distribución de todos los equipos y el dimensionamiento de este.

En cuanto a los resultados de consumo energético diario, es notorio que la estimación inicial no se cumple, con un incremento del 23,659%, esto se atribuye a que no fue previsto que los equipos necesitarían consumir una mayor cantidad de energía, lo anterior se presentó por que para su diseño se tomaron condiciones poco favorables, como una temperatura de 32°C y una humedad relativa de 55%, lo cual obliga a que los dispositivos requieran de mayor energía para su correcto funcionamiento.

Cabe resaltar que, en compensación del requerimiento energético, el dispositivo proporciona una función secundaria que es suministrar aire acondicionado en los hogares donde este sea implementado permitiendo refrigerar un hogar.

Referencias Bibliográficas

Aguirre, S., Piraneque, N., & Rozo, A. (2018). *Potencial de uso del agua proveniente de los sistemas de aire acondicionado en el caribe seco colombiano* (tesis de pregrado). Santa Marta: Universidad del Magdalena.

Almeida, D. (2017). *Psicrometría aplicada en la refrigeración*. Obtenido de https://www.linkedin.com/pulse/psicrometr%C3%ADa-aplicada-la-refrigeraci%C3%B3n-diego-almeidakalume/?trk=related_artice_PSICROMETR%C3%8DA%20APLICADA%20EN%20LA%20REFRIGERACI%C3%93N_article-card_title

Álvarez, C. (2006). *Energía Eólica*. Obtenido de <http://www.esengrupo.com/uploads/descargas/archivo/Manual%20de%20Energ%C3%ADa%20E%C3%B3lica%20IDAE.pdf>

Ballesteros, F., Díaz, F., Moyano, L., & Paz, M. (2018). *Estudio de factibilidad de un sistema de generación atmosférico de agua potable para los habitantes de la vereda Paramón en el municipio de Pulí, departamento de Cundinamarca* (tesis de pregrado). Bogotá: Universidad Católica de Colombia.

Balseca, O., Caicedo, J., Mayorga, D., Orna, J., & Viteri, E. (5 de enero de 2018). *Proyecto de diseño de un condensador con Fuente Eólica para obtención de agua*. *Dominio de las ciencias*, 4(1), 385-397. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6313240>

Boles, M., & Cengel, Y. (2012). *Termodinámica*. McGraw Hill.

- Cabeza, C., & Castillo, Y. (2016). *Diseño de un sistema de recolección de agua por rocío y niebla para el abastecimiento de agua en la comunidad del barrio la esperanza, localidad de chapinero (tesis de pregrado)*. Bogotá: Universidad la Gran Colombia.
- Carmona, R., & Diaz, C. (2018). *LA - Instalaciones solares fotovoltaicas*. Obtenido de <https://www.mheducation.es/la-instalaciones-solares-fotovoltaicas-libro-alumno-9788448614485-spain-group#tab-label-product-description-title>
- Cengel, Y., & Ghajar, A. (2007). *Transferencia de calor y masa fundamentos y aplicaciones*. McGraw Hill.
- Comisión Interamericana de Derechos Humanos. (2015). *Resolución 60 de 2015. Asunto niñas, niños y adolescentes de las comunidades de Uribí, Manaure, Riohacha y Maicao del pueblo Wayúu, asentados en el departamento de la Guajira, respecto de Colombia*.
- De Juana, J. (2003). *Energías renovables para el desarrollo*. Obtenido de <https://books.google.com.co/books?id=NyvcConRxoC&printsec=frontcover&dq=Energia+renovables&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjTzI-kpKvrAhVn1lkKHXYNDusQ6AEwAXoECAYQA#v=onepage&q&f=false>
- Empresas Públicas de Medellín. (2019). *EMP contribuye al sueño común de llevar agua a comunidades indígenas wayús de la Guajira*. Obtenido de <https://www.epm.com.co/site/epm-contribuye-al-sueno-comun-de-llevar-agua-a-comunidades-indigenas-wayus-de-la-guajira>
- Espejo, F. (2019). *Propuesta de diseño de equipo de recuperación de agua de la humedad ambiental (tesis de pregrado)*. Viña del Mar, Chile: Universidad Técnica Federico Santamaria.

- GENAQ. (2018). *Generadores atmosféricos de agua GENAQ*. Obtenido de <http://www.genaq.com/es/agua/>
- Green Peace. (2017). *Cómo llega el plástico a los océanos y qué sucede entonces*. Obtenido de <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/como-llega-el-plastico-a-los-oceanos-y-que-sucede-entonces/>
- Guerrero, S. (2019). *El 40% del agua potable de la represa del río Ranchería se la roban*. Obtenido de El Heraldó: <https://www.elheraldo.co/la-guajira/el-40-del-agua-potable-de-la-represa-del-rio-rancheria-se-la-roban-alfredo-deluque-686734>
- Gutiérrez, R., Ortega, G., Osuna, E., Osuna, S., Peraza, A., & Suarez, G. (2017). *Módulo de condensación de humedad del aire para la generación de agua utilizando como fuente de energía, las energías renovables (tesis de pregrado)*. Mazatlán - México: Universidad Autónoma de Sinaloa.
- IDEAM. (sf). *Atlas interactivo*. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/presentacion/>
- Joya, A. (2020). *Alternativas tecnológicas para el suministro de agua para riego en las comunidades indígenas wayuu en el municipio de Manaure, La Guajira (tesis de pregrado)*. Riohacha, Colombia.: Universidad Nacional Abierta y a Distancia -UNAD-.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). *Resolución 1312 de 2016. Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración de Estudio de Impacto Ambiental -EIA-, requerido para el trámite de la licencia ambiental de proyectos de uso de fuentes de energía eólica continental y se toma*.
- Ministerio de Minas y Energía. (2014). *Ley 1715 de 2014. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético. DO. N° 49150*.

- Ministerio de Vivienda, Ciudad & Territorio. (2018). *Guajira Azul*. Obtenido de <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/guajira-azul>
- Moragues, J., & Rapallini, A. (2003). *Energía Eólica*. Obtenido de http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-07-09_11-51-29106606.pdf
- Ojeda, D. (2020). *Estudio técnico y económico de dos tecnologías de potabilización de agua impulsadas por energías renovables en el municipio de Manaure – la Guajira (tesis de pregrado)*. Barranquilla, Colombia: Universidad de la Costa.
- Romero, R. (2013). *Condensación y ebullición*. Obtenido de <http://files.transferenciadecalorupv.webnode.es/20000004796e0797daa/Condensaci%C3%B3n%20y%20ebullici%C3%B3n.pdf>
- Ruiz, G. (2017). *Modelo para abastecer agua potable implementando un generador de agua atmosférica para viviendas ubicadas en una ladera – El Caballero Carabayllo (tesis de pregrado)*. Lima, Perú: Universidad César Vallejo.
- Shallerberg, J. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. Obtenido de <https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>
- Tiempo y Temperatura. (sf). *El tiempo en Manaure, Colombia*. Obtenido de <http://tiempoytemperatura.es/colombia/manaure.html#por-horas>
- Trashorras, J. (2021). *Replanteo y funcionamiento de las instalaciones solares fotovoltaicas*. Obtenido de <https://books.google.com.co/books?id=ZKIIEAAAQBAJ&pg=PA3&dq=energ%C3%ADa+hibrida>

UNEP. (2016). *A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a global assessment*. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme.

Unicef. (2019). *Progress on drinking water, sanitation and hygiene: Special focus on inequalities*.
Obtenido de <https://data.unicef.org/resources/progress-drinking-water-sanitation-hygiene-2019/>

Unidad de Planeación Minero-Energética -UPME-. (2015). *Resolución 281 de 2015. Por la cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala*.

Unidad de Planeación Minero-Energética -UPME-. (2018). *Resolución 703. Por la cual se establecen el procedimiento y los requisitos para obtener la certificación que avala los proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), con miras a obtener el beneficio de exclusión del IVA y la exención*.

Weather Spark. (sf). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Manaure*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/25357/Clima-promedio-en-Manaure-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Apéndices

Apéndice A. Evaporador



Ficha Técnica



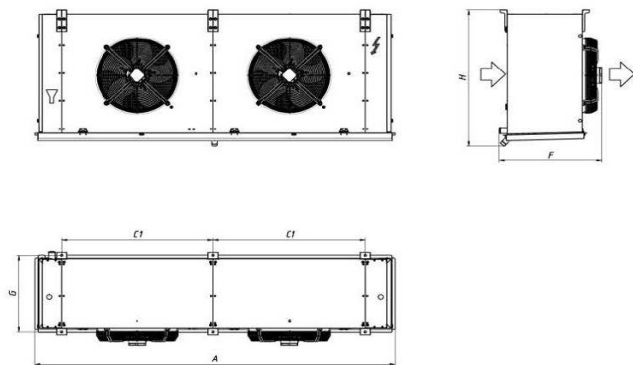
LC329B **Evaporador**
 GAMA **LC**

Potencia de evaporación (W)	24.214	Opciones	-
DT (K) = 6	T.ev (°C) = 10		-
Refrigerante	R134A (aire húmedo)	-	-
		Desescarche	-
		Pot Desesc. (W)	-

Batería		Carrocería	Aluminio pintado en blanco
Superficie de intercambio (m2)	141,4	Presión Máxima PS (bar)	21
Volumen interno de la batería (dm3)	36,6	Temperatura Máxima (°C)	60
Separación de aletas (mm)	7,00	Temperatura Mínima (°C)	-40
Conexión de entrada	1-3/8"	Material de las aletas	Aluminio
Conexión de salida	1-5/8"	Material de los tubos	Cobre
Desagüe	1"		

Datos de los Ventiladores					
Tipo	Axial	Caudal de aire (m3/h)	15.000		
Cantidad	2	Nivel sonoro a 10m dB(A)	48		
Tamaño	Ø500				
Nº Polos	4	Conexión	Potencia (W)	Intensidad (A)	RPM
Normativa	ErP2015	3~ D400V 50Hz	1.440	2,82	1390
Flecha de aire (m)	47	(Valores nominales del conjunto de ventiladores)			

Dimensiones y Peso					
A (mm)	2.351	G (mm)	544	C2 (mm)	B (mm)
F (mm)	670	C (mm)		C3 (mm)	Peso (kg)
H (mm)	962	C1 (mm)	990	L (mm)	166



Nota: GarcíaCámara. (sf). Evaporador. <https://www.garciacamara.com/categoria-oem-4.html>

Apéndice B. Ventilador del Evaporador



HEP
HEPT



HEP



HEPT

HEP: Ventiladores helicoidales murales, con motor IP65
HEPT: Ventiladores helicoidales tubulares, con motor IP65

Ventiladores helicoidales murales (HEP) y tubulares (HEPT), con hélice de plástico reforzada en fibra de vidrio.

Ventilador:

- Dirección aire motor-hélice
- Hélice en poliamida 6 reforzada con fibra de vidrio
- HEP: Marco soporte en chapa de acero
- HEP: Rejilla de protección contra contactos según norma UNE 100250
- HEPT: Envoltorio tubular en chapa de acero
- HEPT: Caja de conexión en el exterior, protección IP65

Motor:

- Motores clase F, con rodamientos a bolas, protección IP65
- Monofásicos 220V, 60Hz., y trifásicos 220/380V, 60 Hz.
- Temperatura de trabajo: -25°C, +60°C., motores de 4-6-8 polos y -25°C, +45°C, motores de 2 polos

Acabado:

- Anticorrosivo en resina de poliéster polimerizada a 190°C, previo desengrase alcalino y pretratamiento libre de fosfatos.

Bajo demanda:

- Conjunto motor, hélice y rejilla (versión F)
- Grupo motor hélice (versión G)
- Dirección aire hélice-motor
- Bobinados especiales para diferentes tensiones

Código de pedido



Características técnicas



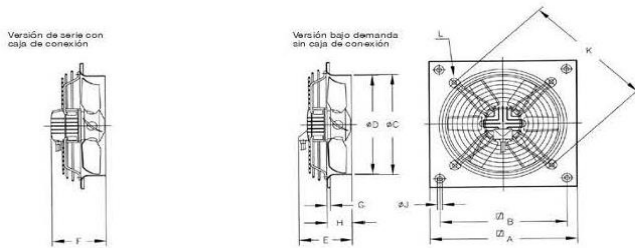
Modelo	Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible (A)		Potencia absorb. desc. libre (W)	Caudal máximo (m³/h)	Nivel presión sonora dB(A)	Peso aprox. (Kg)	
		220V	380V				HEP	HEPT
HEP-25-2T/H	3336	1,3	0,75	250	2300	64	5,3	-
HEPT-25-2M/H	2928	1,05	-	205	2000	64	5,0	-
HEP-25-4T/H	1740	0,69	0,4	87	1250	52	4,5	-
HEPT-25-4M/H	1320	0,65	-	100	1050	50	4,5	-
HEP-31-2T/H	3168	1,54	0,89	495	4000	74	7	7,4
HEPT-31-2M/H	3168	2,3	-	515	4000	74	7	7,4
HEP-31-4T/H	1692	0,69	0,4	115	2400	55	5,7	6,2
HEPT-31-4M/H	1692	0,75	-	140	2400	55	5,7	6,2
HEP-31-4T/L	1716	0,69	0,4	100	1950	54	5,1	-
HEPT-31-4M/L	1704	0,7	-	110	1950	54	5,1	-
HEP-35-2T/H	3348	2,16	1,25	650	6020	76	8,8	9,4
HEPT-35-2M/H	3210	2,8	-	690	6020	76	8,8	9,4

HEP HEPT

60Hz

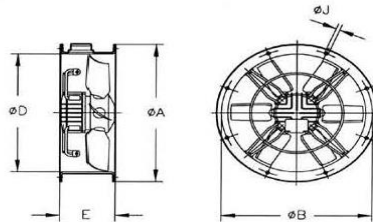
Dimensiones mm

HEP



Modelo	E								F				G	H	ØJ	K	L
	ØA	ØB	ØG	ØD	2T	4T	6T	8T	2T	4T	6T	8T					
HEP-25	330	275	262	260	189	179	-	-	213	203	-	-	11	56	8,5	310	M.8
HEP-31.../H	400	336	310,5	308	190	180	-	-	214	204	-	-	11	75	10,5	380	M.8
HEP-31.../L	400	336	310,5	308	-	180	-	-	-	204	-	-	11	75	10,5	380	M.8
HEP-35.../H	465	390	362,5	360	217	187	-	-	241	211	-	-	11	86	10,5	450	M.8
HEP-35.../L	465	390	362,5	360	-	187	-	-	-	211	-	-	11	86	10,5	450	M.8
HEP-40.../H	532	452	412,5	410	-	206	186	-	-	226	205	-	11	97,5	10,5	500	M.8
HEP-40.../L	532	452	412,5	410	-	206	-	-	-	226	-	-	11	97,5	10,5	500	M.8
HEP-45.../H	596	504	462,5	460	-	214	199	-	-	234	218	-	11	105	10,5	560	M.8
HEP-45.../L	596	504	462,5	460	-	214	-	-	-	234	-	-	11	105	10,5	560	M.8
HEP-50.../H	665	562	516,5	514	-	255	235	-	-	275	254	-	11	115	10,5	640	M.8
HEP-50.../L	665	562	516,5	514	-	240	-	-	-	260	-	-	11	115	10,5	640	M.8
HEP-56.../H	710	630	563	560	-	287	247	-	-	306	266	-	15	115	10,5	721	M.8
HEP-56.../L	710	630	563	560	-	267	-	-	-	286	-	-	15	115	10,5	721	M.8
HEP-63.../H	800	710	638	635	-	-	257	247	-	340	276	266	15	140	10,5	820	M.8
HEP-63.../L	800	710	638	635	-	-	247	-	-	340	266	-	15	140	10,5	820	M.8

HEPT



Modelo	ØA	ØB	ØD	E	ØJ	N°Taladros
HEPT-31	385	355	308	200	10	8
HEPT-35	425	395	360	220	10	8
HEPT-40	490	450	410	220	12	8
HEPT-45	540	500	460	220	12	8
HEPT-50	600	560	514	230	12	12
HEPT-56	660	620	560	260	12	12
HEPT-63	730	690	635	350	12	12

Nota: Sodeca Worldwide. (sf). Ventiladores (evaporador y condensador).

<https://www.sodeca.com/es/catalogs>

Apéndice C. Condensador



Ficha Técnica

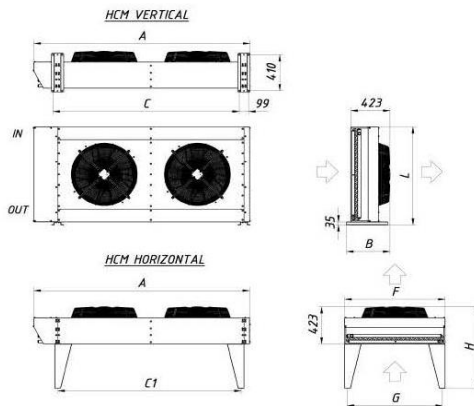


HCM68SSX		Condensador	
Potencia de Condensacion (W)	29.778	GAMA	HCM
Refrigerante	R134A		
Temperatura Condensación	45	Opciones	-
DT (K)	13		-
Clasificación Energética	B		-

Batería			
Superficie de intercambio (m2)	68,0	Carrocería	Acero Prelacado en blanco
Volumen interno de la batería (dm3)	11,3	Presión Máxima PS (bar)	26
Separación de aletas (mm)	2,50	Temperatura Máxima (°C)	80
Conexión de entrada	1-1/8"	Temperatura Mínima (°C)	-40
Conexión de salida	7/8"	Material de las aletas	Aluminio
		Material de los tubos	Cobre

Datos de los Ventiladores				
Tipo	Axial	Caudal de aire (m3/h)	12.800	
Cantidad	2	Nivel sonoro a 10m dB(A)	33	
Tamaño	Ø630	Conexión	Potencia (W)	Intensidad (A)
Nº Polos	8	3~ D400V 50Hz	470	1,10
Normativa	ErP2015			RPM 650
(Valores nominales del conjunto de ventiladores)				

Dimensiones y Peso					
A (mm)	2.320	G (mm)	1.020	C2 (mm)	
F (mm)	1.080	C (mm)	2.000	C3 (mm)	
H (mm)	925	C1 (mm)	1.970	L (mm)	1.115
				B (mm)	466
				Peso (kg)	160



Nota: GarcíaCámara. (sf). Condensador. <https://www.garciacamara.com/categoria-oem-4.html>

Apéndice D. Ventilador del Condensador



**HCDF
HDF**



HCDF: Extractores helicoidales con marco cuadrado, con Certificación ATEX EEx d
HDF: Extractores helicoidales con marco circular, con Certificación ATEX EEx d

Extractores helicoidales murales (HCDF) o circulares (HDF) con Certificación ATEX y motor antideflagrante CEE ExII2G EExd, para trabajar en atmósferas explosivas.

Ventilador:

- Hélice en fundición de aluminio
- Dirección aire motor-hélice
- Prensa-estopas antichispas incluido
- HCDF: Marco soporte en chapa de aluminio
- HCDF: Rejilla de protección contra contactos según norma UNE 100-250
- HDF: Aro soporte en chapa de acero, con banda de aluminio en la zona de la hélice según norma EN-14986:2006

Motor:

- Motores clase F, con rodamientos a bolas, protección IP55, con certificación ATEX, antideflagrantes EEx"d" IIBT4
- Trifásicos 220/380V, 60Hz. (hasta 5,5CV.) y 380/660V, 60Hz (potencias superiores a 5,5CV.)
- Temperatura de trabajo: -20°C.+ 40°C.



Acabado:

- Anticorrosivo con pintura ATEX, libre de componentes férricos, en resina de poliéster, polimerizada a 190°C., previo desengrase alcalino y pretratamiento libre de fosfatos

Bajo demanda:

- Bobinados especiales para diferentes tensiones y frecuencias
- Construcción ATEX para diferentes categorías
- Extractores con motor de 2 velocidades



Banda de aluminio para prevenir chispas según norma EN-14986:2006

Código de pedido



HCDF: Extractores helicoidales con marco cuadrado, con Certificación ATEX
 HDF: Extractores helicoidales con marco circular, con Certificación ATEX

Diámetro de la hélice (cm)

Número de polos motor
 4=1680 r/min, 60 Hz
 6=1080 r/min, 60 Hz

T=Trifásico
 M=Monofásico

Marcado: CE II 2 G, EEx d IIBT4
 Organismo notificado: L.O.M.
 Nº de identificación: LOM3ATEX0157

Características técnicas



Modelo	Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible (A)		Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m³/h)	Nivel presión sonora dB(A)	Peso aprox. (Kg)
		220V	380V				
HCDF-25-4T	1644	0,78	0,45	0,09	890	51	6,5
HCDF-25-4M	1692	0,72	0,06	0,06	890	51	6,5
HCDF-31-4T	1644	0,78	0,45	0,09	1700	54	7,5
HCDF-31-4M	1692	0,72	0,06	0,06	1700	54	7,5
HCDF-35-4T	1644	0,78	0,45	0,09	2950	58	8,5
HCDF-35-4M	1692	0,72	0,06	0,06	2950	58	8,5
HCDF-40-4T	1704	1,3	0,75	0,25	4400	63	12,5
HCDF-40-4M	1680	3,25	0,25	0,25	4400	63	15
HCDF-45-4T	1704	1,3	0,75	0,25	6450	66	14,5
HCDF-45-4M	1680	3,25	0,25	0,25	6450	66	17
HCDF-45-6T	1110	0,95	0,55	0,12	5200	57	14,5
HCDF-50-4T	1092	1,70	1,0	0,33	6000	58	13,5
HCDF-50-6T	1104	1,56	0,9	0,18	6300	59	16
HCDF-55-4T	1668	3,08	1,78	0,55	10500	72	36,5
HCDF-55-6T	1092	1,59	0,92	0,25	8400	63	30,5
HDF-63-4T	1698	4,5	2,6	1,1	15100	76	49
HDF-63-6T	1086	2,37	1,37	0,37	12400	64	36,5
HDF-71-4T	1680	5,2	3	1,1	20000	79	62
HDF-71-6T	1080	3,29	1,9	0,55	13800	67	43
HDF-80-4T	1680	13,86	8	3	34100	83	76
HDF-80-6T	1092	5,89	3,4	1,1	20200	72	65,5
HDF-90-4T	1680	15,42	8,9	4	48200	89	87
HDF-90-6T	1104	7,45	4,3	1,5	30000	77	83

60Hz

HCDF HDF



Características acústicas

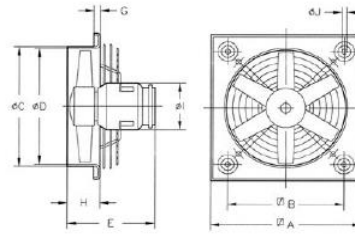
Los valores indicados, se determinan mediante medidas de nivel de presión y potencia sonora en dB(A) obtenidas en campo libre a una distancia equivalente a dos veces la envergadura del ventilador más el diámetro de la hélice, con un mínimo de 1,5 mts.

Espectro de potencia sonora Lw(A) en dB(A) banda de frecuencia en [Hz]

Modelo	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Modelo	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
26	22	37	58	65	66	55	50	41	56-6	37	51	70	70	71	69	65	56
31	25	40	59	68	69	58	53	44	63-4	52	65	85	85	85	84	80	71
35	29	44	63	62	63	62	57	48	63-6	40	54	73	73	74	72	68	59
40	34	49	68	67	66	67	62	53	71-4	56	75	84	93	81	88	81	70
45-4	37	52	71	70	71	70	65	55	71-6	44	54	72	77	79	75	69	58
45-6	28	43	62	61	62	61	55	47	80-4	60	80	88	93	95	92	85	74
50-4	43	57	76	75	77	75	71	62	80-6	49	69	77	82	84	81	74	63
50-6	33	47	65	66	67	65	61	52	90-4	67	88	95	100	103	99	92	81
55-4	46	60	79	79	80	78	74	65	90-6	55	75	83	88	91	87	80	69

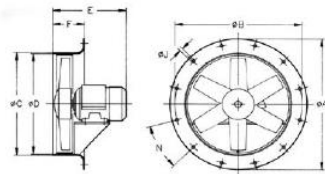
Dimensiones mm

HCDF



Modelo	ØA	ØB	ØC	ØD	E	G	H	ØI	ØJ
HCDF-25-4T	330	275	262	260	228	11	41	132	8,5
HCDF-25-4M	330	275	262	260	235	11	41	132	8,5
HCDF-31-4T	400	336	310,5	308	234	11	50	132	10,5
HCDF-31-4M	400	336	310,5	308	241	11	50	132	10,5
HCDF-35-4T	465	390	362,5	360	245	11	50	132	10,5
HCDF-35-4M	465	390	362,5	360	252	11	50	132	10,5
HCDF-40-4T	532	452	412,5	410	285	11	70	132	10,5
HCDF-40-4M	532	452	412,5	410	295	11	70	132	10,5
HCDF-45-4T	596	504	462,5	460	262	11	70	132	10,5
HCDF-45-4M	596	504	462,5	460	290	11	70	132	10,5
HCDF-45-6T	596	504	462,5	460	252	11	70	132	10,5
HCDF-50-4T	665	562	516,5	514	282	11	70	132	10,5
HCDF-50-4M	665	562	516,5	514	292	11	70	132	10,5
HCDF-56-4T	710	630	563	560	370	15	105	162	10,5
HCDF-56-4M	710	630	563	560	370	15	105	162	10,5

HDF



Modelo	ØA	ØB	ØC	D	E	F	ØJ	N
HDF-63-4T	730	690	645	640	370	150	12	12x30°
HDF-63-6T	730	690	645	640	330	150	12	12x30°
HDF-71-4T	810	770	715	710	349	150	12	16x22°30'
HDF-71-6T	810	770	715	710	323	150	12	16x22°30'
HDF-80-4T	900	860	805	800	421	180	12	16x22°30'
HDF-80-6T	900	860	805	800	371	180	12	16x22°30'
HDF-90-4T	1015	970	906	900	457	180	15	16x22°30'
HDF-90-6T	1015	970	906	900	415	180	15	16x22°30'

306

SODECA

Nota: Sodeca Worldwide. (sf). Ventiladores (evaporador y condensador).

<https://www.sodeca.com/es/catalogs>

Apéndice E. Compresor



Coolselector2

Información del proyecto	
Nombre del proyecto:	
Comentarios:	
Creado por:	
Coolselector2 versión:	4.8.0. Base de datos: 83
Imprimido:	Viernes, 25 de Marzo de 2022
Preferencias utilizadas:	Todas las aplicaciones

Compresores 1

Condiciones de funcionamiento			
Refrigerante:	R134a		
Temperatura de evaporación, punto de:	10,0 °C	Temperatura de condensación:	45,0 °C
Presión de evaporación:	4,147 bar	Presión de condensación:	11,60 bar
Recalentamiento útil:	5,0 K	Subenfriamiento:	3,0 K
Recalentamiento adicional:	0 K	Subenfriamiento adicional:	0 K
Temperatura del gas de retorno:	15,0 °C	Subenfriamiento total:	3,0 K
		Temperatura del líquido:	42,0 °C
Condiciones nominales:	<i>Personalizar</i>		
Capacidad de refrigeración requerida:	23,03 kW		

Selección: SZ110-3, R134a

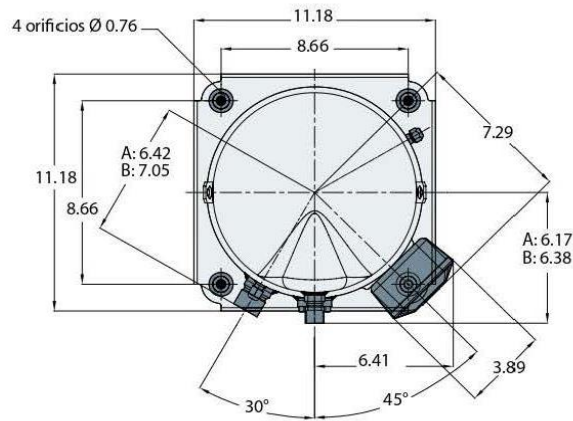
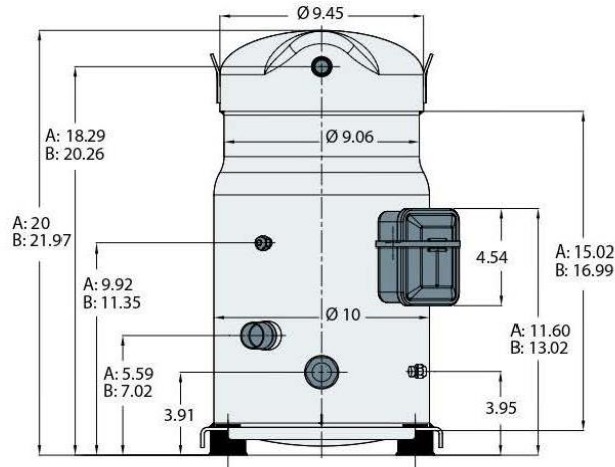
Modelo	MTZ100-3	MLZ066T2A	SZ110-3	MLZ076T2A	MTZ125-3
Tecnología	Alternativo	Scroll	Scroll	Scroll	Alternativo
Configuración	Simple	Simple	Simple	Simple	Simple
Refrigerante	R134a	R134a	R134a	R134a	R134a
Control de capacidad	Velocidad fija	Velocidad fija	Velocidad fija	Velocidad fija	Velocidad fija
Velocidad [rpm]	3500	3500	3500	3500	3500
Refrigeración [kW]	23,31	24,46	24,84	27,44	28,65
COP refrigeración [W/W]	4,01	4,60	4,72	4,50	4,06
Calefacción [kW]	29,12	29,73	30,10	33,54	35,71
COP calefacción [W/W]	5,01	5,60	5,72	5,50	5,06
Potencia [kW]	5,805	5,322	5,264	6,102	7,062
Corriente [A]	20,47	16,70	20,32	19,15	21,49
Frecuencia [Hz]	60	60	60	60	60
Alimentación	200 - 230 V 3 ph	200 - 230 V 3 ph	200 - 230 V 3 ph	200 - 230 V 3 ph	200 - 230 V 3 ph
Caudal másico [kg/h]	563,3	591,1	600,2	663,0	692,2

Código y piezas de repuesto seleccionados	
Código:	SZ110-3VI. SZ110S3VC



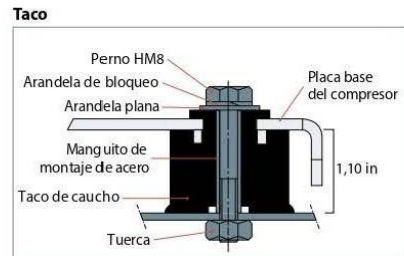
Instrucciones de aplicación Dimensiones

Modelos SM/SZ084, 090, 100, 110 y 120



Todas las dimensiones están en pulgadas.

A: SM/SZ 084-090-100
B: SM/SZ 110-120



Nota: Danfoss. (sf). Compresor. <https://www.danfoss.com/en-us/products/dcs/compressors/compressors-for-refrigeration/#tab-overview>

Apéndice F. Válvula de Expansión Danfoss Modelo CCMT-4



Coolselector2

Información del proyecto	
Nombre del proyecto:	
Comentarios:	
Creado por:	
Coolselector2 versión:	4.8.0. Base de datos: 83
Imprimido:	Viernes, 18 de Marzo de 2022
Preferencias utilizadas:	Todas las aplicaciones

Válvula de expansión electrónica: Válvula de expansión electrónica 1

Condiciones de funcionamiento			
Refrigerante:	R134a	Capacidad de refrigeración:	25,20 kW
Caudal másico en la línea:	608,9 kg/h	Capacidad de calefacción:	30,33 kW
Temperatura de evaporación:	10,0 °C	Temperatura de condensación:	45,0 °C
Presión de evaporación:	4,149 bar	Presión de condensación:	11,60 bar
Recalentamiento útil:	5,0 K	Subenfriamiento:	3,0 K
Recalentamiento adicional:	0 K	Subenfriamiento adicional:	0 K
Temperatura de descarga:	60,0 °C		
Sistema y línea:	<i>Sistema de expansión seca. Línea de líquido</i>		
Criterios de selección:	<i>Carga: 80 %. Caída de presión en el distribuidor: 0 bar</i>		

Tipo	CCMT 2	CCMT 4	CCMT 8	CCMT 16
NS	5	15	15	25
Capacidad máxima [kW]	14,74	38,85	68,48	137,9
Capacidad mínima [kW]	0,22	0,613	1,091	6,601
Carga [%]	11	65	37	18
DP [bar]	7,446	7,446	7,446	7,446
Velocidad, entrada [m/s]	0,68	0,68	0,68	0,23

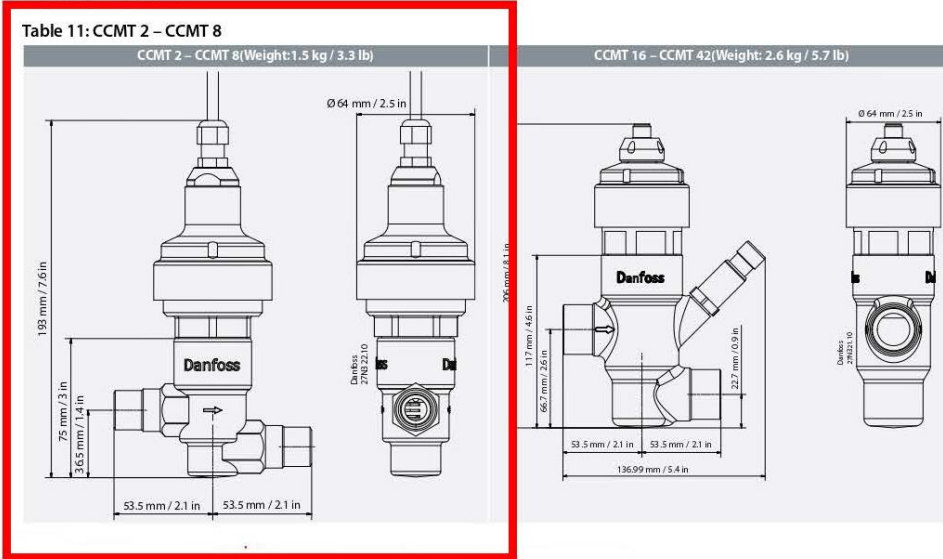
Código seleccionado para CCMT 4	
CCMT 4. Válvula de regulación eléctrica:	027H7201



Electric regulating valve, type CCMT 2, 8, 16 and 42

CCMT 2 – CCMT 8

Table 11: CCMT 2 – CCMT 8



Nota: Danfoss. (sf). Válvula. <https://www.danfoss.com/en-us/products/dcs/valves/electric-expansion-valves/ccmt-electric-regulating-valves-transcritical-co2/#tab-overview>

Apéndice G. Filtro Secador DCL165s



Coolselector2

Información del proyecto	
Nombre del proyecto:	
Comentarios:	
Creado por:	
Coolselector2 versión:	4.7.0. Base de datos: 82
Imprimido:	Miércoles, 23 de Febrero de 2022
Preferencias utilizadas:	Todas las aplicaciones

Filtro deshidratador: Filtro deshidratador 1

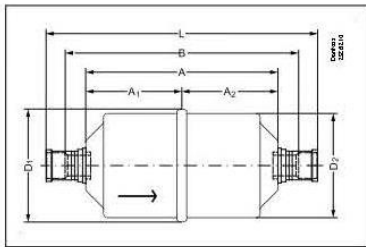
Condiciones de funcionamiento			
Refrigerante:	R134a	Capacidad de refrigeración:	25,00 kW
Caudal másico en la línea:	598,9 kg/h	Capacidad de calefacción:	30,13 kW
Temperatura de evaporación:	10,0 °C	Temperatura de condensación:	45,0 °C
Presión de evaporación:	4,147 bar	Presión de condensación:	11,60 bar
Recalentamiento útil:	8,0 K	Subenfriamiento:	2,0 K
Recalentamiento adicional:	0 K	Subenfriamiento adicional:	0 K
Temperatura de descarga:	63,0 °C		
Sistema y línea:	<i>Sistema de expansión seca. Línea de líquido</i>		
Criterios de selección:	<i>Velocidad: 1,00 m/s</i>		



Tipo	DCL 414/414s	DCL 60/s	DCL 165/165s	DCL 305/305s	DCL 415/415s
NS	12	2	16	16	16
Núcleos	1	1	1	1	1
Kv [m³/h]	2,95	3,3	3,37	3,96	3,96
Kv_calc [m³/h]	2,95	3,3	3,37	3,96	3,96
DP [bar]	0,036	0,04	0,028	0,020	0,020
DT_sat [K]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Velocidad, entrada [m/s]	1,52	1,2	0,94	0,94	0,94
Capacidad de secado a 24,0 °C [kg]	63,63	91,4	21,75	45,82	63,63
Capacidad de secado a 52,0 °C [kg]	58,26	83,9	19,91	41,95	58,26
Carga [kg]	0,7035	0,934	0,2564	0,5265	0,7035



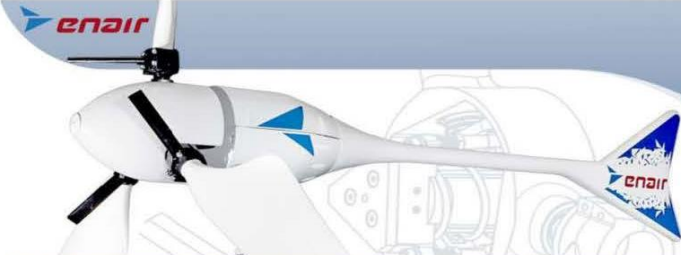
Hermetic filter drier Type DML and DCL



Type	A	A1	A2	B	L	D1	D2	Net weight
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[Kg]
DCL / DML 082s	101	50.5	50.5	119	133	58	54	0.3
DCL / DML 082.5s	101	50.5	50.5	120	136	58	54	0.3
DCL / DML 083s	101	50.5	50.5	121	139	58	54	0.3
DCL / DML 084s	101	50.5	50.5	123	143	58	54	0.31
DCL / DML 085s	101	50.5	50.5	127	151	58	54	0.32
DCL / DML 162s	110	55	55	128	142	80	76	0.64
DCL / DML 162.5s	110	55	55	129	145	80	76	0.64
Type	A	A1	A2	B	L	D1	D2	Net weight
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[Kg]
DCL / DML 163s	110	55	55	130	148	80	76	0.65
DCL / DML 165s	110	55	55	136	160	80	76	0.66
DCL / DML 167s	110	55	55	136	170	80	76	0.7

Nota: Danfoss. (sf). Filtro secador. <https://www.danfoss.com/en-us/products/dcs/filter-driers-and-strainers/filter-driers/>

Apéndice H. Turbina Eólica ENAIR E70PRO



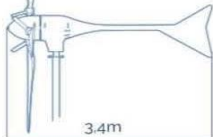

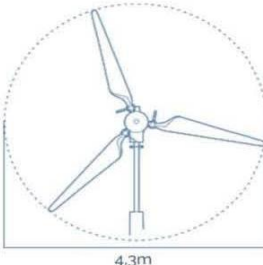
E70PRO


FICHA TÉCNICA

Con una velocidad de viento medio situado en la nominal de 11m/s el modelo Enair 70PRO es capaz de generar más de 70kWh/día

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS, ELÉCTRICAS Y DE FUNCIONAMIENTO

Numero de palas	3
Material de palas	Fibra de vidrio con resinas y núcleo de poliuretano
Generador	250rpm nominales imanes de neodimio
Potencia	5500W
Potencia Nominal	4000W (según IEC 61400-2)
Tensión	24/48/220V
Clase de viento	CLASS I-IEC 61400-2/NVNI-A
Diámetro	4.30m
Sentido de Giro	Horario
Área de barrido	14.5m ²
Peso	165kg
Aplicaciones	Carga de baterías 24 o 48V y conexión a red
Viento de arranque	2m/s
Velocidad nominal	11m/s
Vel. regulación paso variable	12m/s
Velocidad de supervivencia	60m/s
Rango de generación eficiente	De 2 a 60m/s
Tipo	Rotor de eje horizontal a barlovento
Orientación	Sistema pasivo con timón de orientación
Control de potencia	Sistema de paso variable pasivo centrífugo con dos vel.
Transmisión	Directa
Freno	- Electromagnético por cortocircuito - Mecánico (opcional) - Aerodinámico mediante paso variable - Manual o automático por viento o por tensión de baterías
Controlador	Carga de baterías y conexión a red
Inversor eólico	Eficiencia 97%, algoritmo MPPT
Ruido	48dB Reducción al mínimo gracias al diseño de las palas y a las bajas revoluciones. 1% más que el ruido ambiente del viento
Protección anti-corrosión	Hermético, pintura epoxi de secado al horno de alta temperatura, generando un recubrimiento plástico
Torre	Celosía, presilla y tubular, abatibles o fijas, altura variable



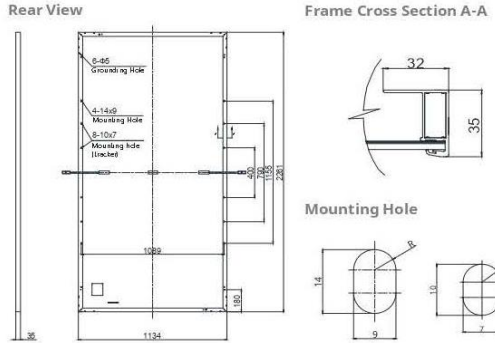
Avenida de Ibi, 44 - P.O. 182 C.P. 03420 | Castalla (Alicante), España
+34 96 556 00 18 info@enair.es

www.enair.es

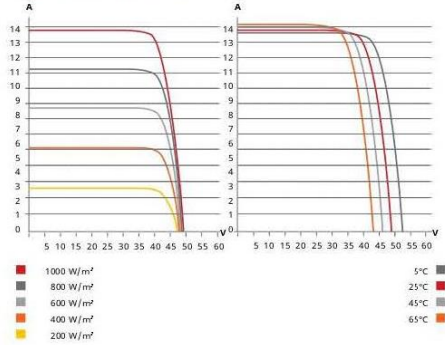
Nota: Enair. (sf). Turbina. <https://www.enair.es/es/>

Apéndice I. Panel Solar CS6W-545MB-AG

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6W-530MS / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS6W	530MS	535MS	540MS	545MS	550MS
Nominal Max. Power (Pmax)	530 W	535 W	540 W	545 W	550 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	40.9 V	41.1 V	41.3 V	41.5 V	41.7 V
Opt. Operating Current (Imp)	12.96 A	13.02 A	13.08 A	13.14 A	13.20 A
Open Circuit Voltage (Voc)	48.8 V	49.0 V	49.2 V	49.4 V	49.6 V
Short Circuit Current (Isc)	13.80 A	13.85 A	13.90 A	13.95 A	14.00 A
Module Efficiency	20.7%	20.9%	21.1%	21.3%	21.5%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C				
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)				
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)				
Max. Series Fuse Rating	25 A				
Application Classification	Class A				
Power Tolerance	0 ~ +10 W				

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS6W	530MS	535MS	540MS	545MS	550MS
Nominal Max. Power (Pmax)	397 W	401 W	405 W	409 W	412 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	38.3 V	38.5 V	38.7 V	38.9 V	39.1 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.38 A	10.42 A	10.47 A	10.52 A	10.55 A
Open Circuit Voltage (Voc)	46.1 V	46.3 V	46.5 V	46.7 V	46.9 V
Short Circuit Current (Isc)	11.13 A	11.17 A	11.21 A	11.25 A	11.29 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m² spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 x (12 x 6)]
Dimensions	2261 x 1134 x 35 mm (89.0 x 44.6 x 1.38 in)
Weight	27.8 kg (61.3 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	410 mm (16.1 in) (+) / 290 mm (11.4 in) (-) (supply additional jumper cable: 2 lines / Pallet) or customized length*
Connector	T4 series or MC4-EVO2
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	600 pieces

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.34 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.26 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	41 ± 3°C

PARTNER SECTION



* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. CSI Solar Co., Ltd. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice. Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CSI Solar Co., Ltd.
199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com

June 2021. All rights reserved, PV Module Product Datasheet V1.6_EN

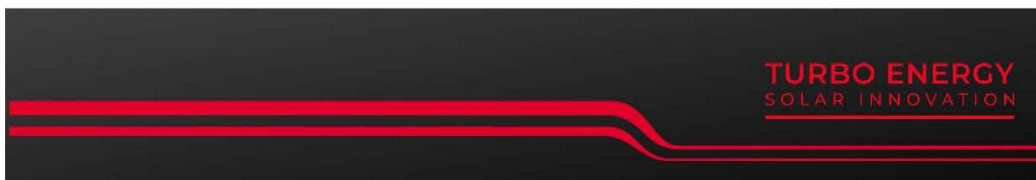
Nota: Solartex. (sf). Panel solar. <https://www.solartex.co/tienda/producto/panel-solar-545-watts-monoperc-canadian-solar/>

Apéndice J. Inversor SUN-7.6K-SG01LP1

Inversores		Inspirare Solar		
Modelo	SUN-60K-G	SUN-70K-G		
Datos de entrada de batería				
Tipo de batería	Plomo ácido o litio			
Rango de voltaje de la batería (V)	40-60V			
Corriente máxima de carga (A)	120A	135A	190A	190A
Corriente máxima de descarga (A)	120A	135A	190A	190A
Curva de carga	3 etapas/ecualización			
Sensor externo de temperatura	Opcional			
Estrategia de carga para batería Li-Ion	Autoadaptación a BMS			
Datos de entrada de la cadena PV				
Potencia DC máxima de entrada (W)	6500W	7800W	9880W	10400W
Voltaje de entrada PV (V)	370V (100V-500V)			
Rango MPPT (V)	125V-425V			
Voltaje de arranque (V)	125V			
Corriente de entrada PV (A)	11A+11A	18A+9A	18A+18A	18A+18A
No. de seguidores MPPT	2			
No. de cadenas por seguidor MPPT	1+1	2+1	2+2	2+2
Datos de salida de CA				
Salida CA nominal y alimentación UPS (W)	5000W	6000W	7600W	8000W
Potencia máxima de salida de CA (W)	5500W	6600W	8360W	8800W
Potencia pico (fuera de red)	2 veces la potencia nominal, 10 S			
Corriente nominal de salida CA (A)	20.8A	25A	31.7A/22A	33.4A/35A
Corriente alterna máxima (A)	24A	28.8A	36.4A/38A	38.3A/40A
Paso continuo de CA máximo (A)	35A	35A	50A	50A
Frecuencia de salida y voltaje	50/60 Hz; 120/240Vac (media fase), 208Vac (2/3 fase), 230Vac (monofásico)			
Tipo de red	Media fase, 2/2 fase, monofásica			
Distorsión armónica de corriente	THD <3% (carga lineal <1.5%)			
Eficiencia				
Eficiencia máxima	97.60%			
Eficiencia euro	97.00%			
Eficiencia MPPT	99.90%			
Protección				
Detección de falla de arco fotovoltaico	Integrada (excepto el tipo europeo)			
Protección de iluminación de entrada PV	Integrada			
Protección de interfase	Integrada			
Protección de polaridad inversa de entrada de cadena PV	Integrada			
Detección de resistencia de aislamiento	Integrada			
Unidad de monitoreo de corriente residual	Integrada			
Protección contra sobrecorriente de salida	Integrada			
Protección de salida en corto	Integrada			
Protección contra sobretensión de salida	Integrada			
Estándares y certificaciones				
Regulación de red	UL1741, IEEE1547, RULE21, VDE0126, AS4777, NRS2017, G98, G99			
Regulación de seguridad	IEC62109-1, IEC62109-2			
CEM	EN61000-6-1, EN61000-6-3, FCC 15 clase B			
Datos generales				
Rango de temperatura de operación (°C)	-25-60°C, >45°C Deterioro			
Enfriamiento	Ventilador			
Ruido (dB)	<30			
Comunicación con BMS	RS485; CAN			
Peso (kg)	32 kg			
Tamaño	680 x 420 x 233			
Grado de protección	IP65			
Estilo de instalación	Montado en la pared			
Garantía	5 años			

Nota: Grupo Inspire. (sf). Inversor. <https://ginspirare.com/inspirare-solar/>

Apéndice K. Batería de Litio, Turbo Energy



Batería Lithium Series 48V 5.1 kWh

Ficha técnica

Eléctricos

Capacidad nominal	5.12 kWh
Capacidad útil	4.6 kWh
Profundidad de descarga	90%
Tensión nominal	51.2V
Rango de operación de tensión	48 – 57.6V
Ciclo de vida	>=6000

Físicos

Peso	52 kg
Dimensiones	475 x 446 x 200 mm
Clase de protección	IP20
Tipo de batería	LiFePO ₄

Operación

Máxima corriente de carga/descarga	50A (0,5 C)
Rango de operación de temperatura	0°C...50°C
Humedad	15% - 85%
Altitud máxima de operación	< 3000 m

BMS

Consumo de energía	<2 W funcionando / <100mW en reposo
Parámetros de monitorización	Tensión del sistema, corriente, tensión y temperatura de células.
Comunicación	Compatible CAN y RS-485

PRECAUCIÓN: LEA EL MANUAL DE INSTRUCCIONES E INSTALACIÓN ANTES DE USAR EL PRODUCTO.

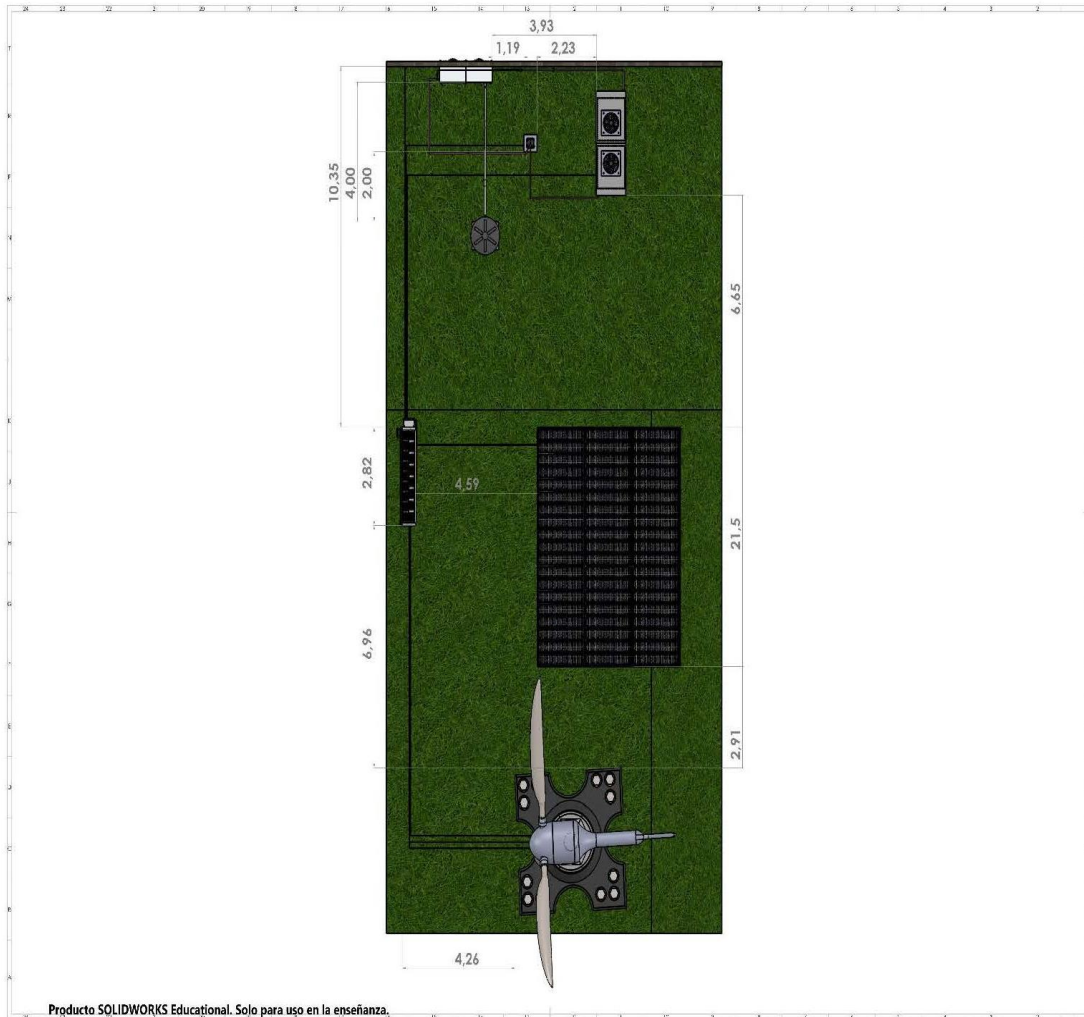
© Copyright 2020. Todos los derechos reservados. Las especificaciones de la ficha técnica pueden ser cambiadas sin previo aviso.


<https://www.turbo-e.com/>

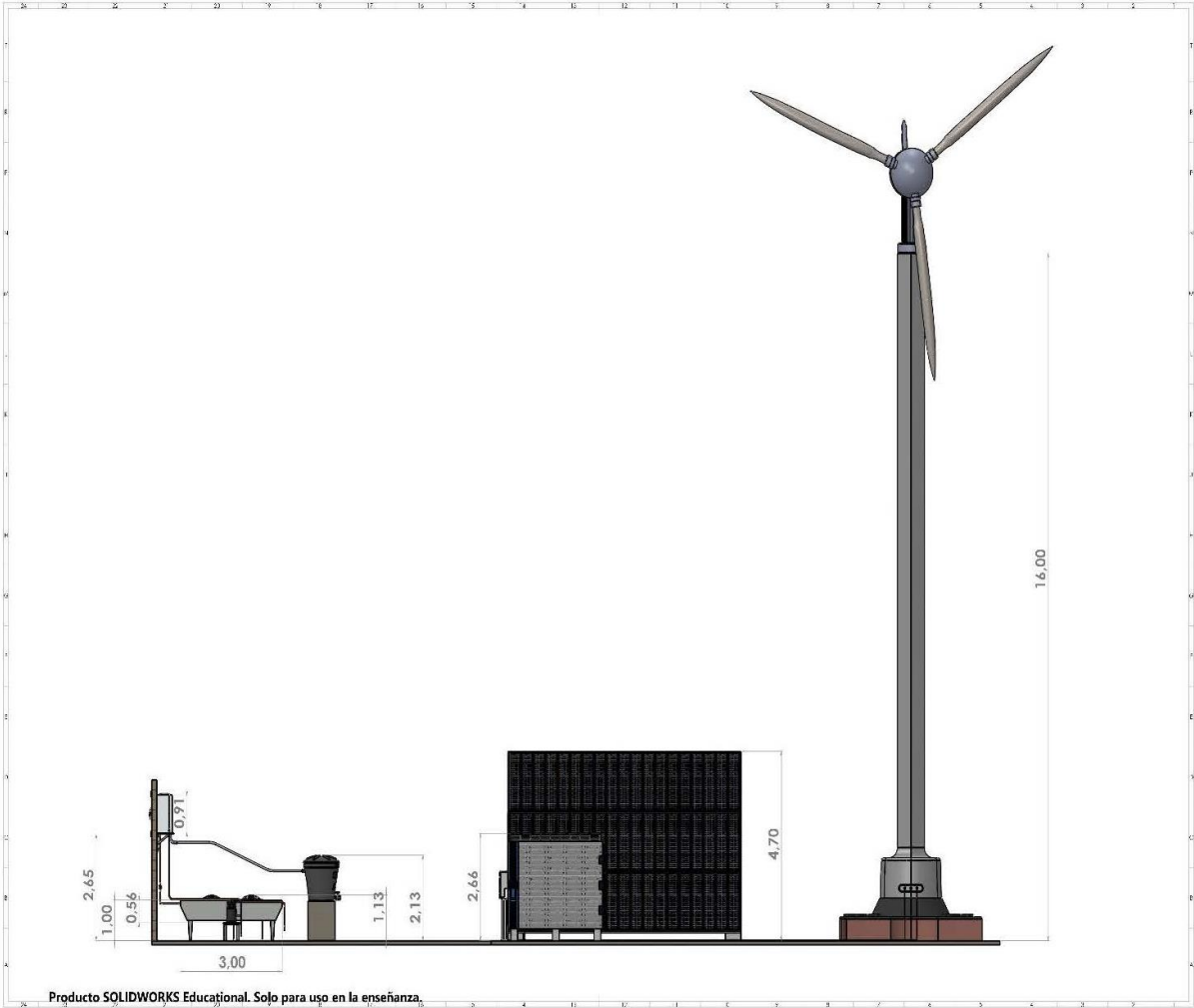
Nota: Turbo Energy. (sf). Batería. <https://www.turbo-e.com/bateria-lithium-series-5-1kwh-48v/>

Apéndice L. Dimensiones, en Metros, del Modelado en SolidWorks

➤ Vista superior:



➤ Vista lateral:



Producto SOLIDWORKS Educativa. Solo para uso en la enseñanza.

Apéndice M. Ficha Técnica Dispositivo Watergen Modelo GENNY



Technical specification

Category	Specification	Imperial	Metric
Dimensions	Length	21.26"	540mm
	Width	16.53"	420mm
	Height	51.18"	1300 mm
	Weight	176 pounds	80 kg
Operation, storage and transportation climate	Operation	≥68°F	≥20°C
	Storage and transportation	14°F-158°F	-10°C-70°C
Air filters	Filtration method	Multi-barrier air filtration	
	pH	6.5-8.5	
Water production and purification	Purification method	Removing heavy metals, particles filtration, biologicalEUI treatment, organic compounds (VOC, SVOC) and mineralization by cutting edge technologies	
	Production Capacity Per Day	5.2 gallon (26.6°C/60%RH)	19.7 L (26.6°C/60%RH)
	Refrigerant	R410A	
	Dispensing options	Cold: 41-44.6°F, Hot: 185-210°F	Cold: 5-7°C, Hot: 85-99°C
Acoustic	Internal Tank	Cold: 6.34 Gallons, Hot: 0.26 Gallon	Cold: 24 Litters, Hot: 1 liter
	Noise Levels	≤ 55 dBA	
Lifting and transportation platform	Transportation	Standard cargo	
	Lifting	Standard - Forklift	
Electricity	Nominal Operation Voltage	EU	1 Phase, 230Vac, 50Hz
		USA	1 Phase, 120Vac, 60Hz
		Japan East	1 Phase, 100Vac, 50Hz
		Japan West	1 Phase, 105Vac, 60Hz
	Allowed Deviation on individual phases, Self Protected	Voltage ±5% Frequency ±1Hz	
	Power Consumption	Nominal: 550W Water Heating: 2000W (EU), 550W (USA) Maximum consumption: 2600W (EU), 1200W (USA)	
	Energy Efficiency (26.6 C°, 60%RH)	400Wh/L	
Childproof	Circuit Breaker Current	120VAC - 15A Slow + GFCI 230VAC - 16A Slow + RCD	
	Main Power Connectors	USA, Japan - NEMA 5-15 Rest of the world - 1 phase outlet per local regulations	
	Children's hot water safety	Hot + Cold press buttons (Simultaneously)	
Certifications (coming soon)	Electrical safety	EU, Israel: CE, CA, CB - EN 60335-1, EN 60335-2-40, EN 60335-2-21, EN 62233, EN 60335-2-24, EN 60529, EN 60335-2-109 US - UL: UL979 Japan: PSE - J 60335-2-24(H29), J 60335-1(H27), J 60335-15(H20), J 60335-1(H20), J 55014-1(H27)	
		Australia: EN/IEC60335-1, EN/IEC60335-2-15, EN/IEC60335-2-40, COS China: CCC - GB 4706.1-2005, GB 4706.19-2008, GB 4706.13-2014	
	Electromagnetic Compatibility	EU, Israel: EMC: Directive 2014/30/EU - EN 61000-6-4, EN 61000-6-2, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3, EN 301 489-1, EN 301 489-17, EN 300 328, EN 62311 Japan: EMC: JRF, JATE US: CFR 47, FCC: 2015	
Water safety	US: ASSE/ANSI IAPMO - ASSE 1090, ASSE LEC 1087 Prop 65 Israel: IS-5452 Australia: AS/NZS 4020:2005 France: NF T 54-951; NF P41-650; T 90-601 Japan: Positive List MOH China: GB-5749-2006		



Nota: Watergen. (sf). Página de inicio. <https://www.watergen.com/home-office/>

Apéndice N. Variación del IPC

AÑO 2022, MES 03		Base Diciembre de 2018 = 100,00																			
Mes	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Enero	1,17	0,89	0,82	0,54	0,77	1,06	0,59	0,69	0,91	0,73	0,30	0,49	0,64	1,29	1,02	0,63	0,60	0,42	0,41	1,67	
Febrero	1,11	1,20	1,02	0,66	1,17	1,51	0,84	0,83	0,60	0,61	0,44	0,63	1,15	1,28	1,01	0,71	0,57	0,67	0,64	1,63	
Marzo	1,05	0,98	0,77	0,70	1,21	0,81	0,50	0,25	0,27	0,12	0,21	0,39	0,59	0,94	0,47	0,24	0,43	0,57	0,51	1,00	
Abril	1,15	0,46	0,44	0,45	0,90	0,71	0,32	0,46	0,12	0,14	0,25	0,46	0,54	0,50	0,47	0,46	0,50	0,16	0,59		
Mayo	0,49	0,38	0,41	0,33	0,30	0,93	0,01	0,10	0,28	0,30	0,28	0,48	0,26	0,51	0,23	0,25	0,31	-0,32	1,00		
Junio	-0,05	0,60	0,40	0,30	0,12	0,86	-0,06	0,11	0,32	0,08	0,23	0,09	0,10	0,48	0,11	0,15	0,27	-0,38	-0,05		
Julio	-0,14	-0,03	0,05	0,41	0,17	0,48	-0,04	-0,04	0,14	-0,02	0,04	0,15	0,19	0,52	-0,05	-0,13	0,22	0,00	0,32		
Agosto	0,31	0,03	0,00	0,39	-0,13	0,19	0,04	0,11	-0,03	0,04	0,08	0,20	0,48	-0,32	0,14	0,12	0,09	-0,01	0,45		
Septiembre	0,22	0,30	0,43	0,29	0,08	-0,19	-0,11	-0,14	0,31	0,29	0,29	0,14	0,72	-0,05	0,04	0,16	0,23	0,32	0,38		
Octubre	0,06	-0,01	0,23	-0,14	0,01	0,35	-0,13	-0,09	0,19	0,16	-0,26	0,16	0,68	-0,06	0,02	0,12	0,16	-0,06	0,01		
Noviembre	0,35	0,28	0,11	0,24	0,47	0,28	-0,07	0,19	0,14	-0,14	-0,22	0,13	0,60	0,11	0,18	0,12	0,10	-0,15	0,50		
Diciembre	0,61	0,30	0,07	0,23	0,49	0,44	0,08	0,65	0,42	0,09	0,26	0,27	0,62	0,42	0,38	0,30	0,26	0,38	0,73		
En año corrido	6,49	5,50	4,85	4,48	5,69	7,67	2,00	3,17	3,73	2,44	1,94	3,66	6,77	5,75	4,09	3,18	3,80	1,61	5,62	4,36	

Fuente: DANE.
 Nota: La diferencia en la suma de las variables, obedece al sistema de aproximación y
 Actualizado el 5 de abril de 2022

Apéndice O. Código EES

(Parte 1)

File:Ciclo de refrigeracion real - R134A - acondicionado - definitivo.EES 5/05/2022 7:16:24 p. m. Page 1
 ar. 9.944: #4402: EASY ENGINEERING, https://www.youtube.com/channel/UCjC8ulmve2QNRJXhDpk-L2A+ CNlixJID_JLNlyNINGGBDEICJH@NYXII_NJ

R\$='R134a' "refrigerante utilizado"

COP_R=Q_dot_evap/W_dot_comp "coeficiente de desempeño real"

"ANALISIS DEL SISTEMA DE REFRIGERACION "

" ANALISIS DEL EVAPORADOR "

"Se modifica la cantidades de agua condensada jugando con los valores de TB y el caudal de aire"

"AIRE AMBIENTE"

{P_atm=101,321 [kPa] "presion atmosferica"}
 "A la entrada"

{T_A=32 [C] "entrada del aire"}
 phi_1=e/100 "humedad relativa"
 "e=humedad relativa en porcentaje"
 {V_dot=0,7 [m^3/s] "caudal de aire que ingresa"}
 v=Volume(AirH2O;T=T_A;D=T_r;P=P_atm) "volumen especifico del aire"

m1_dot_a=V_dot/v "flujo masico de aire a la entrada del evaporador"
 phi_1=P1_v/P1_g
 P1_g=P_sat(Water;T=T_A) "presion de saturacion del vapor a T_A"
 T_r=T_sat(Water;P=P1_v) "Temperatura de rocío"

h1_airH2O=Enthalpy(AirH2O;T=T_A;D=T_r;P=P_atm) "hentalpia a la entrada"
 omega_1=(0,622*P1_v)/(P_atm-P1_v) "humedad absoluta o especifica"

"A la salida"

{T_B=15 [C] "salida del aire"}
 phi_2=1 "humedad relativa"

phi_2=P2_v/P2_g "humedad relativa a la salida"
 P2_g=P_sat(Water;T=T_B) "presion de saturacion del vapor a T_B"

h2_airH2O=Enthalpy(AirH2O;T=T_B;D=T_B;P=P_atm)
 omega_2=(0,622*P2_v)/(P_atm-P2_v) "Humedad absoluta a la salida"

File:Ciclo de refrigeracion real - R134A - acondicionado - definitivo.EES 5/05/2022 7:16:24 p. m. Page 2
 ar. 9.944: #4402: EASY ENGINEERING, https://www.youtube.com/channel/UCjC8ulmve2QNRJXhDpk-L2A+ CNiixJID_JLNiIyNINGGBDEIICJH@NYXI_NJ

$m_{\dot{w}} = m1_{\dot{a}} * (\omega_{a1} - \omega_{a2})$ "flujo masico del agua condensada"
 $h_w = \text{Enthalpy}(\text{Water}; T=T_B; x=0)$

$Q_{\dot{evap}} = m1_{\dot{a}} * (h1_{\text{airH2O}} - h2_{\text{airH2O}}) - (m_{\dot{w}} * h_w)$ "Taza de intercambio de calor en el evaporador"

$v_w = \text{Volume}(\text{Water}; T=T_B; x=0)$ "volumen especifico del agua a la salida"

$V_{\dot{w}} = m_{\dot{w}} * v_w$ "caudal de agua condensada"

$V_{\dot{w}} \text{LITROS} = V_{\dot{w}} * \text{Convert}(\text{m}^3/\text{s}; \text{l}/\text{day})$

"R134A"

{ $m_{\dot{R}} = [\text{kg}/\text{s}]$ "Flujo masico del refrigerante"}

{ $T_{\text{ev}} = \text{temperatura de evaporización [C]}$ }

{ $T_{\text{c}} = \text{temperatura de condensación [C]}$ }

{ $T_{\text{re_ev}} = \text{"Aumento de temperatura por recalentamiento en el evaporador"}$ }

$P_{\text{ev}} = P_{\text{sat}}(R\$; T=T_{\text{ev}})$

$P_1 = P_{\text{ev}}$ "Presion entrada del compresor---Salida del evaporador"

$T_1 = T_{\text{ev}} + T_{\text{re_ev}}$ "entrada del compresor---Salida del evaporador"

$h_1 = \text{Enthalpy}(R\$; T=T_1; P=P_1)$

$P_4 = P_1$

$T_4 = T_{\text{ev}}$ "salida de la valvula--- entrada al evaporador"

$Q_{\dot{evap}} = m_{\dot{R}} * (h_1 - h_4)$

"CONDENSADOR"

{ $T_{\text{sub_c}} = [\text{C}]$ "Disminucion de Temperatura por sub-enfriamiento"}

$h_3 = h_4$

$h_3 = \text{Enthalpy}(R\$; T=T_3; P=P_3)$

$T_3 = T_{\text{c}} - T_{\text{sub_c}}$

$P_3 = P_{\text{sat}}(R\$; T=T_{\text{c}})$

$P_2 = P_3$

"suponiendo que el compresor es isentropico"

$s_1 = \text{Entropy}(R\$; T=T_1; P=P_1)$

$s_2 = s_1$

$sr_2 = \text{Entropy}(R\$; h=hr_2; P=P_2)$

$T_2 = \text{Temperature}(R\$; P=P_2; h=hr_2)$

$h_2 = \text{Enthalpy}(R\$; P=P_2; s=s_2)$

(Parte 2)

File:Ciclo de refrigeracion real - R134A - acondicionado - definitivo.EES 5/05/2022 7:16:24 p. m. Page 3
 ar. 9.944: #4402: EASY ENGINEERING, <https://www.youtube.com/channel/UCjC8ulmve2QNRJXhDpk-L2A+> CNlIXJID_JLNllyNINGGBDElCJH@NYXl_NJ

"f=eficiencia isentropica en porcentaje"

$\eta_{isen_comp} = f/100$

$\eta_{isen_comp} = (h_2 - h_1) / (h_{r2} - h_1)$ "eficiencia isentropica del compresor"

" h_{r2} =entalpia real del estado 2"

$Q_{dot_cond} = \dot{m}_R (h_{r2} - h_3)$ "Flujo de calor en el condensador"

$W_{dot_comp} = \dot{m}_R (h_2 - h_1)$ "Potencia requerida en el compresor"

"Análisis del aire en el condensador"

$Q_{dot_cond} = \dot{m}_2 (h_{4_airH2O} - h_{1_airH2O})$

$\dot{m}_2 = V_{dot_2} / v$

" $V_{dot_2} = 3,583 \text{ [m}^3/\text{s]}$ " "caudal de aire en el condensador"

$T_D = \text{Temperature}(\text{AirH2O}; h = h_{4_airH2O}; w = \omega_1; P = P_{atm})$ "temperatura del aire a la salida del condensador"

SOLUTION

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

$COP_R = 4,719$

$\eta_{isen_comp} = 0,6921$

$h_{1_airH2O} = 74,41 \text{ [kJ/kg]}$

$h_{4_airH2O} = 81,87 \text{ [kJ/kg]}$

$h_1 = 260,9 \text{ [kJ/kg]}$

$h_3 = 111,2 \text{ [kJ/kg]}$

$h_w = 63,66 \text{ [kJ/kg]}$

$\dot{m}_{2a} = 4,033 \text{ [kg/s]}$

$\dot{m}_w = 0,004509 \text{ [kg/s]}$

$\omega_2 = 0,01079$

$P_{1v} = 2,617 \text{ [kPa]}$

$P_{2v} = 1,725 \text{ [kPa]}$

$\phi_2 = 1$

$P_2 = 1161 \text{ [kPa]}$

$P_4 = 414,9 \text{ [kPa]}$

$P_{ev} = 414,9 \text{ [kPa]}$

$\dot{Q}_{evap} = 24,84 \text{ [kW]}$

$s_{f2} = 0,9724 \text{ [kJ/kg-C]}$

$s_2 = 0,9429 \text{ [kJ/kg-C]}$

$T_{subc} = 3 \text{ [C]}$

$T_2 = 61,97 \text{ [C]}$

$T_4 = 10 \text{ [C]}$

$T_B = 15,18 \text{ [C]}$

$T_D = 39,2 \text{ [C]}$

$T_r = 21,83 \text{ [C]}$

$\dot{V} = 0,7 \text{ [m}^3/\text{s]}$

$\dot{V}_w = 0,00004513 \text{ [m}^3/\text{s]}$

$v_w = 0,001001 \text{ [m}^3/\text{kg]}$

$e = 55$

$f = 69,21$

$h_{2_airH2O} = 42,52 \text{ [kJ/kg]}$

$h_{r2} = 292,6 \text{ [kJ/kg]}$

$h_2 = 282,8 \text{ [kJ/kg]}$

$h_4 = 111,2 \text{ [kJ/kg]}$

$\dot{m}_{1a} = 0,7878 \text{ [kg/s]}$

$\dot{m}_v = 0,166 \text{ [kg/s]}$

$\omega_1 = 0,01651$

$P_{1g} = 4,758 \text{ [kPa]}$

$P_{2g} = 1,725 \text{ [kPa]}$

$\phi_1 = 0,55$

$P_1 = 414,9 \text{ [kPa]}$

$P_3 = 1161 \text{ [kPa]}$

$P_{atm} = 101,2 \text{ [kPa]}$

$\dot{Q}_{cond} = 30,1 \text{ [kW]}$

$R\$ = 'R134a'$

$s_1 = 0,9429 \text{ [kJ/kg-C]}$

$T_{re_{ev}} = 5 \text{ [C]}$

$T_1 = 15 \text{ [C]}$

$T_3 = 42 \text{ [C]}$

$T_A = 32 \text{ [C]}$

$T_C = 45 \text{ [C]}$

$T_{ev} = 10 \text{ [C]}$

$v = 0,8885 \text{ [m}^3/\text{kg]}$

$\dot{V}_2 = 3,583 \text{ [m}^3/\text{s]}$

$\dot{V}_{wLITROS} = 389,9 \text{ [l/day]}$

$\dot{W}_{comp} = 5,264 \text{ [kJ/s]}$