



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

SIMULACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA Y PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS PARA UNA CASA TÍPICA DE LA AMAZONIA ECUATORIANA

**TRABAJO DE TITULACIÓN O PROYECTO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO**

AUTOR: HOLGER DAMIÁN CEDILLO ULLOA

DIRECTOR: DR. SAMUEL SAMI HOWARD PE, PHD, JD.

CUENCA - ECUADOR

2020

*Yo me gradué en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*

DECLARACIÓN

Yo, Holger Damián Cedillo Ulloa, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.



Holger Damián Cedillo Ulloa

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Holger Damián Cedillo Ulloa, bajo mi supervisión.

Samuel Sami Howard

Dr. Samuel Sami Howard PE,PhD,JD.

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme guiado en toda mi vida y por brindarme la sabiduría.

Agradezco a mi director de la investigación al **Dr. Samuel Sami Howard PE, PhD, JD**. Y a mi compañero y amigo Ing. Edwin Marín por su colaboración, apoyo, enseñanza y su asesoría brindada en el desarrollo de todo este trabajo de investigación.

A la Universidad Católica de Cuenca por toda la formación profesional.

DEDICATORIA

A mis apreciados padres, **Lizandro y Carmita**, por haberme forjado como la persona de bien que soy, por haberme inculcado esfuerzo, perseverancia y alcanzar mis objetivos a pesar de toda adversidad, además por ser un pilar fundamental en mi vida ya que muchos de mis logros se los debo a ellos.

Gracias a mi amada esposa **Mary Cruz**, por estar presente y a mi lado en todo momento y lugar en esta etapa de mi vida.

A mis hermosas hijas **Damaris, Alexa** y a mi pequeño **Samuel** quienes han sido la mayor inspiración de mis anhelos.

Mis queridos hermanos **Jenner y Dayen** por estar pendientes de mis días, además quienes de alguna u otra manera son un soporte para mi desarrollo tanto personal como académico.

A mi entrañable **Keysi** quien en esta etapa de escribir este documento supo velar mis días y noches sin ella saberlo que era una ayuda primordial para mí.

RESUMEN

La simulación de un sistema híbrido de bomba de calor geotérmica y paneles solares fotovoltaicos para una casa típica de la amazonia ecuatoriana se realizó y presento en esta investigación.

El modelo de simulación presentado, utilizó ecuaciones para la conservación de masa y energía y el modelo experimental utilizó las ecuaciones de masa y energía para determinar el comportamiento del sistema. Los paneles solares fotovoltaicos utilizaron la radiación solar como fuente de energía primaria, limpia e infinita para suministrar una corriente eléctrica y voltaje para alimentar la bomba de calor. La bomba de calor es un sistema autónomo, que en esta investigación funcionará en dos modos, como bomba de calor para calefacción y como aire acondicionado para enfriar. Por lo tanto, cuando funciona como una bomba de calor, absorberá la energía geotérmica del agua y calentará el medio ambiente y, cuando se use como aire acondicionado, absorberá la energía térmica del aire y se disipará en el agua geotérmica para enfriar el medio ambiente. Para la implementación de esta investigación, se usó refrigerante R-134a debido a sus propiedades térmicas y estabilidad en la bomba de calor. La parte experimental de este trabajo de investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Centro de Investigación en Energías Renovables utilizando una configuración experimental compuesto por bomba de calor de fuente de agua. Este sistema híbrido (paneles solares fotovoltaico – bomba de calor) es eficiente tanto para calentar y enfriar un espacio determinado, como también para calentar y enfriar el agua, según sea la necesidad de uso, dependiendo la región en la que se encuentre, adicionando a esto que se puede suministrar 4KW/h por día para el uso de la demanda eléctrica en una vivienda típica de la amazonia ecuatoriana.

Palabras clave: BOMBA DE CALOR, PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS, MODELOS DE SIMULACIÓN, METODO EXPERIMENTAL, AC

ABSTRACT

The simulation of a hybrid system of a geothermic heat pump and photovoltaic solar panels for a typical house of the Ecuadorian Amazon region was conducted and presented in this research.

The simulation model presented utilized equations for the mass and energy preservation, and the experimental model used the same equations to determine the system's behavior. The photovoltaic solar panels utilized solar radiation as a primary energy source, clean and infinite to deliver electric current and a voltage to feed the heat pump. The heat pump is an autonomous system that will work in two ways in this research, as a heat pump for heating systems and as for air-conditioning systems. Thus, when it works as a heat pump it will absorb the geothermic energy of the water and it will heat the environment; and when it works as air-conditioned it will absorb the thermic energy of the air and it will dispel in the geothermic water to cool the environment. To implement this investigation, it was used R-134a coolant due to its thermal properties and the stability it provides the heat pump. The experimental part of this work was conducted in the facilities of the Renewable Energies Investigation Center utilizing an experimental configuration comprised of a water supply heat pump. This hybrid system (photovoltaic solar panels and heat pump) is efficient for both heating and cooling a determined space, as well as heating and cooling water; depending on the need for use and the region of location. Additionally, it is important to mention that it is possible to provide 4KW/h per day for the use of the electric demand in a typical house of the Ecuadorian Amazon region.

Keywords: HEAT PUMP, PHOTOVOLTAIC SOLAR PANELS, SIMULATION MODELS, EXPERIMENTAL METHOD, AC.

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA.....	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
TABLA DE CONTENIDO.....	VIII
Tabla de figuras.....	XI
Tabla de ilustraciones.....	XV
Tablas.....	XVI
Tabla de anexos.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	1
1) FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
1.1 Justificación.....	6
1.2 Objetivos generales.	8
1.3 Objetivo específico.....	8
2) MODELO TEORICO Y MODELO MATEMATICO.....	9
2.1 Marco teórico.	9
2.2 Descripción de la bomba de calor.....	12
2.3 Tipos de bombas de Calor.....	14
2.4 Componentes de la bomba de calor.	18
2.4.1 Compresores	18
2.4.2 Válvula de Expansión.	21
2.4.3 Intercambiadores de Calor.....	23
2.4.4 Condensador.	24
2.4.5 Condensador estático tipo serpentín o natural.....	24
2.4.6 Condensador espiral tiro forzado.	25
2.4.7 Condensador enfriado por agua de doble tubo.	25
2.4.8 Condensador enfriado por agua de inmersión	26
2.4.9 Evaporador	27
2.4.10 Refrigerante	28
2.5 Energía Geotérmica.....	33
2.6 Sistemas fotovoltaicos.	35

2.7	Radiación Solar.....	36
2.8	Celda fotovoltaica.....	36
2.9	Panel fotovoltaico.....	38
2.10	Tipos de Paneles Solares Fotovoltaicos	39
2.10.1	Silicio puro mono cristalino.	39
2.10.2	Silicio puro poli cristalino.....	39
2.11	Radiación Solar en el Ecuador	40
2.12	Sistema de Almacenamiento	42
2.13	Sistemas Híbridos.....	43
2.14	Modelo matemático del sistema.....	45
2.14.1	Modelo matemático del sistema fotovoltaico.	46
2.14.2	Modelo matemático del sistema de bomba de calor.	48
2.14.3	Modelo Matemático del sistema de bomba de calor teórico.	50
2.14.4	Modelo Matemático del sistema de bomba de calor experimental.....	52
3)	TRABAJO EXPERIMENTAL	56
3.1	Modelo del sistema Híbrido.....	56
3.2	Modelo Sistema Fotovoltaico (CER)	56
3.2.1	Sistema Fotovoltaico (CER).	56
3.2.2	Paneles Solares (CER).....	57
3.2.3	Inversor SC2KW (CER)	58
3.2.4	Transformador	59
3.2.5	Almacenamiento	60
3.3	Modelo del sistema bomba de calor	61
3.3.1	Bomba de calor HPE10280H045DV.....	61
3.3.2	Compresor.	63
3.3.3	Condensador	63
3.3.4	Evaporador.	64
3.3.5	Válvula de 4 vías.	64
3.3.7	Refrigerante R-134a.	66
3.4	Modelo dinámico del sistema Híbrido.....	67
3.5	Recolección del comportamiento del sistema híbrido	68
3.5.1	Shield Atmega.	68
3.5.2	Shield Internet.	68
3.5.3	Clock.....	69
3.5.4	Sensor de temperatura DS18B20.....	69

3.5.5	Sensor de corriente.	71
3.5.6	Sensor de voltaje.	72
3.5.7	Sensor de flujo de agua.	73
3.5.8	Anemómetro.	75
3.5.9	Manómetro.	76
4) METODOS TEORICOS Y EXPERIMENTALES BOMBA DE CALOR Y AIRE		
ACONDICIONADO		79
4.1	Resultados y simulación del método teórico del sistema hibrido.	82
4.2	Resultados teóricos del sistema fotovoltaico.	83
4.3	Cálculo de las entalpías para refrigerante R-134a mediante EES.	88
4.4	Método resultado teóricos bomba de calor (calentar ambiente).....	91
4.5	Método resultados teórico aire acondicionado (enfriar ambiente)	101
4.6	Resultados del método experimental sistema fotovoltaico.....	112
4.7	Resultados método experimental bomba de calor (calentar ambiente)	120
4.8	Análisis y comparación de resultados obtenidos mediante métodos teórico y experimental.....	130
4.8.1	Análisis del sistema modo aire acondicionado	132
4.8.2	Análisis de los balances de energía en métodos teóricos y experimental en modo aire acondicionado	136
4.8.3	Análisis de los balances de energía en el métodos teórico y experimental en modo bomba de calor	138
CONCLUSIONES		141
RECOMENDACIONES		144
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		145
BIBLIOGRAFIA		145
ANEXOS		149

Tabla de figuras.

Figura 1. Diagrama básico de un sistema de generación eléctrica híbrido fotovoltaico y geotérmico.....	11
Figura 2. Diagrama esquemático de una bomba de calor	13
Figura 3. Diagrama esquemático de un aire acondicionado AC	13
Figura 4. Eficiencia de los sistemas de calefacción	14
Figura 5. Esquema bomba de calor geotérmica agua – agua	15
Figura 6. Esquema bomba de calor agua - aire	16
Figura 7. Esquema simplificado de una red de conductos.....	16
Figura 8. Esquema de bomba geotérmica de aire - aire	16
Figura 9. Esquema de bomba geotérmica de aire - agua	17
Figura 10. Esquema de bomba geotérmica de tierra - agua.....	17
Figura 11. Esquema de bomba geotérmica de tierra - aire.....	17
Figura 12. Etapas de compresión del un compresor "Scroll"	18
Figura 13. Compresor hermético tipo rotativo	19
Figura 14. Compresores herméticos y semi-herméticos.....	19
Figura 15. Esquema de un compresor tipo tornillo.....	20
Figura 16. Compresor abierto – centrifugo o turbo compresor	20
Figura 17. Diagrama de temperatura entropía T-s y Presión Entalpía P-h de una bomba de calor simple.....	21
Figura 18. Diagrama Presión - Entalpía y Temperatura – Entropía.....	22
Figura 19. Válvula de expansión de una bomba de calor	22
Figura 20. Tubo Capilar.....	22
Figura 21. Válvula de 4 vías.....	23
Figura 22. Condensador estático tipo serpentin tiro natural.....	25
Figura 23. Condensador tiro forzado	25
Figura 24. Condensador por agua de doble tubo o multi tubo	26
Figura 25. Condensador en espiral a agua	26
Figura 26. Evaporador enfriado por aire	27
Figura 27. Clasificación de los evaporadores.....	27
Figura 28. Diagrama P-H presión - entalpía vs T-S temperatura – entropía	33
Figura 29. Subsistema de energía geotérmica	34
Figura 30. Bomba de calor configuraciones horizontal, vertical y expansión directa	35
Figura 31. Bomba de calor configuraciones de un pozo, pozo doble o un pozo/doble acuífero	35
Figura 32. Esquema de un sistema fotovoltaico.....	36
Figura 33. Efecto fotovoltaico.....	37
Figura 34. Panel solar fotovoltaico.....	38
Figura 35. Mapa de radiación solar de la provincia de pastaza	40
Figura 36. Banco de baterías.....	42
Figura 37. Esquema de un sistema fotovoltaico.....	45
Figura 38. Esquema de un ciclo termodinámico de una bomba de calor típica con colectores verticales.....	45
Figura 39. Ciclo presión entalpía funcionamiento del sistema bomba de calor.....	49
Figura 40. Ciclo presión entalpía funcionamiento del sistema bomba de calor BC.....	52
Figura 41. Diagrama de ciclo de bomba a calor	54

Figura 42. Esquema del sistema fotovoltaico del (CER).....	56
Figura 43. Datos de placa de los módulos fotovoltaicos (CER).....	57
Figura 44. Paneles solares fotovoltaicos (CER).....	57
Figura 45. Inversor SC2KW	58
Figura 46. Diagrama de estructura del controlador del inversor solar hibrido	58
Figura 47. Parte posterior del Inversor SC2KW	59
Figura 48. Shield de clock para arduino	69
Figura 49. Sensor de temperatura DS18B20	70
Figura 50. Calibración de sensores de temperatura de entrada de aire.....	70
Figura 51. Calibración de sensor de temperatura a la salida de aire.....	71
Figura 52. Sensor de corriente SCT -13	72
Figura 53. Calibración del sensor de corriente	72
Figura 54. Sensor de voltaje modelo ZMPT101B.....	73
Figura 55. Calibración de mediciones de entrada de voltaje al sistema bomba de calor - aire acondicionado.....	73
Figura 56. Sensor de flujo de agua YF-S201	74
Figura 57. Mediciones de entrada y salida de agua.....	74
Figura 58. Mediciones de entrada y salida de agua con medidor manual de temperatura....	75
Figura 59. Anemómetro digital	76
Figura 60. Manómetro analógico yellow jacket.....	77
Figura 61. Calibración de los sensores de flujo de aire con termómetro CER y arduino	77
Figura 62. Calibración de los sensores de flujo de agua con medidor análogo y arduino YF-S201.....	78
Figura 63. Esquema ubicación de las entalpias en un ciclo de refrigeración	83
Figura 64. Rango de radiación requerida en los PV para suministrar la potencia.....	84
Figura 65. Radiación frente la corriente del panel solar fotovoltaico método teórico	84
Figura 66. Radiación frente al voltaje del panel solar fotovoltaico método teórico	86
Figura 67. Eficiencia del panel fotovoltaico	88
Figura 68. Cálculo de entalpias EES	90
Figura 69. Capacidad de calor en el evaporador con un caudal de agua de 25% a temperatura ambiente	92
Figura 70. Capacidad de calor en el evaporador con un caudal de agua de 100% a temperatura ambiente	93
Figura 71. Capacidad de calor en el evaporador con un caudal de 25% a una temperatura de 35°C.....	94
Figura 72. Capacidad de calor en el evaporador con un caudal de 100% a una temperatura de 35°C.....	94
Figura 73. Capacidad de calor Qe modo bomba de calor modelo teórico a caudales y temperaturas variadas.....	95
Figura 74. Capacidad de calor en el condensador con un caudal del 25% a una temperatura ambiente	96
Figura 75. Capacidad de calor en el condensador con un caudal del 100% a una temperatura ambiente	97
Figura 76. Capacidad de calor en el condensador con un caudal del 25% a una temperatura de 35°C.....	97
Figura 77. Capacidad de calor en el condensador con un caudal del 100% a una temperatura de 35°C	98

Figura 78. Capacidad de calor Q_c modo bomba de calor modelo teórico	99
Figura 79. Coeficiente de la eficiencia del condensador COP Bomba de calor, en función de Q_c , a diferentes variaciones de caudal y temperatura del agua en el evaporador.....	101
Figura 80. Capacidad de calor en el condensador Q_c a caudal de aire del 25%	102
Figura 81. Capacidad de calor en el condensador Q_c a caudal de aire del 50%	103
Figura 82. Capacidad de calor en el condensador Q_c a caudal de aire del 75%	104
Figura 83. Capacidad de calor en el condensador Q_c a caudal de aire del 100%	105
Figura 84. Capacidad de calor en el condensador Q_c frente a potencia consumida a diferentes caudales de aire	107
Figura 85. Capacidad de calor en el evaporador Q_e a caudal de agua al 100% con caudal de aire del 25%	107
Figura 86. Capacidad de calor en el evaporador Q_e a caudal de agua al 100% con caudal de aire del 50%	108
Figura 87. Capacidad de calor en el evaporador Q_e a caudal de agua al 100% con caudal de aire del 75%	109
Figura 88. Capacidad de calor en el evaporador Q_e a caudal de agua al 100% con caudal de aire del 100%	109
Figura 89. Capacidad de calor en el evaporador Q_e frente a potencia suministrada a diferentes caudales de aire	110
Figura 90. Factor de eficiencia de energética EER, en función de Q_e , a caudales de aire diferentes	112
Figura 91. Rango de radiación requerida en los PV para suministrar la potencia - método experimental	113
Figura 92. Radiación solar PV 24 horas mes de diciembre 2019	114
Figura 93. Temperatura de la celda del panel frente al tiempo	114
Figura 94. Corriente del panel fotovoltaico en función de la temperatura frente al tiempo ..	115
Figura 95. Potencia suministrada de los Paneles fotovoltaicos del sistema híbrido.....	116
Figura 96. Configuración mixta de paneles solares PV.....	117
Figura 97 Medición de la radiación en el sistema PV	118
Figura 98. Medición de la corriente en el sistema PV	119
Figura 99. Medición de la tensión en el sistema PV	120
Figura 100. Capacidad de calor en el evaporador caudal de agua 100% a temperatura ambiente - método experimental.....	121
Figura 101. Capacidad de calor en el evaporador caudal de agua 25% a temperatura ambiente - método experimental.....	122
Figura 102. Capacidad de calor en el evaporador caudal de agua 100% a temperatura de agua 35°C - método experimental	123
Figura 103. Capacidad de calor en el evaporador caudal de agua 25% a temperatura de agua 35°C - método experimental	123
Figura 104. Capacidad de calor en el evaporador caudal de agua al 100% y 25% a temperatura de agua ambiente y 35°C - método experimental	124
Figura 105. Capacidad de calor del condensador con caudal de agua al 25% a temperatura agua ambiente - método experimental	125
Figura 106. Capacidad de calor del condensador con caudal de agua al 100% a temperatura agua ambiente - método experimental	126
Figura 107. Capacidad de calor del condensador a caudal de agua 25% a temperatura de 35°C - método experimental.....	126

Figura 108. Capacidad de calor del condensador a caudal de agua 100% a temperatura de 35°C - método experimental.....	127
Figura 109. Capacidad de calor en el condensador a caudal de ingreso de agua al 25 y 100% en temperatura ambiente y temperatura de 35°C - método experimental	128
Figura 110. Coeficiente de eficiencia COP en función de Q_c - método experimental bomba de calor	129
Figura 111. COP coeficiente de eficiencia energética Q_c frente a la potencia - método teórico y experimental – Bomba de calor.....	130
Figura 112. EER (Energy Efficiency Ratio) factor de eficiencia energética Q_e frente a la potencia - método teórico y experimental - aire acondicionado	133

Tabla de ilustraciones.

Ilustración 1. Silicio puro mono cristalino.....	39
Ilustración 2. Silicio puro policristalino	40

Tablas.

Tabla 1. Clasificación de las Bombas de Calor	15
Tabla 2. Tipos de condensadores	24
Tabla 3. Ficha técnica de refrigerantes comerciales más utilizados	28
Tabla 4. Propiedades termodinámicas	28
Tabla 5. Propiedades Físicas	29
Tabla 6. Propiedades de los refrigerantes	31
Tabla 7. Nombre químico y formula del refrigerante R-134a	31
Tabla 8. Tabla de presión / temperatura refrigerante R-134a	31
Tabla 9. Propiedades físicas R-134a	32
Tabla 10. Resumen de la radiación solar W/m ² mediante HOBOware	41
Tabla 11. Etapas de toma de Datos para sistema de bomba de calor geotérmica	80
Tabla 12. Etapas de toma de Datos para sistema de aire acondicionado	81
Tabla 13. Perfil de radiación solar HOBOware en el laboratorio CER	85
Tabla 14. Factor de forma del panel fotovoltaico	87
Tabla 15. Factor de eficiencia del panel fotovoltaico	87
Tabla 16. Presiones y temperaturas de la bomba de calor a un caudal del 100%	89
Tabla 17. Entalpias del refrigerante R-134a	90
Tabla 18. Flujo másico de la bomba de calor	91
Tabla 19. Datos de placa de compresor Mitsubishi	92
Tabla 20. Balance de energía modo bomba de calor método teórico	98
Tabla 21. Coeficiente de eficiencia COP método teórico de bomba de calor	100
Tabla 22. Flujo másico de la bomba de calor en modo aire acondicionado	102
Tabla 23. Balance de energía método teórico aire acondicionado	105
Tabla 24. Coeficiente de eficiencia energética EER (Energy Efficiency Ratio) – método teórico	110
Tabla 25. Perfil de radiación y cálculos de tensión – corriente	117
Tabla 26. Balance de energía de la bomba de calor método experimental	129
Tabla 27. Comportamiento eficiencia energética método teórico y experimental Bomba de Calor	131
Tabla 28. Comparación de eficiencia energética EER método teórico y experimental AC ..	133
Tabla 29. Balance energético del sistema Aire acondicionado en métodos teórico y experimental	136
Tabla 30. Balance energético del sistema Bomba de calor en métodos teórico y experimental	138

Tabla de anexos.

ANEXO 1. DIAGRAMA DE P-H T-S DEL REFRIGERANTE 134a	149
ANEXO 2. CARACTERISTICAS DE LAS BATERIAS SOLARES.	151
ANEXO 3. CARACTERISTICAS DEL PANEL SOLAR.	153
ANEXO 4. CALCULO DE ENTALPIAS MEDIANTE SOFTWARE EES PARA METODO TEORICO.	154
ANEXO 5. CALCULOS DE ENTALPIAS Y FLUJOS MASICOS.	158
ANEXO 6. TOMA DE DATOS DE LA BOMBA DE CALOR MEDIANTE ARDUINO	160
ANEXO 7. CAPACIDAD DEL CONDENSADOR QC MODO BOMBA DE CALOR METODO TEÓRICO.	162
ANEXO 8. CAPACIDAD DEL EVAPORADOR QE MODO BOMBA DE CALOR METODO TEÓRICO.	163
ANEXO 9. CAPACIDAD DEL CONDENSADOR QC MODO AIRE ACONDICIONADO METODO TEÓRICO.	163
ANEXO 10. CAPACIDAD DEL EVAPORADOR QE MODO AIRE ACONDICIONADO METODO TEÓRICO.	165
ANEXO 11. CAPACIDAD DEL EVAPORADOR QE MODO BOMBA DE CALOR METODO EXPERIMENTAL.	166
ANEXO 12. CAPACIDAD DEL CONDENSADOR QC MODO BOMBA DE CALOR METODO EXPERIMENTAL.	171
ANEXO 13. CAPACIDAD DEL CONDENSADOR QC MODO AIRE ACONDICIONADO METODO EXPERIMENTAL.	175
ANEXO 14. CAPACIDAD DEL EVAPORADOR QE MODO AIRE ACONDICIONADO METODO EXPERIMENTAL.	182
ANEXO 15. RADIACIÓN SOLAR DICIEMBRE DEL 2019.	190
ANEXO 16. COEFICIENTE DE EFICIENCIA ENERGETICA COP BOMBA DE CALOR METODO TEORICO.	191
ANEXO 17. COEFICIENTE DE EFICIENCIA ENERGETICA COP AIRE ACONDICIONADO METODO TEORICO.	192
ANEXO 18. COEFICIENTE DE EFICIENCIA ENERGETICA COP AIRE ACONDICIONADO METODO TEORICO.	193
ANEXO 19. COEFICIENTE DE EFICIENCIA ENERGETICA COP AIRE ACONDICIONADO METODO EXPERIMENTAL.	194

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, los avances tecnológicos han ido evolucionando para satisfacer las diversas necesidades, uno de los casos puntuales es la generación de energía eléctrica, tratando de llegar con ella a la mayor parte de la población mundial. Frente a este desarrollo día a día surgen nuevos beneficios de las fuentes en energías renovables, entre las más usadas desde la antigüedad están las energías producidas por el sol como fuente principal, el viento y el agua, debido en mucho de los casos al incremento del valor en los combustibles fósiles como también teniendo problemas medioambientales derivados de su explotación. (Robles, Naslund-Hadley, Paredes, & Ramos, 2015)

En toda América existen varios tipos de calefactores de la primera generación que se utilizan en la actualidad, estos tienen niveles de eficiencia muy bajos, instalados en la mayoría de las zonas de norte américa, siendo alrededor del 40% del mercado que dispone de sistemas llamados calentadores de agua eléctricos, que tienen niveles bastantes altos de consumo de electricidad, esta electricidad era obtenida antes con la quema de muchos combustibles fósiles existiendo niveles en contaminación considerables, por otra parte existen los sistemas que calientan el agua a base de gas directamente, estos sistemas al consumir gas que se extrae del suelo y a su vez se dirige al centro de consumo para su quema utilizándose entre el 50 al 60 % para calentar el agua y entre un 40 al 50% restante siendo desperdiciado en la ventilación o ambiente, lo cual representa un porcentaje alto de desperdicio y también contaminación (Cleantechnica, 2020)

En la actualidad, el mundo está en un renacer en el área como son las energías renovables que son limpias, inagotables y que se puede encontrar en todos los rincones del planeta, siendo esta una alternativa con la cual se dispone cuando sea necesario, existen innumerables usos que se puede dar a la energía, ya que estos podrían suministrar a hogares o incluso a las industrias. El enfoque que se va a realizar con esta investigación es del calentamiento y enfriamiento del aire con el fin del uso residencial aplicando el uso de la termodinámica, la cual consiste en el efecto del calentamiento en el agua o aire, aprovechando la energía térmica del subsuelo.

Este proceso se obtiene mediante los cambios de estado de gas a líquido circulando un fluido refrigerante por medio de la temperatura ambiente este ciclo que se cierra con la

ayuda de un compresor como se indicará más adelante de manera gráfica y explicando la función de cada parte del sistema. (Ruiz, 2016)

En el sistema bomba de bomba de calor A/C aire acondicionado absorbe el calor térmico del aire que este se encuentra en el evaporador y la transfiere o disipa en el agua donde se encuentra el condensador, en el modo bomba de calor pasa los siguiente, absorbe la energía térmica del agua en la parte del evaporador y transfiere mediante el refrigerante hacia el condensador.

La bomba de calor utiliza una fuente inagotable del planeta, ya sea energía del aire, aguas subterráneas o del suelo, la bomba de calor utiliza el calor del ambiente calentando así el líquido y el refrigerante en la bomba. En ese proceso se evapora el refrigerante y un compresor comprime el refrigerante para potenciar el calentamiento en la bomba de calor, el refrigerante gaseoso y caliente transfiere su calor al sistema de calefacción como también al depósito de del agua caliente, entonces al empezar a enfriarse el refrigerante que está en el sistema se convertirá en estado líquido pulverizándose mediante una válvula de expansión, siendo esta la que aumente su potencial del enfriamiento del refrigerante y a la vez va a permitir absorber el calor al ambiente, cerrando así el ciclo de este sistema de refrigeración.

Unos sistemas de bomba de calor utilizan energía gratis del aire, suelo, como del agua y subterránea, las bombas de calor son utilizadas para la calefacción, para realizar este proceso se basa en las propiedades de estado de un fluido, nos referimos al refrigerante y la segunda ley de termodinámica, donde el calor se dirige de una manera natural de un foco caliente a otro foco frío para lograr que sus temperaturas se igualen, las bombas son dispositivos de climatización eficientes y pueden realizarse el proceso reversible sirviendo como aire acondicionado o climatización geotérmica, las bombas de calor gracias a la física absorben el calor de un sitio para transferirlo a otra, debido a la posibilidad que el equipo nos permite de invertir su funcionamiento se utilizan como sistema de refrigeración o aire acondicionado, en verano esto se consigue invirtiendo la circulación de refrigerante que se esté utilizando.

La bomba de calor tiene la capacidad de poder extraer básicamente la energía de fuentes externas y gratuitas. También con la implementación de estos sistemas autónomos de calefacción y calentamiento de agua, se busca cumplir con las necesidades de la sociedad a medida que se incrementa su nivel de complejidad. Uno de los aspectos importantes de optimizar los sistemas es obtener una mayor eficiencia a un costo de implementación bajo, teniendo como resultado la confiabilidad y sobre todo la auto sustentabilidad. (Santamarta, 2009)

Las necesidades de energía obligan a una constante actualización acerca de las tendencias como sus aplicativos que se presentan en ella, con la búsqueda de varias nuevas fuentes para el suministro de energía en el mundo entero, ya que como humanidad se sabe que se agotaran los recursos provenientes del petróleo y sus derivados, además los impactos ambientales a causa de su uso o materiales que no se pueden desechar, tal como, los desechos de la energía nuclear. Es por esto que los países considerados como potencias han creado comunidades, grupos, centros de investigación para buscar diferentes alternativas para llegar al suministro de la energía limpia, que no cause daño al medio ambiente, ni al ecosistema. Es así, que durante años se ha ido investigando y poniendo en práctica diferentes tipos de energía entre ellas la energía geotérmica proveniente del interior de la tierra. Las fuentes geotérmicas en la actualidad no solo se pueden aprovechar para generar electricidad (alta entalpía), sino que también para usos directos del calor (baja entalpía). (Tirapegui, 2006)

La energía geotérmica se divide en dos categorías en su utilización que esta puede ser para la producción de energía eléctrica y usos directos. La utilización directa de la energía geotérmica se refiere al uso de manera rápida de la energía. La energía geotérmica se puede producir de vapor seco, chapados – vapor binario y Kalina (Sami & Jorge, 2017)

Desde hace más de dos mil años se ha encontrado ruinas romanas relacionadas con el aprovechamiento termal desde Siria hasta Inglaterra, doscientos años Antes de Cristo, se realizó el aprovechamiento de la energía proveniente del interior de la tierra. (Tirapegui, 2006)

De una bomba de calor se puede extraer energía térmica como de un sistema fotovoltaico / térmico llegando a tener temperaturas elevadas para fines de calentamientos domésticos o industriales (Sami, 2018)

En el Ecuador, se utiliza en los hogares el suministro de agua caliente y calefacción para uso personal, para obtenerlo se realiza mediante la utilización de energía eléctrica no renovable suministrado por la red o por combustión, es decir con la quema de combustibles fósiles que estos pueden ser gas GLP, diésel, etc., siendo estos dos métodos los más utilizados, donde se involucra la emisión de CO2 provocando la contaminación al medio ambiente (Robles, Naslund-Hadley, Paredes, & Ramos, 2015)

Entre los equipos que se utilizan para el calentamiento del agua están:

1. Los que utilizan gas GLP “Gas Licuado de Petróleo”, combustibles como calefones, calderos.

2. Los que utilizan energía eléctrica renovable como calentadores solares.
3. Los que utilizan energía eléctrica no renovable como niquelinas en duchas, calefactores eléctricos. (Robles, Naslund-Hadley, Paredes, & Ramos, 2015)

CAPITULO 1.

1) FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 Justificación.

En el mundo hace alrededor de 15 años atrás se comenzó a observar los efectos del cambio climático haciendo que varias personas indistintamente comenzaran a enfocarse en el desarrollo de nuevas alternativas tecnológicas para el calentamiento de agua. Entonces se desarrollaron los calentadores de agua instantáneos, calentando el agua según sea la demanda, esto nos quiere decir que calentaban solo cuando el consumidor abra la llave y no como antes que en recipientes de entre cincuenta galones permanecían calentándose las veinte y cuatro horas al día, consumiendo gas en horas sin demanda, siendo eficientes al mantener la temperaturas deseadas, pero existiendo el consumo de gas inapropiadamente además produciendo monóxido de carbono al ecosistema y a su vez contaminando. (Cleantechnica, 2020)

En la actualidad, se realizan estudios para determinar la factibilidad de sistema de generación y sistema de calentamiento de agua y aire en determinadas zonas donde no se puede llegar con energía eléctrica convencional o ya sea por reducir el consumo de energía convencional o disminuir el consumo de gas por el costo diario de uso.

En la actualidad también existen calentadores solares de agua que usan como energía principal la radiación solar, colocando un recolector solar en una parte del techo de la vivienda o edificio para que el sol caliente los fluidos del colector y que estos fluidos calienten el agua, pero uno de los limitantes es al momento de requerir reparación, siendo de costos elevados y a su vez requerían de un respaldo para cuando llegue el verano, siendo este respaldo eléctrico o de gas y de alguna manera con los sistemas antes mencionados de calefacción aun utilizan de alguna manera quemando derivados del petróleo y contaminando. (Cleantechnica, 2020)

El Centro De Investigación De Energías Renovables (CER) cuenta con equipos para la investigación como es la bomba de calor, baterías, inversores y paneles solares, se utilizará los datos de placa de cada elemento, para conocer todas las especificaciones técnicas.

La bomba de calor se encuentra en el mercado desde hace los últimos cinco a diez años siendo calentadores de bomba de calor del siglo XXI .Este sistema puede llegar a ser hasta siete veces más eficientes energéticamente (Cleantechnica, 2020)

En el (CER) se cuenta con un sistema fotovoltaico que sirve para generar energía limpia directamente como alimentación, también cuenta con un sistema de bomba de calor geotérmico, su funcionamiento principal es calentar y enfriar el agua o el aire respectivamente.

En el desarrollo de esta investigación se realizará un modelo híbrido con la unión de los dos sistemas mencionados para poder alimentar con el sistema fotovoltaico la bomba de calor y poder funcionar en dos modos, tanto para calefacción y aire acondicionado para una casa tipo en la amazonia

Con este trabajo de investigación se pretende analizar la factibilidad del uso de una bomba de calor geotérmica que consume 1KW .h por día, energizada con paneles fotovoltaicos, simulando a una bomba de calor geotérmica; energizando conjuntamente con las cargas utilizadas de una casa típica, el total de la demanda establecida de una casa típica en la amazonia la cual consta en su mayoría con áreas como una cocina, un dormitorio para todos los miembros de la familia y un espacio pequeño para reuniones, este prototipo se obtuvo de la encuesta realizada en el año 2016 de la comunidad de Mawka Llakta existiendo un total de 140 viviendas. (Marin, 2017)

En base a estas encuestas se obtiene el resultado que cada vivienda consta de tres focos de 15w y su promedio de uso de los mismo es de cuatro horas diarias dándonos como resultado un consumo de energía de **180W .h por día** en el caso de iluminación ahora el resto del consumo se basa en una radio que consume 10W teniendo encendido un promedio de seis horas diarias de utilización obteniendo un consumo de energía de **60W .h por día** y adicional a esto ocupan un cargador para teléfono celular que también consume 10W por un lapso de una hora diaria teniendo un consumo de **10W .h por día**; Al realizar la sumatoria de el celular los focos y la radio tendríamos un total promedio de consumo de energía de **250W .h al día**.

Adicional con el uso del software Microsoft Excel se realizará la verificación de datos para la determinación de las características antes mencionadas, para posteriormente utilizar el sistema de calentamiento o enfriamiento del aire. Teniendo en cuenta que el consumo diario de una vivienda típica de la Amazonia Ecuatoriana es de 250W .h por día.

La aplicación de este sistema sería un aporte a la sociedad de manera teórica (resultados numéricos) y experimental (aplicación del sistema), ya que existen muchas pequeñas familias que no cuentan con el suministro energético por los altos costos que implica llegar a estos usuarios, además de suministrar una temperatura ambiente ideal, en este caso

específico a las viviendas o como podría ser a un área determinada como una sala de reuniones u sala de clase.

1.2 Objetivos generales.

Simulación de un sistema híbrido de bomba de calor geotérmica: (calentar el aire y enfriar el aire), utilizando paneles solares fotovoltaicos para alimentar con energía eléctrica el sistema, para una casa típica de la amazonia ecuatoriana.

1.3 Objetivo específico.

- a) Desarrollar un modelo matemático y un algoritmo computacional para la simulación del comportamiento de la bomba de calor conjuntamente con los paneles solares fotovoltaicos.
- b) Desarrollar un simulador con el software de MICROSOFT EXCEL que nos permita visualizar comportamiento del sistema con la variación de sus diferentes condiciones.
- c) Analizar y validar la eficiencia del sistema híbrido.

CAPITULO 2.

2) MODELO TEORICO Y MODELO MATEMATICO

2.1 Marco teórico.

En esta investigación parte de los antecedentes el cual se tenía varias maneras de calefacción que fueron evolucionando con el tiempo y con el desarrollo tecnológico de los seres humanos iniciando con el fuego hace setecientos noventa mil años permitiendo así viajar a lugares fríos, y así empieza los procesos de evolución con el hipocausto siendo un sistema de calefacción proviniendo por tuberías bajo el suelo siendo un invento por un científico romano llegando a niveles de calefacción que no superaba los treinta grados centígrados y de ahí parten las estufas y las calderas están servían para calentar fluidos por cañerías para el calentamiento de espacios determinados tradicionalmente en los sistemas de calefacción han llegado a ser el gasóleo, fuel oíl, gas natural.

Estos tipos de calefacción no eran considerados tan eficientes ya que con los años se notaba que se generaba cantidades considerables de monóxido de carbono entonces al existir este tipo de contaminación viene la producción de sistemas de calefacción a base de la electricidad (haverland, 2020)

En la refrigeración existió desde la antiguo Egipto en el cual se utilizaba la vasija de arcilla poco profunda la cual impedía el paso de calor de la tierra hacia la vasija, produciéndose una capa de hielo fina en la superficie de esta vasija, por los siglos catorce parte la utilización del método artificial con la utilización de nitrato de potasio y sódico convirtiéndose en el primer proceso químico de enfriamiento descubriéndose que con la mezcla del agua y sal se podía obtener la congelación del agua transformándose de estado líquido a sólido. En el año mil setecientos quince algunos científicos con la mezcla de nieve y nitrato de amónico logran bajar la temperatura de manera considerable de hasta los menos veinte grados pero no siendo constantes pero en el año 1805 se produce el enfriamiento mecánico que era su utilización de vapor en vez de líquido siendo básicamente la expansión del fluido mediante la evaporización, desarrollándose considerablemente hasta la obtención de sistemas de enfriamiento que contiene un compresor, condensador y una válvula de expansión siendo estos utilizados en la actualidad. (josebernad, 2020)

Cuando se habla de energía solar es fácil darse cuenta de que se hace referencia a la energía producida mediante el sol. Sin la luz proveniente del sol no existiría la llamada fotosíntesis, sin este proceso la vida animal y vegetal desaparecería. El calor del sol permite temperar el clima y evaporar el agua de los mares y océanos, para que de estos se formen nubes y sean devueltos en forma de lluvia hacia el planeta.

“A mediados del Siglo XIX, del físico francés Becquerel (ilustración 1) descubrió el efecto fotovoltaico (FV). En el año de 1905, Einstein proporciona la base teórica del fenómeno fotovoltaico, logrando así el premio nobel en física” (Gasquet H. L., 2004). Sin embargo, no es hasta 1954 que comienza la aplicación de estos sistemas en la necesidad de alimentar equipos de satélites espaciales sin combustibles fósiles y con una larga vida útil.

En el año de 1972, se comienza a aplicar los sistemas fotovoltaicos destinados a aplicaciones en la tierra. Desde ese año hasta la actualidad se ha tenido avances considerables, con esta tecnología junto con el crecimiento del mercado, permite una reducción de costos de unas 100 veces desde sus primeras aplicaciones, siendo hoy en día bastantes útiles y aplicables en todo el mundo por la eficiencia y por su facilidad de utilización en espacios lejanos o de difícil acceso

Geotermia hace referencia a calor de la tierra, produciéndose del calentamiento de la tierra y transformándose muchas veces en vapor obteniendo así aguas termales las cuales se utilizaban desde la antigüedad. La bomba de calor es un equipo que transfiere el calor de un espacio frío a otro espacio más caliente pero adjunta con la geotermia, considerándose varios desarrollos de prototipos ya que es considerado un equipo que se apega a las normativas, siendo muy respetuoso con el medio ambiente. (Trillo & Angulo, 2008)

En la actualidad en América los sistemas de bomba de calor, específicamente el Ecuador ocupa el sexto lugar de capacidad termal instalada siendo un promedio de 5.16 MWt iniciándose desde el 2005, también existen países ocupando capacidad de instalación elevadas con 350MWt como Brasil, seguido Argentina con 307MWt instalados, en América del Norte también existen países como México que ocupa una capacidad termal 155.82MWt (Harfard, Florez, & castellví, 2016)

El diseño del trabajo de investigación estará compuesto por la figura 1 que representa un diagrama de un sistema híbrido.

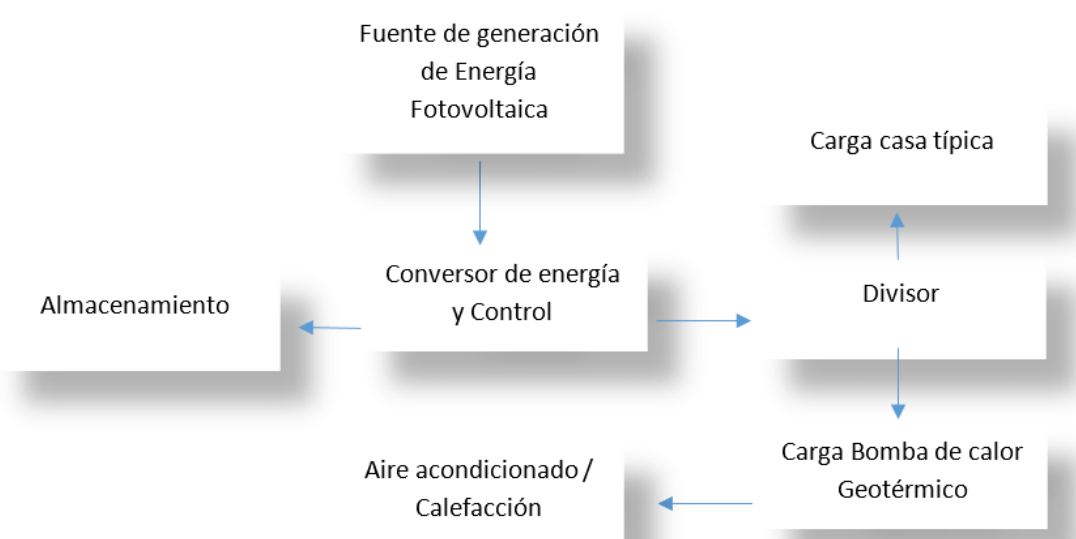


Figura 1. Diagrama básico de un sistema de generación eléctrica híbrido fotovoltaico y geotérmico
Fuente: Autor

En los paneles solares existen varios tipos entre comercialmente de tipo PV que llevan a tener una eficiencia de hasta 15%, sin embargo, el exceso de calor hace que se desperdicie y se disipe a la vez. (Fontenault & Gutierrez, 2012)

Una bomba de calor puede extraer energía de un sistema fotovoltaico / térmico (PV / T), el cual se lo puede utilizar para fines de calentamiento, ya sean para uso doméstico o inclusive Industrial. (Jakh, Sonu, & Gakkar., 2017)

Dentro de este trabajo de investigación, se pretende la obtención de datos de los componentes instalados en el Centro de investigación en Energías Renovables, CER, se procederá al ingreso de datos al software para realizar el análisis y validación de los valores obtenidos del sistema en modo operativo en el CER tanto en ambos sistemas tanto en fotovoltaico de 5.184KW/h teniendo en consideración la máxima radiación denominado HSP “hora solar pico” y con el sistema bomba de calor que consume 1KW .h por día pudiendo brindar 4KW/h para alimentar en nuestra investigación la casa tipo y así poder realizar la

validación de datos reales obtenidos y analizarlos conjuntamente en un solo sistema ya en funcionamiento.

Para el sistema de distribución de la bomba de calor se pretende analizar la longitud de la tubería de bucle de estos canales el diámetro varía en función de la temperatura y la conductividad térmica del suelo, la humedad del suelo, y el diseño del sistema (Harrison, 2017)

El sistema matemático se realizará con el fin de comprender como está operando el sistema híbrido y poder discutir el mismo (Sami, 2017)

La realización de este estudio, servirá para la identificación del costo del consumo de electricidad convencional en los hogares de la Amazonia Ecuatoriana y a su vez su eficiencia, autosustentable, confiable y la factibilidad, y para posteriormente analizar beneficios que llevaría la implementación de este sistema para la zona de estudio, con la verificación de curvas, graficas de generación, consumos, una vez realizado el estudio se podrá dar a conocer los resultados, conclusiones y recomendaciones a cerca de este tipo de sistemas de bombas de calor en la amazonia ecuatoriana pudiendo ser implementada a futuro.

2.2 Descripción de la bomba de calor

La bomba de calor es considerada una máquina térmica y opera de manera similar a un refrigerador domestico con la única diferencia que en el refrigerador se utiliza únicamente para enfriar ya sea un espacio o fluido. La bomba de calor es básicamente un dispositivo de climatización más eficiente que existen en la actualidad se basa de manera principal en la refrigeración por compresión, su elevada eficiencia hace que se aproveche las leyes de la física a su favor donde la bomba de calor absorbe el calor para transferir a otro tal como lo hacen las bombas hidráulicas con el agua. En la bomba de calor se puede utilizarse de dos maneras la primera para en enfriamiento y la segunda para la calefacción. La bomba de calor comprende de cuatro partes que se puede observar en el diagrama esquemático.

La fuente o sumidero de calor puede de ser de (aire, agua, o el subsuelo) donde si viene a ser como la fuente o el sumidero el subsuelo se conoce con el nombre de BCG “Bomba de calor Geotérmica” o GHP por sus siglas en el idioma inglés. (Ortega, 2017)

La tecnología de la bomba de calor conlleva la misma tecnología que un refrigerador o un aire acondicionado AC, entonces lo que hace la bomba de calor es únicamente mover el calor de un lugar a otro.



Figura 2. Diagrama esquemático de una bomba de calor
Fuente: Autor

En el diagrama esquemático de una bomba de calor de la figura 2 podemos observar que absorbe la energía Q_c de un depósito frío T_c y libera la energía Q_h a un depósito caliente a T_h este diagrama viene a ser similar que el de un refrigerador que se puede apreciar en la figura 3.

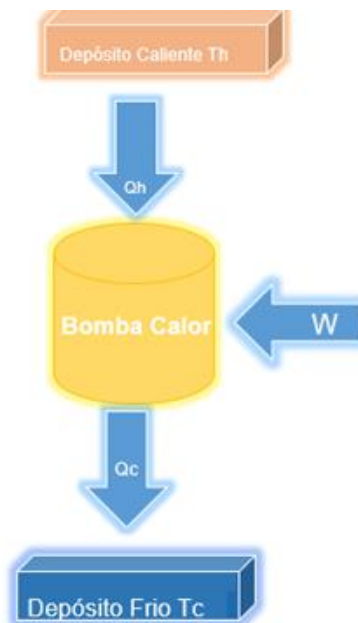


Figura 3. Diagrama esquemático de un aire acondicionado AC
Fuente: Autor

En la figura 3 se muestra que absorbe energía Q_h (condensador) de un depósito Frio T_c y libera energía Q_c (evaporador) a un depósito caliente. El trabajo W (compresor) se realiza sobre el refrigerador y se puede demostrar que una bomba de calor se puede utilizar para un espacio definido para calentar o enfriar el mismo ya que funciona de la misma manera.

En los estados norteamericanos comenzaron a lanzar al mercado estos productos alrededor del 2010. Donde competían grandes industrias tales como Incluyen GE, Rheem, AOSmith, Stlebel Eltron, entre otros ofreciendo distintas unidades de almacenamiento para el uso residencial entre 50 a 80 galones. (Colón, 2017)

En los sistemas de calefacción se consideran el avance tecnológico del siglo XXI por su eficiencia al analizar otros sistemas convencionales según la figura 4 (Cleantechnica, 2020)

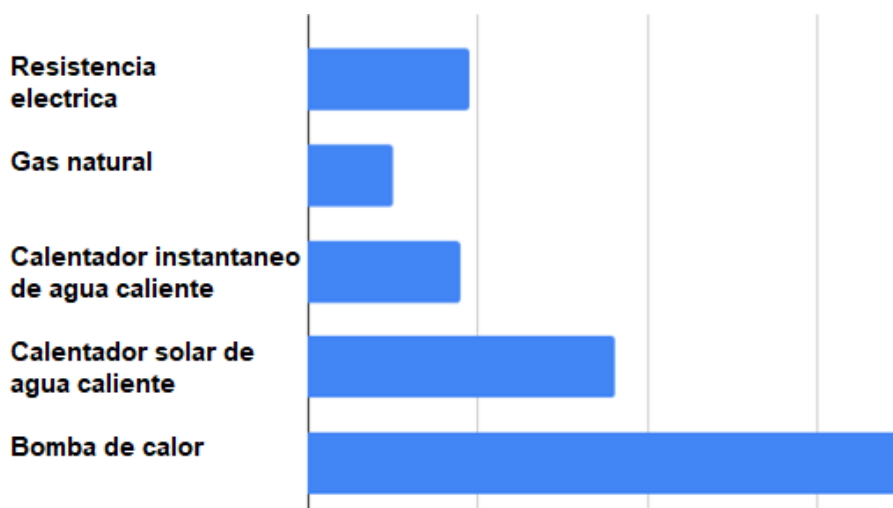


Figura 4. Eficiencia de los sistemas de calefacción
Fuente: (Cleantechnica, 2020)

2.3 Tipos de bombas de Calor.

Las bombas de calor y de energía solar/térmica tiene varias configuraciones entre ellas se han investigado por muchos años muchas de las configuraciones se ha mantenido estudiado previamente dentro de estos incluye configuraciones serie, paralelo, dual-fuente (la entrada de calor conmuta entre colector térmico o unidad exterior fan-coll) (Harrison, 2017)

Existen algunos tipos de sistemas de bombas de calor que se explicara a continuación con su respectiva clasificación que van a depender directamente del medio en el cual extraen la energía y del medio al cual ceden o entregan la energía como se logra apreciar en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de las Bombas de Calor
Fuente: Autor

TIPO	MEDIO DONDE EXTRAE LA ENERGIA TERMICA	MEDIO AL CUAL CEDE LA ENERGIA TERMICA
Agua - Agua	Agua	Agua
Agua - Aire	Agua	Aire
Aire - Aire	Aire	Aire
Aire - Agua	Aire	Agua
Tierra - Agua	Tierra	Agua
Tierra - Aire	Tierra	Aire

2.3.1 Bombas de calor Agua – Agua

En esta clasificación de agua – agua, la bomba de calor extrae energía de varias fuentes de agua, pero sus emisores son ventilos convectores como también radiadores de baja temperatura y suelo radiante como se puede observar en la figura 5. (Chávez E. , 2016)



Figura 5. Esquema bomba de calor geotérmica agua – agua
Fuente: Autor

2.3.2 Bombas de calor Agua – Aire

Este tipo de bomba extrae como fuente energía como aguas residuales, ríos, lagunas, mares, etc. para ceder al aire figura 6, las bombas térmicas tienen un rendimiento denominado COP, la distribución de calor se realiza mediante ductos como se puede observar en la figura 7 en el esquema de red de ductos simplificados. (Chávez E. , 2016), (Fuentes & Trapp, 2009)

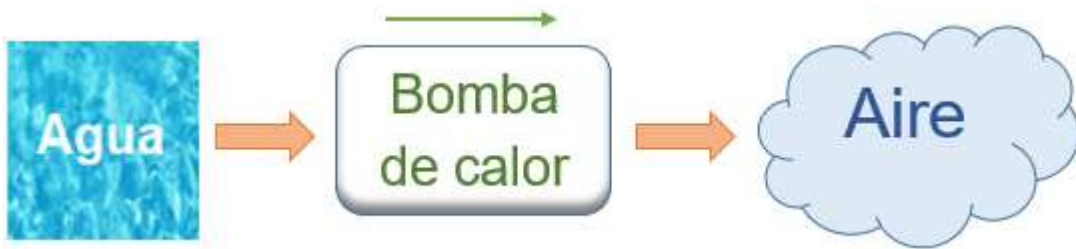


Figura 6. Esquema bomba de calor agua - aire
Fuente: Autor

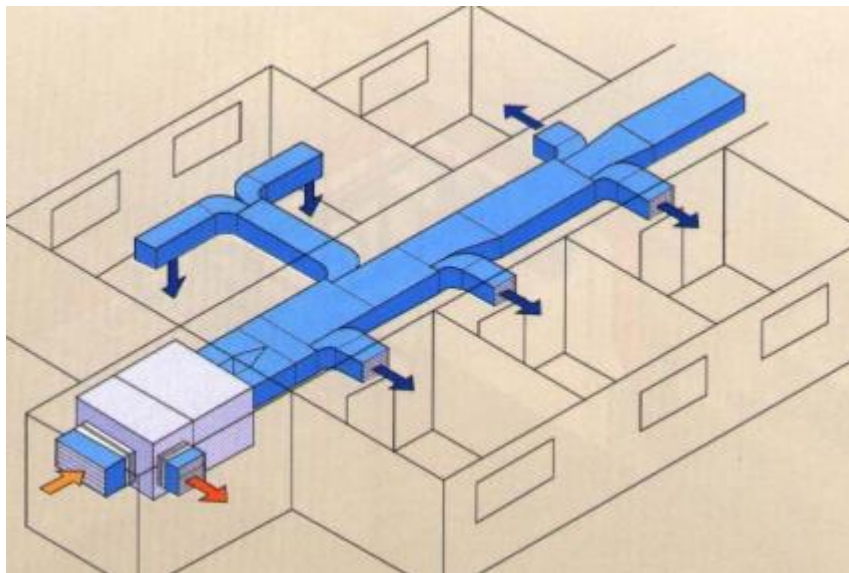


Figura 7. Esquema simplificado de una red de conductos

2.3.3 Bombas de calor Aire – Aire

Este tipo de bombas son utilizadas en la climatización, extraen como fuente principal el calor Atmosférico para ceder al interior de un departamento, vivienda o industria figura 8. (Chávez E. , 2016)

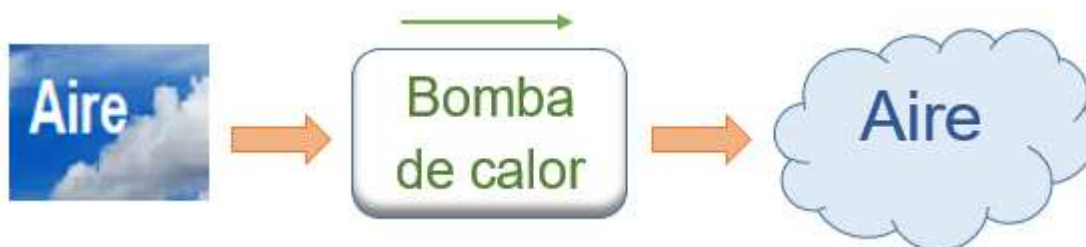


Figura 8. Esquema de bomba geotérmica de aire - aire
Fuente: Autor

2.3.4 Bombas de calor Aire – Agua

En este caso extraen como fuente el calor del aire y ceder energía calentamiento de agua fría, refrigeración, calefacción o usos sanitarios figura 9. (Chávez, 2016)

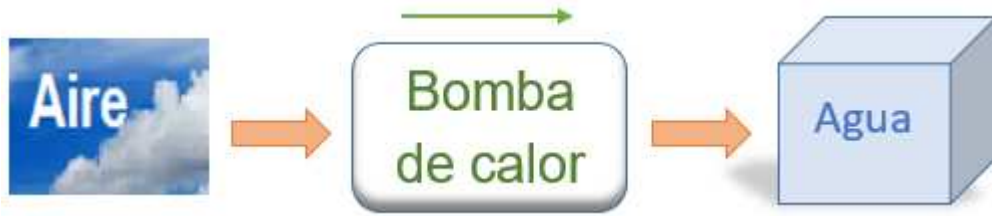


Figura 9. Esquema de bomba geotérmica de aire - agua
Fuente: Autor

2.3.5 Bombas de calor Tierra – Agua

En esta clasificación tierra – agua figura 10. La fuente principal de extracción de energía es el subsuelo y su utilización es para el calentamiento de agua, calefacción y agua sanitaria. (Chávez, 2016)

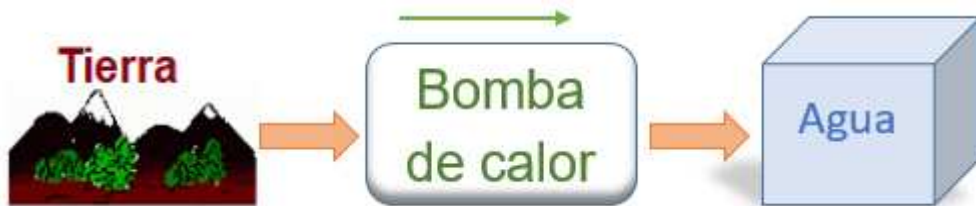


Figura 10. Esquema de bomba geotérmica de tierra - agua
Fuente: Autor

2.3.6 Bombas de calor Tierra – Aire

De similar manera en este caso la fuente la cual se obtiene la energía es el subsuelo y por lo general se utiliza para la climatización de espacios determinados figura 11. (Chávez, 2016)



Figura 11. Esquema de bomba geotérmica de tierra - aire
Fuente: Autor

2.4 Componentes de la bomba de calor.

Los componentes que se va a describir en esta investigación serán los principales dentro de un sistema de bomba de calor.

2.4.1 Compresores

Es considerada una máquina que admite un gas, lo comprime y la descarga a una presión mayor existen varios tipos de compresores dentro de ellas se puede decir que existen dos tipos el primero los compresores de función de desplazamiento positivo que pueden ser compresor a pistón como también de tornillo y de paletas, de lóbulos o émbolos rotativos, scroll y bombas al vacío el segundo tipo de denominan los compresores dinámicos que pueden ser compresores Centrifugos radiales y centrifugos Axiales (Gonzalez, 1991)

En el caso de la geotérmica cumple el proceso de comprensión de fluido haciendo que circule el refrigerante por todo el circuito el compresor será el encargado de realizar la elevación de la presión del refrigerante de tal manera que este es sobrecalentado hasta conseguir la presión deseada este proceso viene a darse a entropía constante (Ortega, 2017)

En los compresores tipo Scroll o también conocidos como tipo espiral su funcionamiento se puede observar mediante la figura 12 donde nos muestra las etapas de compresión del mismo, el componente principal viene a ser una espiral inmóvil o fija y otra móvil, las cuales se encuentran encajadas en el interior de la otra, la espiral móvil realiza movimientos orbitales alrededor de la espiral inmóvil, los movimientos orbitales dirigen al gas hacia el centro, al provocar este desplazamiento va acompañado de una presión de reducción en su volumen hasta llegar a su desaparición total consiguiendo así el ciclo de compresión del fluido. (Ruiz, 2016)

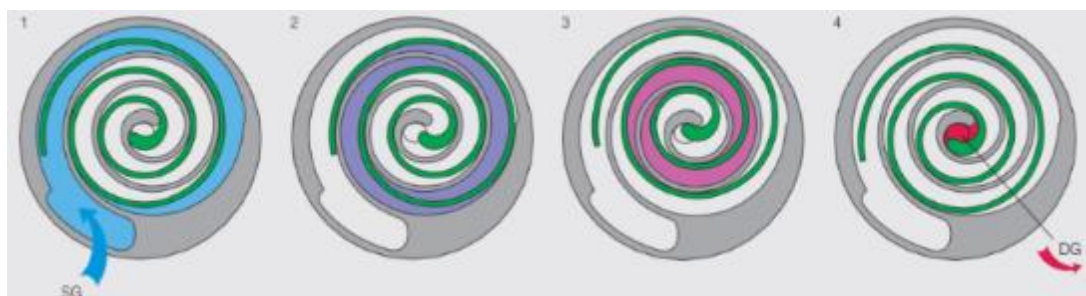


Figura 12. Etapas de compresión del un compresor "Scroll"
Fuente: (Ruiz, 2016)

En la figura 13. Se observa el tipo de compresor rotativo hermético, en su representación física del centro de investigación de energías renovables de la universidad

católica de cuenca este compresor funciona a 220V es de modelo RB174GHAC y utiliza en refrigerante de tipo 134A.



Figura 13. Compresor hermético tipo rotativo
Fuente: Centro de Energías Renovables universidad católica de Cuenca

Los compresores herméticos son los que están encapsulados dentro de sí misma carcasa con el aceite por lo general son muy utilizados en ciclos frigoríficos de potencias bajas como se puede observar en el esquema (a) de la figura 14.

En los compresores semi-herméticos el motor esta bañado por gas, este tipo de compresor es hermetizado completamente en su construcción ya que por eso impide los ingresos tanto de aire como de polvo y no utilizan refrigeración auxiliar del motor en la misma figura 14 (b) podemos observar si esquema.

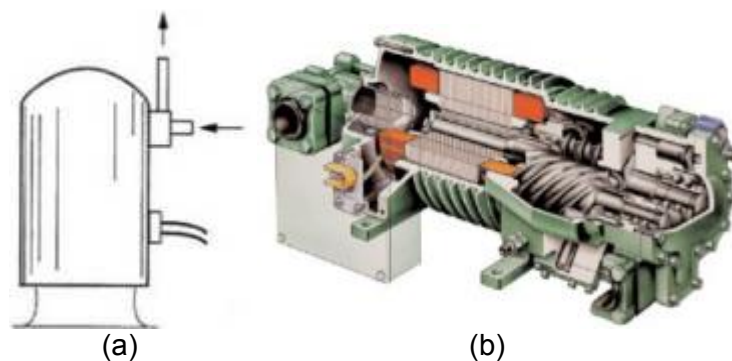


Figura 14. Compresores herméticos y semi-herméticos
Fuente: (Ruiz, 2016)

Existen compresores de tipo tornillo en un compresor rotativo su funcionamiento está compuesto por varias etapas la primera denominada de aspiración que es cuando el fluido ingresa hasta cubrir toda la longitud de entre la longitud de la rotación llenando los espacios

de carcasa, alvéolos y su carcasa a medida que los engranajes de los rotores se aproximan hacia el lado de descarga tras esta etapa comienza la de compresión donde el fluido se disminuye en volumen figura 15.



Figura 15. Esquema de un compresor tipo tornillo
Fuente: (Ruiz, 2016)

En la figura 16 (a) se puede observar un compresor abierto por lo general es más utilizado en sistemas de aire acondicionado AC considerándose básicamente más versátiles y accesibles los cuales se suelen utilizar en escalas medianas y grandes potencias, los compresores abiertos son totalmente prácticos en la facilidad de accesibilidad tanto para mantenimiento y reparación, la transmisión de este sistema se realiza en el exterior por medio de correas al utilizar las mencionadas correas se puede existir al momento de operación problemas de vibraciones para ello es necesario que se encuentre en correcta alineación como también la tensión de las mismas.

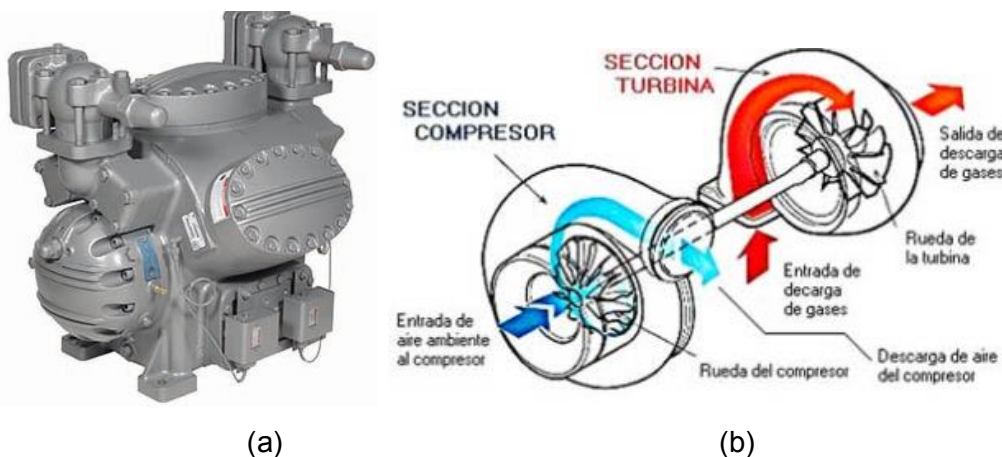


Figura 16. Compresor abierto – centrifugo o turbo compresor
Fuente: (www.directindustry.es)

En la figura 16 (b) se observa un compresor centrífugo también conocido como turbo compresor El compresor centrífugo utiliza básicamente la fuerza centrífuga que se obtiene o es provocada por la gran velocidad periférica en que el fluido sale de los álabes de la parte del rotor, velocidad al transportarse siendo está constantemente a través de un difusor con la resultante caída abrupta en su velocidad, produciéndose el famoso efecto de la contrapartida

ósea un aumento representativo de la presión. En algunos compresores centrífugos como por ejemplo es lo que sin de una sola etapa, con caja de engranajes, según la descripción mencionada se consideran estas máquinas como de velocidades altas la cuales son prácticamente capaces de manejar volúmenes bastante altos o grandes de gas refrigerante con bajas relaciones de compresión en modo de operación.

2.4.2 Válvula de Expansión.

La válvula de expansión cumple la función de la inicialización para el proceso de la evaporación del refrigerante a la salida del condensador este proceso se realiza de la siguiente manera realizando un cambio extremo de área, disminuyendo la presión del refrigerante empieza por conductor más pequeños la llamada evaporización figura 17, ósea el proceso de evaporación comprenden en llevar la presión del refrigerante por debajo de la presión de saturación del mismo.

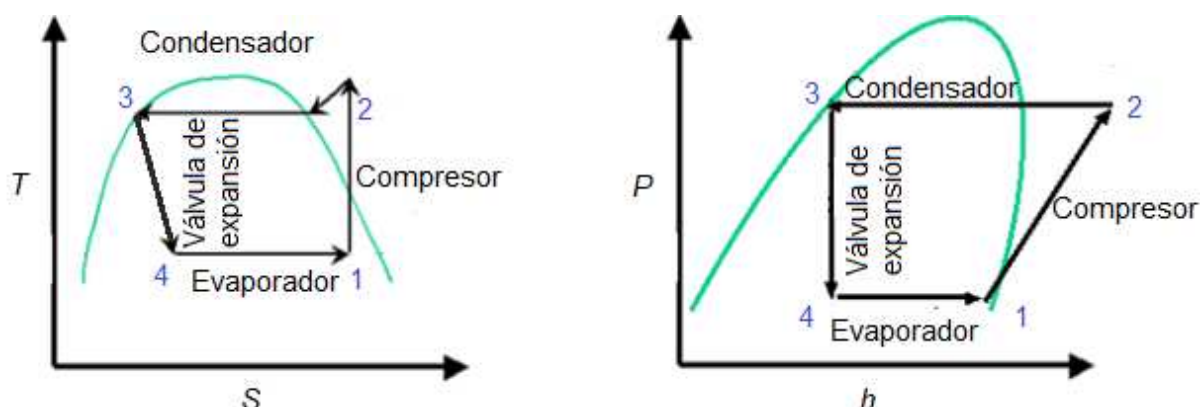
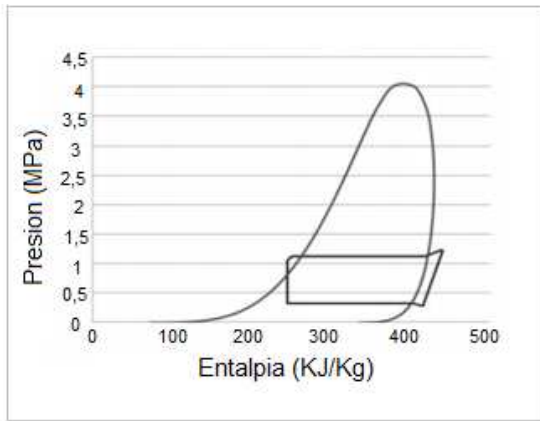
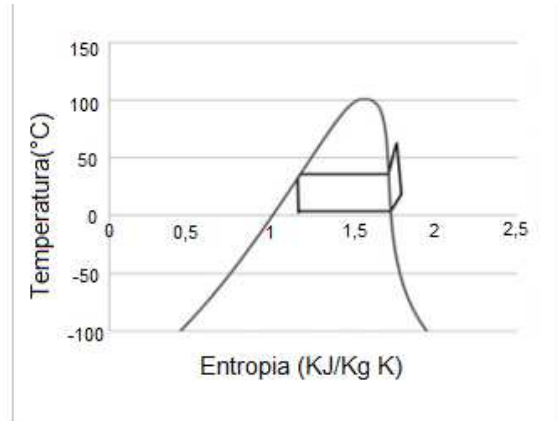


Figura 17. Diagrama de temperatura entropía T-s y Presión Entalpía P-h de una bomba de calor simple
 Autor: (Ortega, 2017)

Para describir las figuras 17 y 18 partimos que la entalpía es la energía que un sistema puede intercambiar su entorno mientras que la entropía es la energía que contiene un sistema esto quiere decir que las dos son inversamente proporcionales ósea cuando la entropía se encuentre en un punto máximo la entalpía será mínima y viceversa. Entonces el diagrama que se muestra de presión-entalpía viene dado por el ciclo real de refrigeración, si se observa la figura 18 (a) es el comportamiento el refrigerante 134a. representando la presión de condensación, el valor cambia de acuerdo a la temperatura ambiente la que se esté operando y a la presión de evaporación disminuye prácticamente siendo conforme la temperatura del espacio a enfriar disminuye también, y para tener una mejor eficiencia COP del refrigerante sus valores deben ser lo más pequeño que sea permitido. (Rangel Carlos & Diana, 2017). En la Figura 18 (b) se muestra el comportamiento del refrigerante de temperatura-entropía, observando que en el compresor es donde se presenta la mayor pérdida de energía, se puede revisar la gráfica completa en el ANEXO 1.



(a)



(b)

Figura 18. Diagrama Presión - Entalpia y Temperatura - Entropía
Fuente: (Rangel Carlos & Diana, 2017)

En la figura 19 se puede observar la válvula de manera física de expansión de la bomba de calor que se va a utilizar para el análisis práctico de este trabajo de investigación.



Figura 19. Válvula de expansión de una bomba de calor
Fuente: Centro de Energías Renovables universidad católica de Cuenca



Figura 20. Tubo Capilar
Fuente: (<https://0grados.com.mx/>, s.f.)

En la figura 20 se puede observar el tubo capilar donde este componente tiene en su estructura una composición de cobre el cual mantiene controlada la presión con que el flujo del refrigerante R-134a circula entre el condensador siendo el (lado de alta presión) y el evaporador (baja presión), realizando la transformación de estado líquido a vapor con el propósito de igualar la temperatura del líquido a la de saturación del evaporador.

En la bomba de calor el dimensionamiento en la válvula va a depender directamente de las condiciones del sumidero de calor ósea dependiendo de la profundidad – la temperatura del suelo en el que nos encontremos – nuestro dimensionamiento cambiara como también las especificaciones de la válvula porque va a depender directamente de la temperatura del sumidero envase a este factor también cambiara la presión para la inicialización de la evaporación (Ortega, 2017)

En las bombas de calor se encuentran las Válvula con capacidad de 4 vías que se muestra en la figura 21, siendo este instrumento primordial para que pueda funcionar un equipo en modo AC (aire acondicionado) en función de calor.

En la válvula de cuatro vías tiene un principio de funcionamiento basándose en una bobina electromagnética que tiene la capacidad de poder modificar según el requerimiento el cambio de dirección del flujo o inversión del mismo. Con esta operación el evaporador se convierte siendo ahora en el condensador y de forma viceversa el condensador se convierte en el evaporador.



Figura 21. Válvula de 4 vías
Fuente: Autor

2.4.3 Intercambiadores de Calor.

Los intercambiadores son los que actúan en procesos de condensación y evaporización existen para varios usos que los quiera dar donde lo principal es que fluidos se va a manejar, presiones como también la carga térmica.

2.4.4 Condensador.

Es un sistema que elimina calor por intercambio entre ellas mediante un refrigerante cual quiere con el que opere la maquina a una presión y temperatura que viene en el generador, se caracteriza por su función constructivo ya que las orientaciones del fluido pueden ser paralelo, contraflujo, flujo cruzado, etc. Y se tiene diferentes tipos que se va a indicar a continuación (Laura & Rodrigo, análisis y simulación mediante CFD (computacional fluid dynamics) de ansys del comportamiento térmico del refrigerante 134a en un condensador dentro de un ciclo de refrigeracion, 2018)

Tabla 2. Tipos de condensadores

Fuente: Autor

CONDENSADORES ENFRIADOS POR AIRE	ESTÁTICOS (TIRO NATURAL)
	DINÁMICOS (TIRO FORZADO)
CONDENSADORES ENFRIADOS POR AGUA	DE DOBLE TUBO
	DE INMERSIÓN

En la tabla 2 de observa que existen dos tipos de el enfriamiento el cual puede ser por aire por agua se denota en la tabla mencionada dentro de los condensadores estáticos o de tiro normal son los que son enfriados por el aire de ambiente mientras que los enfriados por aire dinámicos o de tiro forzado tienen un motor ventilador el cual obliga que el aire fluya a través del condensador, los condensadores enfriador por agua existen los de doble tubo se refiere a que existe un tubo pasa externo el cual consta de agua y el medio otro tubo el cual fluye dentro del mismo el refrigerante en los enfriadores multi-tubulares por lo general se utiliza en calderas estos consta de varios ingresos y salidas en las cuales se encuentran sumergidas en el agua.

2.4.5 Condensador estático tipo serpentín o natural.

Es un tubo prolongado o largo con un diseño o forma de serpentín figura 22, Su función es absorber el fluido que entrega el compresor. Aquí circula gas licuado y caliente, va pasando el calor que tiene el gas al aire externo donde es por el cual pasa por el serpentín enfriando convirtiéndose en líquido al transformarse el estado líquido es donde puede realizar el calentamiento del aire en el exterior.



Figura 22. Condensador estático tipo serpetin tiro natural
Fuente: Autor

2.4.6 Condensador espiral tiro forzado.



Figura 23. Condensador tiro forzado
Fuente: (<http://www.tratohosteleria.com/>, s.f.)

En la figura 23 se observa un sistema de condensador dinámico de tiro forzado, consta de un tejido tipo serpetín ya sea de cobre como también de aluminio tiene aletas incrustadas en su estructura para enfriar y adicionalmente tiene un ventilador el cual sirve para circular aire a través de él, por ello es su nombre de forzado ya que su enfriamiento es mediante el ventilador que hace que los serpentines no se queden en caliente. La transferencia puede obtener de la siguiente manera forzando grandes cantidades de aire fresco a través del serpetín con la ayuda del uso de un ventilador donde este ventilador por lo general es de tipo axial. El aire al ser forzado a través de un condensador viene a absorber el calor considerablemente y a elevar su temperatura.

2.4.7 Condensador enfriado por agua de doble tubo.

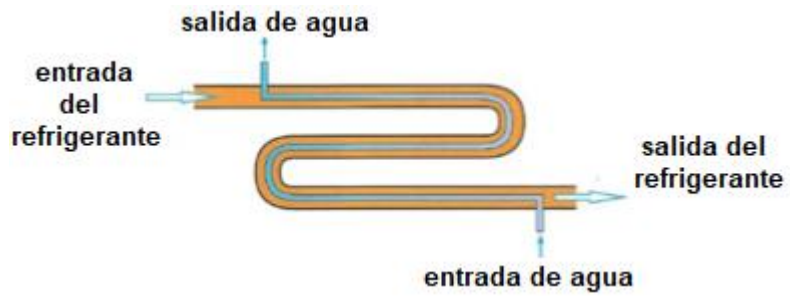


Figura 24. Condensador por agua de doble tubo o multi tubo
Fuente: Autor

En la figura 24 se observa un condensador el cual es enfriado por agua de doble tubo ya que por el tubo interno pasa el agua y así enfría el sistema y así por el tubo externo es por donde pasa el refrigerante entregando calor o frío al agua.

2.4.8 Condensador enfriado por agua de inmersión

El diseño de un condensador de tipo espiral a agua consiste en un par de láminas en forma de un espiral enrolladas como se puede observar en la figura 25 alrededor de un eje que va formando conductos paralelos de la misma forma que se enrolla (espiral) el espacio entre laminas se mantiene por que se encuentran soldadas a una especie de parar, estos canales que forman en la espera se encuentran encerrados en extremos para que sus fluidos no se mezclen de ninguna manera.

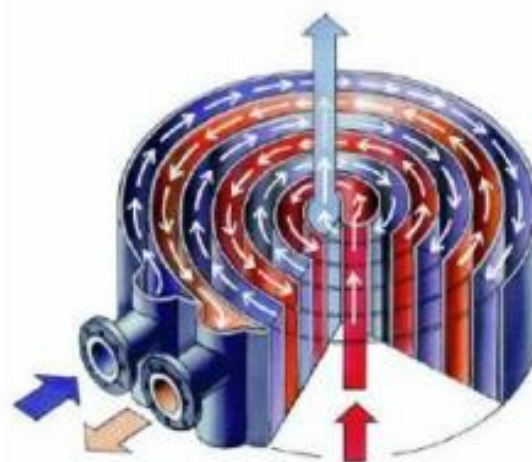


Figura 25. Condensador en espiral a agua
Fuente: (Laura & Rodrigo, 2018)

2.4.9 Evaporador

Este elemento hace que el líquido se vaporiza a presión y temperatura constante gracias al calor suministrado por el gas refrigerante en el caso de CER refrigerante R-134a todo refrigerante se vaporiza completamente en este elemento figura 26.

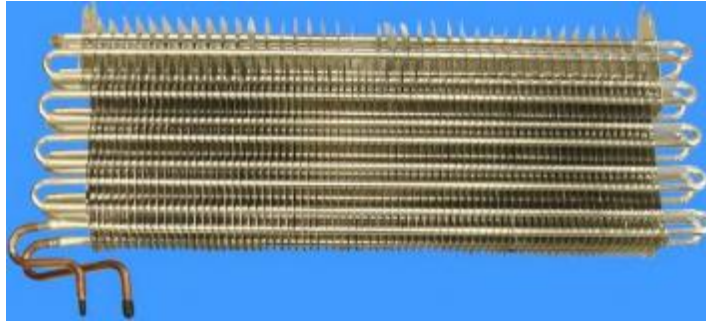


Figura 26. Evaporador enfriado por aire
Fuente: Autor

Los evaporadores se pueden clasificar en dos tipos que son de intercambiador de calor Enfriadores líquido que pueden ser figura 27, sumergido multi-tubular y de placas) en sumergidos de placa o multi-tubular y enfriadores de aire que pueden ser; tubos lisos de circulación natural o forzada.

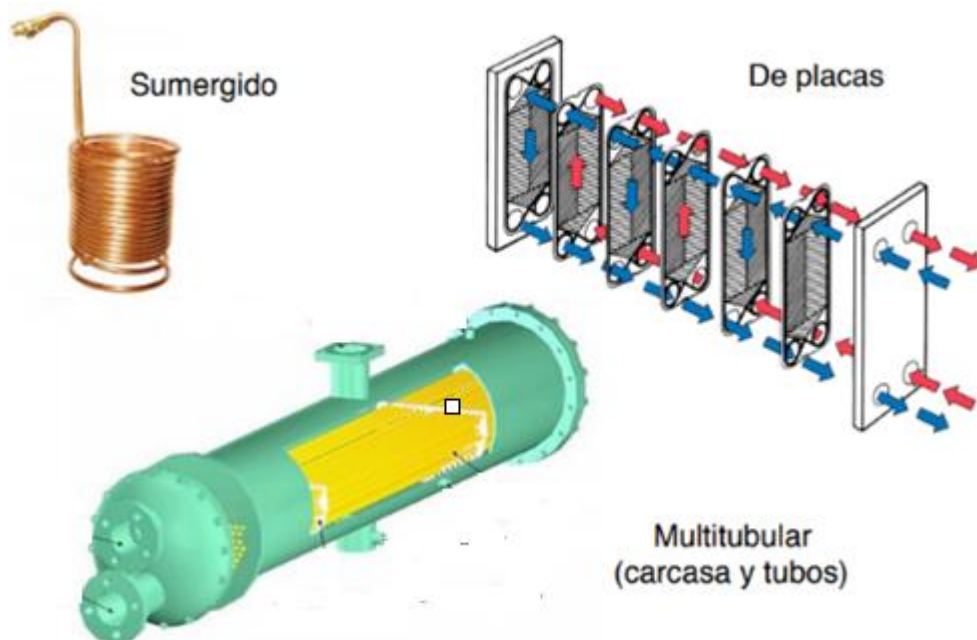


Figura 27. Clasificación de los evaporadores
Fuente: (Ortega, 2017)

En el evaporador y compresor se interconectan entre ellos donde el refrigerante pasa por ambos elementos para el intercambiador de calor con la corriente a un fluido constante. (Cimmino & Wetter, 2017)

2.4.10 Refrigerante

Los refrigerantes o también conocidos como fluidos frigoríficos se dividen en dos en refrigerantes primarios o frígidos que transportan con cambios de estado el calor latente absorbiendo calor latente a baja temperatura y presión para cederlo a alta temperatura y presión estos se dividen en tres grupos refrigerantes o gases (CFC), estos siendo hidrocarburos totalmente hidrogenado donde todos sus hidrógenos están sustituidos por componentes tales como el cloro y flúor tiene la mayor capacidad de destrucción en la capa de ozono, refrigerantes (HCFC) siendo hidrocarburos hidrogenados que contienen un átomo de hidrogeno en su molécula y contribuyen en el efecto invernadero puede durar en la atmosfera entre 12 y 28 años son refrigerantes de transición que han sido la sustitución a los CFC, refrigerantes HFC estos no contienen cloro en su estructura molecular esto quiere decir que no provocan daños a la capa de ozono y se denominan refrigerantes definitivos entre ellos se puede encontrar de fluidos puros como **R-134a** y **R-23** entre otros como y existen los No Halogenados como el propano, butano, isobutano, etc. (www.caloryfrio.com)

En el mercado existen diferentes tipos de refrigerantes donde se identificará por su fórmula química, nombre químico y su identificación Tabla 3.

Tabla 3. Ficha técnica de refrigerantes comerciales más utilizados
Autor: (Rodríguez, 2018)

Identificación	Nombre químico	Fórmula química
R22	Clorodifluorometano	$CHClF_2$
R134a	1,1,1,2-Tetrafluoretano	CH_2FCF_3
R170	Etano	CH_3CH_3
R290	Propano	$CH_3CH_2CH_3$
R600	Butano	$CH_3CH_2CH_2CH_3$
R600a	2-Metilpropano (Isobutano)	$CH(CH_3)_3$
R1270	Propileno	CH_2CHCH_3
R717	Amoníaco	NH_3
R744	Bióxido de carbono	CO_2
R404A(HP62)	Mezcla HFC (R125-R143a-R134a)(44%-52%-4%)	-
R407C	Mezcla HFC-HFD (R134a-R125-R32)(52%-25%-23%)	-
R410A	Mezcla HFC-HFC-HFD (R125-R32)(50%-50%)	-
MO29(R402D)	Mezcla HFC-HC (R134a-R125-R500a)(31.5%-65.1%-3.4%)	-
MO49(R413A)	Mezcla HFC (R134a-PFC218-R600a)(88%-9%-3%)	-
MO59(R417)	Mezcla HFC-HC (R134a-R125-R500a)(31.5%-65.1%-3.4%)	-
MO79(R422A)	Mezcla HFC-HC (R134a-R125-R600a)(85.1%-11.5%-3.4%)	-
HFO 1234yf	2,3,3,3-Tetrafluoropropeno	CF_3CFCH_2
R507	Mezcla HFC (R125-R143a-R134a)(50%-50%)	-

Las propiedades termodinámicas y físicas se representan en las Tablas 4 y 5.

Tabla 4. Propiedades termodinámicas
Autor: (Rodríguez, 2018)

Refrigerante	Temperatura de congelación a 1.013 bares	Temperatura de evaporación a 1.013 bares	Presión de congelación a 25°C	Temperatura crítica a 1.013 bares	Presión crítica absoluta
	°C	°C	kPa	°C	kPa
R134a	-103.3	-26.5	-665.7	101.2	4076
R600	-138.29	-0.54	242.65	151.98	3796
R600a	-159.6	-11.75		134.66	3629

Tabla 5. Propiedades Físicas
Fuente: (Rodríguez, 2018)

Refrigerante	Masa Molecular	Densidad líquido a 1.013 bares en el punto de ebullición	Densidad vapor a 1.013 bares en el punto de ebullición	Volumen específico en fase vapor a 1.013 bares	Calor latente de vaporización a punto ebullición
	kg/mol	kg/m ³	kg/m ³	m ³ /Kg	KJ/kg
R134a	102.3	1376	5.278	0.2035	216.92
R600	58.12	601.26	27.093	0.3949	385.71
R600a	58.12	593.82	28.265	0.3786	365.101
R22	86.47	1.409.17	47.039	0.2262	233.75
R407C	86.2	1134	4.6	0.2242	249.9
R410A	72.59	1062	4.12	0.2569	276
R290	44.1	581	2.427	0.441	425.5
R404A	97.61	1048	5.41	0.1955	200
R170	30.07	543.83	2.054	0.5166	489.4
R717	17.03	681.97	0.889	11.853	1359.5
R744	44.01	763	1.83	0.3723	131.59
R1270	42.08	504.45	1.762	0.4508	286.26
MO29 (R402D)	109.9	1144	5.88	0.1763	190.22
MO49 (R413D)	103.7	1188	3.9	0.1868	211.6
MO59 (R417A)	109	1149	5.61	0.1808	197.9
MO79(R422A)	116	-	6.25	0.1641	175.8
HFO 1234yf	114.04	-	5.98	0.1798	-
R507	98.9	1237	5.51	0.1925	200.5

El refrigerante **R-134a** es considerado que tiene origen Sintético según los fabricantes este es uno de los más utilizados a nivel mundial por sus características termodinámicas y sus condiciones ambientales este refrigerante tiene un ODP = 0 y GWP= de 1430 y 1830, también este refrigerante representa entre los valores de volumen específico en fase vapor, al analiza las tablas anteriores de información técnica de cada fabricante de los diferentes refrigerantes el favorable el **R-134a** según la siguiente tabla de propiedades.

El refrigerante **R-134a** es utilizado en sistemas de climatización ya que posee características frigoríficas, son fabricados especialmente para compresores herméticos. Siendo el más utilizado para ciclos de refrigeración

GWP o PCA con su significado en español que es el (potencial de calentamiento atmosférico) hace referencia a que tan nocivo es el gas a la atmosfera, entonces la razón por la cual se utiliza el refrigerante **R-134a** en esta investigación, la razón que es considerado un refrigerante verde o bajo de potencial de calentamiento atmosférico como el **R-134a** y **R-410a** siendo estos gases de bajo GWP. En los sistemas de refrigeración como supermercados y centro comerciales utilizan en sus máquinas de refrigeración gases fluorados tales como el **R-134a** HFC (hidrofluorocarburos se compone de hidrogeno H, Flúor F y carbono C y el refrigerante **R-404a** el cual es una mezcla de HFC que se utilizan en equipos de refrigeración a gran escala, en los sistemas de aire acondicionado solo se utilizan gases fluorados tales como el **R-410a**, **R407C** siendo estas refrigerantes mezclas de HFC. En sistemas de bomba de calor se utilizan gases fluorados como el **R-134a** puro de HFC y el **R-407C** que es una mezcla de HFC y principalmente se utiliza como refrigerantes en sistemas de bomba de calor, el refrigerante **R-134a** tiene un potencial de calentamiento atmosférico de 1430 Tabla 5. Este refrigerante se está utilizando en esta investigación porque es un refrigerante que se encuentra libre de cloro ósea sin (CFC's y HCFC).

El refrigerante **R-134a** no es explosivo no es irritable ni toxico ni corrosivo a comparación de otros refrigerantes como por ejemplo con el **R-12**, el **R-134a** tiene mejor conductividad de calor esto quiere decir que reduce de manera representativa el consumo del gas o refrigerante al no necesitar más trabajo para obtener los resultados deseados de temperatura, siendo así el más eficiente para nuestro sistema la bomba de calor.

El refrigerante **R-134a** al ser un gas HFC el cual se utiliza en aires acondicionados y refrigeradores, y en sus características destaca que no daña a la capa de ozono, tiene una gran estabilidad tanto térmica como química además una buena compatibilidad con la mayoría de los elementos, tiene un nivel muy bajo de toxicidad y no es inflamable, en la Tabla 6 podemos observar la gráfica de presión y temperatura dado por el fabricante de su comportamiento.

Tabla 6. Propiedades de los refrigerantes
 Autor: (Rodríguez, 2018)

Refrigerante	PAO (ODP)	PCG (GWP) 100 años	Clasificación de seguridad	Temperatura de congelación a 1.013 bares	Temperatura de evaporación a 1.013 bares	Densidad líquido a 1.013 bares en punto de ebullición a 1.013 bares en punto de ebullición	Densidad vapor a 1.013 bares en punto de ebullición a 1.013 bares en punto de ebullición	Calor latente de vaporización a punto de ebullición
				°C	°C	Kg/	Kg/	KJ/Kg
R134a	0	1430	A1	-103.3	-26.5	1376	5.278	216.92
R600	0	3	A3	-138.29	-0.54	601.26	27.093	385.71
R600a	0	3	A3	-159.6	-11.75	593.82	28.265	365.101
R290	0	3	A3	-187.3	-42.1	581	2.427	425.5
R170	0	3	A3	-182.8	-88.6	543.83	2.054	489.4
R717	0	0	B2	-151	-33.33	681.97	0.889	1369.5
R744	0	1	A1	-56.57	-78.5	763	1.83	131.59
R1270	0	2	A3	-185.25	-47.8	504.45	1.762	286.26

Y los fluidos secundarios que en la transmisión de calor se realiza sin cambio de estado en forma de calor sensible 16.85 potencia 16.77.

Tabla 7. Nombre químico y formula del refrigerante R-134a
 Fuente: Autor

REFRIGERANTE		
R	←	Refrigerante
1	←	$2C-1 = 1$
3	←	$2H+1 = 3$
4	←	$F + F_3 = 4$
A	←	isómero = A

En la tabla 7 describimos la composición química y el significado del cómo se construye su nombre ya que este refrigerante tiene la letra a en el final ya que es un isómero, su fórmula química es CH_2FCF_3 (Carreño & Jadán, 2013)

En la Tabla 8, se pueden observar que en la tabla indica diferentes tipos de grados a los que puede trabajar el refrigerante y como actúa tanto la densidad la presión, entalpia y entropía, por otra parte, en la Tabla 9, se muestra todas las propiedades físicas del refrigerante **R-134a**. (gas-servei, 2018)

Tabla 8. Tabla de presión / temperatura refrigerante R-134a
 Fuente: Autor

TEM. (°C)	PRESION ABSOLUTA (bar)		DENSIDAD Kg/m ³		ENTALPIA (Kj/Kg)		ENTALPIA (Kj/Kg.K)	
	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO
-40	0.51	0.51	1413.94	2.76	149.45	375.65	0.8008	1.7710
-35	0.66	0.66	1399.95	3.50	155.53	378.93	0.8266	1.7646
-30	0.84	0.84	1385.72	4.39	161.67	382.20	0.8521	1.7590
-25	1.06	1.06	1371.24	5.45	167.88	385.45	0.8773	1.7540
-20	1.32	1.32	1356.46	6.71	174.16	388.69	0.9023	1.7497
-15	1.63	1.63	1341.36	8.19	180.51	391.90	0.9270	1.7458
-10	2.00	2.00	1325.92	9.92	186.93	395.07	0.9515	1.7425
-5	2.42	2.42	1310.10	11.92	193.43	398.20	0.9759	1.7395
0	2.92	2.92	1293.86	14.23	200.00	401.28	1.0000	1.7369
5	3.49	3.49	1277.17	16.89	206.65	404.30	1.0240	1.7346
10	4.14	4.14	1259.99	19.93	213.38	407.25	1.0478	1.7325
15	4.88	4.88	1242.27	23.40	220.20	410.13	1.0714	1.7306
20	5.71	5.71	1223.96	27.34	227.11	412.92	1.0950	1.7288
25	6.65	6.65	1205.00	31.81	234.11	415.62	1.1184	1.7272
30	7.70	7.70	1185.33	36.88	241.21	418.20	1.1417	1.7256
35	8.88	8.88	1164.58	42.62	248.42	420.67	1.1650	1.7240
40	10.18	10.18	1143.58	49.08	255.74	423.01	1.1882	1.7223
45	11.62	11.62	1121.32	56.40	263.19	425.20	1.2114	1.7206
50	13.20	13.20	1197.98	64.66	270.77	427.23	1.2346	1.7187

Tabla 9. Propiedades físicas R-134a
Fuente: Autor

PROPIEDADES FISICAS	UNIDAD	R134A
Formula química		$CH_2F - CF_3$
Nombre químico		1,1,1,2-Tetrafluoroetano
Peso molecular	(Kg/Kmol)	102
Punto de ebullición	(°C)	-26.2
Punto de congelación	(°C)	-101.1
Temperatura crítica	(°C)	101.1
Presión crítica	(bar)	40.67
Densidad crítica	(Kg/l)	0.51
Densidad del liquido (25°C)	(Kg/l)	1,206
Densidad del liquido (0°C)	(Kg/l)	1,293
Densidad del vapor (25°C)	(kg/ m ³)	32.25
Densidad del vapor (0°C)	(kg/ m ³)	14.41
Presión de vapor (25°C)	(bar)	6,657
Presión de vapor (0°C)	(bar)	216.4
Viscosidad del líquido (25°C)	(cP)	0.202
Presión superficial (25°C)	(mN/m)	7.9
Solubilidad del R-134a en agua	(%)	0.15
Capacidad volumétrica refrig (-25°C)	(kg/ m ³)	1192.11
Inflamabilidad		No

En el ANEXO 1 mostramos en diagrama de Mollier del refrigerante que vamos a utilizar en esta investigación del R-134a P-H (Presión – Entalpía) y T-S (temperatura- Entropía).

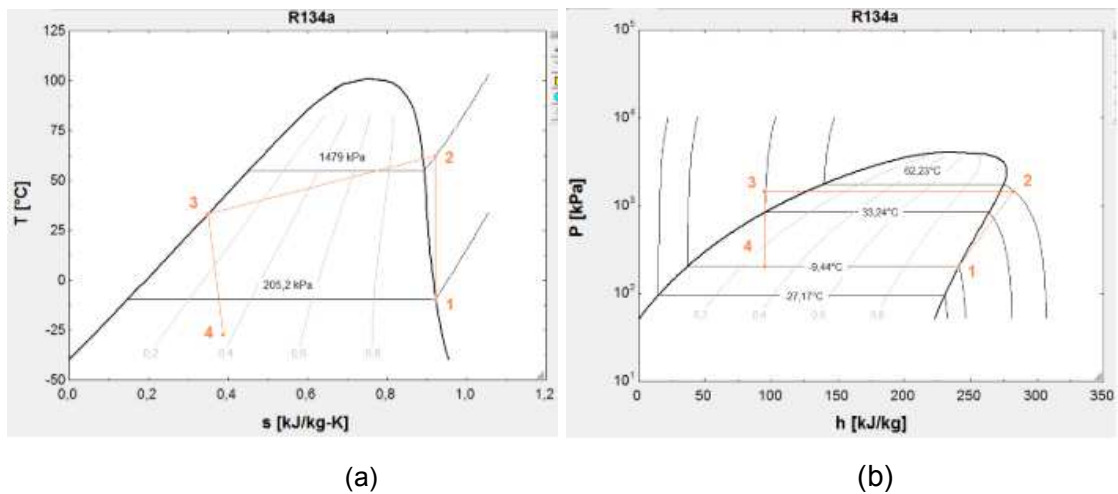


Figura 28. Diagrama P-H presión - entalpía vs T-S temperatura – entropía
Fuente: Autor

En la figura 28(a) se observa un esquema del ciclo de refrigeración ideal del refrigerante R-134a, con la temperatura frente a la entropía mientras que en la figura 28(b) muestra el esquema presión frente a la entalpía este diagrama son simulados en el software EES, en la figura se observa las entalpías de h1 que es la salida del evaporador o a la vez en la entrada del compresor donde se puede determinar el calor que intercambia con su entorno; h2 es la salida del compresor o entrada hacia el condensador; h3 y h4 es donde se realiza una expansión para posterior enfriar en el evaporador.

2.5 Energía Geotérmica.

La energía Geotérmica es el calor de la Tierra este calor interno calienta las capas de dos volúmenes de hidrogeno y unos de oxigeno con su fórmula química como el H2o el agua estos al ascender la misma viene a calentarse donde produce vapor como se puede observar en las fuentes termales. El núcleo de nuestro planeta tierra es una esfera de magma a temperaturas y presión extremadamente altas donde el calor aumenta de manera considerable a medida que se desciende en los pozos petrolíferos a una distancia aproximada de cuatro km se puede alcanzar grados de cien grados centígrados (Ortega, 2017)

La geotérmica de baja energía es un tipo de energía que se encuentra entre los rangos de 50 hasta 150 grados centígrados a distancias de profundidad comprendidos de cero a dos

mil metros donde estas temperaturas permiten ser utilizadas en uso de calefacción de hogares, fines agrícolas y para la balneología figura 33 (Sami & Jorge, 2017)

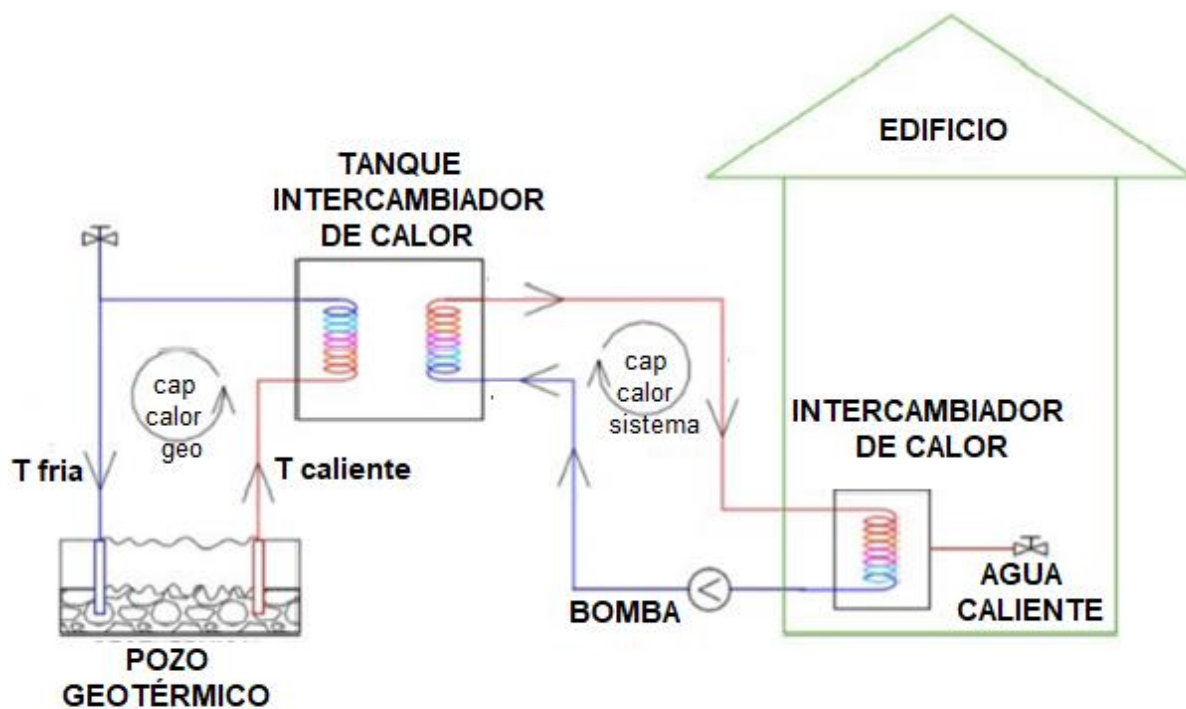


Figura 29. Subsistema de energía geotérmica
Autor: (Sami, 2017)

Existen dos tipos de bombas de calor las que son conectadas al suelo y se clasifican en tres ramas que son conectadas directamente al subsuelo, directamente conectadas a una fuente de agua y también conectadas a una fuente superficial de agua y estos pueden ser mares, ríos o lagos este tipo de bomba de calor geotérmica que va conectada directamente al suelo puede tener diferentes tipos de configuraciones según la necesidad que se requiera se puede utilizar la configuración vertical, configuración horizontal o la configuración de expansión directa como se puede observar en la figura 30 (Ortega)

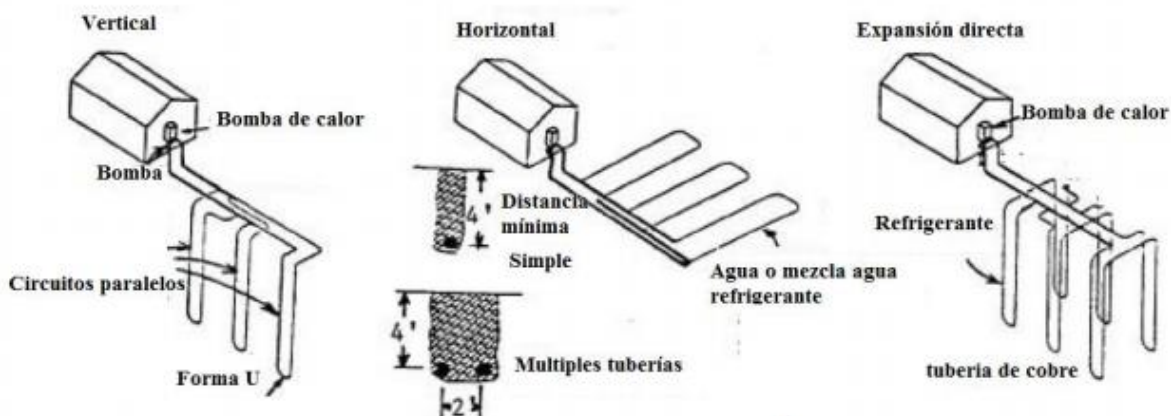


Figura 30. Bomba de calor configuraciones horizontal, vertical y expansión directa
 Autor: (Ortega)

El otro tipo de bombas de calor son con fuente subterránea de agua ósea estas utilizan una fuente de agua del subsuelo y existen varios tipos de configuración de las bombas de calor que son de pozo simple, de pozo doble o combinación de las dos antes mencionadas de pozo simple y doble con descarga en un acuífero como se puede observar en la figura 31

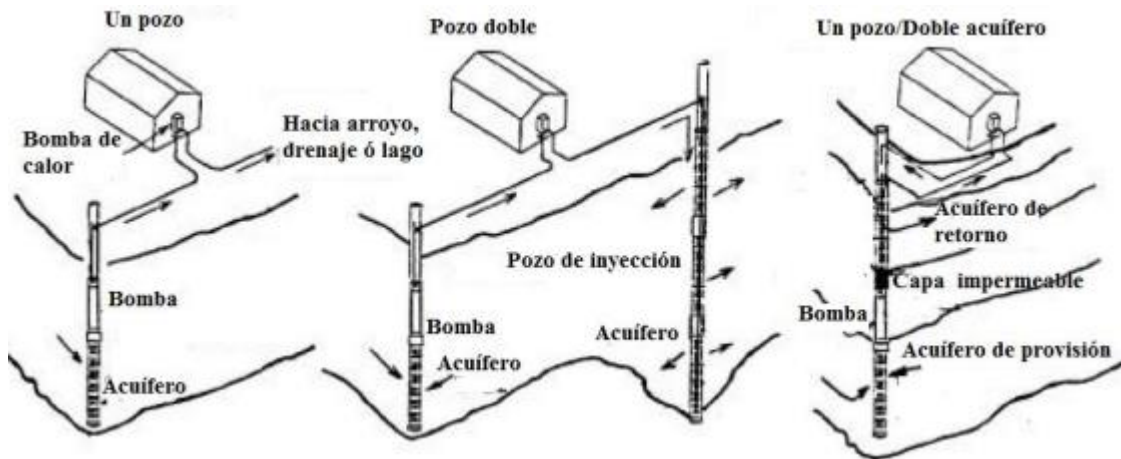


Figura 31. Bomba de calor configuraciones de un pozo, pozo doble o un pozo/doble acuífero
 Autor: (Ortega)

2.6 Sistemas fotovoltaicos.

La energía Solar se produce mediante el sol, es una fuente natural que la humanidad ha utilizado desde inicios de nuestra historia, se considera que el sol ha brillado desde hace cinco mil millones de años esta fuente de energía es limpia e inagotable, este tipo de energía que proviene del sol no es constante ya que tiene fluctuaciones y variaciones bruscas en la figura 32 se observa el esquema de un sistema fotovoltaico básico. (Gonzales & Juan Zambrano, 2014)

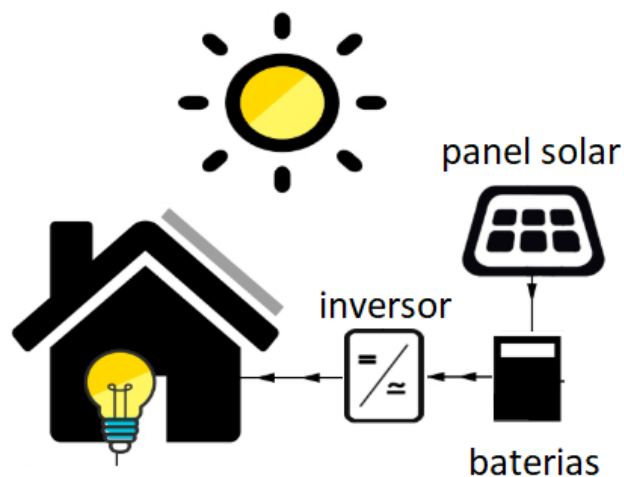


Figura 32. Esquema de un sistema fotovoltaico
Fuente: Autor

2.7 Radiación Solar

“La palabra insolación deriva de la palabra inglesa insolation, que a su vez deriva de tres acrónimos del mismo idioma: incident solar radiation (radiación solar incidente) (Gasquet, 2004).

“La insolación es la cantidad total de radiación solar que se recibe en un punto determinado del planeta, sobre una superficie de 1 m², para un determinado ángulo de inclinación entre la superficie colectora y la horizontal del lugar” (Gasquet, 2004)

“Para medir el valor de insolación de un lugar existen diferentes unidades para expresar dicho valor, la más conveniente para los sistemas solares fotovoltaicos es el Kilowatt. Hora por metro cuadrado (KWh/m²)” (Gasquet, 2004)

Los paneles solares fotovoltaicos son los que tienen la capacidad de generar energía eléctrica a partir de los rayos del sol colocándolos de manera que absorban la mayor cantidad de luminosidad en la puesta del mismo, la potencia y también la radiación que llega de manera directa a la tierra varía por factores como condiciones atmosféricas y la latitud en las mejores condiciones el valor de la irradiación se puede aprovechar de sus componentes directa “llega de manera prácticamente siendo directamente del foco solar sin reflexiones ni refracciones y difusa “emitida por la bóveda celeste diurna, entonces gracias a estos fenómenos de reflexión y refracción en atmósfera (nubes, agua)” en Ecuador la irradiación puede llegar hasta 2600 W/m² (vatios x metro 2) en la superficie terrestre. (Gonzales & Juan Zambrano, 2014)

El comportamiento del sol es como un cuerpo negro que emite energía por la ley de Planck a una temperatura de 6000K. Se conoce por radiación solar a un conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol, no toda radiación impacta sobre la tierra ya que las ondas ultravioletas cortas son absorbidas principalmente por el ozono. (Guerrero, 2012)

2.8 Celda fotovoltaica

“La palabra fotovoltaico es la combinación de origen griego de dos palabras: foto que significa luz y voltaico que significa eléctrico”. (Gasquet, 2004)

Las celdas fotovoltaicas utilizan la energía y realizan el cambio de energía solar en energía eléctrica, estas celdas se producen del segundo material más abundante de nuestro planeta el Silicio este ya sea de mono cristalino o poli cristalino. Las células solares fotovoltaicas utilizan dos tipos de materiales siendo los ya mencionados semiconductores: Tipo N y Tipo P. Una de las ventajas del uso de estas celdas es que no consume ningún tipo de combustibles no produce ruido alguno es resistente a los cambios climáticos y puede llegar alcanzar un promedio de vida útil de entre los 25 años. (Chicaiza & Quisaguano, 2018)

La energía eléctrica a partir del sol se basa en el fenómeno físico que lleva por nombre “efecto fotovoltaico” figura 33 que convierte la luz solar en energía eléctrica por el medio de dispositivos semiconductores llamadas “células fotovoltaicas” que son de material llamado Silicio que es el material más abundante de nuestro planeta estas células son capaces de generar corrientes de entre dos a cuatro amperios con tensiones comprendidos de 0,46 a 0,48 voltios siendo la fuente principal la radiación luminosa en la figura podemos observar el efecto fotovoltaico.

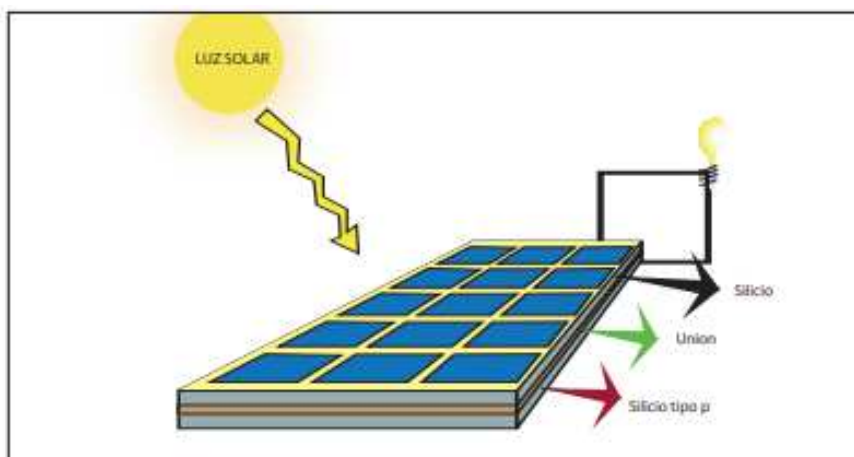


Figura 33. Efecto fotovoltaico
Autor: (www.textoscientificos.com, s.f.)

Un sistema fotovoltaico es prácticamente un dispositivo que a partir de la radiación luminosa produce corriente y voltaje siendo energía eléctrica para las diferentes necesidades de la humanidad y tiene este sistema 4 componentes:

- Panel solar (conjuntos de paneles que reciben la radiación luminosa y convierte corrientes de tensiones menores entre 12 a 24V).
- Acumulador (Banco de baterías)
- Regulador de Carga (Evita sobrecargas o descargas excesivas al acumulador)

- Inversor (Transforma la cc de 12 o 24V en alterna de 230V)

La célula fotovoltaica también es conocida como célula fotoeléctrica o célula solar las propiedades del silicio es que es un material semiconductor esto se refiere a que sus propiedades de conductividad eléctrica están situadas entre materiales conductores y aislantes, los átomos están formados por protones y neutrones (Ramos & Luna, 2014)

“El voltaje de una célula fotovoltaica es en corriente continua de alrededor de 0,5 voltios” (Gasquet, 2004)

2.9 Panel fotovoltaico

En el panel fotovoltaico para poder obtener la electricidad y potencia deseada mediante los sistemas solares fotovoltaicos, es necesario la unión de células solares fotovoltaicas, los cuales dependen del tipo de instalación y adaptación de corriente. La unión de estas células solares fotovoltaicas se las conoce como paneles o módulos solares fotovoltaicos, dependiendo su configuración en serie o paralelo para un determinado voltaje y amperaje. (Marin, 2017)

Los paneles de la figura 34 con los que se va a desarrollar de trabajo de investigación de manera práctica y experimental.

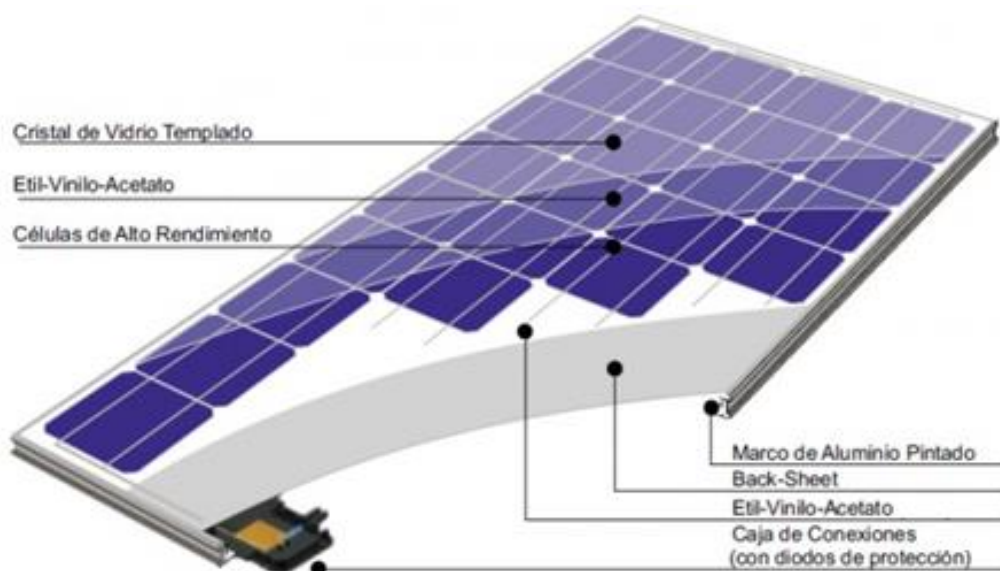


Figura 34. Panel solar fotovoltaico

Fuente: (www.aulafacil.com)

2.10 Tipos de Paneles Solares Fotovoltaicos

En la actualidad en la fabricación de los paneles se utiliza tales como se va a describir a continuación los materiales que puede formar una celda fotovoltaica, el modulo fotovoltaico es una estructura bastante robusta y manejable.

2.10.1 Silicio puro mono cristalino.

Este material se caracteriza por que tiene una orientación cristalina ilustración 1, esto quiere decir que todos los átomos están dispuestos simétricamente, la representación de este material es azul oscuro y puede alcanzar rendimientos de laboratorio de un 24%, también rendimientos directos entre 15% hasta 18 %. (Guerrero, 2012).



Ilustración 1. Silicio puro mono cristalino
Fuente: (energias renovables, 2017)

2.10.2 Silicio puro poli cristalino

Para la creación de la estructura poli cristalino el silicio es puesto sobre otro sustrato como una capa entre 10 hasta 30 micrómetros y tamaño de grano de 1 micrómetro y 1 mm ilustración 2. Ya que las alineaciones cambian cada lapso de tiempo durante el proceso de deposición pueden llegar alcanzar rendimiento de laboratorio del 19% al 20%, también rendimientos directos del 12% al 14% (Guerrero, 2012).

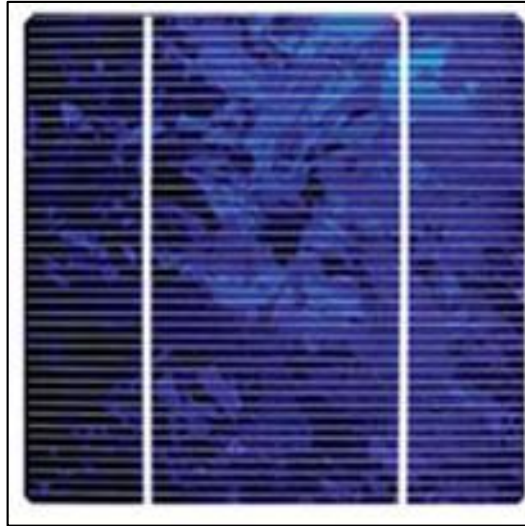


Ilustración 2. Silicio puro poli cristalino
Fuente: (energias renovables, 2017)

2.11 Radiación Solar en el Ecuador

Un valor aproximado de la radiación solar global en este país es 4200kWh/año superior al de países europeos como por ejemplo España que es de 1400kWh/año por metro cuadrado, en el ecuador existen condiciones tanto atmosféricas como topográficas como también diversidad de latitudes.

En el ecuador los valores de insolación en la mañana y en la noche son menores que los que está dentro de las doce del mediodía hasta las tres de la tarde la entidad encargada de la recolección de los datos climáticos se llama (INAMHI) “Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología” en la figura 35 podemos observar según el color del histograma de frecuencia en la zona del oriente.

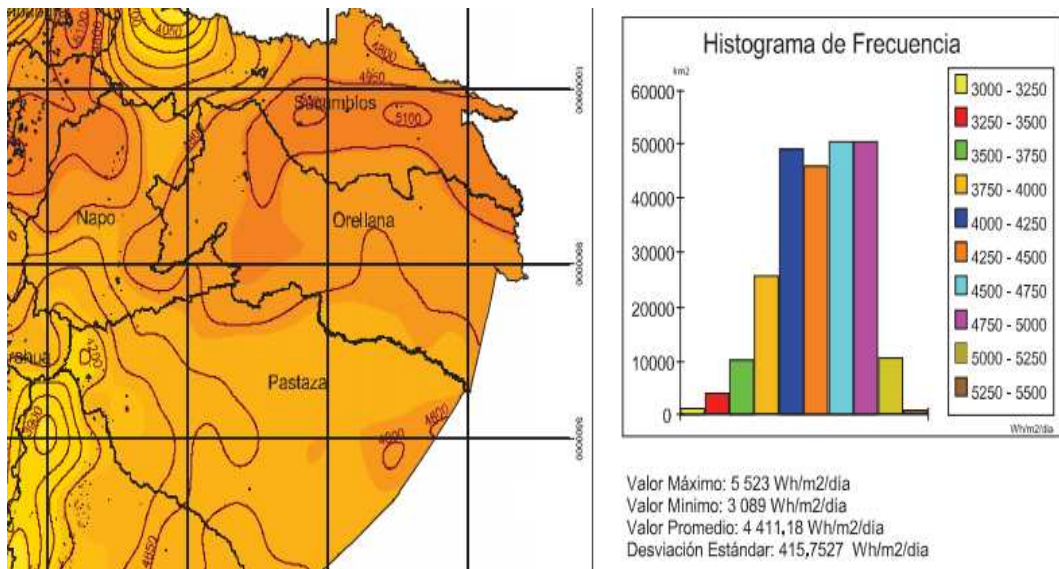


Figura 35. Mapa de radiación solar de la provincia de Pastaza
Autor: (www.energía.org.ec, s.f.)

Se ha escogido la provincia de Pastaza para este proyecto de investigación por qué se va a realizar la implementación más adelante nos podemos observar que Pastaza tiene un enorme potencial de radiación Solar 4600 (Wh/m²/día). (CONELEC, 2007).

Tabla 10. Resumen de la radiación solar W/m² mediante HOBOWare
Fuente: Autor

Hora, GMT-05:00	Radiación solar, W/m ²
1:00:00	0.6
2:00:00	0.6
3:00:00	0.6
4:00:00	0.6
5:00:00	0.6
6:00:00	14.34
7:00:00	123.85
8:00:00	394.35
9:00:00	517.44
10:00:00	252.60
11:00:00	457.14
12:00:00	676.68
13:00:00	1054.41
14:00:00	753.41
15:00:00	302.95
16:00:00	99.27
17:00:00	61.33
18:00:00	5.08
19:00:00	0.6
20:00:00	0.6
21:00:00	0.6
22:00:00	0.6
23:00:00	0.6
0:00:00	0.6

En la tabla 10 se representa un kardex de resumen de la radiación solar obtenidas en un lapso de veinte y cuatro horas en el laboratorio CER centro de energías renovables de la universidad católica de cuenca con el software HOBOWare están tomas se realiza cada minuto para la realización de esta tabla se sumó todos los valores durante cada hora y divididos para sí mismo es así como se obtiene un valor promedio de cada hora para mostrar el comportamiento y así analizar que entre las trece horas se obtiene el valor más alto de radiación solar.

2.12 Sistema de Almacenamiento

En los sistemas Fotovoltaicos el almacenamiento es un componente muy importante del sistema ya que provee de un suministro de energía constante y estable por lo general en las instalaciones PV figura 36, es común encontrar un banco de baterías conectada ya sea en serie o paralelo.



Figura 36. Banco de baterías
Fuente: (www.amperonline.com)

Existen dos tipos de baterías de ciclo bajo y de ciclo profundo las baterías de ciclo bajo están diseñados para entregar cantidades de corriente por corto tiempo y soportar sobrecargas sin perder electrolitos como es en el caso de los automóviles, las baterías de ciclo profundo están diseñados para ser descargadas repetidamente hasta de un ochenta por ciento de su capacidad por lo general se utiliza en sistemas de energía solar es importante la capacidad del acumulador viniendo a ser la capacidad de electricidad en amperios a que se puede obtener de una descarga completa del acumulador eléctrico.

Para poder entender cómo trabaja una batería sus mediciones cargas y que tiempo puede ser útil la misma lo que se almacena son los electrones en las baterías donde su unidad de medida es el coulomb que por lo general representa con la letra "Q", un electrón tiene 1.602×10^{-19} culombios, la corriente se mide en amperios y se representa con la letra "I", y el tiempo en segundos en la ingeniería existen dos maneras con las que se trabaja a la hora de medir lo que puede rendir una batería esta ya sea en amperios-hora que significa las veces que un número determinado de amperios se acumulan en una hora.

Los tipos de batería que existen se explicara a continuación:

- **Baterías Monoblock:** Estas baterías por lo general están destinadas para instalaciones fotovoltaicas a escala pequeña donde sus placas siempre están reforzadas con rejilla y también con aislamiento sintético especial consiguiendo con ello que la pérdida de agua sea bastante reducida por ellos se recomienda para utilizarse en sistemas aislados como por ejemplo las telecomunicaciones, repetidores entre otros
- **Baterías AGM:** Las baterías AGM tienen en su sistema internamente válvulas de regulación de gases con el fin de evitar pérdidas ya que la presión interna es mejor regulada y a su vez un buen mayor rendimiento esto nos quiere decir que con estas baterías se logra corrientes bastante altas en plazos cortos siendo las idóneas para situaciones con una elevada intensidad de carga
- **Baterías estacionarias:** Estas baterías son ideales para consumos prolongados y durante largos periodos este tipo de baterías tiene la característica de una larga vida útil superior a los 20 años.
- **Baterías de electrolito gelificado:** Este tipo de baterías también es conocido como de Gel donde este gel lo compone consiguiéndose mediante electrolito con una Sílice amorfa, el cual brinda un resultado que es un compuesto de la consistencia de mencionado gel, estas baterías son utilizadas para instalaciones de escalas de tamaño mediano y grande donde sea difícil realizar mantenimientos sean complicados realizarse.
- **Baterías de Litio:** Una de las principales características de las baterías de (Litio) es que permiten una descarga al cien por ciento de su potencia es decir que si tenemos una batería de Litio de 200 Ah amperio hora se puede cargar a este nivel al contrario que las baterías de AGM o las de Gel en las que los promedios de carga se encuentran en un rango del 10 al 20 por ciento de la máxima potencia admitida por la batería. (saclimafotovoltaica, s.f.)

2.13 Sistemas Híbridos.

Unos sistemas solares híbridos originalmente parten del uso de un sistema convencional y un sistema de generación de energía limpia estos sistemas deben tener una o más unidades de generación de energía renovable (Solar, Eólica, Hidroeléctrica) una o más unidades de generación convencional como por ejemplo es Diésel también un sistema de almacenamiento (mecánico, eléctrico, químico, hidráulico) y un sistema de regulación y control

(López & Puente, 2014). Entonces los sistemas híbridos básicamente integra dos métodos de generación estos pueden ser:

- Solar – fotovoltaica,
- Energía Solar-Térmica,
- Eólica – Solar,
- Biomasa – Eólica,
- Hidroeléctrica – Térmica,
- Solar Geotérmica

En esta investigación se utiliza un sistema híbrido con el fin de que sea aplicable a zonas de nuestro país que no cuente con la red eléctrica convencional como en el caso de la amazonia ecuatoriana que carecen de este suministro.

Un sistema fotovoltaico consta de elementos ya mencionados tales como sus módulos fotovoltaicos que extraen energía del sol y la convierten en eléctrica para poder que pase por un controlador de carga se almacene en un banco de baterías y a su vez esta corriente ser invertida a un voltaje comercial para ser entregado para alimentar interruptores, tomacorrientes, etc. Esto se muestra en la figura 37.

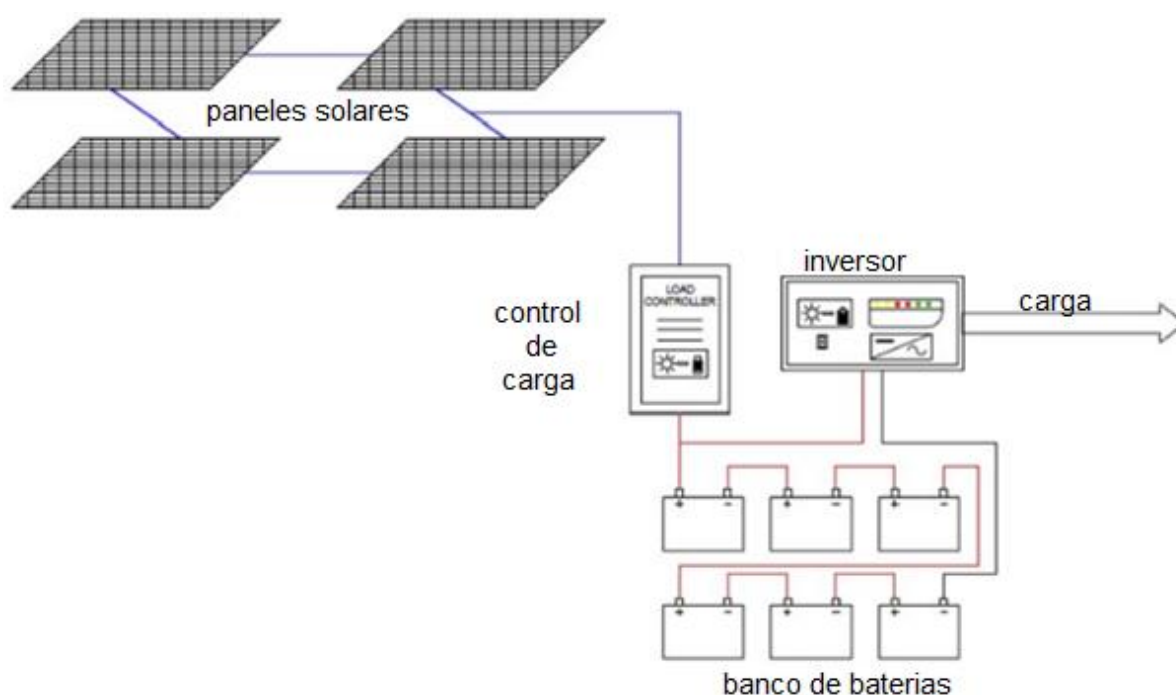


Figura 37. Esquema de un sistema fotovoltaico
Fuente: (Sami, 2017)

Un sistema de bomba de calor geotérmico transfiere el calor de un sistema de distribución caliente o frío con un intercambiador de calor que puede ser subterráneo como indica la figura 38. La bomba de calor trabaja u opera usando el mismo ciclo que de un refrigerador, una bomba de calor es capaz de realizar la extracción de calor del suelo a una temperatura determinada como 10 grados para calentar un espacio determinado a hasta 23 grados centígrados (muñoz, 2018).

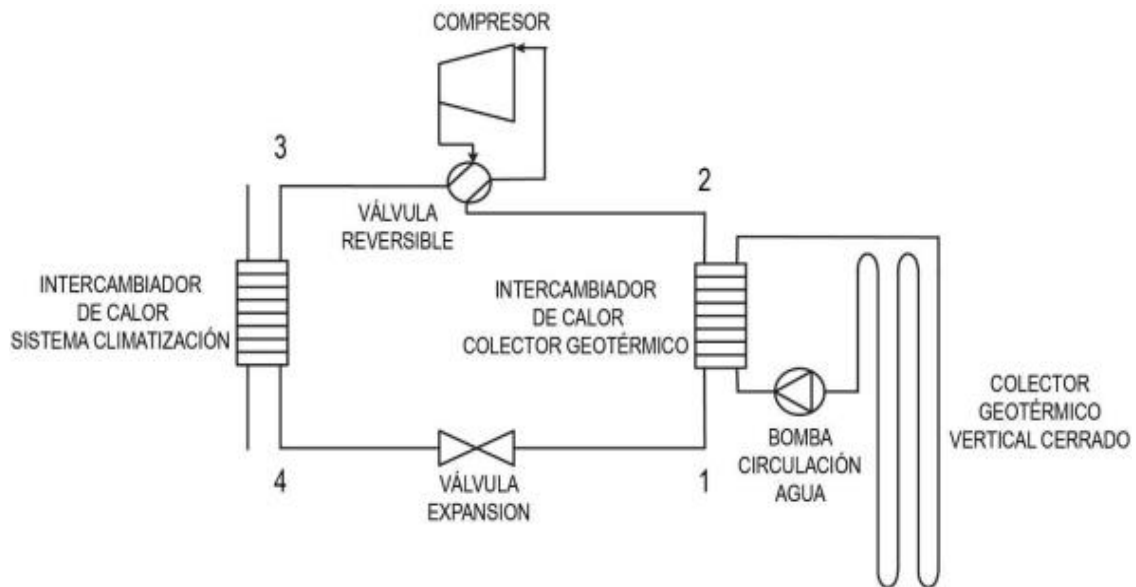


Figura 38. Esquema de un ciclo termodinámico de una bomba de calor típica con colectores verticales
Fuente: (muñoz, 2018)

El principio de los sistemas híbridos es combinar dispositivos tradicionales con sistemas de energía renovable y el propósito es tener un óptimo rendimiento y que su capacidad sea elevada. Las implementaciones de estos sistemas híbridos son de vital utilidad en zona rural donde la población esta desconectada de la red eléctrica. (Sami & Jorge, 2017)

2.14 Modelo matemático del sistema

A este capítulo se le ha dividido en varias secciones donde nos indicara cada una de las formulas empleadas para el cálculo del voltaje, corriente, potencia, eficiencia de los sistemas de panel solar fotovoltaico, bomba de calor, sistema híbrido.

A continuación, se presenta cada una de las ecuaciones utilizadas para la realización del modelado dinámico del sistema híbrido de panel solar fotovoltaico y bomba de calor.

2.14.1 Modelo matemático del sistema fotovoltaico.

Los paneles solares fotovoltaicos están constituidos por varios módulos donde cada uno de estos módulos consta de matrices y celdas, entonces para la salida de corriente dinámica se puede obtener con la ecuación 1 (Sami, 2018)

$$I_p = IL - I_o \left[\exp\left(\frac{q(V+I_p R_s)}{A k T_c} - \frac{V+I_p R_s}{R_{sh}}\right) \right] \quad (1)$$

En donde:

IL : Luz generada corriente por módulo

I_o : Corriente de saturación inversa por módulo

V : Terminal de voltaje por módulo

R_{sh} : Resistencia de diodo Shunt por módulo

q : Carga Eléctrica

k : Constante de Boltzmann's

A : Factor de idealidad de diodo para el módulo

R_s : Diodos en serie de resistencia por módulo

Para encontrar la corriente de saturación inversa y la luz generada es necesario utilizar las siguientes ecuaciones (2,3). (Sami, Modeling and Simulation of Novel Combined Solar Photovoltaic-Termal Panel and Hear Pump, 2018)

$$I_o = B T_c^3 \left[\exp\left(-\frac{E_{go}}{K T_c}\right) \right] \quad (2)$$

En donde:

I_o : Corriente de saturación inversa por módulo

E_{go} : Bandgap energía de semiconductores

$K T_c$: Es la influencia de varios factores que son las condiciones ambientales y velocidad del viento

y

$$I_L = P_1 G [1 - P_2 (G - G_r) + P_3 (T_C - T_r)] \quad (3)$$

I_L : Luz generada corriente por módulo

P_1 : Potencia generada por el módulo PV (w)

G : Radiación Solar Total dentro el módulo PV (w/m²)

T_C : Es la temperatura de la celda PV en grados centígrados

T_r : Es la temperatura nominal (298,15k)

Donde T_C viene a ser la temperatura de la celda es influenciada por diferentes factores como la radiación solar, orden climatológico ya que no siempre va a ser el mismo y velocidad del viento, K es la constante de Boltzmann's que es igual a $1,3805 \times 10^{-23}$ J/K, c la emisividad de la celda, para la luz generada P viene a ser la potencia generada por el módulo, G es la radiación solar total dentro el módulo medida en (w/m²), T_C es la temperatura de la celda PV en grados centígrados y T_r la temperatura nominal (298,15k).

Para la alimentación de la C.A de la salida del inversor $P(t)$ es calculado utilizando la eficiencia del inversor η_{inv} , y la salida de voltaje entre fases, neutro y todas las fases de corriente I_o y ángulo $\cos \varphi$ en ecuación 4. (Sami, 2018)

$$P(t) = \sqrt{3} \eta_{inv} V_{fn} I_o \cos \varphi \quad (4)$$

$P(t)$: Potencia inversa de CA

η_{inv} : Es la eficiencia del inversor

V_{fn} : Es la salida de voltaje entre fase y neutro

I_o : Corriente de saturación inversa por módulo

$\cos \varphi$: Es el ángulo de desfase

2.14.2 Modelo matemático del sistema de bomba de calor.

En la figura 61 se puede observar un sistema híbrido de bomba de calor geotérmica y paneles solares fotovoltaicos, donde el estado de la bomba de calor se puede obtener a partir de las siguientes ecuaciones (Sami s. , 2018)

$$m_{ref} = m_{pv} * C_{pw} * \frac{T_f - T_i}{\eta_{xy} * (h_1 - h_4)} \quad (5)$$

Donde es:

m_{ref} : Es flujo másico del refrigerante

m_{pv} : Es la masa del agua o flujo del agua

C_{pw} : Es el calor específico de agua

$T_f - T_i$: Son las temperaturas de ingreso y salida de transferencia de calor de fluido

η_{xy} : Es la eficiencia de intercambio de calor

$h_1 - h_4$: Son las entalpías “energía que puede intercambiar con su entorno”

La ecuación número (5) es el flujo másico del refrigerante (velocidad a la que la masa de una sustancia pasa a través de una superficie dada).Donde $T_f - T_i$ vienen a ser las temperaturas tanto de ingreso como de salida del HTF(transferencia de calor del fluido) al evaporador, η_{xy} es la eficiencia del intercambiador de calor se toma en cuenta un estimado del 85% (Sami, 2018)

En las entalpías de la ecuación cinco $h_1 - h_4$ son las entalpías donde h_1 está a la salida del evaporador y h_4 a la entrada del evaporador, el C_{pw} es el calor específico del agua siendo este un valor constante dependiendo de la zona en la cual se encuentre y m_{pv} es la masa del agua en este caso que atravesaría en el evaporador o condensador dependiendo del modo que se esté utilizando ó sea ya sea como bomba de calor o aire acondicionado.

Donde en las siguientes ecuaciones 1,2,3,4 son las entalpías que es, la cantidad máxima de energía térmica que puede extraerse de un sistema manteniendo la presión constante entonces las entalpías del refrigerante en la entrada y salida del compresor, y la entrada y salida a proceso de expansión, respectivamente, las entalpías se determinada

mediante la utilización de presión y temperatura, la ecuación 6 es la capacidad de calor del compresor. (Sami s. , 2018)

$$Q_{comp} = \eta_c * m_{ref} * (h_2 - h_1) \quad (6)$$

Q_{comp} : Potencia de calor del compresor

η_c : Eficiencia del compresor

$h_2 - h_1$: Entalpías “energía que puede intercambiar con su entorno”

En la ecuación 7 podemos calcular la capacidad de calor en el condensador,

$$Q_{cond} = \eta_{hx} * m_{ref} * (h_2 - h_3) \quad (7)$$

$$h_3 = h_4 \quad (8)$$

Las entalpías h1 hasta 4 se obtiene aplicando el ciclo de refrigeración en el diagrama psicométrico del refrigerante utilizado demostrando que así h1 y h4 son iguales las entalpías, en la figura 42

$$Q_e = \eta_{hx} * m_{ref} * (h_1 - h_4) \quad (9)$$

Donde en la ecuación 9, Q_e es la capacidad de calor en el evaporador.

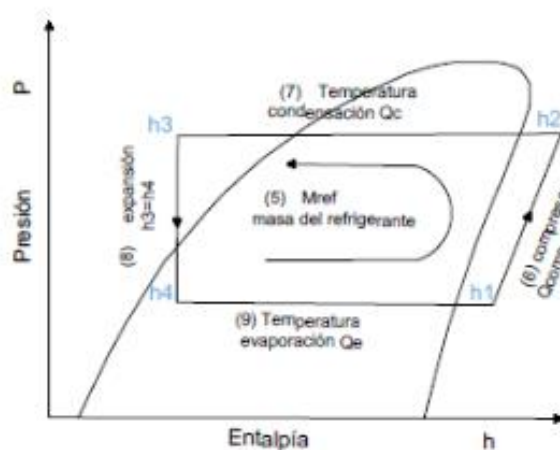


Figura 39. Ciclo presión entalpía funcionamiento del sistema bomba de calor
Fuente: Autor

En la figura 39 se describe mediante el diagrama del ciclo de refrigeración donde se encuentran los términos utilizados en las ecuaciones desde la cinco hasta la nueve teniendo las entalpías h_1 , h_2 , h_3 , h_4 que son medidos en Julios por Kilogramo. Donde se aprecia que en h_1 se ubica en lado de la salida del evaporador, h_2 a la entrada del condensador, en este intervalo de h_1 a h_2 es donde se ubica la compresión del sistema y se determina el Q_{cond} (potencia de calor del compresor), entonces al continuar describiendo el diagrama al visualizar en el intervalo entre las entalpías $h_2,3$ tenemos la parte de condensación donde se aplica la ecuación de Q_c (capacidad de calor en el compresor), se puede observar en el esquema que las entalpías h_3 y h_4 son iguales siendo esta la parte donde el sistema realiza la parte de expansión entre las entalpías h_3 y h_4 , la entalpia h_4 se ubica a la entrada del evaporador donde los valores de Q_e (potencia de calor en el evaporador) se calcula en esta sección.

En este diagrama se puede también observar el trayecto que sigue el refrigerante, donde se calcula el flujo másico del refrigerante (Es la velocidad a la que la masa de una sustancia pasa a través de una superficie dada).

2.14.3 Modelo Matemático del sistema de bomba de calor teórico.

En la figura 57 se puede observar un sistema híbrido de bomba de calor geotérmica y paneles solares fotovoltaicos, donde el estado de la bomba de calor se puede obtener a partir de las siguientes ecuaciones (Sami s. , 2018)

$$m_{ref} = m_{pv} * C_{pw} * \frac{T_f - T_i}{\eta_{xy} * (h_1 - h_4)} \quad (5)$$

Donde es:

m_{ref} : Es flujo másico del refrigerante

m_{pv} : Es la masa del agua o flujo del agua

C_{pw} : Es el calor específico de agua

$T_f - T_i$: Son las temperaturas de ingreso y salida de transferencia de calor de fluido

η_{xy} : Es la eficiencia de intercambio de calor

$h_1 - h_4$: Son las entalpías “energía que puede intercambiar con su entorno”

La ecuación número (5) es el flujo másico del refrigerante (velocidad a la que la masa de una sustancia pasa a través de una superficie dada).Donde $T_f - T_i$ vienen a ser las temperaturas tanto de ingreso como de salida del HTF(transferencia de calor del fluido) al evaporador, η_{xy} es la eficiencia del intercambiador de calor se toma en cuenta un estimado del 85% (Sami s. , 2018)

En las entalpías de la ecuación cinco $h_1 - h_4$ son las entalpías donde h_1 está a la salida del evaporador y h_4 a la entrada del evaporador, el C_{pw} es el calor específico del agua siendo este un valor contante dependiendo de la zona en la cual se encuentre y m_{pv} es la masa del agua en este caso que atravesaría en el evaporador o condensador dependiendo del modo que se esté utilizando ó sea ya sea como bomba de calor o aire acondicionado.

Donde en las siguientes ecuaciones 1,2,3,4 son las entalpías que es, la cantidad máxima de energía térmica que puede extraerse de un sistema manteniendo la presión constante entonces las entalpías del refrigerante en la entrada y salida del compresor, y la entrada y salida a proceso de expansión, respectivamente, las entalpías se determinada mediante la utilización de presión y temperatura, la ecuación 6 es la capacidad de calor del compresor. (Sami s. , 2018)

$$Q_{comp} = \eta_c * m_{ref} * (h_2 - h_1) \quad (6)$$

Q_{comp} : Potencia de calor del compresor

η_c : Eficiencia del compresor

$h_2 - h_1$: Entalpías “energía que puede intercambiar con su entorno”

En la ecuación 7 podemos calcular la capacidad de calor en el condensador,

$$Q_{cond} = \eta_{hx} * m_{ref} * (h_2 - h_3) \quad (7)$$

$$h_3 = h_4 \quad (8)$$

Las entalpías h_1 hasta 4 se obtiene aplicando el ciclo de refrigeración en el diagrama psicométrico del refrigerante utilizado demostrando que así h_1 y h_4 son iguales las entalpías, en la figura 39

$$Q_e = \eta_{hx} * m_{ref} * (h_1 - h_4) \quad (9)$$

Donde en la ecuación 9, Q_e es la capacidad de calor en el evaporador.

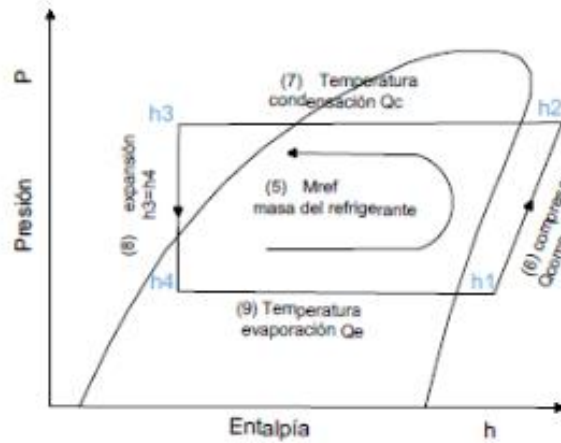


Figura 40. Ciclo presión entalpía funcionamiento del sistema bomba de calor BC
Fuente: Autor

En la figura 40 se describe mediante el diagrama del ciclo de refrigeración donde se encuentran los términos utilizados en las ecuaciones desde la cinco hasta la nueve teniendo las entalpías h_1 , h_2 , h_3 , h_4 que son medidos en Julios por Kilogramo. Donde se aprecia que en h_1 se ubica en lado de la salida del evaporador, h_2 a la entrada del condensador, en este intervalo de h_1 a h_2 es donde se ubica la compresión del sistema y se determina el Q_{cond} (potencia de calor del compresor), entonces al continuar describiendo el diagrama al visualizar en el intervalo entre las entalpías $h_2,3$ tenemos la parte de condensación donde se aplica la ecuación de Q_c (capacidad de calor en el compresor), se puede observar en el esquema que las entalpías h_3 y h_4 son iguales siendo esta la parte donde el sistema realiza la parte de expansión entre las entalpías h_3 y h_4 , la entalpía h_4 se ubica a la entrada del evaporador donde los valores de Q_e (potencia de calor en el evaporador) se calcula en esta sección.

En este diagrama se puede también observar el trayecto que sigue el refrigerante, donde se calcular el flujo másico del refrigerante (Es la velocidad a la que la masa de una sustancia pasa a través de una superficie dada).

2.14.4 Modelo Matemático del sistema de bomba de calor experimental.

Para encontrar la capacidad de calor en el evaporador de forma experimental se expresa en la ecuación 10 donde m_w es el flujo másico del agua, $(T_f - T_i)$ es la diferencia de temperatura entre la final e inicial respectivamente.

$$Q_e = m_w * Cp_w(T_f - T_i) \quad (10).$$

Para obtener la capacidad de calor del condensador se utiliza la ecuación 11 donde m_{air} es el flujo másico del aire, Cp_{air} es el calor específico del aire.

$$Q_c = m_{air} * Cp_{air} * (T_f - T_i) \quad (11)$$

En la ecuación 12 se representa la potencia del compresor W_{comp} [w], donde A es la corriente y V es el voltaje

$$W_{comp} = A * V \quad (12)$$

El rendimiento de esta máquina bomba de calor se mide mediante la ecuación 13 (RUIZ, 2016)

Esto quiere decir que una bomba de calor que tenga un COP entregará en kW térmicos por cada kW eléctrico consumido. Lo mismo ocurre con el EER y la potencia frigorífica.

$$COP BC = \frac{Q_c}{W_{comp}} \quad (13)$$

En esta ecuación $COP BC$ (Coefficient Of Performance): coeficiente de eficiencia energética en modo calefacción. Es el cociente entre la potencia de calefacción y la potencia eléctrica absorbida, donde:

Q_c : Capacidad térmica del condensador

W_c = Potencia consumida por el compresor

El factor de eficiencia de una máquina bomba de calor en modo aire acondicionado se mide mediante la ecuación 14, la cual define el cociente del calor útil Q_e y el trabajo que se requiere para realizar el mismo, donde el valor del rendimiento siempre va a ser mayor que uno esto nos quiere decir que mientras mayor sea, mayor será la eficiencia que se obtendrá.

$$EER AC = \frac{Q_e}{W_{comp}} \quad (14)$$

Q_e : Capacidad térmica del evaporador

W_c = Potencia compresor

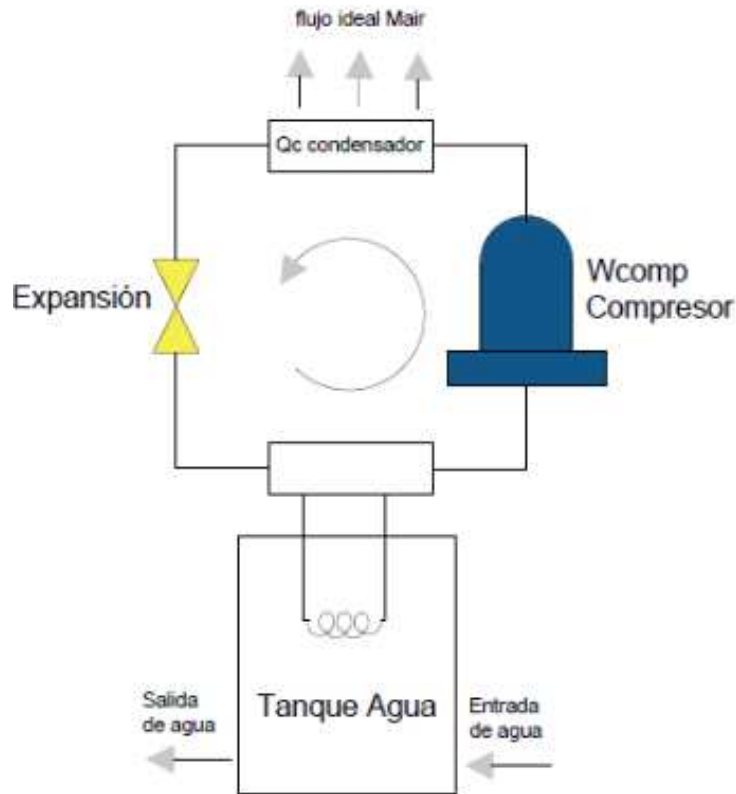


Figura 41. Diagrama de ciclo de bomba a calor
Fuente: Autor

En el diagrama de la figura 41 se puede visualizar la representación del funcionamiento de la bomba de calor y el sentido del mismo en donde partimos de la ecuación (10) que es la capacidad del evaporador Q_e , esta ecuación se compone de algunos factores como el flujo másico del agua, el flujo másico del agua se comprende de la multiplicación de la densidad por el volumen en $J/(Kg^{\circ}K)$ que utilizados en esta investigación, dentro de esta misma ecuación tenemos C_{p_w} es equivalente al calor específico del agua el cual es un valor constante que multiplica a la diferencias de temperatura entre la final menos la inicial del agua. Para representar la potencia del compresor de trabajo se lo mide en Wattios mediante la ecuación (12), donde se utiliza la multiplicación de la corriente para el voltaje del mismo.

La función en la zona de compresión es generar el movimiento para fluir gas refrigerante a la parte de condensador Q_c siendo la capacidad de calor del condensador esta ecuación se compone de los siguientes términos, " M_{air} " que es flujo másico del aire y el " $C_{p_{air}}$ " siendo el coeficiente específico del aire que multiplica a la diferencia de temperaturas.

En el diagrama de la ecuación de la figura 44 se analiza también que tan eficiente es el equipo en si esto se puede llegar a saber con la ecuación (13) y (14)

En la ecuación (13) es el COP de sus siglas en ingles COP (Coefficient Of Performace), es una expresión representativa en un sistema en la eficiencia de una bomba de calor. Al momento de realizar el cálculo para el COP de una bomba de calor, se tiene que comparar la salida de calor del condensador Q_c y en el caso del modo de AC aire acondicionado seria evaporador Q_e ecuación (14) (Energy Efficiency Ratio): factor de eficiencia energética en modo refrigeración y estas se divide para con la potencia suministrada al compresor (W).

El EER AC Coeficiente de rendimiento en aire acondicionado se mide mediante la ecuación (14), se encuentra en función de la capacidad del evaporador Q_e ya que el evaporador será el que enfríe el ambiente en aire acondicionado. La ecuación (13) se obtiene el coeficiente de rendimiento en este caso para modo bomba de calor y la ecuación (14) se puede obtener el coeficiente de rendimiento para modo aire acondicionado.

CAPITULO 3.

3) TRABAJO EXPERIMENTAL

3.1 Modelo del sistema Hibrido

A este capítulo se le ha dividido en varias secciones, en cada una de estas secciones se hace referencia a los sistemas de panel solar fotovoltaico, bomba de calor y sistema híbrido.

A continuación, se presenta cada una de estas secciones a ser utilizadas para la realización del modelado dinámico del sistema híbrido de panel solar fotovoltaico y aire acondicionado.

3.2 Modelo Sistema Fotovoltaico (CER)

3.2.1 Sistema Fotovoltaico (CER).

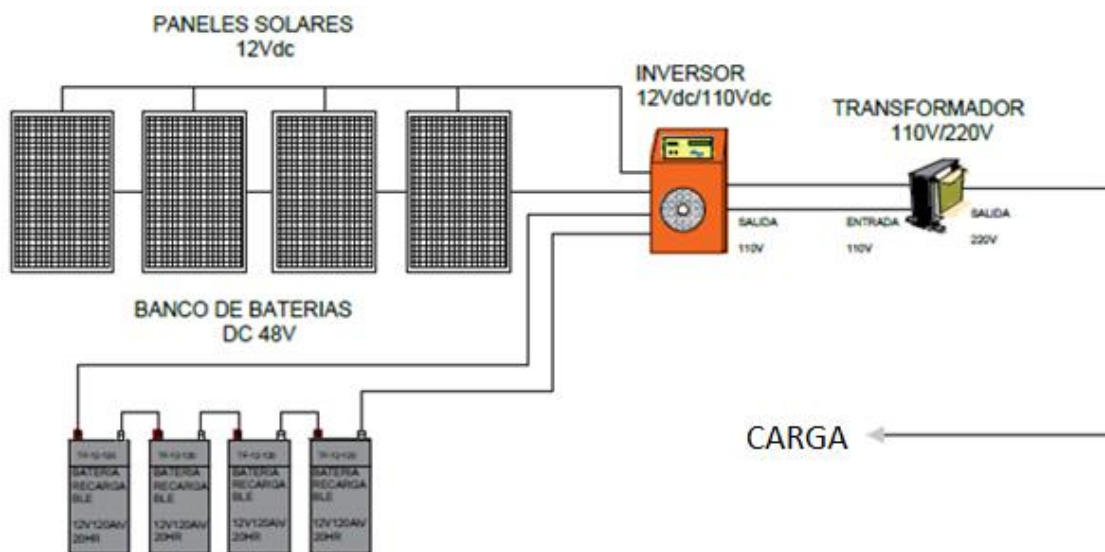


Figura 42. Esquema del sistema fotovoltaico del (CER)

Fuente: Autor

En el sistema Fotovoltaico de la figura 42, se describe la como es el funcionamiento el cual inicia en la recolección de la energía del sol con los paneles que pueda transformar a energía eléctrica variable y a su vez transportar por conductores eléctricos hacia el inversor y a al banco de baterías dentro del inversor ya tiene el regulador de carga de manera interna por ello es que no se muestra en el esquema, el inversor de realiza el proceso de entrega de tensión a 110V reales para que este voltaje viaje por otros conductores hacia un transformador que va a elevar la tensión de 110V a 220V por la razón para hacerle híbrido el otro sistema de la bomba trabaja a dicha tensión.

3.2.2 Paneles Solares (CER)

El panel fotovoltaico o también llamado panel Solar es un conjunto de celdas interconectadas eléctricamente tienen una cubierta frontal de vidrio templado con una estructura de aluminio en todo su contorno como se ve en la siguiente figura 44.



Figura 43. Datos de placa de los módulos fotovoltaicos (CER)
Fuente: Centro de energías renovables de la universidad católica de Cuenca

Tenemos instalado 8 paneles instalados en el (CER) cada panel entrega una potencia máxima de 250W como se observa en la figura 43 de la placa del módulo solar su voltaje máximo de entrega puede llegar hasta de 30 voltios, esta información de placa se multiplica por las unidades que se tiene para conocer el voltaje, corriente y potencia que nos puede entregar este sistema



Figura 44. Paneles solares fotovoltaicos (CER)
Fuente: Centro de energías renovables de la universidad católica de Cuenca

3.2.3 Inversor SC2KW (CER)



Figura 45. Inversor SC2KW

Fuente: Centro de energías renovables de la universidad católica de cuenca

El inversor del CER (Centro de Energías Renovables) es un modelo SC2KW/46V que se encuentra en la figura 45 tiene una potencia de 2KW, con un rango de frecuencia de entrada entre 76 – 146 VAC, trabaja a frecuencias entre 60 Hz, este inversor entrega 115V con más menos 3%, este equipo en su instalación el fabricante recomienda tener una distancia de separación de 20 cm y que no esté directamente con contacto de humedad y del sol y trabaja de tal manera como se muestra de mejor detalle en el manual completo en ANEXO 3

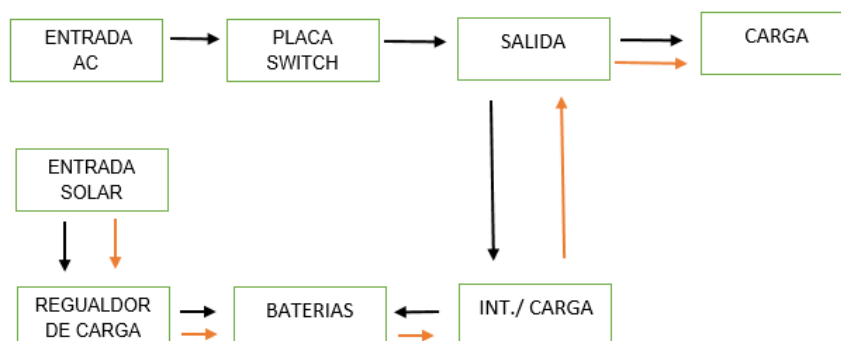


Figura 46. Diagrama de estructura del controlador del inversor solar híbrido

Fuente: Centro de energías renovables de la universidad católica de cuenca

En el diagrama de la figura 46 se observa como es el funcionamiento del inversor, el inversor en si trabaja de dos maneras la primera es que su alimentación es directamente con la red eléctrica convencional inyectando en la entrada AC esta a su vez enciende al equipo alimenta la placa de switch y a su vez para censar el estado de la carga y la observabilidad

del banco de baterías instaladas por la segunda parte inicia en el ingreso de la entrada solar la cual absorbe directamente la energía del sol para convertirlo en energía eléctrica y ser conducido a las baterías y a su vez realimenta al mismo regulador de carga desde las baterías para direccionar a la salida para ser entregado para alimentar a equipos o instalación externa desde la entrega de carga.

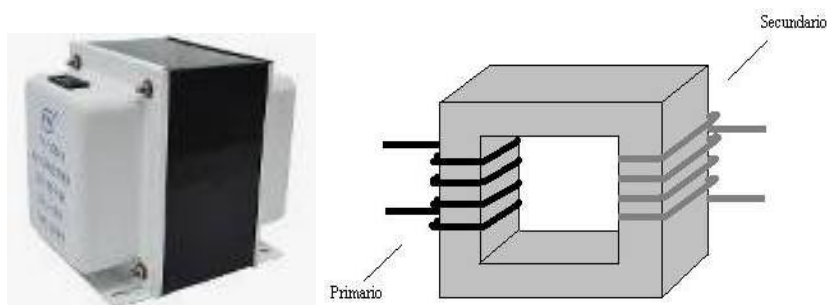


Figura 47. Parte posterior del Inversor SC2KW
Fuente: Centro de energías renovables de la universidad católica de cuenca

En la figura 47 se puede observar la parte trasera del inversor y sus conexiones para poder conectar se realizó de tal manera como recomienda el fabricante

3.2.4 Transformador

El transformador de la figura 51 (a), tiene una capacidad de 3000W, su función es transformar de 110Vac elevando la tensión eléctrica a 220Vac, esta parte se utiliza en nuestro sistema por el motivo que la bomba de calor funciona a 220Vac por el motivo que el un sistema fotovoltaico suministra 100Vac y el sistema bomba de calor aire acondicionado opera a 220Vac.



(a)

(b)

Figura 51. Transformador 110Vac / 220Vac
Fuente: Autor

El transformador de la figura 51 (b) funciona de dos sentidos tanto para elevar como disminuir el voltaje en su representación física tiene un gran tamaño por su núcleo de hierro ya que dependiendo el número de espiras que utiliza tanto para el aumento o disminución del voltaje, este transformador debe operar en un área ventilada.

3.2.5 Almacenamiento

Las baterías solares de un sistema de paneles solares fotovoltaicos deben ser capaz de mantener corrientes moderadas durante varias horas, así como también, debe de permanecer activa sin recibir carga alguna, este es el caso que ocurre durante la noche. Normalmente los periodos de reposo para este tipo de baterías son nulos, ya que siempre están siendo cargadas o descargadas.



Figura 52. Baterías para el sistema Solar (CER)
Fuente: Centro de energías renovables de la universidad católica de cuenca

Es común encontrar un banco de baterías conectada ya sea en serie o paralelo, en los momentos de radiación que será en el día, las baterías trabajarán almacenando la energía y en la noche entregando la misma con el fin de que el sistema trabaje de manera permanente en la Universidad Católica de Cuenca se utilizan, se puede observar en la figura 52 baterías con válvulas reguladas son baterías recargables su estructura se compone de un tipo de gel no derramable que opera a (12V120Ah/20HR) en el ANEXO 4 podemos observar las características técnicas de las baterías.

3.3 Modelo del sistema bomba de calor

A continuación, se va a mostrar una descripción básica del funcionamiento del sistema bomba de calor con una adaptación para la que pueda esta trabajar como bomba de calor y también como AC aire acondicionado que se describe en la figura 53.

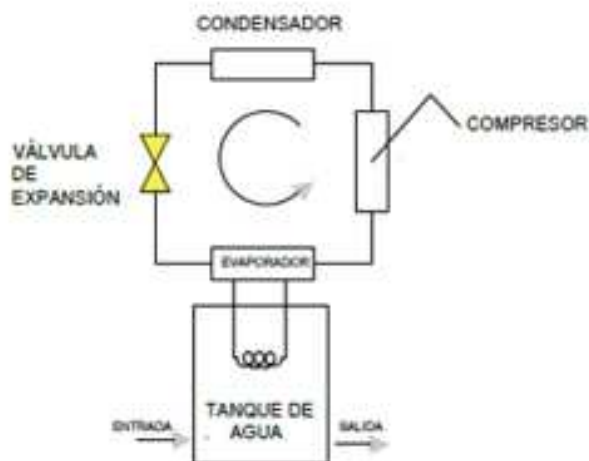


Figura 53. Esquema del sistema bomba de calor (CER)
Fuente: Autor

Este sistema consta de los siguientes componentes que se va a describir a continuación, adicional a esta información, la parte de las resistencias (niquelinas) va a ser alimentado con la red eléctrica por el motivo que necesitamos variar las diferentes temperaturas del agua en el tanque para poder discutir el comportamiento de la bomba de calor y aire acondicionado ya que este sistema funciona en dos modos el primero aumentando la temperatura del ambiente (bomba de calor), el segundo disminuyendo la temperatura del ambiente (aire acondicionado).

Este cambio se realiza mediante la válvula de 4 vías ya que con ella se selecciona el modo y la dirección del flujo del refrigerante mencionado ya sea hacia el condensador o el evaporador.

3.3.1 Bomba de calor HPE10280H045DV

La bomba de calor de la figura 54 consta de un ingreso de agua de $\frac{3}{4}$ pulgadas que se encuentra en la parte inferior del equipo al igual que con una salida ubicada en la parte superior por donde circulará el agua ya sea cuando este en modo bomba de calor o aire acondicionado, siendo el evaporador que estará sumergido en el tanque de agua o el

condensador respectivamente. En el tanque de agua se encuentra de dos niquelinas tubulares las mismas que se utilizaran para las pruebas para poder elevar la temperatura del agua y registrar su comportamiento.

Esta bomba de calor geotérmica trabaja a 220Vac, para nuestra investigación se realizó unos cambios con la válvula de 4 vías para que pueda realizar el proceso inverso de la bomba de calor para obtener un sistema de aire acondicionado.

Esta bomba de calor geotérmica tiene una capacidad de 80 galones de agua para poder cambiar de modos bomba de calor o aire acondicionado estos cambios se realiza mediante un switch de tres posiciones (BOMBA DE CALOR – OFF –AIRE ACONDICIONADO)

En la parte superior de la bomba se encuentra el sistema eléctrico el compresor y el condensador con su respectivo ventilador el ventilador tiene un diámetro de treinta centímetros y gira a mil setecientos cincuenta RPM revoluciones por minuto y calentara o enfriara el ambiente toda la parte eléctrica tiene un case o protector plástico negro. Esta bomba es de tipo aire – agua y se describirá a continuación que hace cada componente de este equipo ANEXO 2.



Figura 54. Esquema del sistema bomba de calor (CER)
Fuente: Centro de energías renovables de la universidad católica de cuenca

En la figura 54 en la imagen el tubo verde en la parte inferior es por donde ingresa el flujo de agua ambiente y en la parte superior la salida del flujo, este sistema consta de los siguientes componentes:

3.3.2 Compresor.

Este compresor hermético rotativo como se muestra en la figura 55, donde su función va a ser de comprimir el refrigerante 134a y direccionar hacia la cañería de cobre hasta llegar al condensador.

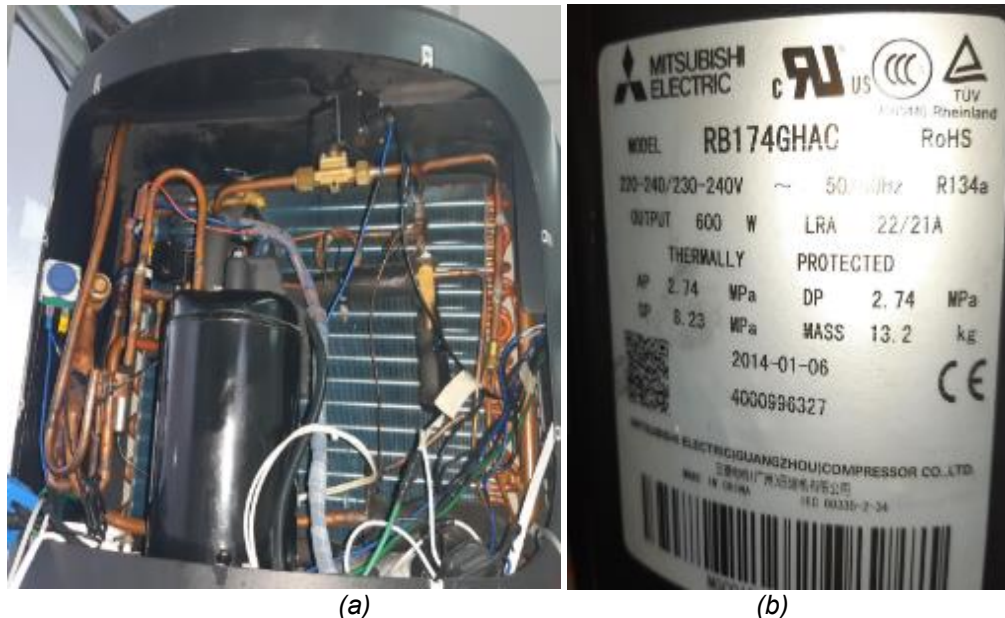


Figura 55. Compresor hermético rotativo

Fuente: Centro de energías renovables de la universidad católica de cuenca

Este compresor es de la marca MITSUBISHI ELECTRIC que trabaja a una tensión de 220V tiene una salida de 600W de 1 HP, en su parte interna trabaja con en refrigerante 134a este condensador es de modelos RB174GHAC

3.3.3 Condensador

El condensador que ocupa la bomba de calor es un modelo RB174GHAC como se puede observar en la figura 55 (b) que es la parte de color celeste el cual funciona a una tensión de 220V a una frecuencia de 50/60 Hz, dentro de este condensador trabaja con el refrigerante 134a y entrega una potencia de 600W. La capacidad del condensador será la misma capacidad del compresor en HP, este condensador es de aire forzado mediante la figura 56 (a) ya que tiene un ventilador de 0,55A.

El condensador tiene por objetivo la disipación del calor absorbido en el evaporador y de la energía del compresor.

El condensador cuando este en modo de bomba de calor calentara el ambiente y cuando este en modo aire acondicionado enfriara el ambiente ya que por ahí va a pasar el flujo de aire.

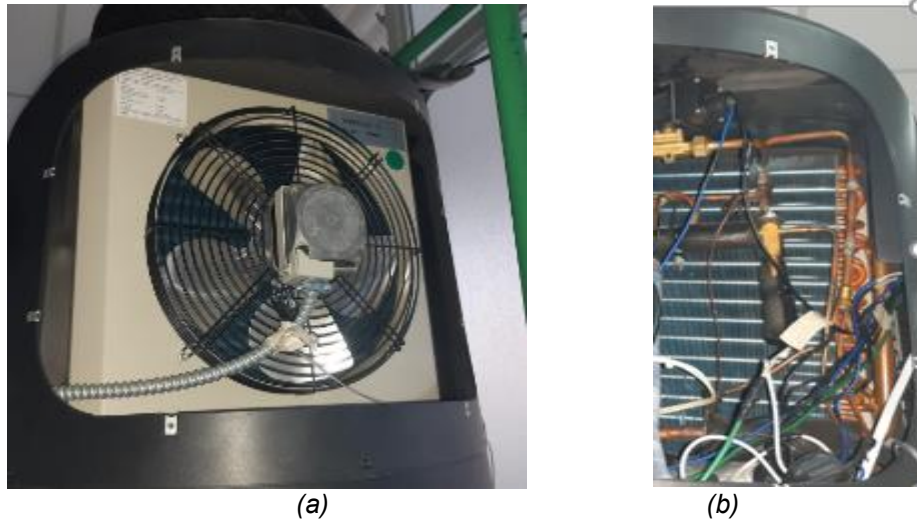


Figura 56. Condensador de aire forzado

Fuente: Centro de energías renovables de la universidad católica de cuenca

3.3.4 Evaporador.

El evaporador es de cobre, sumergido dentro del reservorio de agua que tiene una capacidad de 80 galones, el evaporador va absorber el calor del agua y transferirla hacia el condensador, cuando funcione como bomba de calor calentara el ambiente, así mismo el sistema operara en modo aire acondicionado, el evaporador disipara el calor absorbido del ambiente hacia el agua.

Se conoce por evaporador al intercambiador de calor, para explicar de mejor manera es donde se produce la transferencia de energía térmica desde el ingreso al tanque a ser enfriado con el serpentín sumergido con el fluido refrigerante que circula en el interior del mismo.

3.3.5 Válvula de 4 vías.

La válvula de 4 vías de la figura 57 es de 4,69 Mpa MOP, cambiara el flujo del refrigerante ya sea hacia el condensador o hacia evaporador el cambio se realiza mediante una electroválvula que funciona a 220v a frecuencia de 50/60 Hz, 5/4W.



Figura 57. Válvula de 4 vías

Fuente: Centro de energías renovables de la universidad Católica de Cuenca

3.3.6 Válvula de expansión.

Es un TDEN 1 la válvula de expansión es termostática, este componente es capaz de la generación de la caída de presión necesaria entre el condensador como también el evaporador en el sistema.

Nuestro sistema consta de 2 válvulas la una para bomba de calor y la otra para aire acondicionado explicado en el esquema de funcionamiento de válvula de 4 vías, esta bomba se dispone en el centro de energías renovables (figuras 58 y en la figura 59) se detalla como es el funcionamiento de esta válvula.

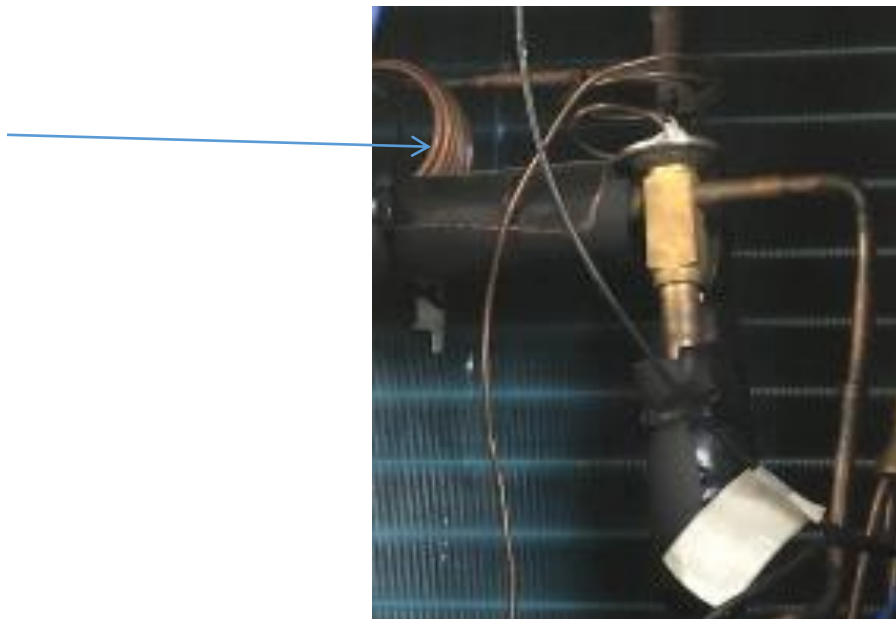


Figura 58. Válvula de expansión.

Fuente: Centro de energías renovables de la universidad Católica de Cuenca

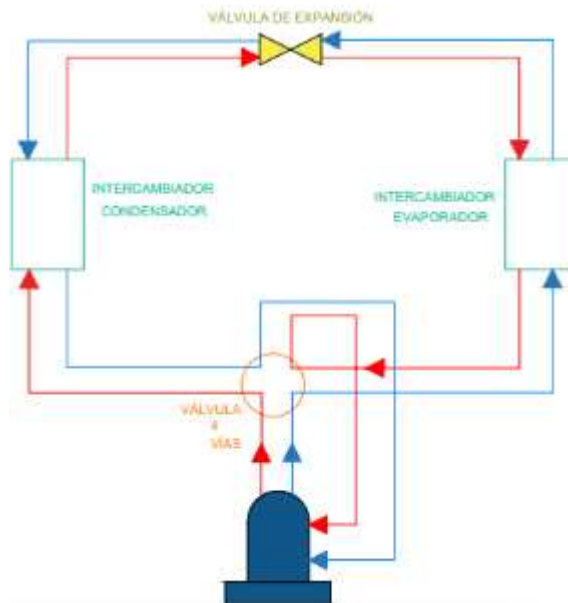


Figura 59. Esquema del funcionamiento de la válvula de 4 vías
Fuente: Autor

3.3.7 Refrigerante R-134a.

El refrigerante R-134a tiene un comportamiento que a media que la presión aumenta o disminuye empieza el refrigerante a cambiar proporcionalmente a la temperatura como se puede observar en la figura 60. (www.gas-servei.com)

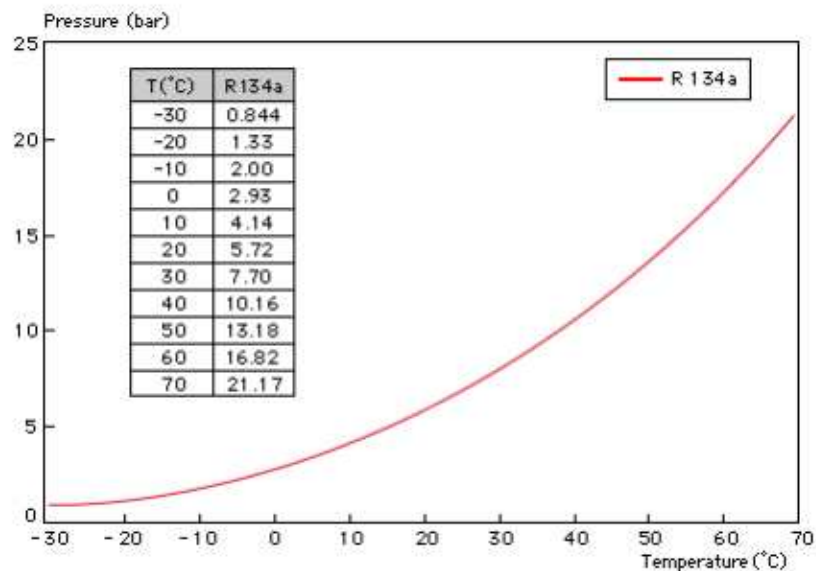


Figura 60. Presión/temperatura refrigerante 134a
Fuente: (www.gas-servei.com)

Este refrigerante es utilizado en la bomba de calor ya que posee características frigoríficas y se utiliza porque son fabricados especialmente para compresores herméticos con los que se utiliza este refrigerante también es el más utilizado para ciclos de refrigeración.

El refrigerante o conocido también como gas **R-134a** es un gas HFC el cual se utiliza en aires acondicionados y refrigeradores, y en sus características destaca que no daña al ecosistema, tiene una gran estabilidad tanto térmica como química además una buena compatibilidad con la mayoría de los elementos, tiene un nivel muy bajo de toxicidad siendo el mismo no inflamable, en la figura 60 podemos observar la gráfica de presión y temperatura dado por el fabricante de su comportamiento.

El CER de la universidad católica de cuenca consta con el refrigerante R-134a que se encuentra dentro de la bomba de calor geotérmica operara 300.0 PSI en alta, 2.1 Mpa y en el lado de baja o de succión tiene 250.0 PSI, 1,7 Mpa y en libras tiene 2.43 lb.

3.4 Modelo dinámico del sistema Híbrido

El sistema híbrido constara en la unión de los dos sistemas anteriormente, que es sistema fotovoltaico y el sistema de bomba de calor geotérmica donde los paneles del primer sistema entregara 2000W, con toda la energía limpia se podrá alimentar al sistema de bomba de calor el cual funciona a 220Vac y a 1500W, para alimentar a la tensión requerida se implementó a la salida del sistema fotovoltaico un transformador que eleve la tensión de 110 a 220Vac para que funcione la bomba de la universidad católica de cuenca (CER), figura 61.

Dentro del sistema de bomba de calor actuara de los dos modos calentando o enfriando el ambiente esto quiere decir que trabajar como bomba de calor y aire acondicionado.

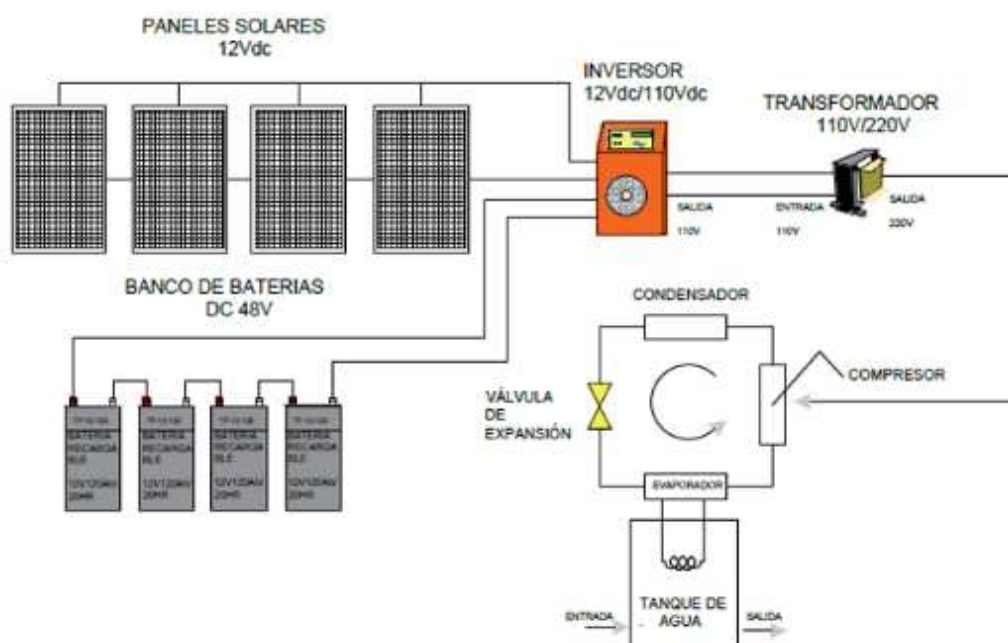


Figura 61. Esquema del sistema fotovoltaico - bomba de calor
Fuente: Centro de energías renovables de la universidad católica de cuenca

3.5 Recolección del comportamiento del sistema híbrido

Para poder discutir el comportamiento del sistema híbrido utilizaremos un software libre (Arduino) con el propósito de poder subir la información de manera directa a un centro de almacenamiento o nube (internet) para poder tener el monitoreo real del sistema donde se explicará a continuación que componentes vamos a utilizar para la toma de datos.

3.5.1 Shield Atmega.

Para la recolección de datos tanto de ingreso como de salida de la bomba de calor se utilizara el “Arduino modelo Mega 2560” figura 62, que es shield electrónico que dispone en CER que cuenta esta placa con 54 pines digitales de ingreso y salida este microcontrolador funciona a una tensión de 5V, puede soportar hasta tensiones de entre 6 hasta 20V, para la recolección de datos escogimos este arduino porque es compatible con las mayoría de shield la función de este controlador es mediante un cable USB se va a comunicar con un computador para realizar la programación para la toma de datos para poder realizar un análisis de nuestro sistema híbrido.



Figura 62. Arduino Mega 2560
Fuente : (www.arduino.com)

3.5.2 Shield Internet.



(a)

(b)

Figura 63. Shield de Internet

Fuente: Centro de energías renovables de la universidad Católica de Cuenca

El shield de la figura 63 a y b se conecta al internet en donde se puede transmitir la información a un sistema virtual o subir a una nube ya que tiene también una ranura para insertar una micro SD se recomienda colocar con una capacidad de dos gigas ya que este shield soporta esa capacidad donde la micro SD nos va a ser de útil al momento de cargar las paginas HTML o la página web en general.

3.5.3 Clock.

El shield de la figura 64, se está utilizando con el propósito de que al momento de la recolección de datos nos entregue la hora exacta de la toma de información.

Este sensor es un módulo reloj de tiempo real RTC reloj de alta exactitud maneja funciones de fecha y hora tiene una exactitud por el rango de más menos 2ppm operando a temperaturas de entre cero grados centígrados a cuarenta grados centígrados este módulo cuenta con una memoria interna de EEPROM I2C tiene además un registro del tiempo con segundos, minutos horas días de la semana fechas meses hasta años incluso con compensación de años bisiestos hasta 2100 también se puede programar hasta dos alarmas de llegase a requerir por hora y fecha.



Figura 48. Shield de clock para arduino

Fuente: Centro de energías renovables de la universidad Católica de Cuenca

3.5.4 Sensor de temperatura DS18B20.

El sensor DS18B20 de temperatura, este sensor trabaja con tensiones de 3.0 a 5.5Vdc, el rango de temperatura a censar es de -55 a +125 grados centígrados Figura 65.

Este sensor testeara el cambio de temperatura en el ambiente, sensor va ubicado al ingreso y salida del flujo de aire en el condensador, aumentara la temperatura cuando sea bomba de calor y disminuirá cuando sea aire acondicionado AC.

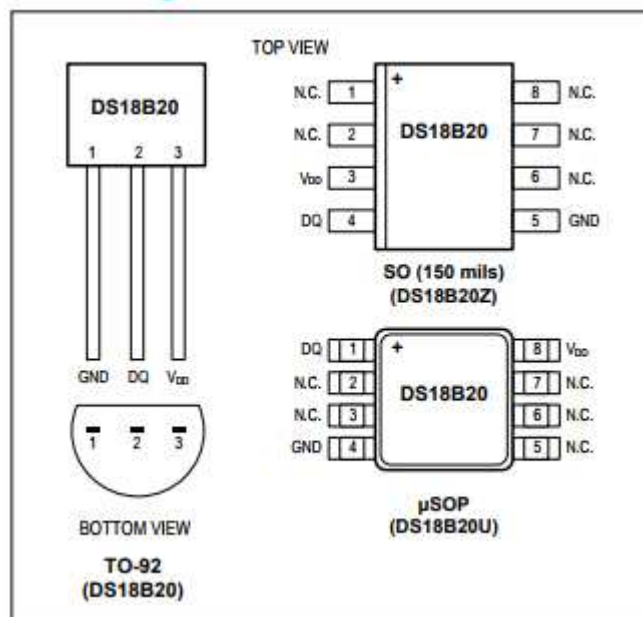


Figura 49. Sensor de temperatura DS18B20
Fuente: Centro de energías renovables de la universidad católica de cuenca

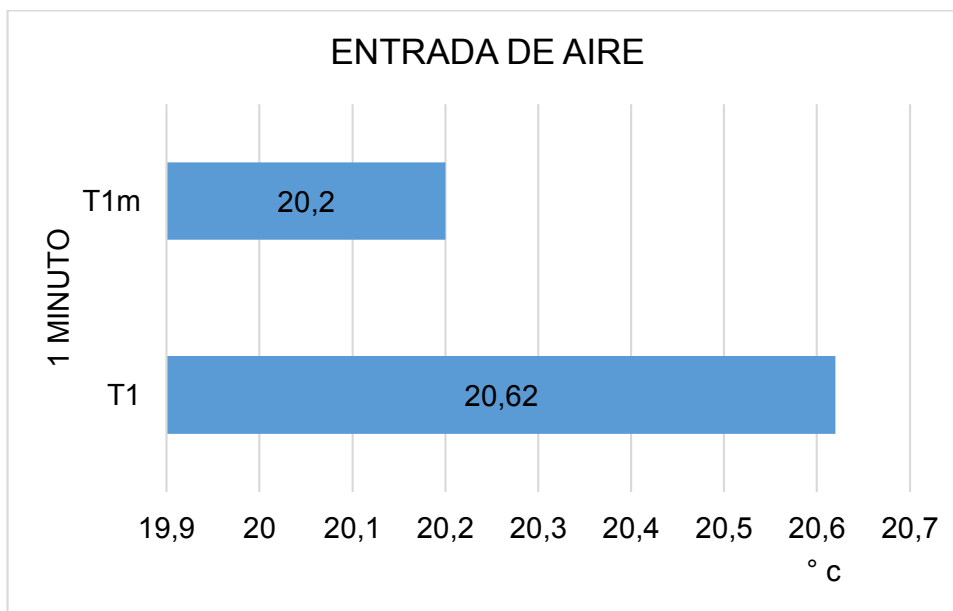


Figura 50. Calibración de sensores de temperatura de entrada de aire
Fuente: Autor

En la figura 50 podemos visualizar a T1 que es la medición que se realizó con el sensor de temperatura DS18B20 y T1M que es la medición que se realizó con un medidor de temperatura convencional. Es el sensor de la figura 51 donde mediante arduino censa el valor de 20.62° centígrados que será T1 y T1M es la medida que se tomó al ingreso de aire de la

bomba de calor con la ayuda de un medidor de flujo digital esta toma se realizó mediante un minuto tanto al sensor DS18B20 como al medidor de flujo digital para analizar cuál es el rango de variación entre ambos.

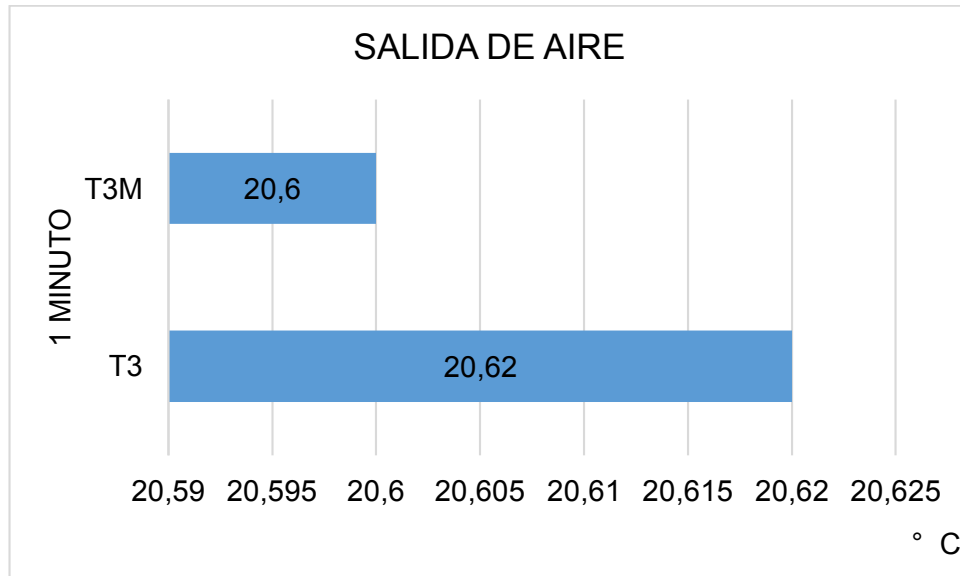


Figura 51. Calibración de sensor de temperatura a la salida de aire
Fuente: Autor

3.5.5 Sensor de corriente.

Los sensores de corriente es un dispositivo que se usa para medir el flujo de corriente en un circuito, en esta investigación va a medir el flujo de corriente consumido por la bomba de calor.

Los sensores de la figura 52 es del modelo SCT-013 estos sensores operan tal cual como transformadores, la "i" corriente en amperios que circula para su funcionamiento es de 0 a 40 AC, para medir actúa como el devanado primario (1 espira) e internamente este sensor cuenta con un devanado secundario donde la cantidad de las espiras que son simplemente la representación de la relación entre corriente que circula en amperios por el conductor, esta relación es la que diferencia entre los diferentes modelos de sensores SCT-013,



Figura 52. Sensor de corriente SCT -13

Fuente: Centro de energías renovables de la universidad Católica de Cuenca

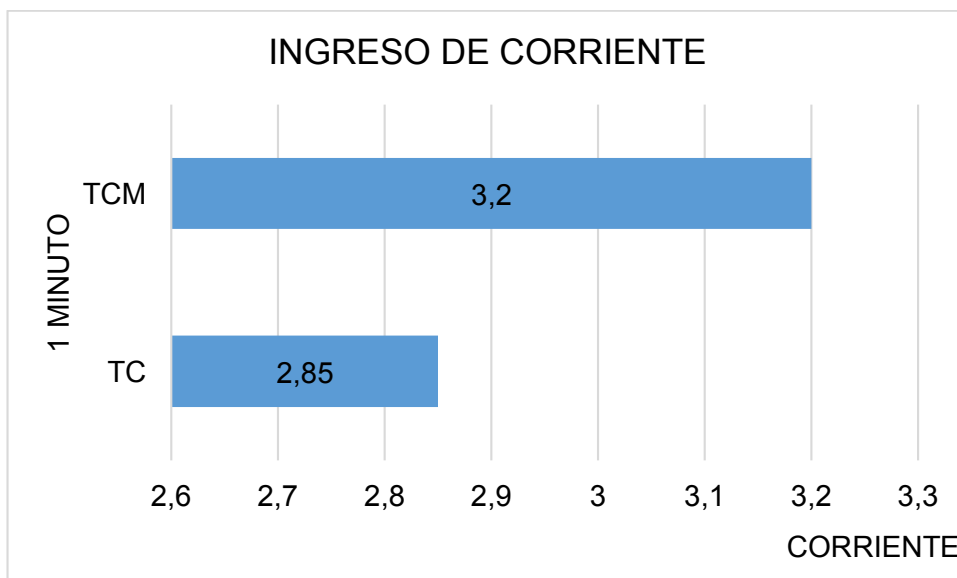


Figura 53. Calibración del sensor de corriente

Fuente: Centro de energías renovables de la universidad católica de cuenca

En la figura 53 se muestra como TCM es una medición que se realiza mediante un lapso de un minuto con un multímetro común y TC es la medición que se realiza mediante el sensor sct-13 con arduino para contrastar la diferencia que existe entre ambos.

3.5.6 Sensor de voltaje.

Este sensor de voltaje se observa en la figura 54 las conexiones están realizadas de tal manera que va en el ingreso de voltaje de la bomba de calor lo cual debería medir los 220V al cual funciona el sistema, estos datos se enviaran al arduino.

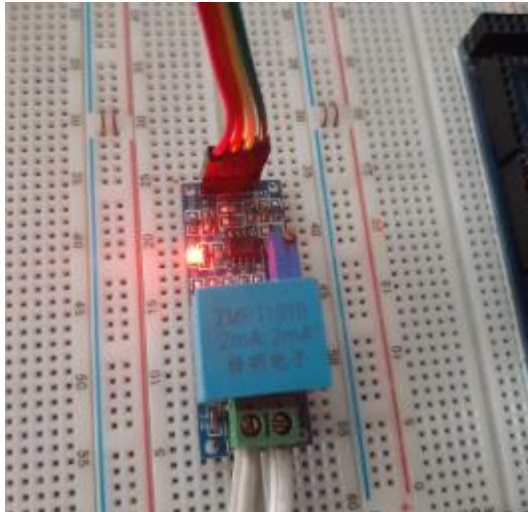
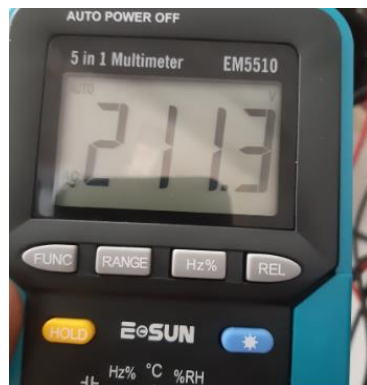
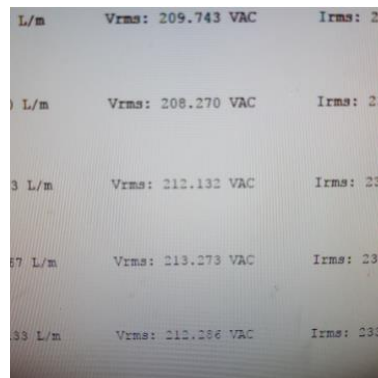


Figura 54. Sensor de voltaje modelo ZMPT101B
Fuente: Centro de energías renovables de la universidad católica de cuenca

En la figura 55 se describe las comparaciones de mediciones de entrada de voltaje al sistema bomba de calor y aire acondicionado 55 (a) muestra esta toma de medición con un multímetro digital mientras que en la figura 55 (b) se observa que es tomada con el arduino y con su respectivo sensor de voltaje de la figura 54



(a)



(b)

Figura 55. Calibración de mediciones de entrada de voltaje al sistema bomba de calor - aire acondicionado

Fuente: Centro de energías renovables de la universidad católica de cuenca

3.5.7 Sensor de flujo de agua.

El sensor de flujo trabaja en rangos de 1 hasta 30 litros por minuto en el proyecto de investigación está colocado uno al ingreso del reservorio de agua y otro a la salida del mismo de la figura 56. Este modelo consta de tres cables para sus conexiones ya que el rojo y negro

son para alimentación y el cable amarillo es para la salida de pulso que es una onda de forma cuadrada donde la frecuencia es directamente proporcional al caudal que este censando su unidad es (L/min) Caudal sobre minuto en arduino el cable. Para su conexión el cable amarillo en el caso de arduino mega debe ser conectado en el pin número 2.



Figura 56. Sensor de flujo de agua YF-S201

Fuente: Centro de energías renovables de la universidad católica de cuenca

En sensor de la figura 56 tiene un voltaje de operación de 5V – 18V en corriente continua y el consumo de corriente de 5V es de 15mA su salida de onda es cuadrada pulsante y tiene un rango de flujo de medición de entre uno hasta 30L/min, su temperatura de operación va desde los menos veinte y cinco grados centígrados hasta los ochenta grados centígrados su estructura o su composición es de plástico y soporta presiones de trabajo de hasta 1.75 Mpa a (17 bar).

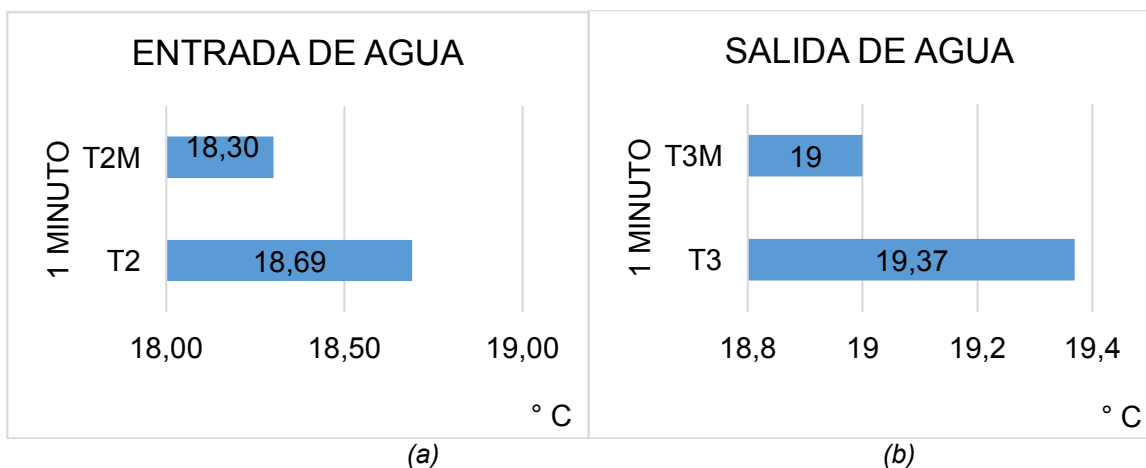


Figura 57. Mediciones de entrada y salida de agua

Fuente: Autor

En la figura 57 (a) se observa dos mediciones la primera con T2, se midió con arduino mega y el sensor YF-S201 y la segunda con el medidor de flujo digital que se observa en la figura 57 (a),(b) esta prueba se realizó mediante un lapso de un minuto con el fin de analizar cuál es el intervalo de porcentaje de error que puede haber entre ambos componentes en la figura 58 (a) se realizó en el ingreso del tanque de la bomba de calor y en la figura (b) se hizo el mismo proceso de medición pero a la salida del tanque.



(a)

(b)

Figura 58. Mediciones de entrada y salida de agua con medidor manual de temperatura
Fuente: Centro de energías renovables de la universidad católica de cuenca

3.5.8 Anemómetro.

Este dispositivo es un medidor digital de flujo y velocidad de aire de la figura 59.

En la actualidad la mayoría de anemómetros tienen componentes digitales, por lo que podríamos establecer que los modernos aparatos de medición de la velocidad del viento suelen ser anemómetros digitales.

Las mediciones que realiza son de tiempo real, para el uso de velocidad trabaja con unidades de m/s, km/h, mil/h, ft/s, ft/min, nudos, etc. Para el flujo de aire puede ser medido en metros cúbicos por minuto (CMM) o por segundo (CMS).

En nuestra investigación se utiliza para la medición la cantidad de viento que va a circular entre el cambiador de calor o frio de nuestro sistema denominado condensador.

Este anemómetro tiene un selector de unidad de medida su sistema de alimentación es mediante una batería cuadrada de 9Vcc, su rango de medición se encuentre entre 0.8~40 m/s, el tiempo de muestreo es cada 0,4segundos, puede operar en rangos de temperatura que va desde los menos veinte grados centígrados hasta los ochenta grados centígrados.



Figura 59. Anemómetro digital
Fuente: Centro de energías renovables de la universidad católica de cuenca

3.5.9 Manómetro

Un manómetro es un equipo físico tangible que se encuentra en la figura 60 y sirve para las mediciones tanto de la presión de un fluido o gas en el interior del mismo.

La función que se utilizara en nuestra investigación de este manómetro es medir la presión de refrigerante 134a, en el compresor tanto en el lado de succión como en descarga figura 60. Tiene un margen de error del +- 1% tiene un numero de válvulas para refrigerantes como R-134, R-22, R-404a, tiene un numero de mangueras con capacidad de 3.0 a 500 psi, 30 pul. Hg a 120 psi según el fabricante.



Figura 60. Manómetro analógico yellow jacket
Fuente: Centro de energías renovables de la universidad católica de cuenca

Calibración de los sensores de flujo de aire con anemómetro CER y arduino

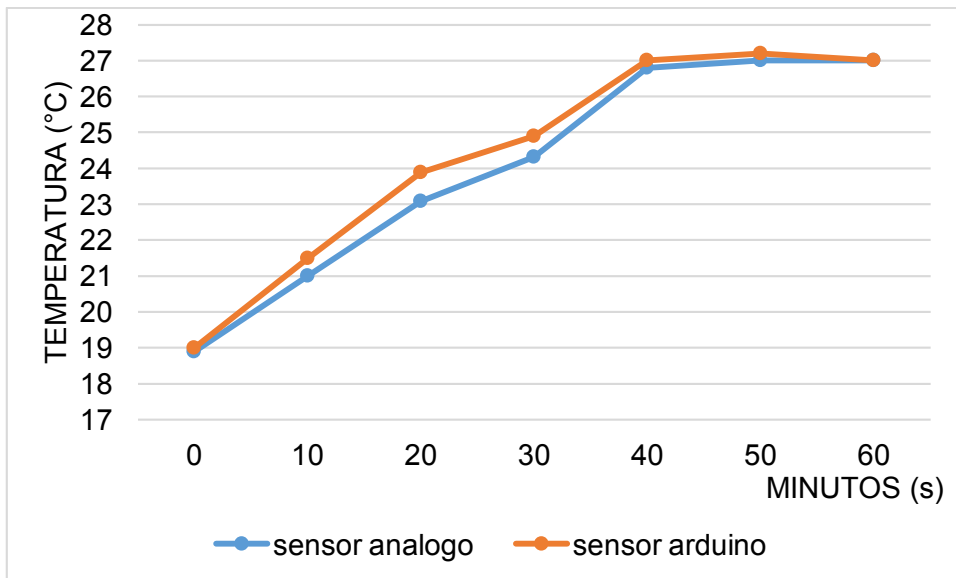


Figura 61. Calibración de los sensores de flujo de aire con termómetro CER y arduino
Fuente: Autor

En la figura 77. Se muestra esta prueba de calibración que se realizó con un lapso de una hora con el sensor DS18B20 para arduino y también con un termómetro digital donde inicia con 18.8 grados centígramos y en un lapso de cuarenta minutos se estabiliza llegando a los veinte y siete grados centígramos.

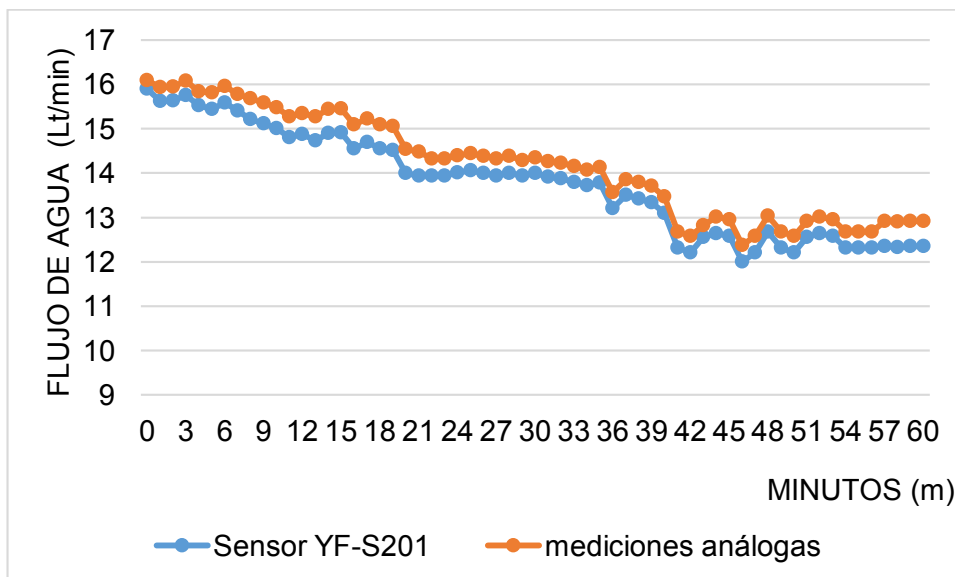


Figura 62. Calibración de los sensores de flujo de agua con medidor análogo y arduino YF-S201
Fuente: Autor

En la figura 62 se puede observar las dos maneras que realizo mediciones la primera se realizó de tal manera que se llenó un tanque de agua externo haciendo fluir agua a través de la bomba de calor y así midiendo de manera análoga cuantos litros por minuto pasa por un lapso determinado realizándose tomas de información cada diez minutos por el lapso de una hora y mediante arduino se realizó por el mismo lapso de tiempo. Se puede observar que empieza con un valor elevado de caudal ya que es al momento de abrir la llave de paso de agua se viene con presión el agua suministrada por la empresa pública ETAPA EP.

En nuestro sistema se utiliza **HOBOWare** es un software con conexión mediante interface USB para monitoreo y visualización de registros en nuestro caso del comportamiento del clima en el CER donde se obtuvo las radiaciones electromagnéticas también sirve para el monitorio de temperatura y humedad del entorno.

4) METODOS TEORICOS Y EXPERIMENTALES BOMBA DE CALOR Y AIRE ACONDICIONADO

En la figura 61 del capítulo anterior, se visualiza los componentes principales del sistema híbrido de panel solar fotovoltaicos y modos “bomba de calor – aire acondicionado AC”, en este diagrama se puede apreciar que el primer sistema se compone de paneles solares, regulador de carga, banco de baterías e inversor Vdc -Vac. De manera compacta en un solo equipo se encuentra en su interior el regulador de carga y el inversor a este equipo se encuentra conectado todo el sistema que es el banco de baterías, los paneles PV.

El inversor también está directamente conectado a la red eléctrica con la finalidad de ser backup cuando las baterías se agoten o viceversa entregando 110v a su salida. Dentro del inversor existe un regulador de carga, siendo alimentado por los paneles solares y una de sus salidas va conectado al banco de baterías y de manera simultánea hacia el inversor; manteniendo en su salida una tensión normal que entrega el fabricante (ANEXO 3).

Al existir un aumento en la tensión de entrada al regulador de carga pasando por el límite aceptado de corriente para la carga, esta parte del sistema se desconectará de manera inmediata hasta que el sistema se equilibre y se normalice tanto la corriente como la tensión, pasará de manera similar en el caso que la corriente que entrega el panel solar sea mínima. La energía suministrada por la red al sistema cuando no cense voltaje de la red, la placa switch realizaría el proceso del intercambio para que ingrese a trabajar los paneles fotovoltaicos siendo robusto en la entrega de la potencia a ser consumida.

El sistema entrega un voltaje constante de 120Vac la misma se conectará a un transformador de 3000 Watts, el cual elevará la tensión a 220Vac para el funcionamiento de la bomba de calor – aire acondicionado, a la unión de estos dos sistemas se denomina como un sistema híbrido figura 61.

En el sistema bomba de calor – aire acondicionado tenemos los siguientes componentes principales que la conforman de compresor, condensador, válvula de expansión, evaporador sumergido en el tanque con agua, este último siendo evaporador en el modo bomba de calor, y condensador en el modo aire acondicionado, como se muestra en la figura 53.

En el sistema al momento que se suministre la energía, la entrada en funcionamiento el compresor comprimiendo el refrigerante R-134a dirigiéndolo a alta presión y alta temperatura hacia el condensador momento donde fluirá aire forzado para calentar un espacio determinado, entonces el flujo del refrigerante continuara el ciclo hacia la válvula de expansión

y posterior al evaporador a baja presión y baja temperatura la misma que se encuentra sumergida en el tanque de agua con la finalidad de hacer fluir agua a diferentes caudales y absorber el calor del agua hacia el evaporador para ser aprovechada esta temperatura del agua para calentar aún más el condensador al momento que retorne el refrigerante hacia el compresor cerrando el ciclo de refrigeración y a su vez entregar más calor al espacio determinado siendo este el modo bomba de calor.

De igual manera, al momento que se suministre la energía al compresor, este comprimirá el refrigerante R-134a enviando con alta presión y alta temperatura hacia el condensador sumergido en agua, con la finalidad de hacer fluir agua y absorber el frío del agua hacia el condensador para ser aprovechada esta temperatura del agua para enfriar aún más el evaporador al momento que retorne el refrigerante hacia el compresor cerrando el ciclo de refrigeración y a su vez entregar más frío al espacio determinado. Entonces el flujo del refrigerante continuará el ciclo hacia la válvula de expansión y posterior al evaporador a baja presión y baja temperatura la misma transmitirá mediante aire forzado el frío hacia el espacio determinado.

De igual forma al alimentarse el compresor se comprimirá el refrigerante para enviar a alta presión y alta temperatura hacia el condensador que se encuentra sumergido en agua para posterior dirigirse el refrigerante hacia la válvula de expansión y el evaporador a baja presión y baja temperatura, mediante aire forzado transmitirá el frío hacia el espacio determinado retornando el refrigerante hacia el compresor cerrando el ciclo de climatización. El agua fluirá a diferentes caudales en el tanque y dentro del mismo se encuentra el condensador el cual al existir el flujo constante del agua se aprovechará esta temperatura para transferir hacia el evaporador siendo este el modo aire acondicionado. Adicional se realizarán pruebas elevando la temperatura del agua en el tanque donde se encuentra sumergido el condensador.

En el sistema de la UCACUE se realizó las pruebas de operación en ambos modos (bomba de calor – aire acondicionado AC) y analizar el comportamiento en el sistema híbrido.

En esta investigación procedemos a realizar los cálculos teóricos y experimentales que explicaremos a continuación.

BOMBA DE CALOR			
ETAPA TOMA DE DATOS	CAUDAL DE AIRE (CONDENSADOR)	CAUDAL DE AIRE (EVAPORADOR)	TEMPERATURA DE AGUA
PRIMERA	100% (4.2 m/s)	100% 12 (L/min)	AMBIENTE
SEGUNDA	100% (4.2 m/s)	25% 3 (L/min)	AMBIENTE
TERCERA	100% (4.2 m/s)	100% 12 (L/min)	35 °C
CUARTA	100% (4.2 m/s)	25% 3 (L/min)	35 °C

En la tabla 11 se muestra la representación de las pruebas realizadas de la toma de datos con arduino donde en el modo bomba de calor se ha realizado las pruebas a diferentes caudales de agua y de temperatura, es decir, pasando por el evaporador un ingreso 12 L/m y 3 L/m a temperatura ambiente que se tiene en el laboratorio CER posteriormente a 12 L/m y 3 L/m a temperatura de treinta y cinco grados centígrados del agua, esta agua fluirá a través del evaporador para analizar el comportamiento en el condensador bajo las condiciones mencionadas.

Tabla 12. Etapas de toma de Datos para sistema de aire acondicionado
Fuente: Autor

AIRE ACONDICIONADO			
ETAPA TOMA DE DATOS	CAUDAL DE AGUA (CONDENSADOR)	CAUDAL DE AIRE (EVAPORADOR)	TEMPERATURA DE AGUA
PRIMERA	100% (12 L/min)	100% 4.2 (m/s)	AMBIENTE
SEGUNDA	100% (12 L/min)	75% 4.5 (m/s)	AMBIENTE
TERCERA	100% (12 L/min)	50% 5.2 (m/s)	AMBIENTE
CUARTA	100% (12 L/min)	25% 6 (m/s)	AMBIENTE

En la tabla 12 se observa el modo aire acondicionado fluirá un caudal de agua de 12L/m a través del condensador para analizar qué pasa en el evaporador a diferentes caudales de aire tanto al cien, setenta y cinco, cincuenta, veinte y cinco por ciento todas estas pruebas se realizan en el CER Centro De Energías Renovables De La Universidad Católica De Cuenca.

En el sistema de bomba de calor tenemos la información que recomienda el fabricante para el uso óptimo del equipo, que es respecto al agua que tiene que ser suministrada entre mínimo de 50 PSI y máximo de 80 PSI (libra de fuerza por pulgada cuadrada) según información que entrega el fabricante y con una sección del diámetro de $\frac{3}{4}$ en el equipo, en el laboratorio CER tenemos realizadas las conexiones con tubería de $\frac{1}{2}$ ya que este suministro del agua nos entrega a uso residencial la empresa ETAPA EP con rangos entre 40 a 60 PSI a los usuarios de la ciudad de cuenca es decir que cumplimos con el rango mínimo recomendado.

En la salida de aire en bomba de calor AC entrega mediante el ventilador de aire forzado el acondicionamiento al ambiente, el fabricante recomienda que al equipo se le debe instalar una ducteria con una sección de ocho pulgadas para direccionar el aire frio hacia un espacio requerido a una distancia de 3 metros, en el laboratorio CER se realizaron las tomas de valores directamente de lo que expulsa el ventilador de aire forzado.

El compresor indica según datos de placa trabaja a 220 voltios consumiendo 4 amperios con esta información se determina que el mismo tendría una capacidad de 1 HP horse power (caballos de fuerza).

El equipo contiene las niquelinas o resistencias se utiliza para elevar la temperatura del agua en el modo original de su fabricación y en este caso con el fin de utilizar el agua caliente, esta niquelina se puede regular mediante un panel digital que está incorporado en la bomba de calor llegando a calentar según datos del fabricante. Para nuestra investigación estas niquelinas fueron aislados a la alimentación del sistema PV por la razón que consumen alrededor de 2000W siendo estas alimentadas por la energía eléctrica convencional esta calibración se utilizó para aumentar la temperatura del agua para realizar pruebas del comportamiento en el modo bomba de calor a una temperatura de 35 grados centígrados en el CER.

4.1 Resultados y simulación del método teórico del sistema híbrido.

Para el desarrollo de este apartado se utilizó las ecuaciones de la masa del refrigerante (5), capacidad de calor en el evaporador (9), la capacidad de calor en el condensador (7), capacidad de calor en el compresor (6), potencia en el compresor (12) descritos en el capítulo anterior. Para el desarrollo del cálculo de las entalpías h_1 , h_2 , h_3 , h_4 , al hablar de entalpia se refiere a la cantidad de energía en el cual un sistema termodinámico intercambia con su medio de ambiente o entorno ósea la cantidad de energía que el sistema absorbe o entrega al ambiente, esto nos quiere decir que la entalpia refiere a la cantidad de calor en condiciones de presión de manera constante dependiente que si el sistema se encuentra recibiendo o

aportando energía existiendo dos modos en el caso de A/C aire acondicionado tendría la transformación endotérmico (absorción de calor o energía del medio ambiente) y en el modo bomba de calor vendría a tener la transformación exotérmico (liberación de calor o energía hacia el ambiente). Mediante la figura 62 se explica que la entalpia h_1 se encuentra en la salida del evaporador o a la vez en la entrada del compresor donde se puede determinar el calor que intercambia con su entorno; h_2 es la salida del compresor o entrada hacia el condensador; h_3 y h_4 es donde se realiza una expansión para posterior enfriar en el evaporador.

Entonces se utiliza el software EES (<http://fchartsoftware.com>, s.f.) la cual es una herramienta computacional para la resolución de ecuaciones lineales y no lineales, en este caso aplicados a termodinámica.

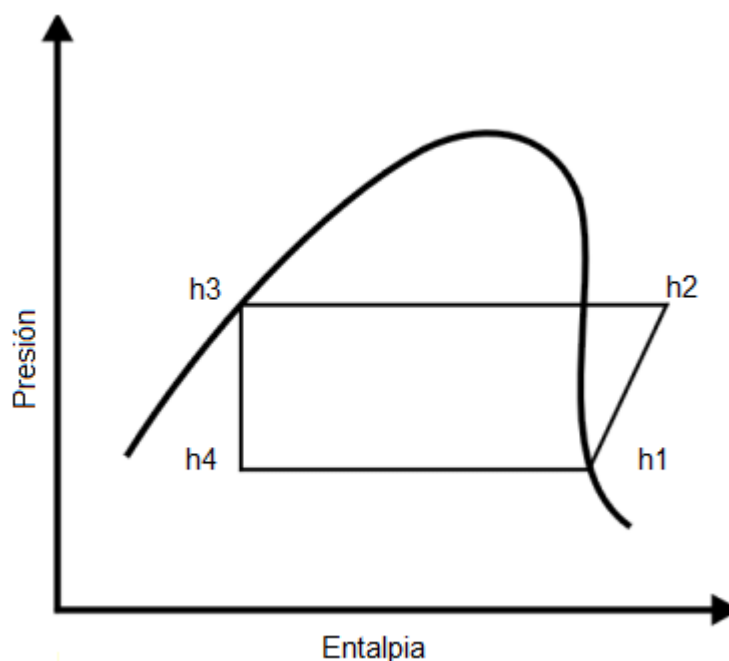


Figura 63. Esquema ubicación de las entalpias en un ciclo de refrigeración
Fuente: Autor

4.2 Resultados teóricos del sistema fotovoltaico.

En el desarrollo de esta investigación se utilizó un total de ocho paneles solares conectadas en paralelo suministrando una tensión de 30V a una corriente de 8.66A, temperatura de 25 grados centígrados, estos valores se encuentran a una radiación de 1000 W/m^2 , como se muestra en la figura 45. La potencia de un panel es de 260W, sumado los ocho paneles suministrara una potencia de 2080W, suministrando a la salida del inversor con un voltaje de 120Vac.

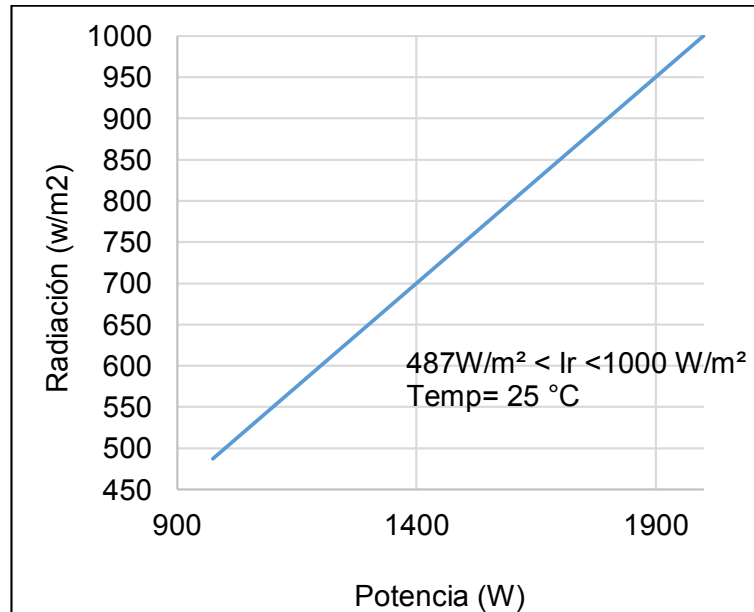


Figura 64. Rango de radiación requerida en los PV para suministrar la potencia
Fuente: Autor

El sistema bomba de calor consume una energía de 1KW .h como se observa en la figura 80 para lo cual se realiza los cálculos, con el requerimiento mínimo de una radiación de 487 W/m^2 ; según los datos obtenidos con el sistema meteorológico HOBOWare del CER de La Universidad Católica De Cuenca, se dispone de radiaciones máximas de 1055 W/m^2 en la tabla 10, siendo este establecido en un instante de tiempo.

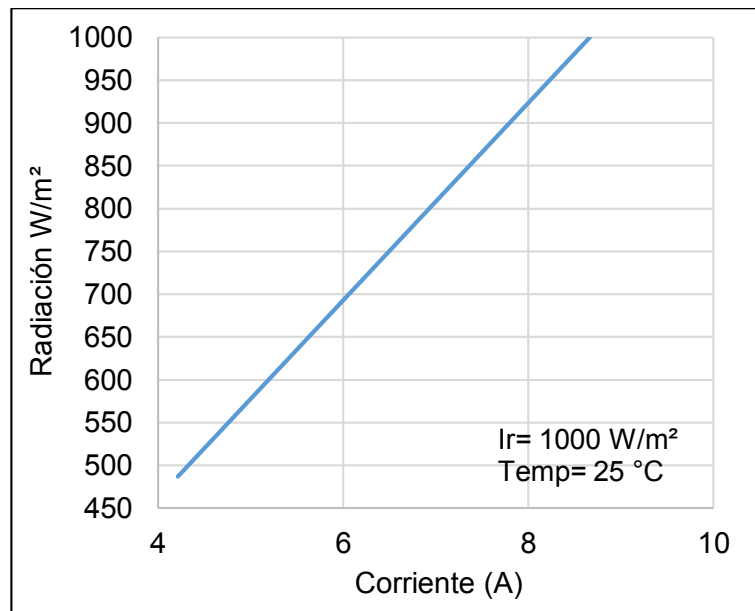


Figura 65. Radiación frente la corriente del panel solar fotovoltaico método teórico
Fuente: Autor

En la figura 65, se describe de manera gráfica que con la radiación de 487 W/m^2 se entrega una corriente de 4.21 amperios, estableciéndose este como el valor mínimo requerido

para que genere el sistema fotovoltaico, la potencia necesaria para que opere el equipo y en la radiación puede llegar hasta 1000 W/m² que sería a una corriente máxima de 8.66 amperios según datos de placa.

En el ANEXO 17 se puede revisar mediante HOBOWare se recolecto la información del comportamiento de la radiación del día veinte y cuatro de diciembre de las dos mil diecisiete.

Tabla 13. Perfil de radiación solar HOBOWare en el laboratorio CER
Fuente: Autor

Hora, GMT-05:00	Radiación solar, W/m ²
1:00 a. m.	0.6
2:00 a. m.	0.6
3:00 a. m.	0.6
4:00 a. m.	0.6
5:00 a. m.	1
6:00 a. m.	15
7:00 a. m.	125
8:00 a. m.	395
9:00 a. m.	518
10:00 a. m.	454
11:00 a. m.	458
12:00 p. m.	678
1:00 p. m.	1055
2:00 p. m.	754
3:00 p. m.	304
4:00 p. m.	100
5:00 p. m.	62
6:00 p. m.	7
7:00 p. m.	1
8:00 p. m.	0.6
9:00 p. m.	0.6
10:00 p. m.	0.6
11:00 p. m.	0.6
12:00 a. m.	0.6

En la tabla 13 tenemos el perfil de radiación, obtenidos en un día mediante el software HOBOWare obtenidos que estos varían entre 0.6 hasta 1055 W/m², siendo esta última medición la más alta.

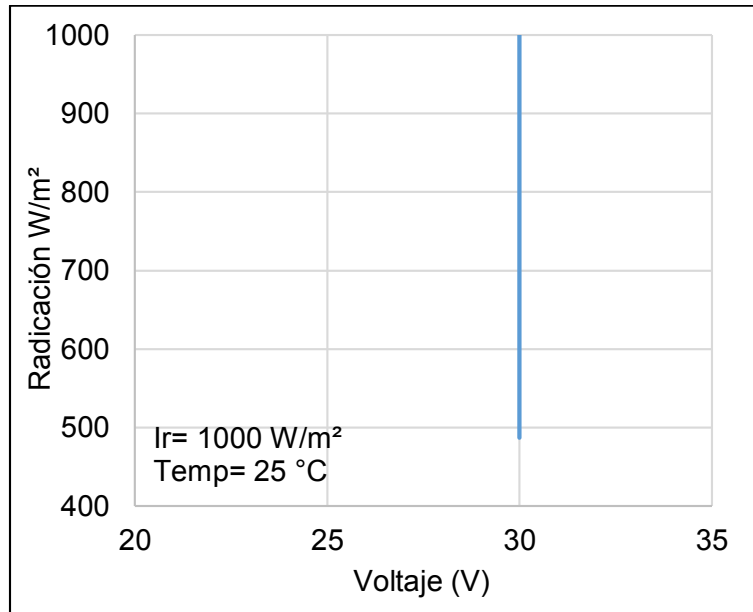


Figura 66. Radiación frente al voltaje del panel solar fotovoltaico método teórico
Fuente: Autor

En la figura 66, se describe de manera gráfica el comportamiento de las radiaciones frente el voltaje con dato de placa, obteniendo un resultado constante a partir de los 487 W/m2.

$$\eta = \frac{FF \times Voc \times Isc}{G \times Area} \quad (15)$$

FF: Factor de forma

Voc: Voltaje en circuito abierto

Isc: Corriente de cortocircuito

G: Irradiación que impacta en la célula

Área: la superficie de la célula en metros cuadrados

En los paneles principalmente existe la producen energía eléctrica según el tamaño como también la eficiencia, el material de construcción de la celda y la cantidad de ingreso de luz solar que reciben, la eficiencia es la energía eléctrica la cual es aprovechada del total de la energía que es impactada de manera directa en el panel, para obtener la eficiencia depende varios factores importantes que estos son el tamaño del panel, la cantidad de impacto de luz solar en la superficie o área del panel, la cantidad de irradiación G que se obtiene en las células del comprendido panel, el voltaje o la tensión de potencia máxima de V_{mp} , de la corriente de potencia máxima I_{mp} , tensión máxima de circuito abierto V_{oc} , su corriente "i" máxima en corto circuito I_{sc} y el factor forma FF, este factor sirva como dato para poder encontrar la eficiencia de un panel siendo la conexión directamente proporcional entre la potencia máxima teórica y la potencia real medida donde esto se realiza por el motivo que

depende del entorno que se desee saber la eficiencia ya que no en todo lugar es a 1000w/m2 y a temperatura de 25°C.

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (16)$$

Tabla 14. Factor de forma del panel fotovoltaico
Fuente: Autor

FACTOR FORMA	
Vmp	30
Imp	8.66
Voc	35.7
Isc	9.69
FF	0.75

En la tabla 14 se puede observar el cálculo realizado con datos de placa del panel fotovoltaico en condición ideal es el factor forma es la relación directa que va entre la potencia máxima teórica y la potencia real medido en el instante o momento solar siendo un dato que sirve para hallar la eficiencia del panel, este factor se obtiene multiplicando el voltaje máximo de potencia y la corriente máxima de potencia este resultado se divide para la multiplicación entre el voltaje de circuito abierto por la corriente de corto circuito.

Tabla 15. Factor de eficiencia del panel fotovoltaico
Fuente: Autor

EFICIENCIA	
FF	0.75
Voc	35.7
Isc	9.69
G	1000
Area	1.63
η %	15.94

La eficiencia se obtiene con la tabla 11 siendo los valores de placa calculados mediante la ecuación (15) ya descrita anteriormente.

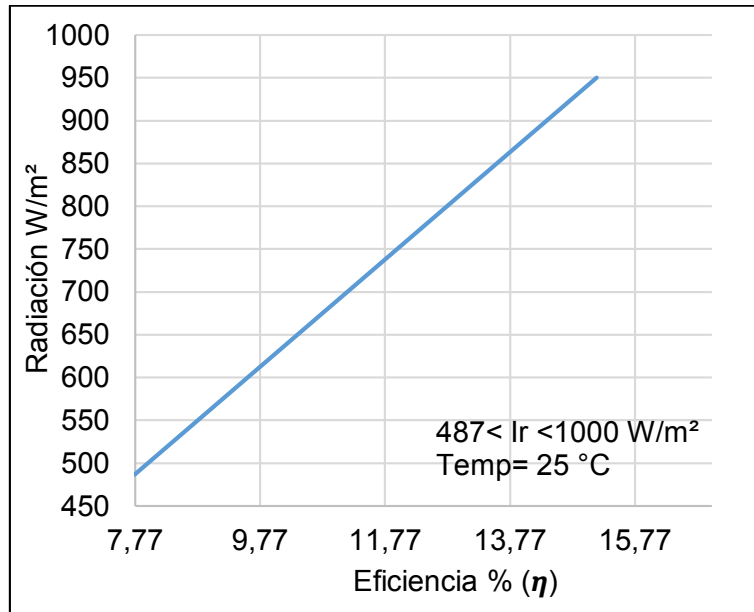


Figura 67. Eficiencia del panel fotovoltaico
Fuente: Autor

En la figura 67 se puede observar la eficiencia de los paneles fotovoltaicos PV en condiciones normales de operación, donde parte desde 487W/m² de radiación ya que con esta puede suministrar la suficiente potencia explicado en la figura 73, teniendo una eficiencia de siete puntos setenta y siete por ciento aplicando la ecuación (15). También tenemos graficado en la figura 76 el punto más alto de radiación que sería en condiciones ideales es decir a 1000W/m², donde tenemos una eficiencia máxima de quince puntos setenta y siete.

4.3 Cálculo de las entalpías para refrigerante R-134a mediante EES.

En la tabla 12 se visualiza uno de los diferentes valores recolectados durante un lapso de sesenta minutos operando en el modo bomba de calor, estos valores se obtuvieron mediante la placa arduino con el uso de sensores de temperaturas en la entrada y salida del condensador y evaporador y un manómetro analógico para mediciones de las presiones del refrigerante R-134a tanto de alta y baja en el compresor de la bomba. Estos valores de presiones fueron convertidos de la unidad PSI (libra por pulgada cuadrada) a Bar (unidad de presión), para ser usados y manipulados en el software EES (Engineering Equation Solver). (Néstor Fonseca & Pereira).

EES es una herramienta computacional que permite al usuario la resolución de conjuntos de ecuaciones algebraicas y demás sistemas de ecuaciones simultáneas (lineales o no) de forma numérica. es un programa general de resolución de ecuaciones que puede resolver numéricamente miles de ecuaciones algebraicas y diferenciales no lineales

acopladas. El programa también se puede utilizar para resolver ecuaciones diferenciales e integrales, hacer que sea un sistema eficaz, verificar la consistencia de la unidad y generar gráficos de calidad que concuerden con los valores obtenidos. Una de las características importantes del software EES es su extensa base de datos que tiene el mismo y de propiedades de transporte y termodinámica con una precisión bastante confiable de tal manera que permite su uso sea fiable en el cual hay podemos realizar la resolución de ecuaciones. (<http://fchartsoftware.com/ees/>)-

Tabla 16. Presiones y temperaturas de la bomba de calor a un caudal del 100%
Fuente: Autor

T1	T2	T3	T4	(PSI)	
° C	° C	° C	° C	BAJA	ALTA
7.94	48	24.75	22	23	95
7.56	48.13	24.62	22	22	95
7.63	48.31	24.75	22.06	23	95

En la tabla 16 se observa valores de T1 son datos de temperatura de entrada al evaporador, T2 entrada del condensador, T3 salida del condensador y T4 salida del evaporador, todo este valor viene dado en grados centígrados. Los valores de P son los valores de las presiones tanto en alta como en baja y son medidas en libra por pulgada cuadrada “PSI”.

En el software EES se escoge el refrigerante R 134a, el cual utiliza la bomba de calor geotérmica existente en el lugar, una de sus principales características es el rápido manejo para el cambio de temperaturas, las entalpías fueron calculadas en función a la temperatura de salida del evaporador al igual que la salida del condensador y presión de alta y baja en las tuberías de descarga y succión a diferente caudal de agua tanto al 100% como también al 25%.

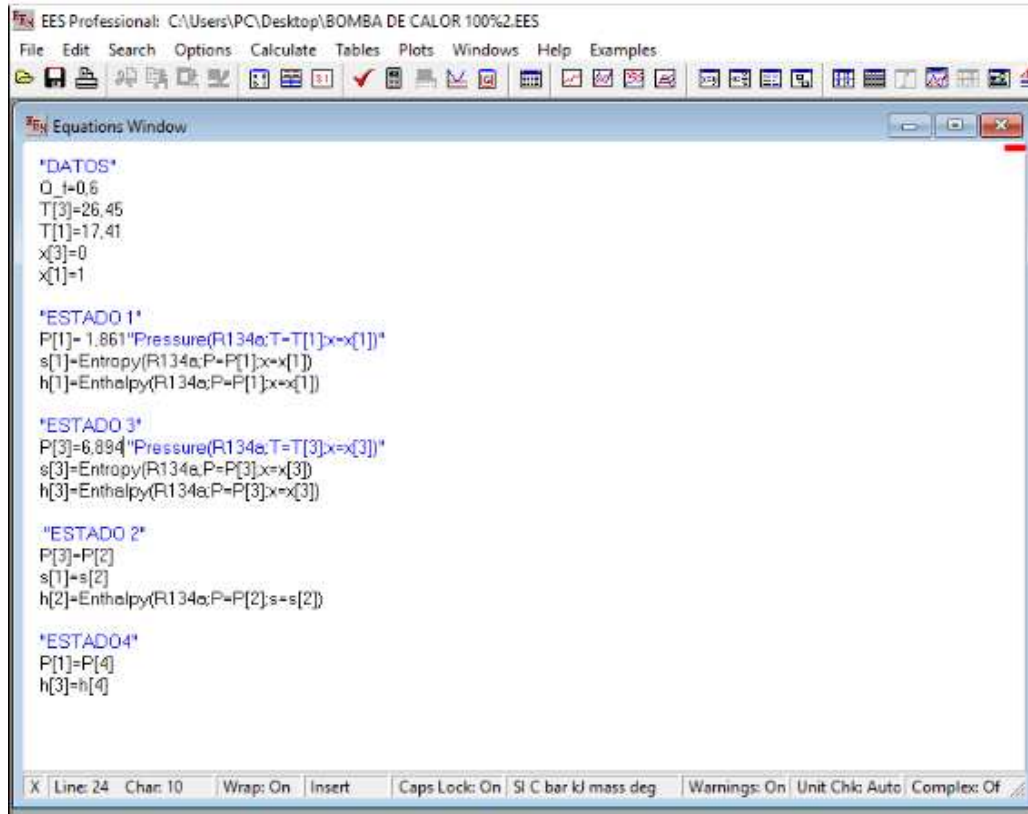


Figura 68. Cálculo de entalpias EES
Fuente: Autor

En la tabla 17. Se muestra los valores de entalpias de h1 a h4 que vendría a ser según la tabla de P1 a P4 siendo las unidades de medida en KJ/Kg calculadas en el software EES de la figura 84 (Engineering Equation Solver), para realizar los cálculos de la capacidad de calor tanto en evaporador y condensador.

Tabla 17. Entalpias del refrigerante R-134a
Fuente: Autor

PUNTOS DE CICLO	PRESIONES	TEMPERATURA	LIQUIDO SATURADO	ENTALPIA	ENTROPIA
	Bar	°C		Kj/Kg	Kj/Kg-K
P1	1.86	17.41	1	243.4	0.93
P2	6.89			279.5	0.93
P3	6.89	26.45	0	88.08	0.32
P4	1.86			88.08	

En la figura 68, se muestra un ejemplo para el cálculo de las entalpias del refrigerante R-134a, con un flujo de agua del 100%. El software EES (Engineering Equation Solver) permite visualizar el comportamiento del ciclo de refrigeración de manera gráfica en función de la temperatura obteniendo la presión frente a la entalpia. En el ANEXO 4 tenemos las gráficas completas de todo el método teórico como también de bomba de calor y AC aire acondicionado.

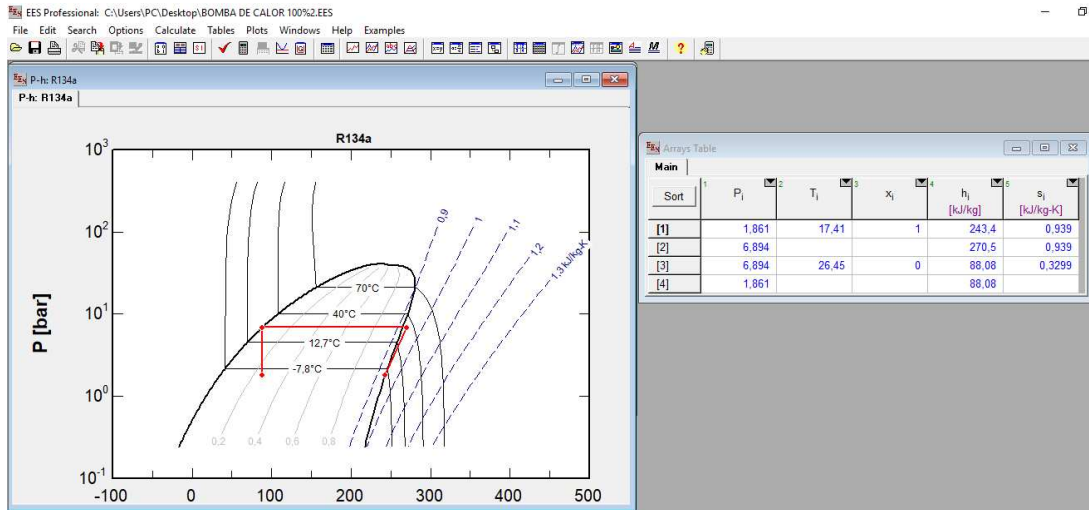


Figura 85. Cálculo de entalpías R-134a en EES flujo de caudal de agua al 100%
Fuente: Autor

En la tabla 18, se observa los valores obtenidos de la ecuación 6 del flujo másico del refrigerante **R-134a** con el que opera la bomba de calor a diferentes variaciones tanto de caudal de agua como de temperatura.

Toda la entalpía y los flujos másicos se puede revisar en ANEXO 5.

Tabla 18. Flujo másico de la bomba de calor
Fuente: Autor

BOMBA DE CALOR			
CAUDAL DE AGUA	TEMPERATURA AGUA	FLUJO MASICO DEL REFRIGERANTE	UNIDAD
25%	25°C	0.02	kg/s
100%	25°C	0.02	kg/s
25%	35°C	0.022	kg/s
100%	35°C	0.022	kg/s

4.4 Método resultado teóricos bomba de calor (calentar ambiente).

El sistema bomba de calor según sus datos técnicos de placa el equipo en general (Motor compresor-motor ventilador-electroválvulas-sistema de control) se alimenta con una tensión de (240v) de igual manera la corriente que consume el equipo en general es de (4.06A), si se realiza el cálculo de la potencia con los datos antes mencionados se obtiene 0.97Kw. Para este estudio se realiza con el dato de placa indicado en el compresor como se muestra en la figura 55, el dato de placa del compresor indica que tiene una potencia de salida de 0.6Kw que se observa en la tabla 19.

Tabla 19. Datos de placa de compresor Mitsubishi
Fuente: Autor

DATOS DE PLACA COMPRESOR		
TENSIÓN (V)	CORRIENTE (A)	POTENCIA (kw)
240V	3.2A	0.6KW

En el sistema al aplicar la ecuación 6 del capítulo anterior, donde se obtiene el valor del flujo másico del refrigerante R-134a a un caudal de agua en el evaporador al 100% y 25% es decir 12 L/m, 3L/m respectivamente, a temperatura ambiente del agua, en el laboratorio CER ubicado en la ciudad de Cuenca sus temperaturas varían entre 18 y 19 grados centígrados. para trabajar con esta ecuación utilizamos la potencia calculada mediante datos de placa y las entalpias obtenidas con el software EES (Engineering Equation Solver), los valores obtenidos del flujo másico serán utilizados posteriormente para el cálculo de la capacidad de calor tanto del evaporador – como para el condensador Q_c . para la obtención de resultados de la capacidad de calor en el evaporador sumergido en el tanque de agua Q_e de la ecuación 9, se procedió a fluir agua a diferentes caudales y diferentes temperaturas para analizar el comportamiento en modo bomba de calor con el método teórico.

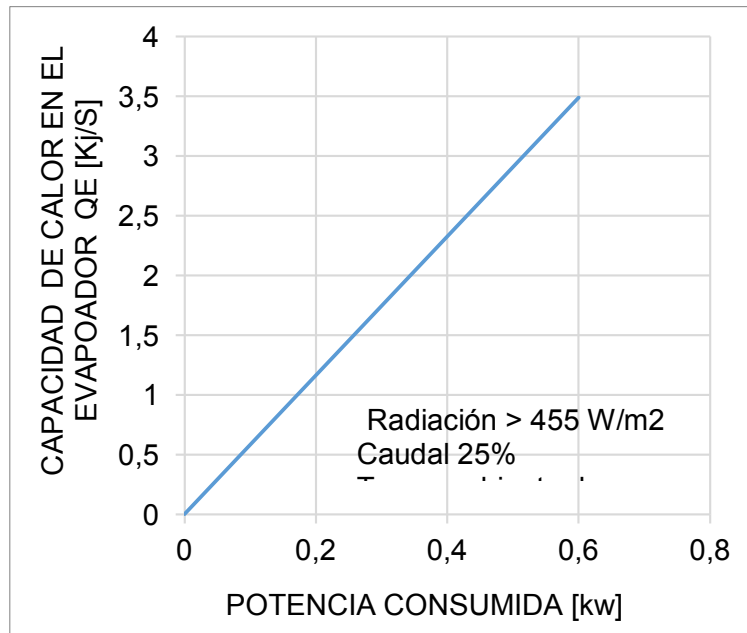


Figura 69. Capacidad de calor en el evaporador con un caudal de agua de 25% a temperatura ambiente
Fuente: Autor

En la figura 69, se puede visualizar que la capacidad del evaporador es de 3.49 KJ/s frente a la potencia consumida por el sistema en operación de la bomba de calor de 0.6 KW

a un caudal del veinte y cinco por ciento, estos valores se obtienen mediante datos de placa y ecuaciones anteriores mencionadas.

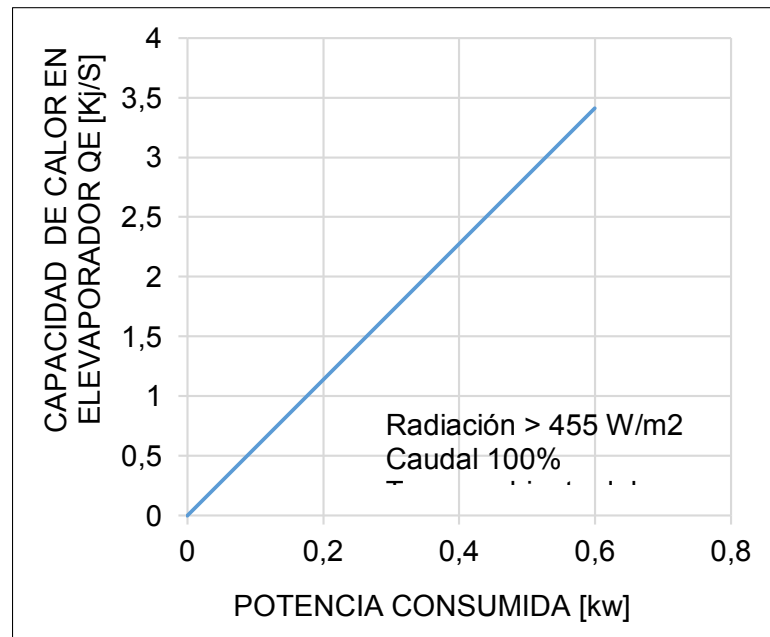


Figura 70. Capacidad de calor en el evaporador con un caudal de agua de 100% a temperatura ambiente
Fuente: Autor

En la figura 70, podemos interpretar la representación gráfica del comportamiento de la capacidad de calor en el evaporador Q_e con un valor de 3.41 KJ/s, frente a la potencia consumida de 0.6 Kw a un caudal del cien por ciento denotándose la disminución en la capacidad de calor a este caudal.

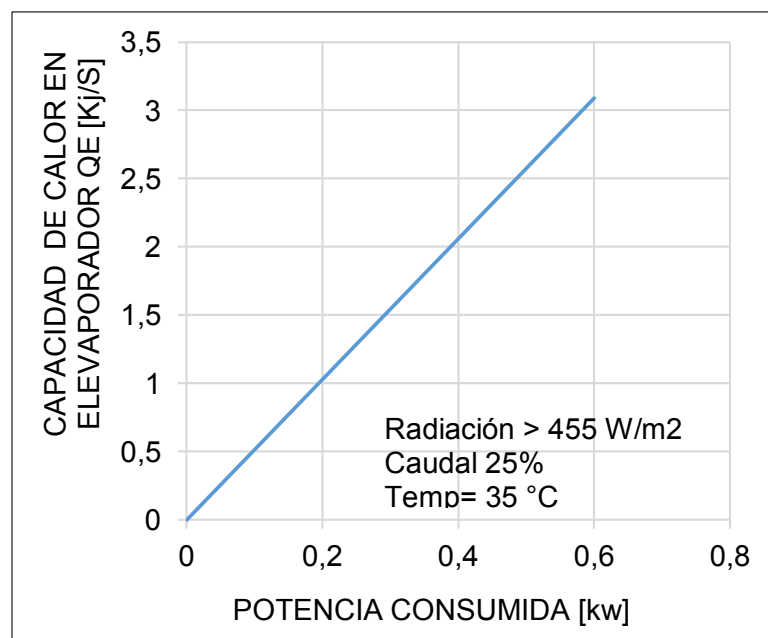


Figura 71, Capacidad de calor en el evaporador con un caudal de 25% a una temperatura de 35°C
Fuente: Autor

En la figura 71, se eleva la temperatura del caudal de agua a treinta y cinco grados centígrados, esta temperatura se eleva mediante el uso de niquelinas sumergidas dentro del tanque de agua con la alimentación externa de la red eléctrica excluyendo del sistema fotovoltaico solo la alimentación de las niquelinas donde se obtiene el valor de 3.09 KJ/s, a potencia de 0.6 Kw.

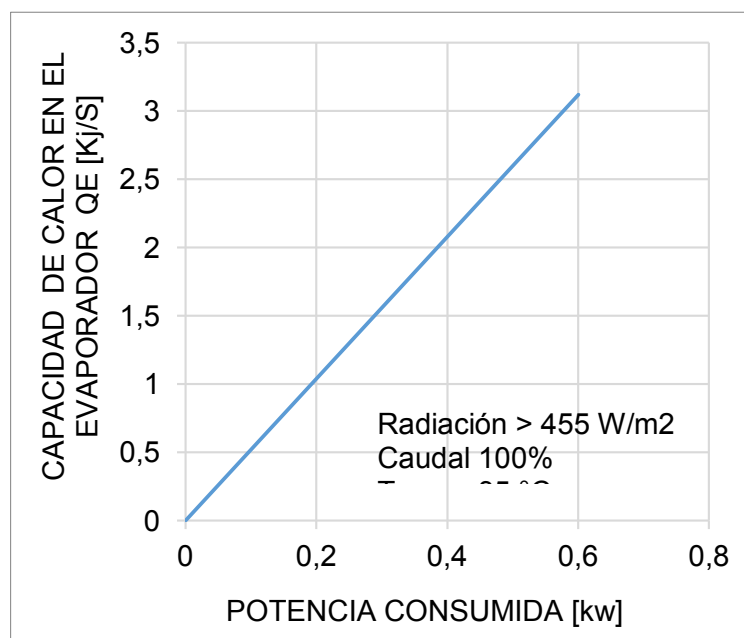


Figura 72. Capacidad de calor en el evaporador con un caudal de 100% a una temperatura de 35°C
Fuente: Autor

En la figura 72, aplicamos el mismo concepto de la figura 86 para elevar aún más la temperatura a treinta y cinco grados centígrados, pero a un caudal de ingreso de agua al cien por ciento para obtener el comportamiento de la capacidad de calor Q_e de 3.12 KJ/s frente a la potencia consumida de 0.6 Kw.

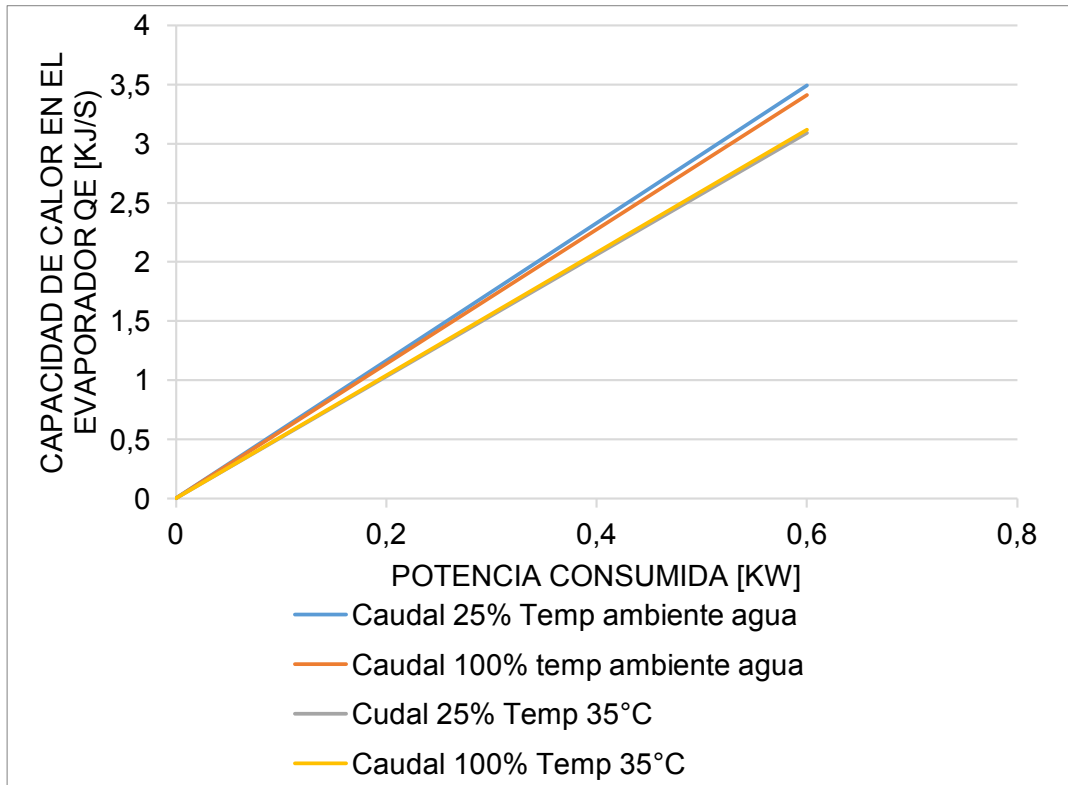


Figura 73. Capacidad de calor Q_e modo bomba de calor modelo teórico a caudales y temperaturas variadas

Fuente: Autor

En la figura 73, se observa los valores obtenidos a temperatura ambiente del ingreso de agua a caudales del veinte y cinco por ciento a 3.49 KJ/s y cien por ciento a 3.41 KJ/s, denotándose mayor eficiente con caudal al veinte y cinco por ciento por que la capacidad de calor es más alta mediante el método teórico. Al variar las temperaturas calentando a treinta y cinco grados centígrados en el agua con las niquelinas a flujos del veinte y cinco por ciento a 3.09 KJ/s y operando al cien por ciento a 3.12 KJ/s, se denota que la eficiencia aumenta al hacer fluir un caudal de agua al cien por ciento, en conclusión todas las Q_e operan a la misma potencia de 0.6 KW y es más eficiente la bomba de calor operando a una temperatura con valor de treinta y cinco grados centígrados con un caudal de ingreso de agua del cien por ciento.

En la figura 73 se observa mediante las diferentes variaciones de caudal de agua ya sea temperatura ambiente o al elevar la misma hasta los treinta y cinco grados centígrados se observa que al variar el caudal no existe una diferencia significativa al veinte y cinco como también al cien por ciento de caudal de agua debido a que para realizar los cálculos en este método teórico es en función de las entalpías y se debe obtener las presiones y temperaturas del refrigerante 134a con diferentes caudales de agua en el evaporador, en el CER centro

de energías renovables se verifico de manera práctica que el ingreso de caudal de agua que entrega la empresa ETAPA EP (empresa pública de telecomunicaciones agua potable alcantarillado y saneamiento) para el sector no es constante y varía frecuentemente haciendo que la toma de estas temperaturas también no sean exactas. De la misma manera sucede cuando se eleva la temperatura a los treinta y cinco grados centígrados haciendo fluir el caudal al veinte y cinco y al cien no existe una diferencia representativa.

En la ecuación (7) del capítulo anterior se obtuvo la capacidad de calor del condensador donde calentara el aire que fluye a través del condensador y se dispersa con un ventilador de aire forzado. De manera teórica se analiza con varios caudales y diferentes temperaturas en el agua que fluye a través del evaporador ya que el comportamiento es proporcional a su uso, ósea la energía del calor suministrada en el evaporador se transfiere al condensador por principios de la termodinámica, y este calor será aprovechado para calentar el ambiente con el ventilador mencionado.

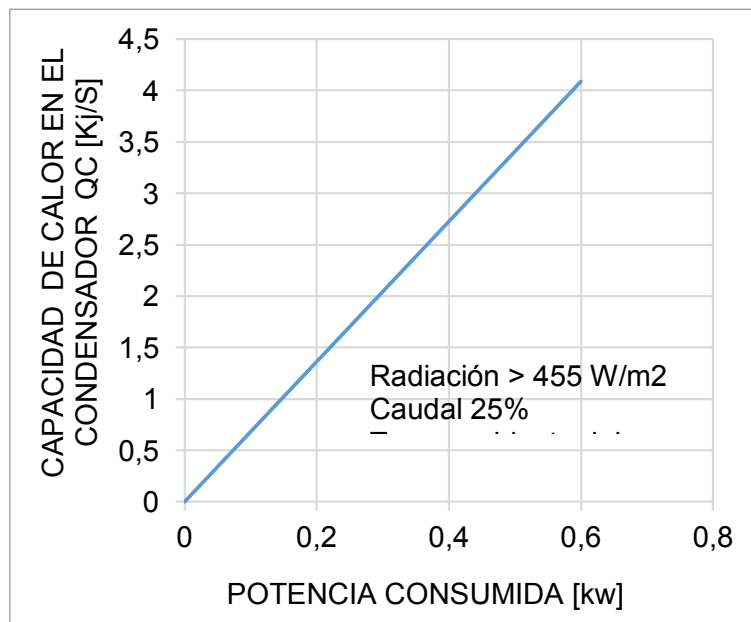


Figura 74. Capacidad de calor en el condensador con un caudal del 25% a una temperatura ambiente
Fuente: Autor

En la figura 74, se obtiene la capacidad de calor en el condensador a una temperatura ambiente del agua a un caudal de ingreso de agua al veinte y cinco por ciento teniendo un valor del 4.09 KJ/s frente a una potencia constante del 0.6 KW.

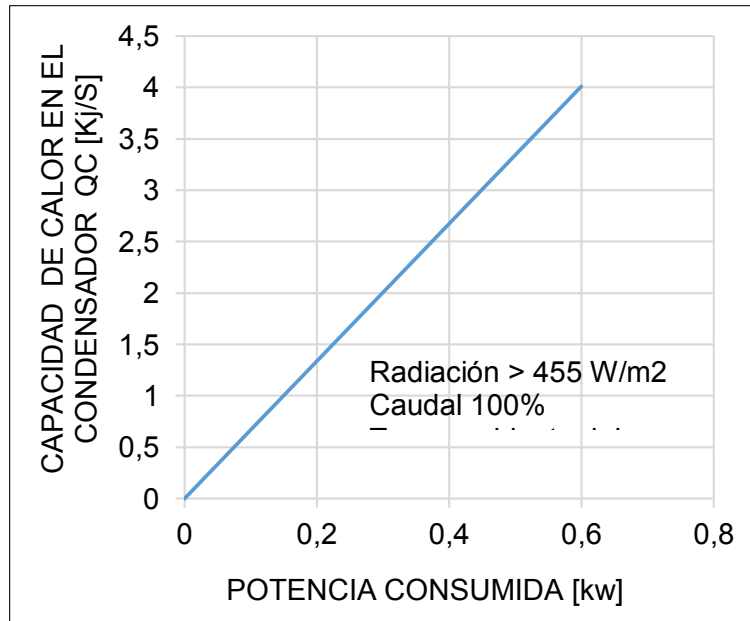


Figura 75. Capacidad de calor en el condensador con un caudal del 100% a una temperatura ambiente
Fuente: Autor

En la figura 75, se obtiene de manera gráfica al variar el flujo del agua al cien por ciento en el evaporador, con una capacidad de calor en el condensador de 4.01 KJ/s con una potencia de 0.6 KW constante.

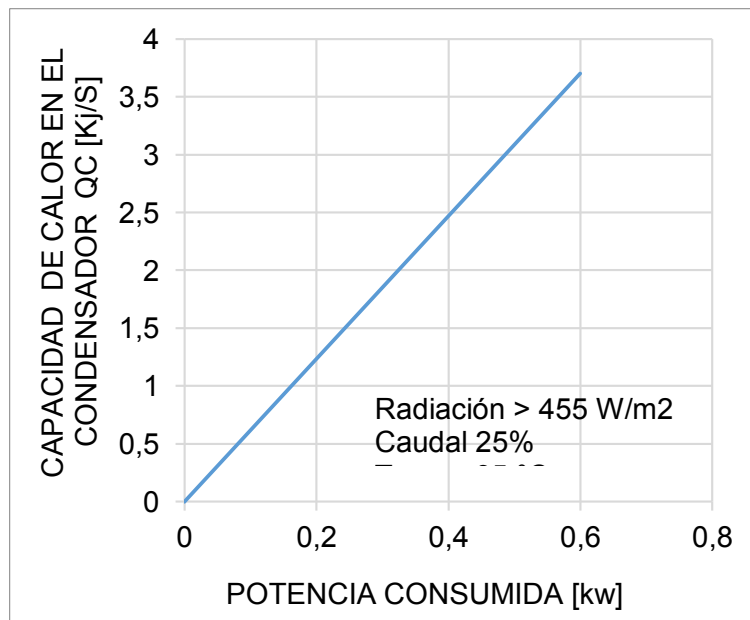


Figura 76. Capacidad de calor en el condensador con un caudal del 25% a una temperatura de 35°C
Fuente: Autor

En la figura 76, se observa la capacidad de calor en el condensador variando el caudal de ingreso de agua a un veinte y cinco por ciento aumentando la temperatura mediante las niquelinas sumergidas en el tanque de agua siendo la capacidad de calor del condensador de 3.7 KJ/s con la potencia de 0.6 KW constante.

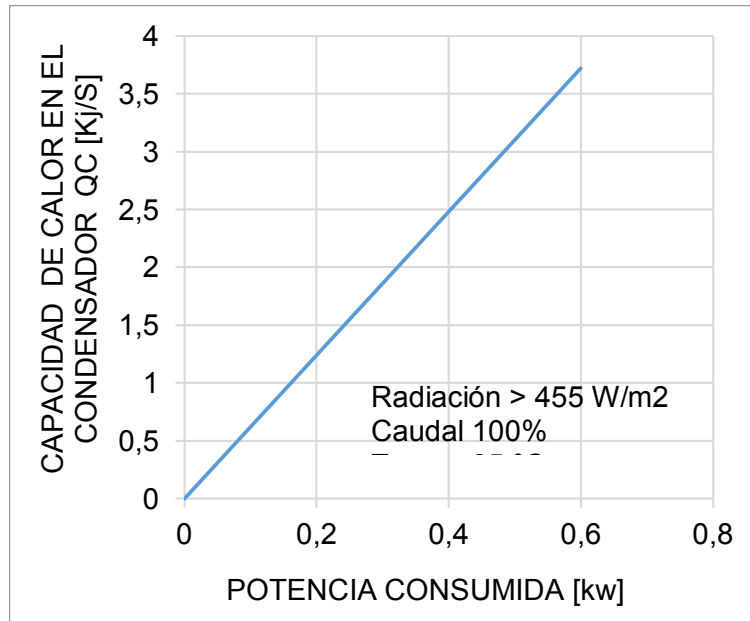


Figura 77. Capacidad de calor en el condensador con un caudal del 100% a una temperatura de 35°C
Fuente: Autor

En la figura 77, el ingreso del caudal del agua está operando al cien por ciento elevando la temperatura del agua a treinta y cinco grados centígrados obteniendo los valores de la capacidad del condensador a 3.72 KJ/s con una potencia de 0.6 KW.

Tabla 20. Balance de energía modo bomba de calor método teórico
Fuente: Autor

BALANCE DE ENERGIA DE LA BOMBA DE CALOR METODO TEORICO						
ETAPAS	TEMPERATURA AIRE	CAUDAL DE AGUA	Qe	Qc	Wc	Qc=Qe+Wc
	°C	%	kJ/s	kJ/s	Kw	
Primera	AMBIENTE	100%	3.09	3.70	0.60	3.7 = 3.7
Segundo	AMBIENTE	25%	3.12	3.70	0.60	3.7 = 3.7
Tercero	35°C	100%	3.49	4.09	0.60	4.1 = 4.1
Cuarto	35°C	25%	3.42	4.01	0.60	4.0 = 4.0

En la tabla 20 se comprueba la primera ley de termodinámica que la energía equivalente que ingresa es la misma energía que sale del sistema, ósea la energía térmica suministrada por el sistema debe estar representada en su salida, donde se puede observar el balance de energía que existe entre la capacidad de calor en el condensador Q_c es equivalente a la sumatoria de la capacidad de calor en el evaporador Q_e , más la potencia W_c del compresor en el modo bomba de calor método teórico, dando a cumplirse así el balance de energía de este sistema a diferentes caudales de aire como también de

agua como se indica en esta tabla, recalcando que todos estos valores son calculados Q_e , Q_c , W_c y cumplen con la igualdad sumando W_c mas Q_e es igual a Q_c .

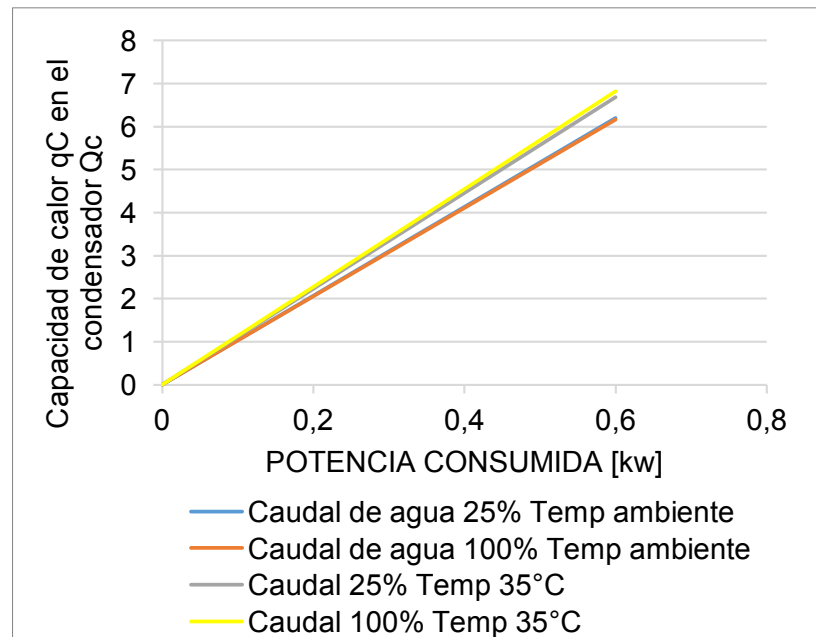


Figura 78. Capacidad de calor Q_c modo bomba de calor modelo teórico
Fuente: Autor

En la figura 78 se encuentra la unión de todas las Q_c capacidad de calor en el condensador con caudales de agua al veinte y cinco y al cien por ciento con variaciones de temperatura del agua a ambiente y elevada al treinta y cinco por ciento se observa de manera gráfica que no existe diferencia elevada al varía el caudal de agua ya sea a temperatura ambiente como también a treinta y cinco grados centígrados debido a que los valores de temperaturas y presiones obtenidos para aplicar el cálculo se requiere de hacer fluir agua, en el CER centro de energías renovables se verifico de manera práctica que el ingreso de caudal de agua que entrega la empresa ETAPA EP (empresa pública de telecomunicaciones agua potable alcantarillado y saneamiento) para el sector no es constante y varía frecuentemente haciendo que la toma de estas temperaturas también no sean exactas.

En la figura 78, se realizó el análisis comparativo a caudales y temperaturas diferente, donde se obtiene que la eficiencia es mayor con un caudal del veinte y cinco por ciento con una temperatura del agua de treinta y cinco grados centígrados, esta eficiencia se debe a la temperatura elevada en el tanque de agua del evaporador ya que por el concepto de termodinámica la temperatura del agua es absorbida en el evaporador y a su vez transferida al condensador para así ser aprovechado calentado el ambiente y expandiendo este calor en el ambiente con un ventilador de aire forzado, al operar la bomba de calor con

la temperatura ambiente del agua y a diferentes caudales no varía la capacidad de calor en el condensador en conclusión con un flujo del veinte y cinco por ciento con un veinte y cinco por ciento del caudal a una temperatura del agua operando viene a ser más oriente con el método teórico del sistema.

En la ecuación 13 se utiliza para la obtención del coeficiente de eficiencia COP se obtienen las gráficas con las variaciones de temperaturas y caudales que se explicara a continuación.

En el sistema fotovoltaico el inversor es el que puede suministrar hasta 2 Kw, mientras que el sistema bomba de calor realizando los cálculos matemáticos basándose como información principal el dato de placa se obtiene que para todo el sistema opere se requiere de 0.974Kw, el valor de 0.6Kw se obtiene de dato de placa del mismo compresor para lo cual se utilizó para realizar los cálculos correspondientes para los ciclos de refrigeración.

Tabla 21. Coeficiente de eficiencia COP método teórico de bomba de calor
Fuente: Autor

CAUDAL DE AGUA	TEMPERATURA	QC	UNIDAD	POTENCIAS	UNIDAD	COP
25%	25°C	3.72	kJ/s	0.60	Kw	6.20
100%	25°C	3.70	kJ/s	0.60	Kw	6.17
25%	35°C	4.01	kJ/s	0.60	Kw	6.68
100%	35°C	4.09	kJ/s	0.60	Kw	6.82

En la tabla 21. Se puede verificar y analizar los valores COP calculados mediante la ecuación 13. En función de la capacidad de calor en el condensador dividido para la potencia consumida en este sistema de bomba de calor a diferentes caudales de agua y a diferentes temperaturas siendo más eficiente al hacer fluir menos al cien por ciento elevando la temperatura al treinta y cinco por ciento esto se debe a que al fluir con más velocidad no permite que el evaporador enfríe el agua si no al contrario que el agua en el evaporador se mantenga caliente y este transfiere el calor por principio de termodinámica hacia el condensador.

En la siguiente figura a continuación se representa de manera gráfica los resultados para una mejor visualización de los resultados obtenidos.

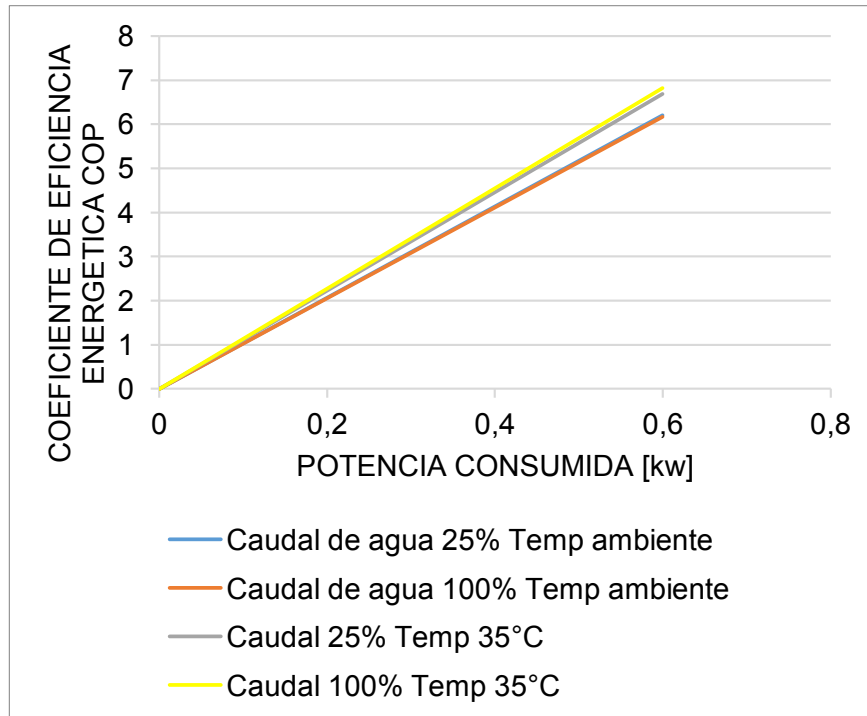


Figura 79. Coeficiente de la eficiencia del condensador COP Bomba de calor, en función de Q_c , a diferentes variaciones de caudal y temperatura del agua en el evaporador
Fuente: Autor

Al realizar en análisis gráfico de las figuras 79 se puede analizar que a medida que se eleva la temperatura del agua a treinta y cinco grados donde fluye menos caudal es decir a un veinte y cinco por ciento (3 L/m) se logra un mayor rendimiento para la obtención de calor en el condensador y calentar el ambiente de una manera óptima.

4.5 Método resultados teórico aire acondicionado (enfriar ambiente)

En este método mediante la bomba de calor y la válvula de cuatro vías intercambiamos la dirección del ciclo de refrigeración para así lograr obtener el enfriamiento del ambiente operando por el cambio de ciclo como aire acondicionado. Este sistema va aprovechar el frío del agua en el tanque de la bomba para transferir la temperatura del agua que fluye a través del condensador con dirección al evaporador.

De igual manera que en el modo bomba de calor, se obtuvieron las entalpías realizando el cambio del ciclo de refrigeración para que opere como aire acondicionado, realizando la medición de la temperatura y presión para posterior aplicar en el software EES (Engineering Equation Solver) y obtener resultados de las diferentes entalpías “h1, h2, h3, h4”.

Para el flujo de aire se realizó las tomas de valores con el anemómetro de la figura 65 del capítulo anterior ubicándolo frente al evaporador con una distancia de 20 centímetros

aproximadamente, teniendo un valor de 4.5 m/s considerándose este valor al 100% de flujo de aire.

En la tabla 22, se observa los valores resultantes del flujo másico del refrigerante R 134a en el modo aire acondicionado con las diferentes variaciones de caudal de agua siendo el mismo al cien por ciento y variando el flujo del aire ANEXO 7.

Tabla 22. Flujo másico de la bomba de calor en modo aire acondicionado
Fuente: Autor

AIRE ACONDICIONADO			
CAUDAL DE AIRE	CAUDAL DE AGUA	FLUJO MASICO	UNIDAD
100%	100%	0.022	kg/s
75%	100%	0.023	kg/s
50%	100%	0.024	kg/s
25%	100%	0.024	kg/s

En este sistema se utiliza la ecuación (7) del capítulo anterior de la capacidad de calor en el condensador Q_c que se describirá a continuación.

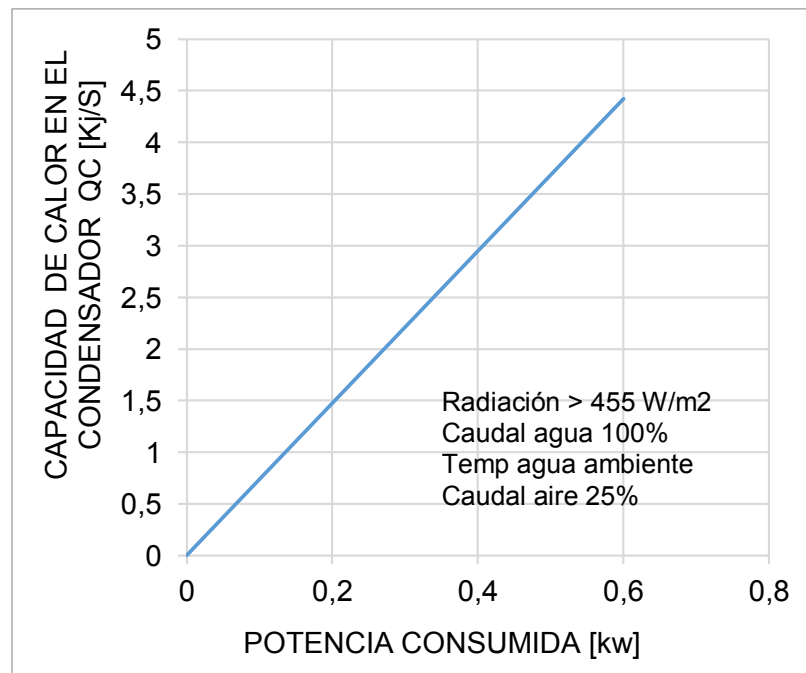


Figura 80. Capacidad de calor en el condensador Q_c a caudal de aire del 25%
Fuente: Autor

En la figura 80 se puede analizar el valor calculado de Q_c , mismo que se encuentra sumergido en el agua a un caudal del cien por ciento a la temperatura ambiente del laboratorio CER de la ciudad de Cuenca, se obtienen los valores de Q_c siendo 4.42 KJ/s y el aire fluye en

el evaporador al veinte y cinco por ciento, este procedimiento se realizó obstaculizando el paso de flujo de aire del setenta y cinco por ciento, teniendo un diámetro de 30 cm en las aspas del ventilador ubicado en su evaporador.

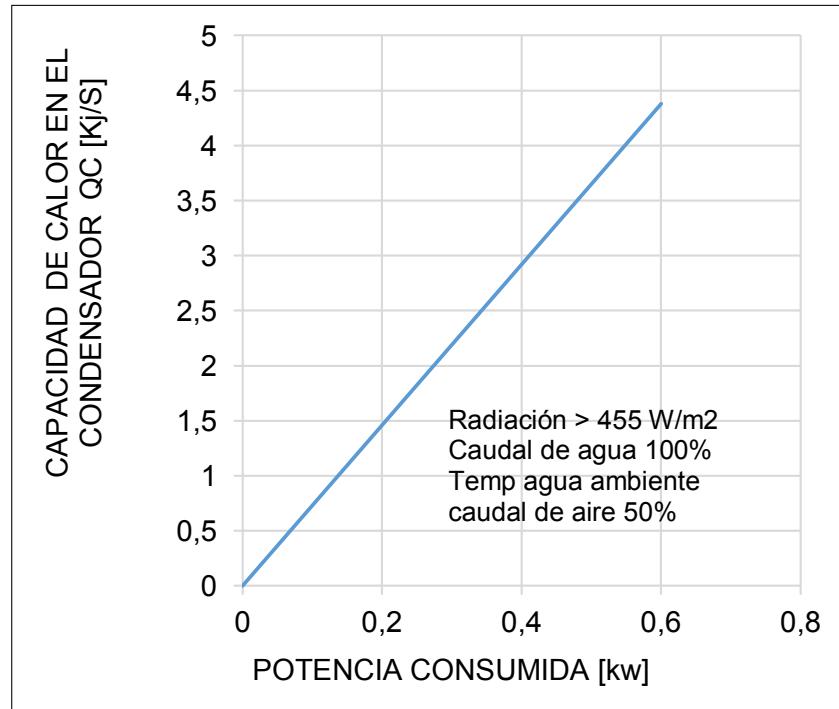


Figura 81. Capacidad de calor en el condensador Q_c a caudal de aire del 50%
Fuente: Autor

En la figura 81, se observa la capacidad de calor Q_c frente a la potencia consumida en este caso se realizó la prueba de operación con el caudal de agua igual al cien por ciento a temperatura ambiente del CER y a su vez variando el caudal del aire en el evaporador dejando fluir al cincuenta por ciento teniendo valores de la capacidad de calor en el condensador del 4.38 KJ/s frente a la potencia constante de 0.60 Kw.

El consumo del equipo en modo bomba de calor y también en modo AC aire acondicionado es el mismo por la razón que cambia el flujo del refrigerante R 134a en la válvula de 4 vías, la entrada del compresor seguirá siendo la misma en los dos modos al igual que en la salida.

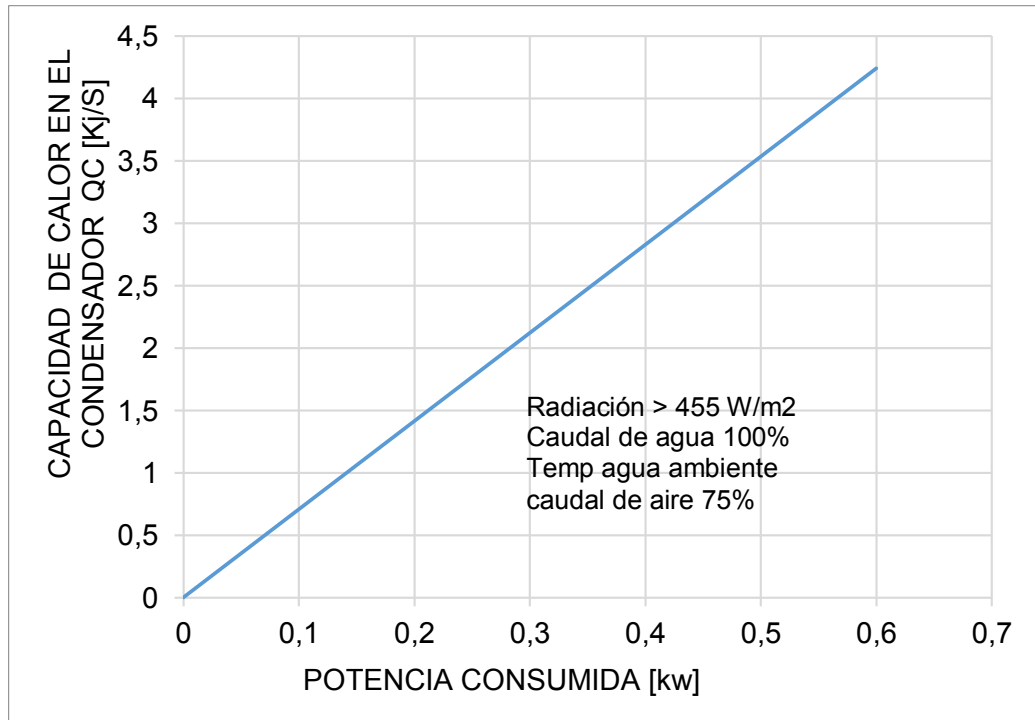


Figura 82. Capacidad de calor en el condensador Q_c a caudal de aire del 75%
Fuente: Autor

En la figura 82, se observa de manera gráfica el comportamiento de la capacidad de calor en el condensador Q_c 4.24 Kj/s frente a la potencia constante de 0.6 Kw con un caudal del cien por ciento del agua esta temperatura es a ambiente de la ciudad de cuenca y al fluir el aire en el evaporador se deja salir solo el veinte y cinco por ciento del aire obstaculizando el resto para pruebas de laboratorio en el CER.

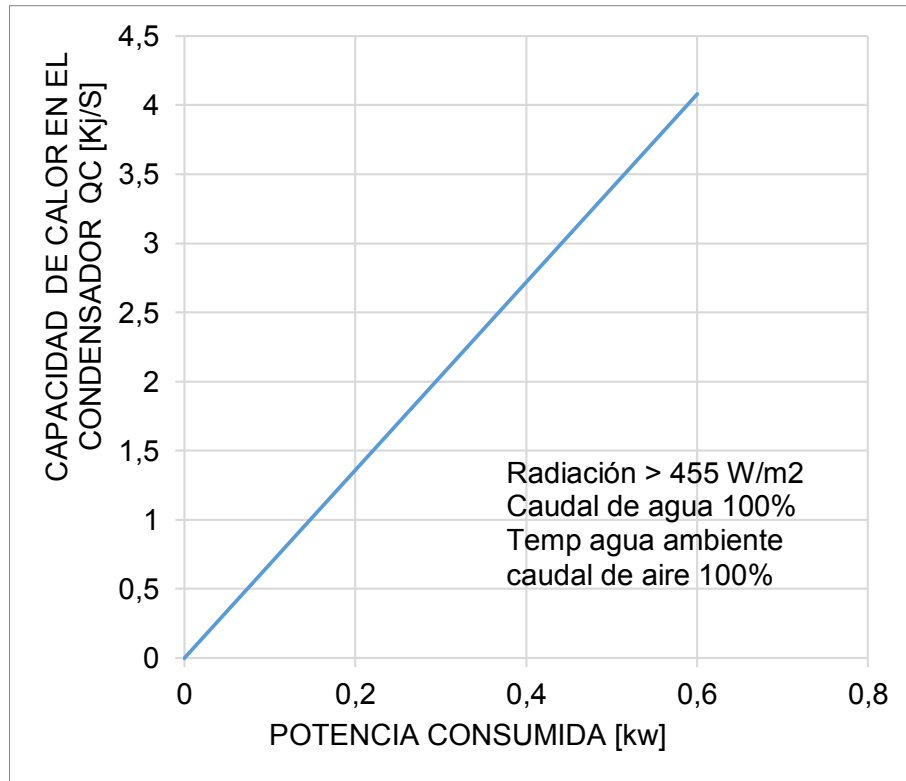


Figura 83. Capacidad de calor en el condensador Q_c a caudal de aire del 100%
Fuente: Autor

En la figura 83, se analiza de manera gráfica el comportamiento de la capacidad de calor en el condensador Q_c igual a 4.08 KJ/s, frente a la potencia constante de 0.6 KW, el sistema está operando a un caudal de agua al cien por ciento y a temperatura ambiente del laboratorio CER y el flujo de aire al cien por ciento operativamente.

Tabla 23. Balance de energía método teórico aire acondicionado
Fuente: Autor

BALANCE DE ENERGIA AIRE ACONDICIONADO MÉTODO TEÓRICO						
ETAPAS	CAUDAL DE AIRE	CAUDAL DE AGUA	Q_e	Q_c	W_c	$Q_c+W_c=Q_e$
	%	%	KJ/s	KJ/s	Kw	KJ/s
Primera	100%	100%	3.49	4.08	0.60	4.68=3.49
Segunda	75%	100%	3.66	4.24	0.60	4.84=3.66
Tercero	50%	100%	3.78	4.38	0.60	4.98=3.78
Cuarto	25%	100%	3.82	4.42	0.60	5.02=3.82

En la tabla 23 se realiza el balance de energía en el modo aire acondicionado del método teórico donde se realiza la sumatoria de las entradas de la energía térmica más la potencia de compresor, igualando a la salida Q_e , donde se puede observar que la sumatoria

es mayor a la salida de energía térmica Q_e , existiendo pérdidas de energía térmica entre 1.1 KJ/s.

Se observa en el método de cálculo realizado que los valores de sumatoria resultante no cumple la igualdad ya que se está sumando la energía térmica Q_c donde se denota que ésta es de mayor valor frente al valor de Q_e , debido que para calcular Q_c en este método teórico se utilizan las entalpías en función de las diferencias de temperaturas entre entrada y salida en el condensador, al igual que para calcular Q_e , usando las entalpías en función de las diferencias de temperaturas entre la entrada y salida del evaporador. Siendo las diferencias de temperaturas obtenidas en el condensador entre 25°C a 28°C mientras que en el evaporador las diferencias oscilan entre 10°C a 15°C, por tal motivo estas diferencias de temperatura hacen que los valores resultantes obtenidos en Q_c sean mayores a Q_e y al aplicar en este balance de energía tenemos estas discrepancias.

Esta diferencias se puede deber a diferentes causas, una de las principales la antes mencionada que por temas de energía térmica en Q_c sería la resultante del calor absorbido en el evaporador, donde toma el calor del ambiente y lo transfiere al condensador conjuntamente con la energía térmica del compresor, adicional podría ser una causa la construcción interna del serpentín en este condensador sumergido en el agua, el mismo que no se puede observar su construcción al ser un equipo hermético, adicional el datasheet del fabricante no lo indica.

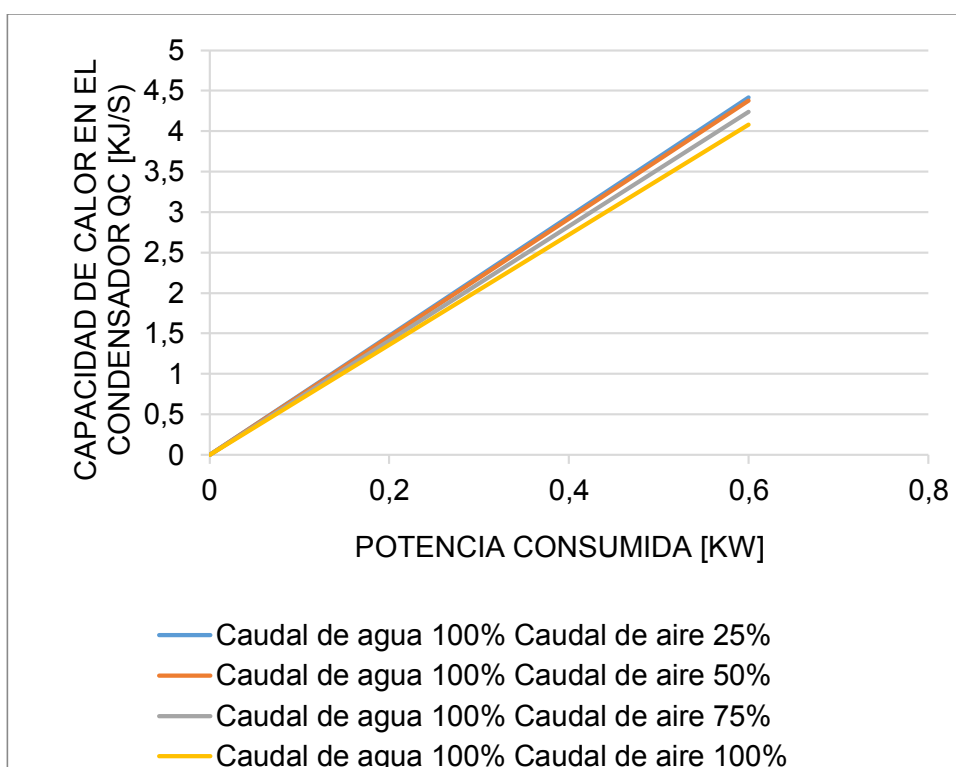


Figura 84. Capacidad de calor en el condensador Q_c frente a potencia consumida a diferentes caudales de aire
Fuente: Autor

En la figura 84, se observa de manera gráfica el comportamiento de las líneas antes mencionadas todas a un caudal de ingreso de agua al cien por ciento en el condensador es decir 12 L/m y con las diferentes tipos de variaciones de aire en el evaporador obstruyendo la salida del aire a diferentes flujos de manera mecánica y así al unir todas las gráficas de la capacidad de calor en el condensador Q_c se denota que existe variación, todas las gráficas anteriores tienen la misma potencia con los datos de placa.

Mediante la ecuación (9), se realizó los cálculos de la capacidad de calor en el evaporador Q_e siendo esta la cual va a enfriar el ambiente en modo AC aire acondicionado, se realiza los cálculos con un caudal de agua al cien por ciento a temperatura ambiente, pero variando el flujo del aire para poder interpretar las gráficas.

En la figura 84 existen variaciones en los resultados a diferentes caudales de aire, sin embargo, no son significativas entre ellas por el motivo que la restricción del flujo de aire se realiza después del ventilador forzado con el evaporador y no antes, donde las temperaturas y presiones del refrigerante 134a obtenidas varían en un rango mínimo ya que estaría fluyendo casi a su mismo caudal del cien por ciento con la diferencia que tendría más velocidad de aire.

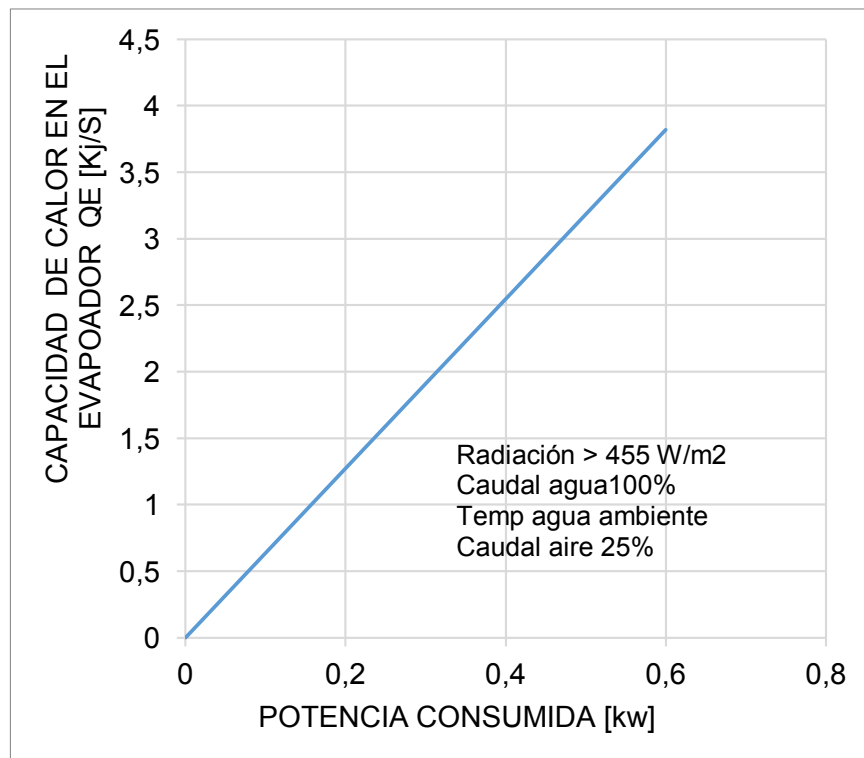


Figura 85. Capacidad de calor en el evaporador Q_e a caudal de agua al 100% con caudal de aire del 25%

Fuente: Autor

En la figura 85, se puede analizar de manera gráfica el comportamiento de la capacidad de calor Q_e en el evaporador con un caudal de cien por ciento de agua a temperatura ambiente del laboratorio CER, con un flujo de aire del veinte y cinco por ciento tenemos un valor de 3.82 KJ/s frente a su potencia de consumo de 0.6 Kw.

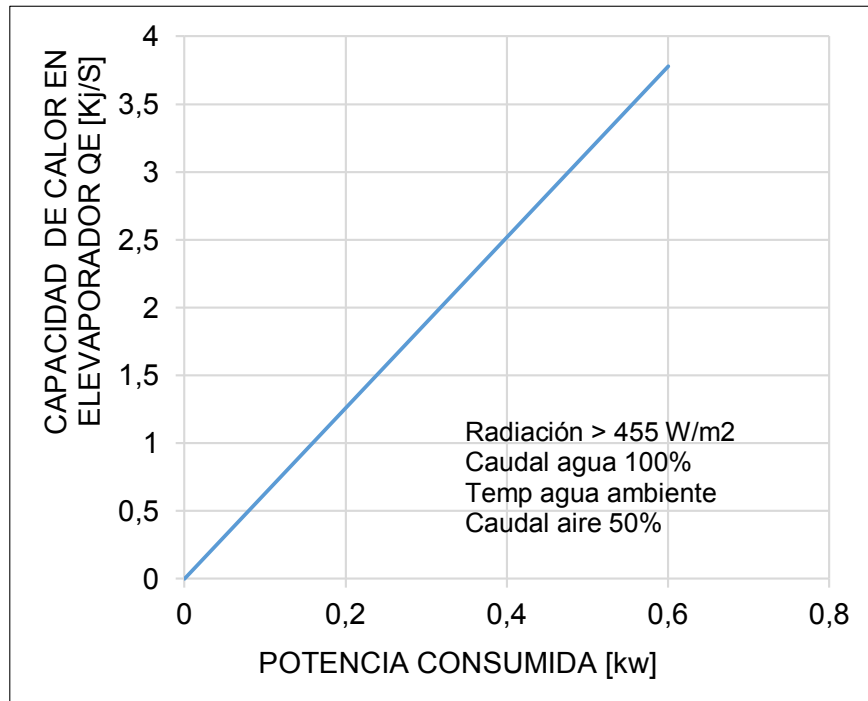


Figura 86. Capacidad de calor en el evaporador Q_e a caudal de agua al 100% con caudal de aire del 50%

Fuente: Autor

En la figura 86, se observa de manera gráfica el comportamiento de la capacidad de calor en el evaporador Q_e igual a 3.78 con un caudal del setenta y cinco por ciento de aire siendo esta la capacidad de 3,78 KJ/s con una potencia constante de 0.6 Kw.

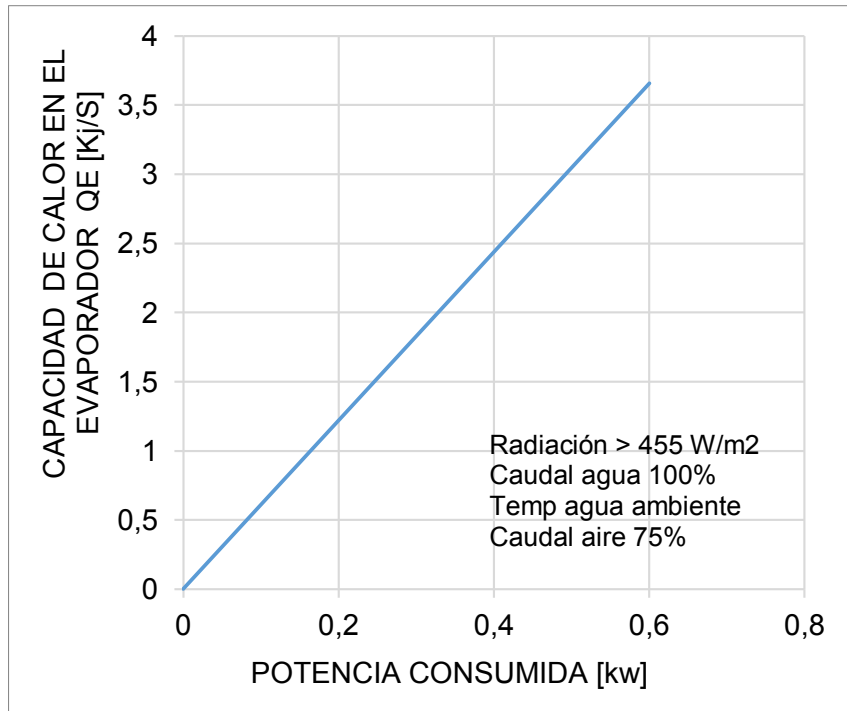


Figura 87. Capacidad de calor en el evaporador Q_e a caudal de agua al 100% con caudal de aire del 75%
 Fuente: Autor

En la figura 87, se puede analizar de manera gráfica el comportamiento de la capacidad de calor en el evaporador Q_e a un flujo de aire del cien por ciento en el evaporador teniendo el valor de 3.66 KJ/S con la potencia constante de 0.6 Kw.

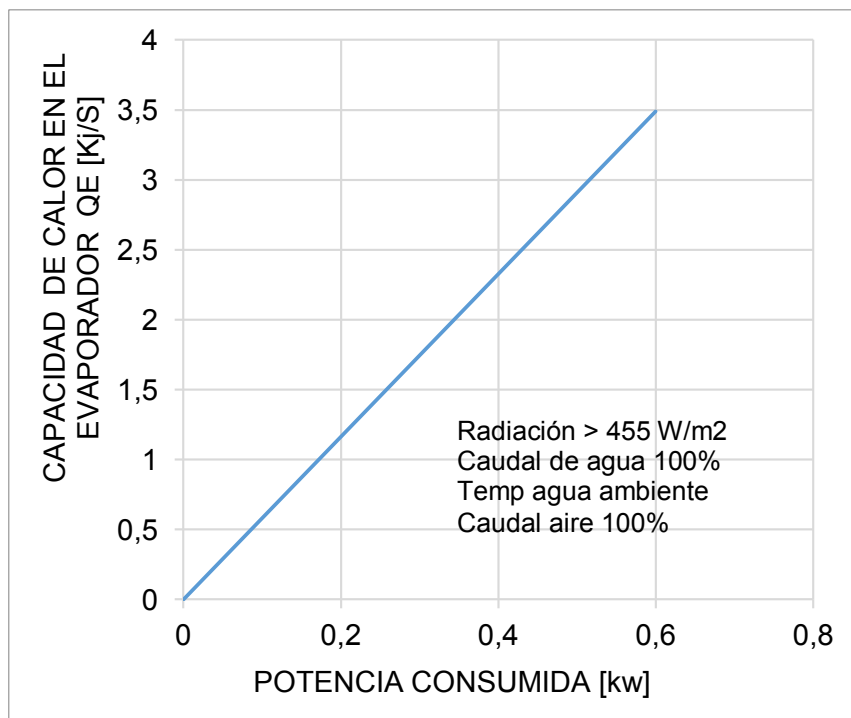


Figura 88. Capacidad de calor en el evaporador Q_e a caudal de agua al 100% con caudal de aire del 100%
 Fuente: Autor

En la figura 88, se tiene la representación gráfica del evaporador con un caudal de aire al cien por ciento donde Q_e es igual a 3.81 KJ/s a potencia constante de 0.6 Kw siendo similar con la prueba realizada al setenta y cinco por ciento de caudal de aire de la figura 87.

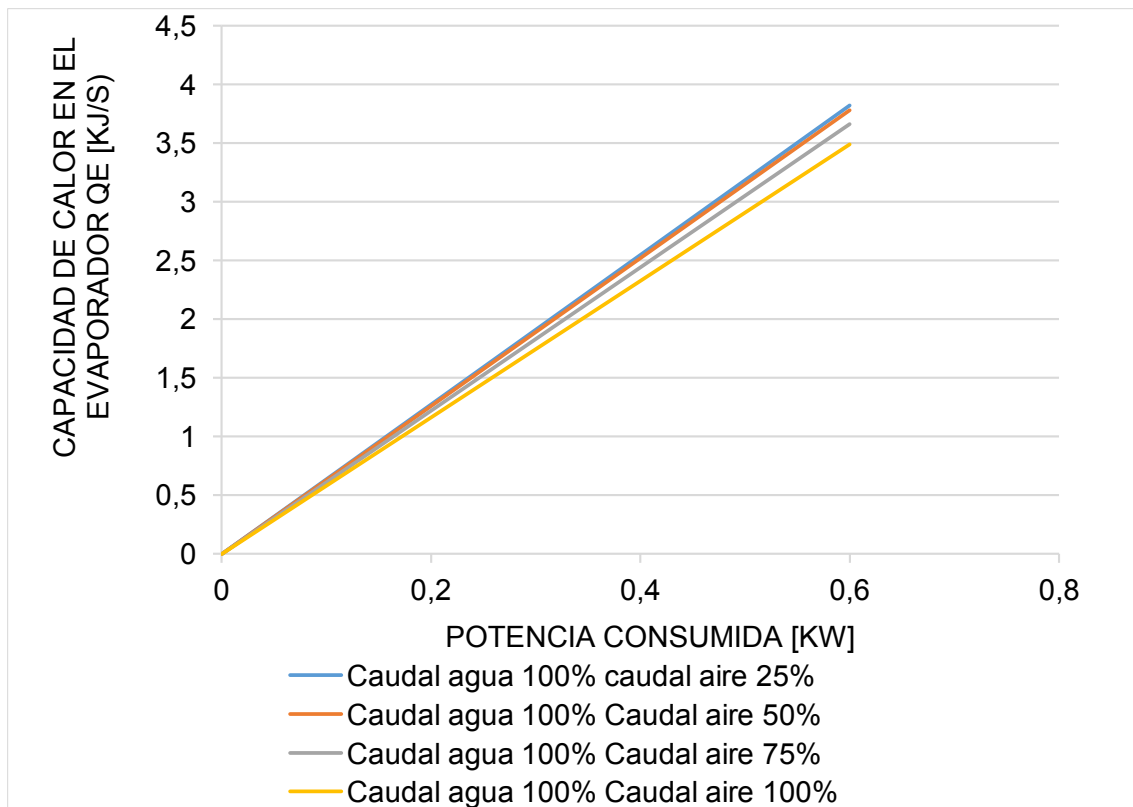


Figura 89. Capacidad de calor en el evaporador Q_e frente a potencia suministrada a diferentes caudales de aire
Fuente: Autor

En la figura 89, se describe el comportamiento del sistema de ciclo de enfriamiento de aire, analizando la capacidad de calor en el evaporador de todas las analizadas anteriormente a diferentes caudales, frente a una potencia constante, en el ingreso consta de un caudal de agua del cien por ciento a temperatura ambiente aproximadamente de entre dieciocho a diecinueve grados centígrados en el CER “Centro De Energías Renovables” De La Universidad Católica De Cuenca. En la tabla 23 se denota que con un caudal de aire del veinte y cinco por ciento tenemos una capacidad de calor menor frente a las que tienen caudal del cincuenta, setenta y cinco como también al cien por ciento. Esto implica que en los últimos porcentajes se realizó las pruebas obteniendo eficiencias más elevadas, ya que las variaciones entre ellos son despreciables.

Tabla 24. Coeficiente de eficiencia de energética EER (Energy Efficiency Ratio) – método teórico
Fuente: Autor

EER AIRE ACONDICIONADO

CAUDAL DE AIRE	CAUDAL DE AGUA	FLUJO MASICO REFRIGERANTE	Qe	POTENCIA	EER
%	%	Kg/s	KJ/s	Kw	
100%	100%	0.024	3.49	0.60	5.82
75%	100%	0.024	3.66	0.60	6.10
50%	100%	0.024	3.78	0.60	6.10
25%	100%	0.022	3.82	0.60	6.37

En la tabla 24 utiliza un único caudal para todas las pruebas realizadas en aire acondicionado solo se varia el caudal de aire, y el caudal de agua en todas las condiciones de aire se inyecta a temperatura ambiente el caudal al cien por ciento para todas las pruebas, realizando así un análisis del comportamiento y se obtuvo los valores de coeficiente de rendimiento en condiciones mencionadas para este sistema, los datos obtenidos para el cálculo del EER se pueden observar en el ANEXO 16.

En la tabla 23, se observa el coeficiente de eficiencia energética del evaporador obteniendo estos valores mediante la ecuación (13), dividiendo los Q_e , la capacidad de calor en el condensador para la potencia y para posterior graficar en la figura 107 que se explica a continuación.

En la tabla 20 se realiza las pruebas del sistema bomba de calor, pero a condiciones de operación diferentes que la tabla 23 en este caso las se eleva la temperatura a un treinta y cinco por ciento y se varia el caudal de agua al cien como también al veinte y cinco por ciento y también se repite estas pruebas con la diferencia que el agua va a fluir a temperatura ambiente entonces el COP en bomba de calor y el EER en aire acondicionado, no están bajo las mismas condiciones.

En el EER (Energy Efficiency Ratio) factor de eficiencia energética en modo refrigeración viene a ser más eficiente al veinte y cinco por ciento que al cien por ciento, esto se debe a que al fluir el aire frío mediante el ventilador de aire forzado al cien por ciento no es tan eficiente por que se disipa rápidamente el frío perdiendo temperatura rápidamente en su entorno mientras que al veinte y cinco por ciento se obstruye la salida del ventilador forzado el setenta y cinco por ciento de su salida haciendo que por el veinte y cinco sobrante expulse el aire frío concentrándose en un solo punto.

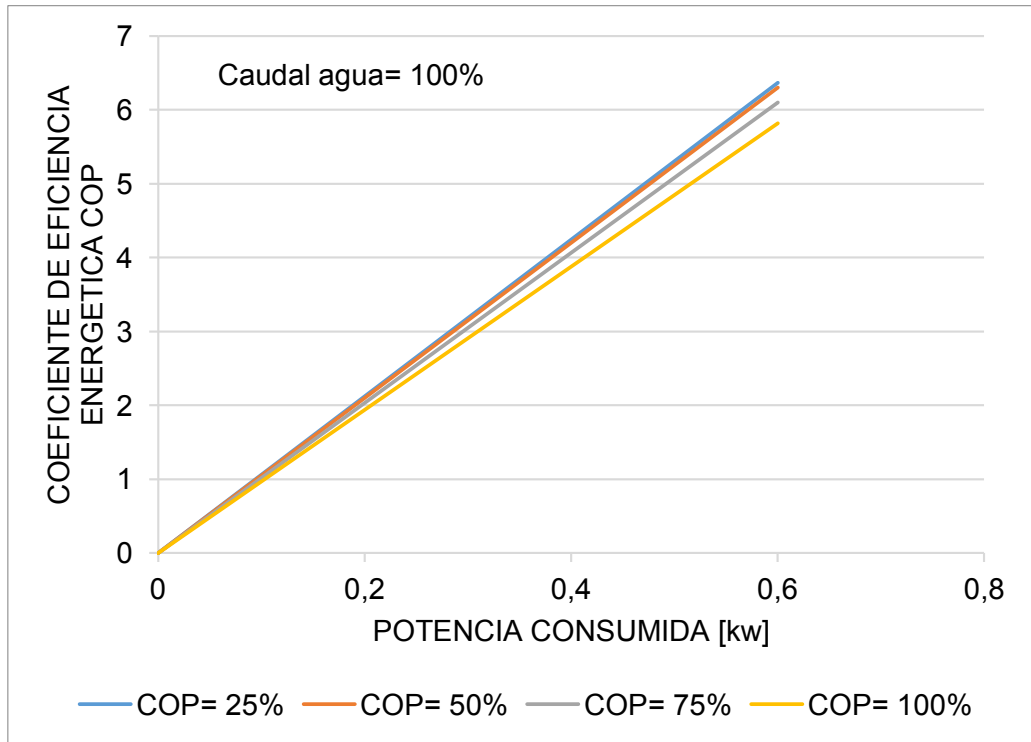


Figura 90. Factor de eficiencia de energética EER, en función de Q_e , a caudales de aire diferentes
Fuente: Autor

En la figura 107, se observa la gráfica de la capacidad del evaporador con caudal de agua de ingreso siendo al cien por ciento y al variar la salida de aire del evaporador tanto al veinte y cinco, con el cincuenta por ciento son de mayor eficiencia a diferencia del cien por ciento se aprecia en la gráfica que es de menor eficiencia. En la figura 107 se observa que están unidos todos los EER factor de eficiencia energética, todos a caudal constante de agua en el condensador siendo al cien por ciento su flujo, el consumo siempre será el mismo de 0.6Kw mediante la información obtenida de placa y este consumo siempre será el mismo, es más eficiente al veinte y cinco por ciento de caudal de aire en el evaporador en este modo de aire acondicionado.

4.6 Resultados del método experimental sistema fotovoltaico

En este sistema experimental el equipo consume 3.30A con un voltaje de 219.7v, estos datos fueron medidos con un multímetro digital, obteniendo una potencia de consumo del 725.01W en operación. Esta medición se obtuvo mediante arduino para la adquisición de valores, realizando diferentes tipos de cambios en la bomba de calor, toda la prueba se realizó en el laboratorio CER.

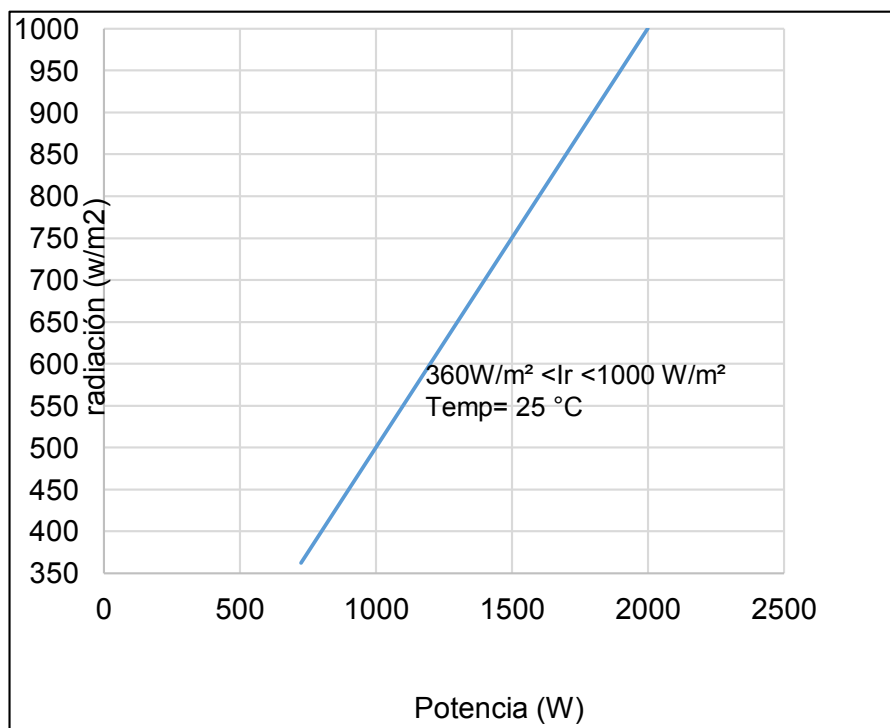


Figura 91. Rango de radiación requerida en los PV para suministrar la potencia - método experimental
Fuente: Autor

En la figura 91, podemos observar los valores resultantes de manera gráfica que empieza a operar en manera óptima desde 362.5 W/m² de radiación para obtener la potencia de 725W que requiere el sistema funcional de bomba de calor en funcionamiento, recordando que el sistema fotovoltaico suministra hasta 2000W, es decir, se necesitaría hasta 1000 W/m² de radiación solar.

La radiación solar se obtuvo con el uso del software HOBOWare, donde se recolectó las radiaciones solares en el laboratorio CER centro de energías renovables, para nuestro sistema nos sirve las radiaciones superiores a 362.5 W/m² que es el valor mínimo requerido para cargar las baterías del sistema fotovoltaico, a partir de las ocho y media de la mañana hasta las cuatro de la tarde, cabe indicar que estos datos de radiación se recolectaron en el mes de diciembre del dos mil diecinueve.

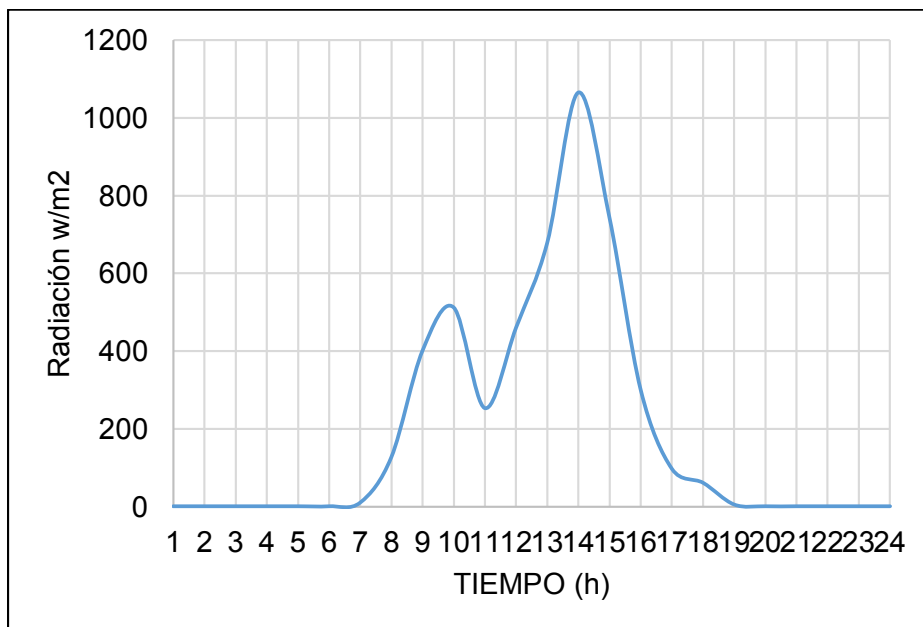


Figura 92. Radiación solar PV 24 horas mes de diciembre 2019
Fuente: Autor

En la figura 92, se encuentra la representación gráfica del comportamiento de la radiación solar en el panel fotovoltaico durante un ciclo de veinte y cuatro horas que va desde las (1 am – 24 pm). Donde el sistema de almacenamiento empieza a cargarse a partir de las ocho y media de la mañana hasta las cuatro de la tarde Anexo 17.

En la tabla 10 se obtiene los datos mediante el software HOBOWare tomados en laboratorio CER para la figura 92 siendo las radiaciones de un día completo.

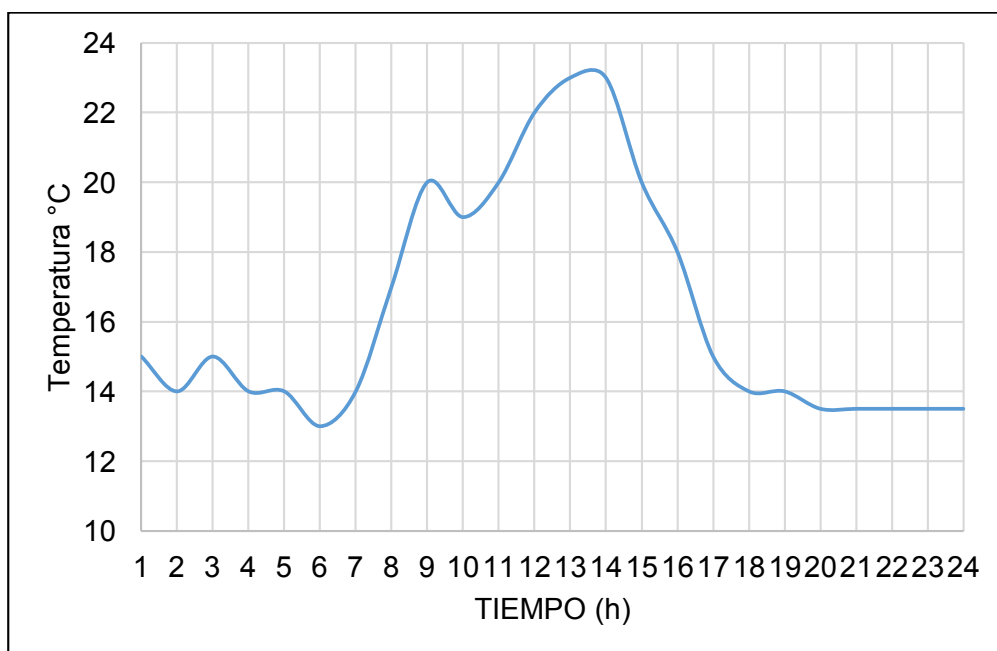


Figura 93. Temperatura de la celda del panel frente al tiempo

Fuente: Autor

En la figura 93 se encuentra la representación gráfica del comportamiento de la temperatura de la celda del panel fotovoltaico durante veinte y cuatro horas del día, se observa que la temperatura mínima es aproximadamente de catorce grados centígrados desde la una de la madrugada hasta las siete de la mañana y desde entonces empieza a elevar su temperatura hasta llegar a un pico de veinte y tres grados centígrados desde las trece horas hasta las catorce horas y disminuyendo a los catorce grados a partir de las diecisiete horas en adelante.

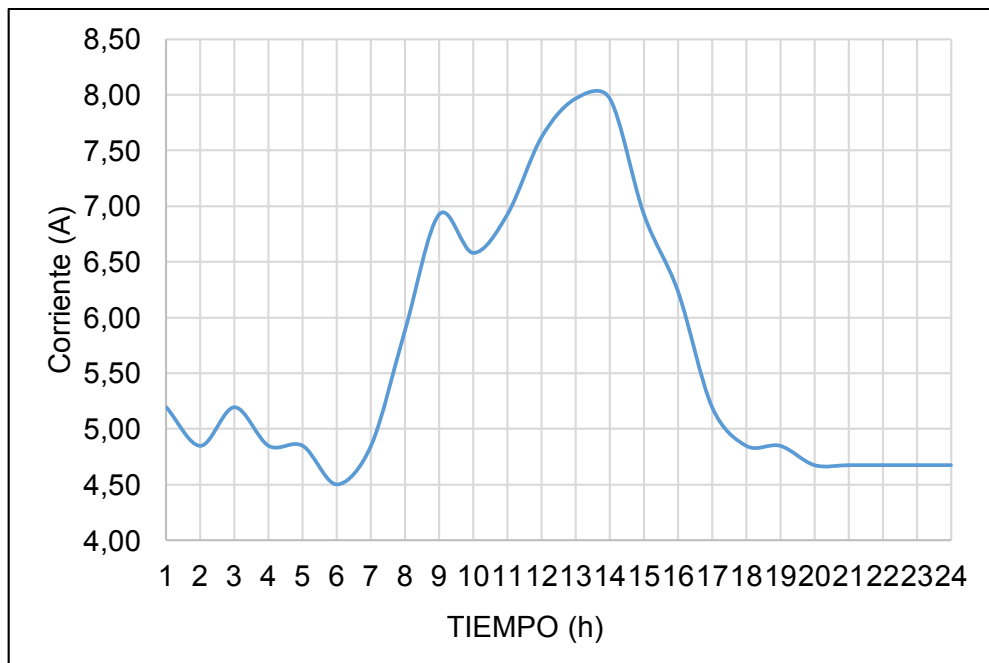


Figura 94. Corriente del panel fotovoltaico en función de la temperatura frente al tiempo
Fuente: Autor

En la figura 94 se obtiene los valores de las corrientes obtenidas del panel durante un día ósea veinte y cuatro horas, dependiendo de la radiación que se encuentra directamente proporcional a la temperatura en el laboratorio del CER, teniendo valores picos alrededor de ocho amperios con una temperatura de veinte y tres grados centígrados entre las trece horas hasta las catorce horas, esta corriente se analiza a temperatura del laboratorio de la figura 96, ya que el fabricante indica la corriente de ocho punto sesenta y seis amperios a temperaturas de veinte y cinco grados centígrados.

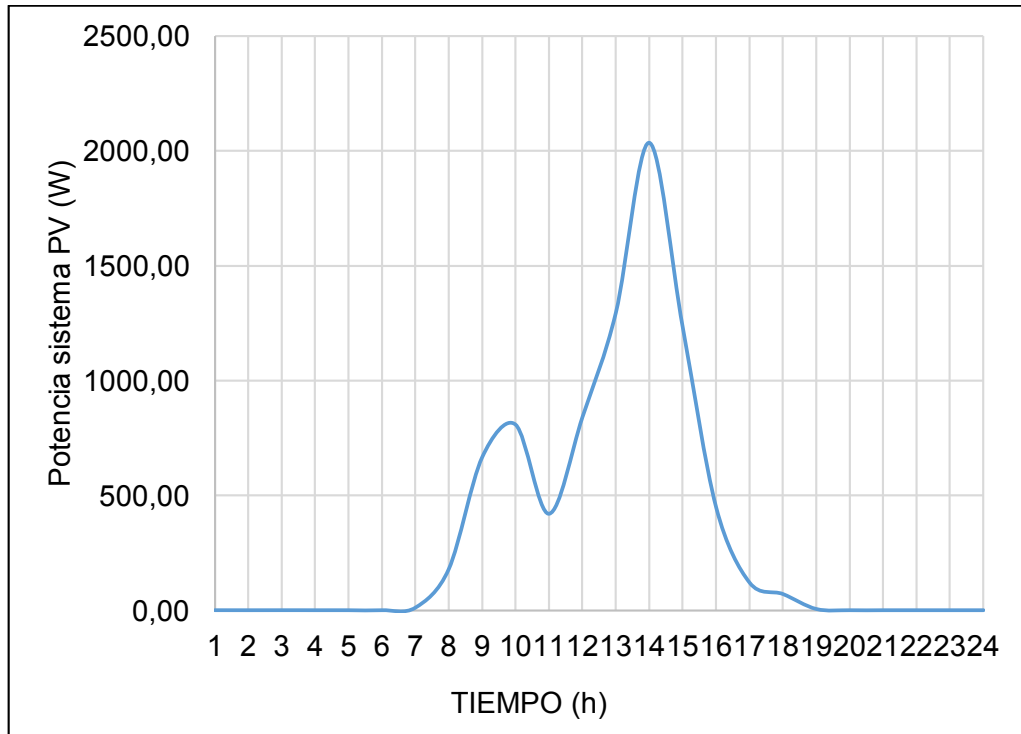


Figura 95. Potencia suministrada de los Paneles fotovoltaicos del sistema hibrido

Fuente: Autor

En la figura 95 se observa de manera gráfica el comportamiento que nos brinda la unión en paralelo de los ocho paneles fotovoltaicos que se encuentra en el laboratorio CER, donde se observa que para obtener los 0.72 Kw que requiere el sistema bomba de calor – aire acondicionado AC es a partir de las nueve de la mañana hasta las quince horas con treinta minutos, ósea en este rango de tiempo el sistema puede operar de manera permanente.

En la tabla 24 se puede observar las radiaciones obtenidas en un lapso de veinte y cuatro horas al igual que las corrientes y tensiones que fueron medidas directamente en las salidas de la configuración de los ocho paneles solares instalados en el laboratorio CER centro de energías renovables. La configuración de estos paneles se basa en que están divididos en dos grupos cada grupo consta de cuatro paneles, cada grupo se encuentra conectados en paralelo y así en cada grupo entregando una tensión constante de alrededor de treinta y cinco voltios cada grupo ya que por su conexión las corrientes se suman, obteniendo alrededor de treinta y dos amperios.

Al entregar cada grupo una tensión y corriente mencionada cambian su configuración al unirse los mismos que ahora se van a conectar en serie y así en sus salidas se suman ambas tensiones obtenidos alrededor de setenta voltios y las corrientes se mantienen en treinta y dos amperios figura 96.

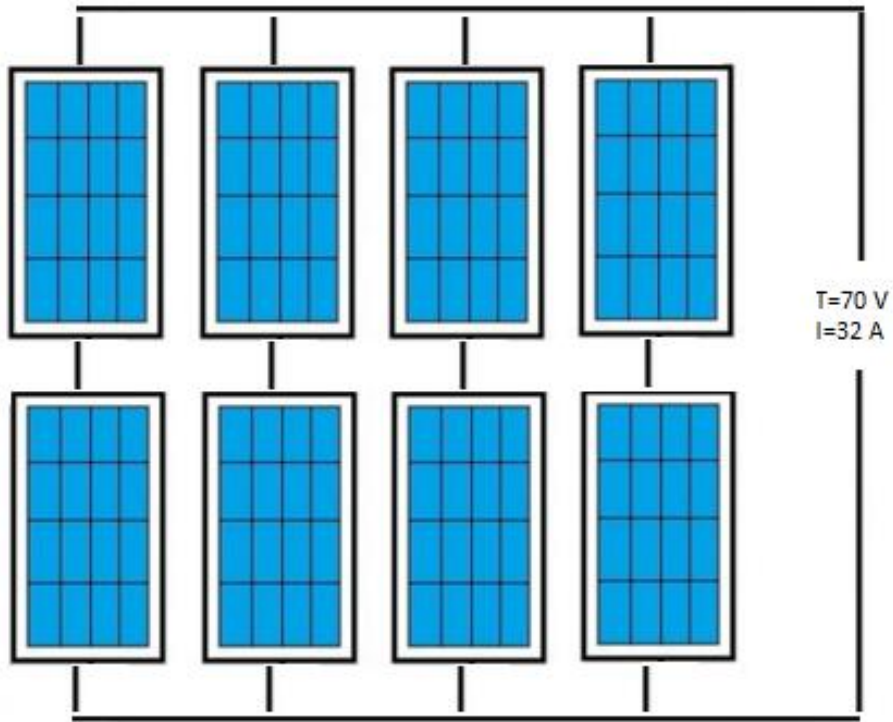


Figura 96. Configuración mixta de paneles solares PV
Fuente: Autor

Tabla 25. Perfil de radiación y cálculos de tensión – corriente
Fuente: Autor

Fecha	Hora, GMT-05:00	Radiación solar, W/m ²	Corriente I	Voltajes V
20/12/2019	1:00 a. m.	0.6	0.10	22
	2:00 a. m.	0.6	0.10	22
	3:00 a. m.	0.6	0.10	22
	4:00 a. m.	0.6	0.10	22
	5:00 a. m.	1	0	22
	6:00 a. m.	15	8	32
	7:00 a. m.	125	20	48
	8:00 a. m.	395	27	65
	9:00 a. m.	518	29	71
	10:00 a. m.	454	26	69
	11:00 a. m.	458	29	70
	12:00 p. m.	678	29	72
	1:00 p. m.	1055	31	69
	2:00 p. m.	754	30	71
	3:00 p. m.	304	23	70

4:00 p. m.	100	22	51
5:00 p. m.	62	7	42
6:00 p. m.	7	3.2	32
7:00 p. m.	1	0.1	22
8:00 p. m.	0.6	0.1	22
9:00 p. m.	0.6	0.1	22
10:00 p. m.	0.6	0.1	22
11:00 p. m.	0.6	0.1	22
12:00 a. m.	0.6	0.1	22

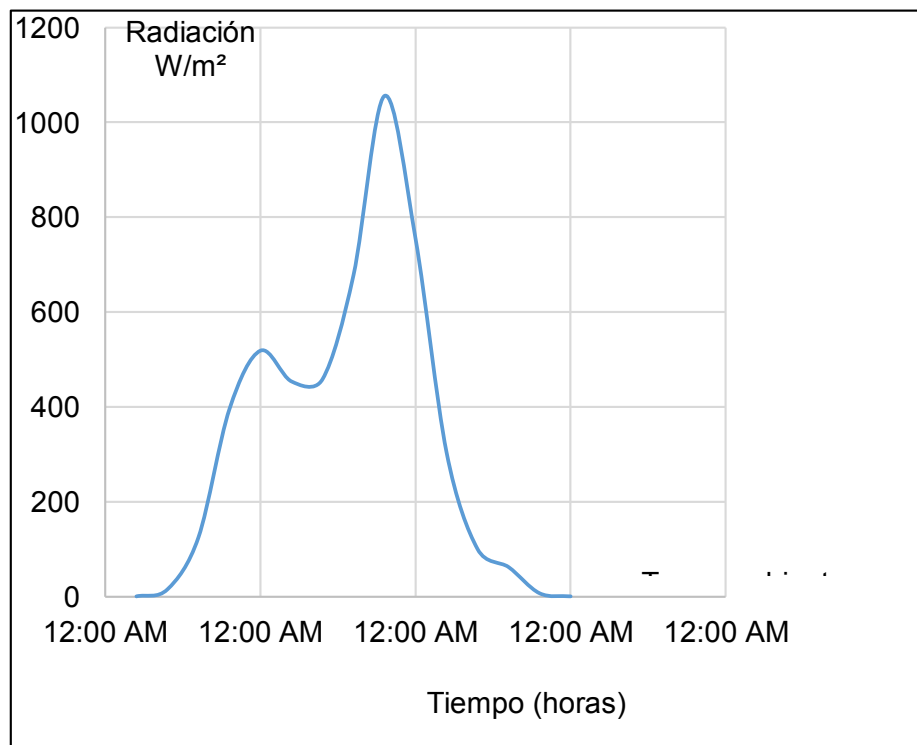


Figura 97 Medición de la radiación en el sistema PV.
Fuente: Autor

En la figura 97 se analiza gráficamente el comportamiento de la radiación de los paneles fotovoltaicos recolectados en el CER centro de energías renovables de la ciudad de Cuenca durante un lapso de veinte y cuatro horas el veinte de diciembre del dos mil veinte en el cual se observa se tiene una radiación máxima a la una de la tarde de 1055W/m² a una temperatura de ambiente de la ciudad que oscila entre dieciocho a diecinueve grados centígrados.

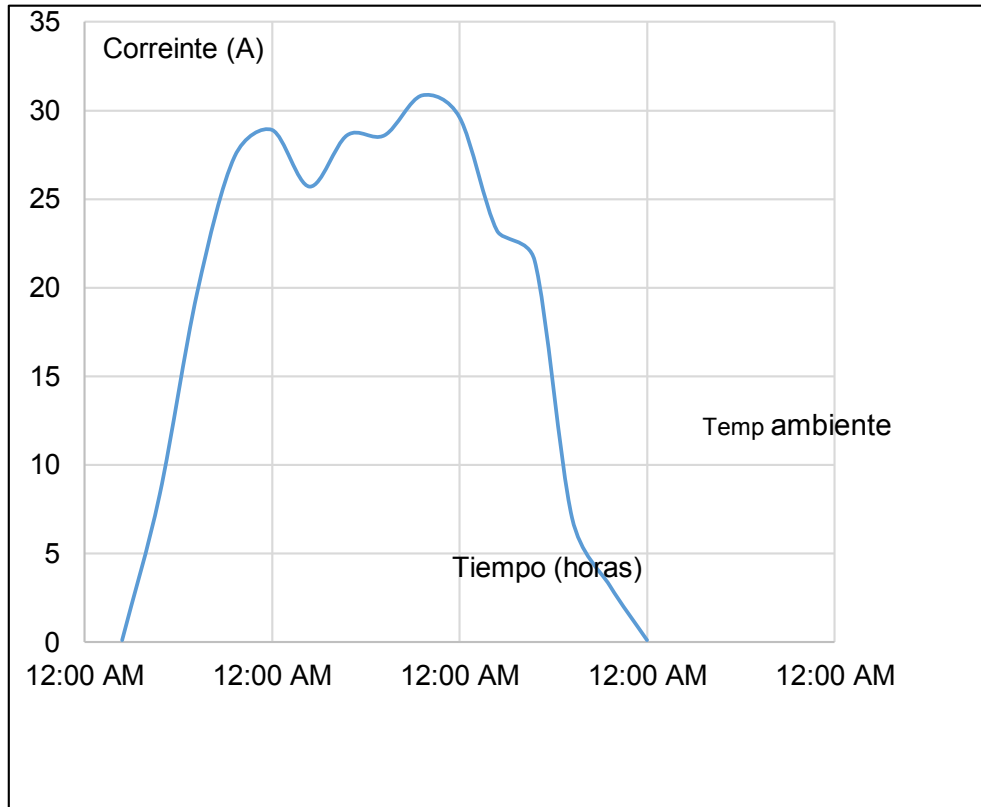


Figura 98. Medición de la corriente en el sistema PV
Fuente: Autor

En la figura 98 se analizar gráficamente la medición de la corriente que entrega la conexión mixta de los PV paneles fotovoltaicos, estos paneles nos entregaron hasta treinta y un amperios en la medición más elevada que es alrededor de la una de la tarde esta corriente se obtiene en base a las conexiones de su configuración descrito anteriormente las mediciones se realizó mediante arduino.

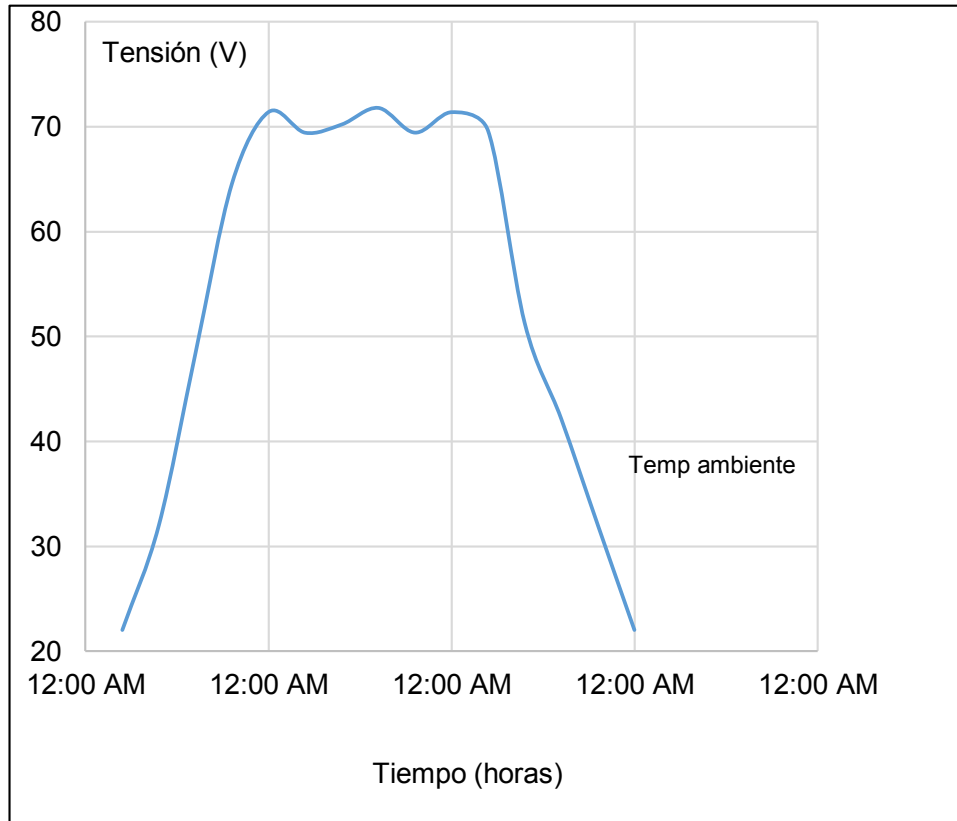


Figura 99. Medición de la tensión en el sistema PV
Fuente: Autor

En la figura 99 se tiene de manera gráfica la representación del comportamiento de la tensión que nos entrega el grupo de paneles solares esta representación tiene que ver directamente de los valores de la medición de las radiaciones con arduino a medida que la irradiación impacta al banco de paneles solares empieza a generar voltaje deseado a partir de las nueve de la mañana hasta las cinco de la tarde aproximadamente en los cuales se cargarían el banco de baterías.

4.7 Resultados método experimental bomba de calor (calentar ambiente)

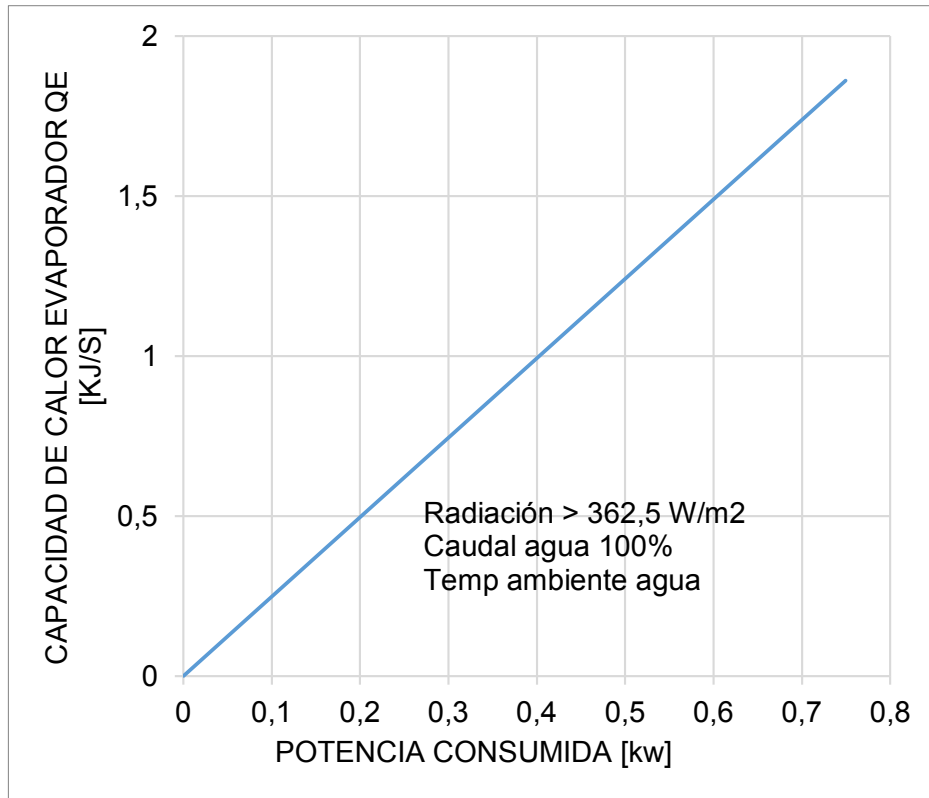


Figura 100. Capacidad de calor en el evaporador caudal de agua 100% a temperatura ambiente - método experimental
Fuente: Autor

En la figura 100, podemos observar la representación del comportamiento de la capacidad de calor en el evaporador que se encuentra sumergido en el tanque de agua, frente a la potencia consumida, Q_e calculado es igual a 1.86 KJ/s a una potencia que es suministrada para el equipo de un valor constante en operación de 0.75 Kw , cabe recalcar que en el evaporador el sistema de bomba de calor, el calor del agua es absorbida por el sistema de refrigeración y transportado mediante el **R-134 a**, hacia el condensador, el flujo de caudal de agua está ingresando al cien por ciento, es decir a 12 L/m para no permitir sea enfriado y a su vez baje a temperaturas de congelación de agua.

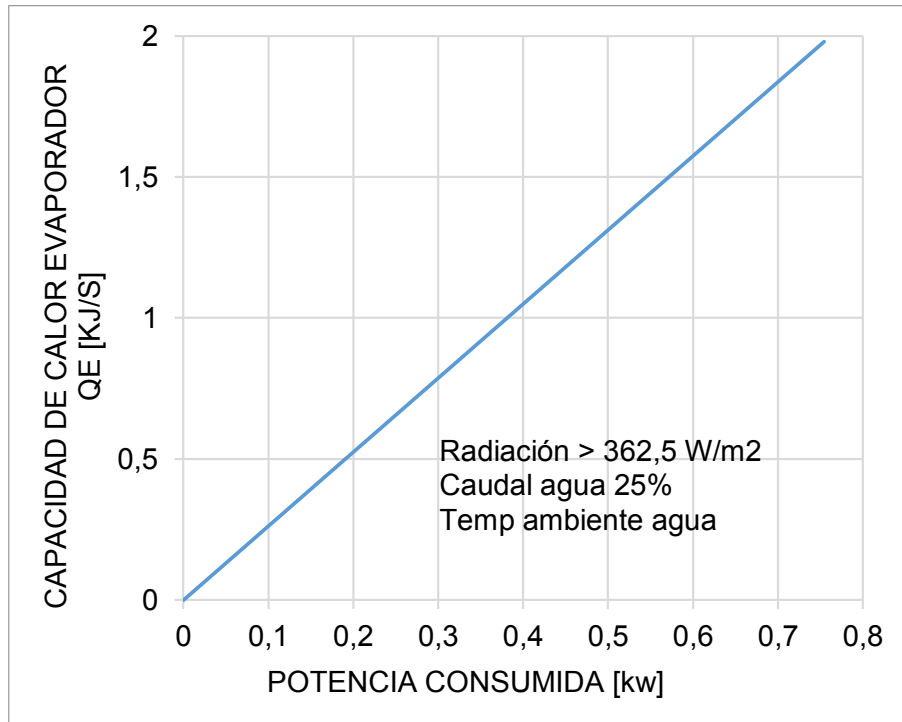


Figura 101. Capacidad de calor en el evaporador caudal de agua 25% a temperatura ambiente - método experimental
Fuente: Autor

En la figura 101, se observa la capacidad del evaporador Q_e a un valor de 1.98 KJ/s calculado a una potencia constante de 0.75 Kw y el caudal de agua a veinte y cinco por ciento siendo alrededor de 3 L/m el ingreso del caudal de agua al tanque donde se encuentra sumergido el evaporador a una temperatura ambiente del agua, en el laboratorio varia de entre dieciocho y diecinueve grados centígrados.

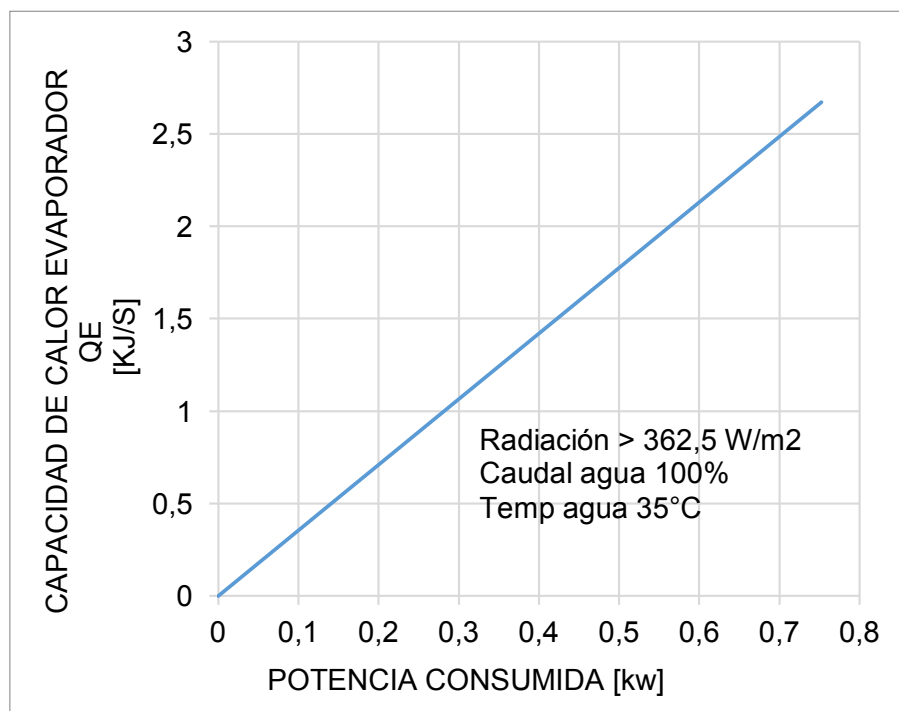


Figura 102. Capacidad de calor en el evaporador caudal de agua 100% a temperatura de agua 35°C - método experimental
Fuente: Autor

En la figura 102, se visualiza que Q_e , la capacidad de calor en el evaporador a un caudal de ingreso del agua con un valor del cien por ciento, esta agua se eleva a una temperatura constante de treinta y cinco grados centígrados, calentado con una niquelina utilizando energía de la red externa al sistema, mediante cálculos realizados tenemos Q_e un valor de 2.67 KJ/s con una potencia de 0.75 Kw.

Para realizar esta prueba de la figura 100 y 101 se eleva la temperatura del agua en el evaporador mediante dos niquelinas o resistencias usando energía eléctrica de la red es decir externa al sistema de PV, esta acción se realiza en el evaporador para ver el comportamiento en el condensador al absorber la energía térmica del agua y transferirla hacia el condensador.

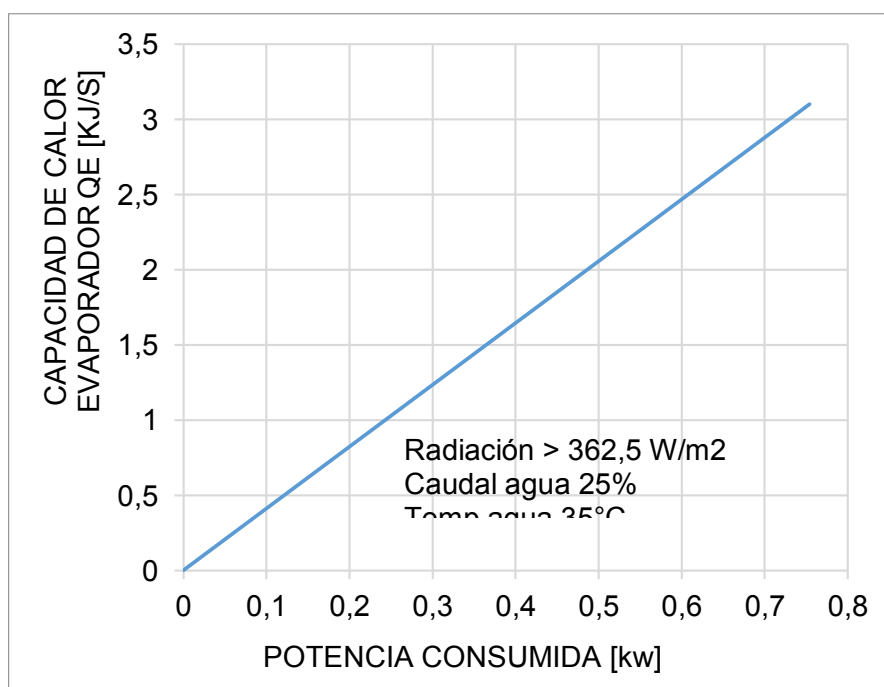


Figura 103. Capacidad de calor en el evaporador caudal de agua 25% a temperatura de agua 35°C - método experimental
Fuente: Autor

En la figura 103, se muestra Q_e , la capacidad de calor en el evaporador a un caudal de ingreso de agua del veinte y cinco por ciento este ingreso de agua está a una temperatura constante de treinta y cinco grados centígrados obtenidos al elevar la temperatura con las niquelinas, donde Q_e es igual a 3.10 KJ/s y operativamente el consumo del sistema es de 0.75 Kw.

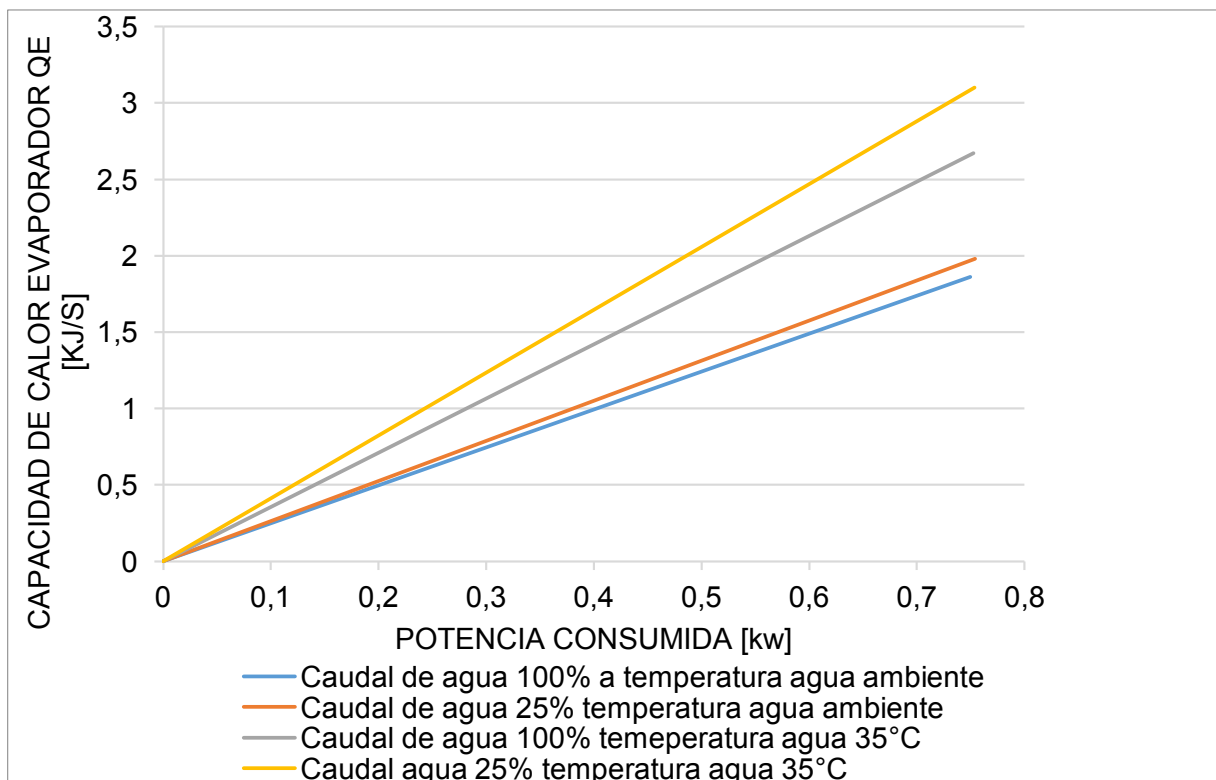


Figura 104. Capacidad de calor en el evaporador caudal de agua al 100% y 25% a temperatura de agua ambiente y 35°C - método experimental
Fuente: Autor

En la figura 104, tenemos la capacidad de calor en el evaporador con los dos flujos realizados las pruebas al veinte y cinco por ciento como también al cien por ciento de caudal de agua, las dos pruebas se encuentran a una temperatura de treinta y cinco grados centígrados del agua, al observar de manera gráfica se denota que es más eficiente al utilizar el flujo al cien por ciento y al flujo del veinte y cinco por ciento, elevando la temperatura a 35 grados centígrados obteniendo estos dos últimos mencionados una diferencia mínima de aumento de la capacidad de calor en el evaporador. Podemos definir que, si elevamos la temperatura del agua a fluir, de temperatura ambiente a treinta y cinco grados centígrados, obtendremos mayor transferencia de calor en el evaporador para transmitir hacia el condensador y así poder elevar la temperatura ambiente.

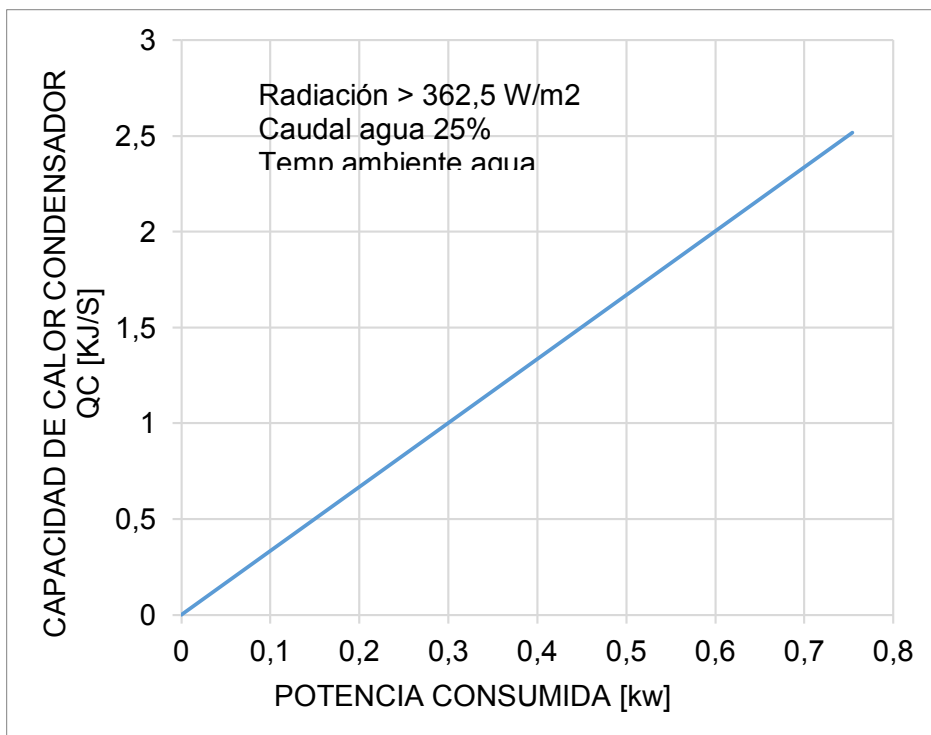


Figura 105. Capacidad de calor del condensador con caudal de agua al 25% a temperatura agua ambiente - método experimental
Fuente: Autor

En la figura 105, representa la capacidad de calor en el condensador donde calentara el ambiente, se encuentra operando a 2.52 KJ/s a una potencia consumida de 0.75 Kw con un caudal de agua al veinte y cinco por ciento es equivalente a 3 L/m.

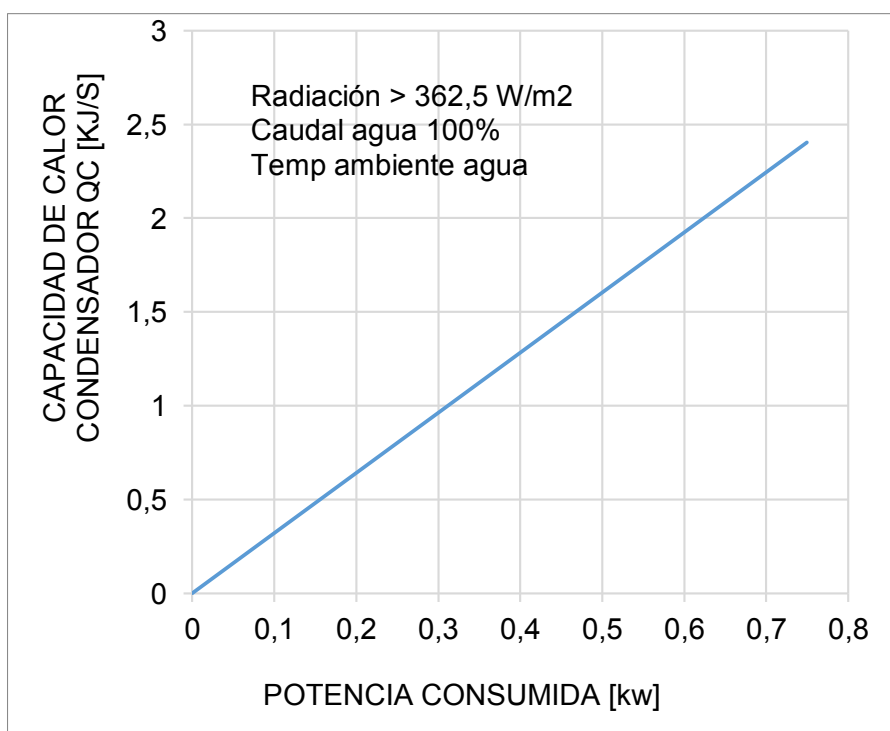


Figura 106. Capacidad de calor del condensador con caudal de agua al 100% a temperatura agua ambiente - método experimental
Fuente: Autor

En la figura 106, se obtiene la capacidad de calor en el condensador donde calentara el ambiente, se encuentra operando a 2.41 KJ/s a una potencia consumida de 0.75 Kw con un caudal de agua en el evaporador al cien por ciento a temperatura ambiente, el caudal de agua de ingreso es 12 L/m.

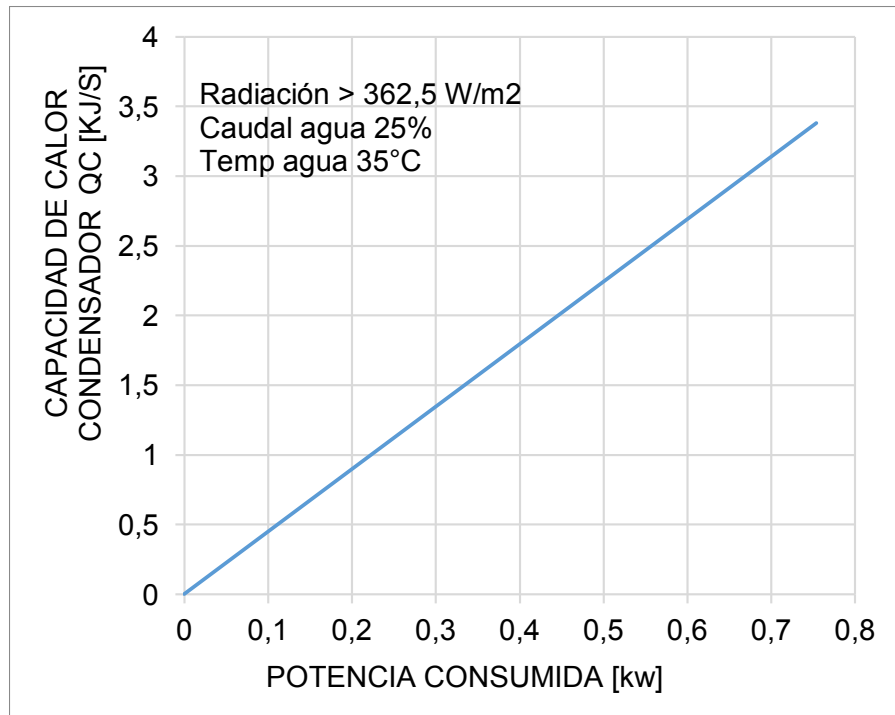


Figura 107. Capacidad de calor del condensador a caudal de agua 25% a temperatura de 35°C - método experimental
Fuente: Autor

En la figura 107, representa la capacidad de calor en el condensador donde calentara el ambiente, se encuentra a 3.38 KJ/s a una potencia consumida de 0.75 Kw con un caudal de agua en el evaporador de veinte y cinco por ciento a temperatura de treinta y cinco grados centígrados del agua calentado mediante las niquelinas.

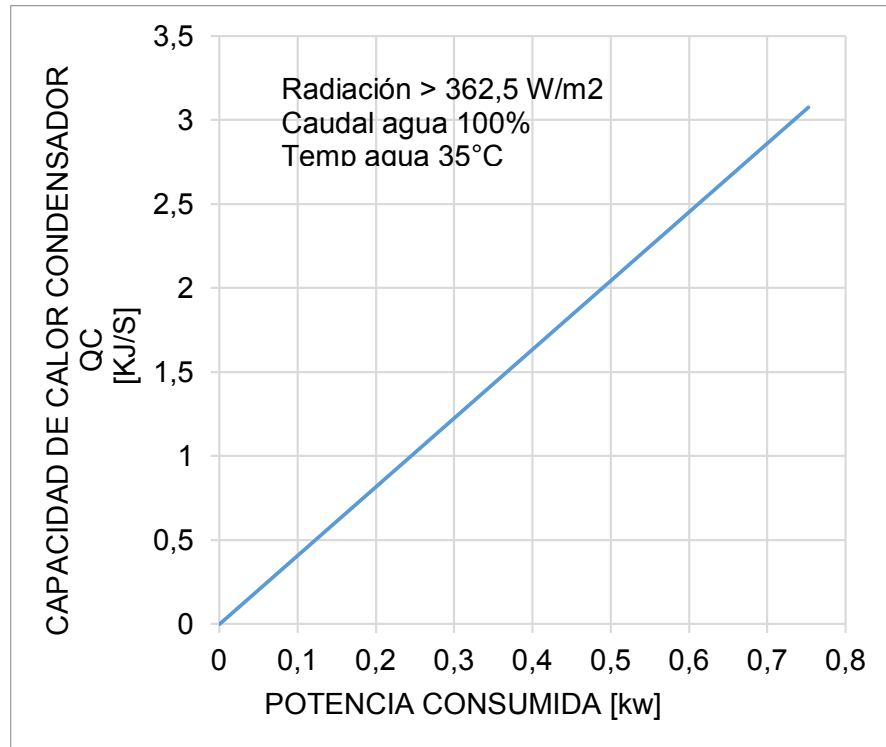


Figura 108. Capacidad de calor del condensador a caudal de agua 100% a temperatura de 35°C - método experimental
Fuente: Autor

En la figura 108, representa la capacidad de calor en el condensador donde calentara el ambiente, se encuentra a 3.08 KJ/s a una potencia consumida de 0.75 Kw con un caudal de agua en el evaporador del cien por ciento a temperatura de treinta y cinco grados centígrados del agua.

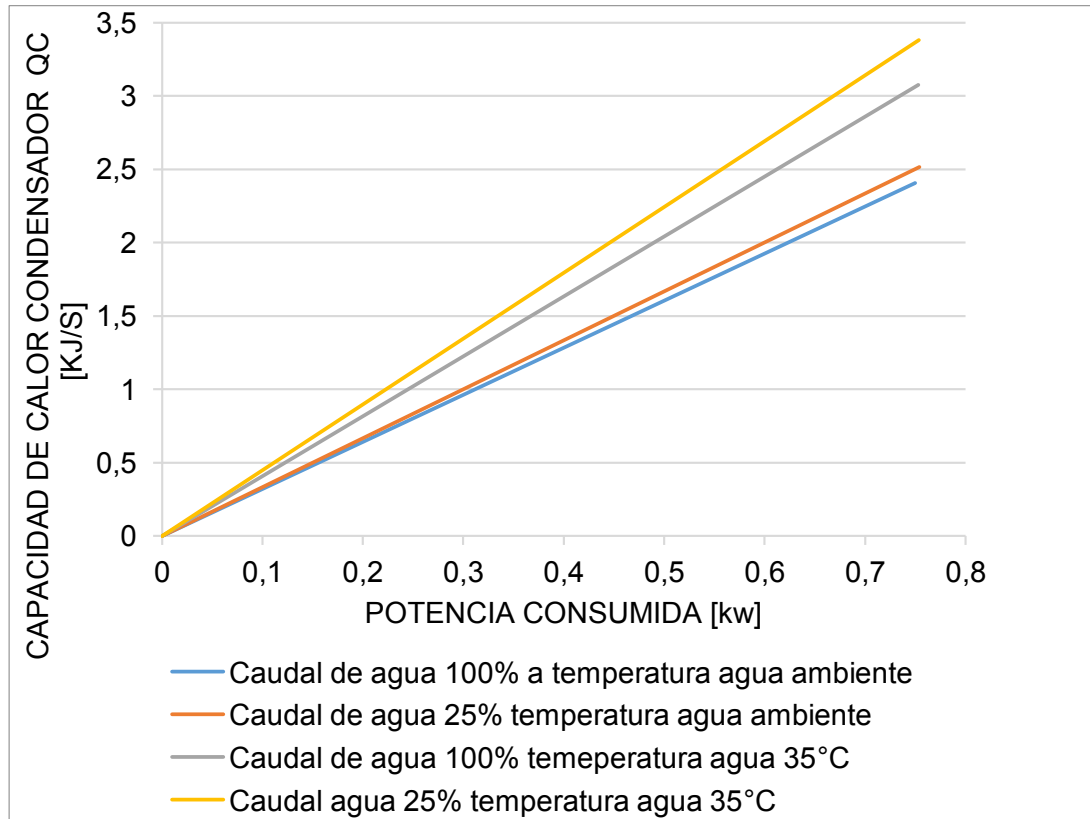


Figura 109. Capacidad de calor en el condensador a caudal de ingreso de agua al 25 y 100% en temperatura ambiente y temperatura de 35°C - método experimental
Fuente: Autor

En la figura 109, muestra la representación de la capacidad de calor en el condensador Q_c , mismo donde se aprovechara el calor para calentar el aire a fluir y transferirlo al ambiente, podemos observar en la gráfica que cuando se eleva la temperatura del agua a treinta y cinco grados centígrados, en los dos casos de flujo de agua del veinte y cinco y al cien por ciento respectivamente tenemos valores altos frente a los caudales con la temperatura ambiente siendo mucho más alto el valor con el flujo de agua al veinte y cinco por ciento a una temperatura de treinta y cinco grados centígrados con una diferencia despreciable a la del flujo del cien por ciento con igual temperatura de treinta y cinco grados centígrados.

Al analizar la figura 109 el comportamiento tanto al veinte y cinco por ciento, al cien por ciento de caudal de agua a treinta y cinco grados centígrados no es considerable la variación de temperatura, por el motivo que al cien por ciento el ingreso de agua hacia las niquelinas no logra calentar mientras que al fluir el caudal de agua al veinte y cinco si calentaba ósea la capacidad de las niquelinas requiere más tiempo para poder calentar con un caudal máximo como es el del cien por ciento por ello estos valores son casi exactos, por ello se observa que estos valores cuando se eleva la temperatura del agua se asemejan a los valores al hacer fluir a temperatura ambiente.

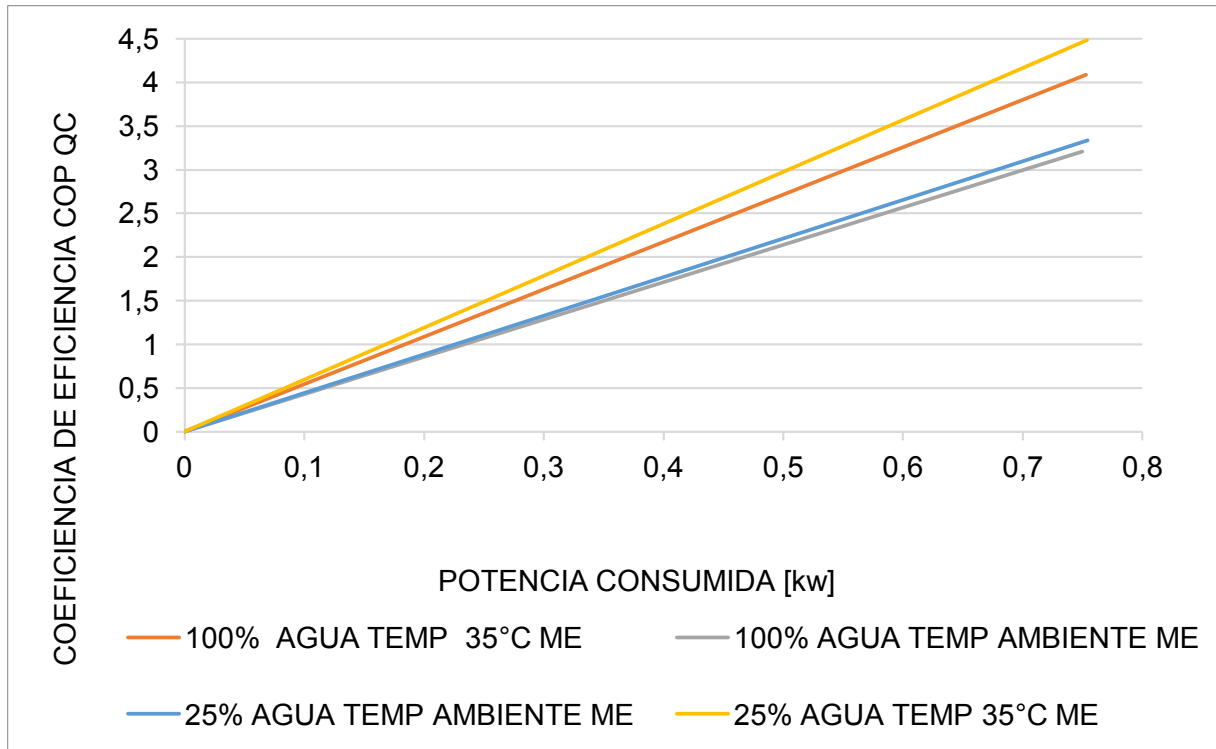


Figura 110. Coeficiente de eficiencia COP en función de Q_c - método experimental bomba de calor
Fuente: Autor

En la figura 110 se observa el coeficiente de eficiencia de la bomba de calor respecto a los Q_c calculados en las gráficas anteriores, donde se describe que al elevar la temperatura del agua al treinta y cinco grados centígrados con flujo del veinte y cinco por ciento es más eficiente a diferencia del agua cuando fluye a temperatura ambiente aun cuando tiene un flujo de agua del cien por ciento con una temperatura de caudal del agua a treinta y cinco grados centígrados el valor se acerca al mayor antes mencionado, esto denota que se obtiene mayor eficiencia en el condensador al elevar la temperatura de agua en el evaporador a caudal mínimo ya que las diferencias de temperatura entre entrada y salida es mayor.

Tabla 26. Balance de energía de la bomba de calor método experimental
Fuente: Autor

BALANCE DE ENERGIA BOMBA DE CALOR METODO EXPERIMENTAL						
ETAPAS	TEMPERATURA AIRE	CAUDAL DE AGUA	Q_e	Q_c	W_c	$Q_c=Q_e+W_c$
	°C	%	kJ/s	kJ/s	Kw	
Primera	AMBIENTE	100%	1.86	2.41	0.75	2.4 = 2.6
Segundo	AMBIENTE	25%	1.98	2.52	0.75	2.5 = 2.7
Tercero	35°C	100%	2.67	3.08	0.75	3.1 = 3.4
Cuarto	35°C	25%	3.10	3.38	0.75	3.4 = 3.8

En la tabla 26 se aprecia el desarrollo en método experimental de la bomba de calor, donde tenemos el balance de energía en donde la suma de la capacidad de calor en el evaporador Q_e y la potencia consumida en el compresor W_c , resulta la capacidad de calor en el condensador Q_c , apreciando que existen pérdidas mínimas en las salidas, al elevar a treinta y cinco grados de temperatura el agua en el evaporador y no cumple la igualdad exacta siendo mayor su sumatoria y obteniendo un valor menor despreciable a la salida.

4.8 Análisis y comparación de resultados obtenidos mediante métodos teórico y experimental

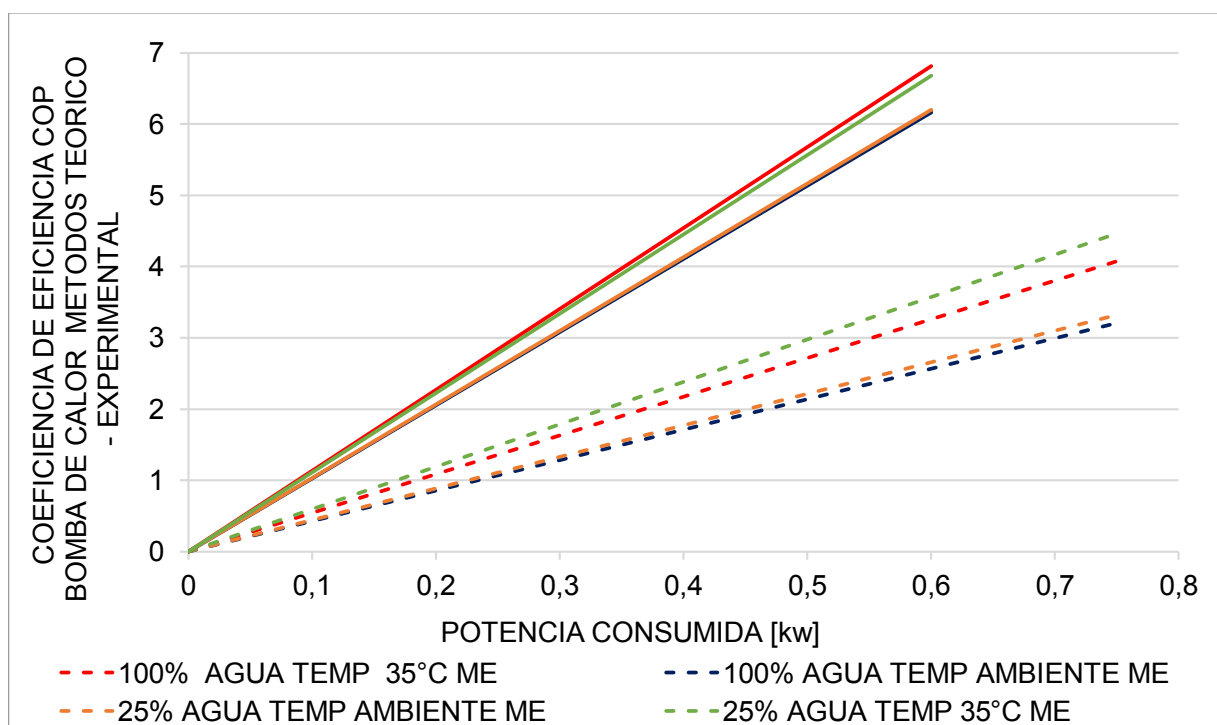


Figura 111. COP coeficiente de eficiencia energética Q_c frente a la potencia - método teórico y experimental – Bomba de calor
Fuente: Autor

En la figura 111 se representa el comportamiento de COP, (interpretando que el más alto equivale a menores costos operativos) de la bomba de calor, en el modo bomba de calor, con líneas continua se detalla el método teórico y con líneas entrecortadas la representación gráfica del método experimental del sistema.

En la figura 111 se obtiene que en los valores en método teórico son mayores frente al método experimental, donde en la tabla 26 se describe el comportamiento de la

eficiencia COP, en el modo de bomba de calor donde se analiza con respecto a Q_c , cuando se aprovecha la temperatura en el condensador para calentar el ambiente.

Tabla 27. Comportamiento eficiencia energética método teórico y experimental Bomba de Calor
Fuente: Autor

MODO BOMBA DE CALOR			
CAUDAL	TEMPERATURA	COP TEORICO	COP EXPERIMENTAL
100%	AMBIENTE	6.17	3.21
	35°C	6.82	4.09
25%	AMBIENTE	6.20	3.34
	35°C	6.68	4.48

En la tabla 27 se denota por ejemplo que con el caudal del aire al cien por ciento y temperatura ambiente en el método teórico entrega 6.17 Kw térmicos por cada Kw eléctrico consumido, mientras que en el experimental 3.21 Kw térmicos por cada Kw eléctrico consumido, se observa mediante el método teórico que al elevar la temperatura del agua en el evaporador a treinta y cinco grados centígrados con ambos caudales se obtiene una mayor eficiencia en el condensador a diferencia al circular los mismo caudales pero a temperatura ambiente. Al aplicar los mismos principios de funcionamiento en método experimental se denota de igual manera que es más eficiente al elevar la temperatura del agua en el evaporador a treinta y cinco grados centígrados ya sea al hacer fluir el agua tanto al veinte y cinco como al cien por ciento siendo mayor el valor obtenido en el flujo del veinte y cinco por ciento debido a la diferencia de temperatura en esta etapa de prueba; Además se debe explicar que existe en el evaporador un efecto “*Mpemba*” (se basa en que por propiedades físicas del agua es mucho más fácil enfriar el agua caliente que el agua fría, aprovechando esta diferencia de temperatura para nuestro análisis). Es decir el COP en el condensador es más eficiente al elevar las temperaturas del agua en el evaporador, ya que esta temperatura que se eleva en el agua, donde está sumergido el evaporador es absorbida por el sistema de refrigeración, exactamente por el refrigerante, ya que al calentar el gas refrigerante que pasa en ese punto se convierte más rápido en estado líquido y a la vez aprovechado por el compresor para comprimirlo y enviarlo de vuelta al condensador a una alta presión y por ende a una alta temperatura en estado líquido que luego será aprovechado para calentar el ambiente.

En este análisis en el método experimental con el método teórico en este último los valores son elevados, esto se debe a que el flujo del agua en el método experimental en el laboratorio no es constante si no que varía de manera permanente y a su vez afecta la

transferencia de calor del evaporador hacia el condensador, así mismo la densidad del agua es menor a mayor temperatura aunque la diferencia de temperatura sea mayor y mejor aprovechada, adicional a pesar de la calibración de los sensores de temperaturas de ambiente y de agua existe un valor mayor obtenidos en los datos recolectados del agua en el evaporador ya que está monitoreando la temperatura de la tubería, mas no está sumergido el sensor dentro del agua, existiendo una variación mínima. Por esta razón tenemos los valores en el método teórico mayor frente al experimental con valores menores.

En la tabla 27 se observa los rangos de valores elevados ya que el método teórico se utiliza el valor de placa del compresor de 0.6 Kw, no siendo así en el método experimental según los valores medidos es de 0.75Kw ya utilizando todos los componentes eléctricos y electrónicos de la bomba de calor, obviamente esta prueba de la recolección de datos se realizó en varias semanas para experimental y a su vez el caudal de agua que entrega la empresa ETAPA EP también cambiaba constantemente. Las diferencias elevadas del comportamiento entre el modelo teórico con el experimental influyen factores como los sensores físicos y los datos digitales, existiendo porcentajes de diferencia entre ellos descrito en el capítulo 3, también se puede deducir que las formulas aplicadas en el teórico están en base de las entalpías y temperaturas obtenidas con el sensor unida en las cañerías de cobre del equipo para detectar la temperatura de refrigerante **R-134a** circulando en el sistema mientras que el método experimental se toman temperaturas ambientes abiertos como la del aire y el agua, donde existen perdidas de temperaturas.

4.8.1 Análisis del sistema modo aire acondicionado

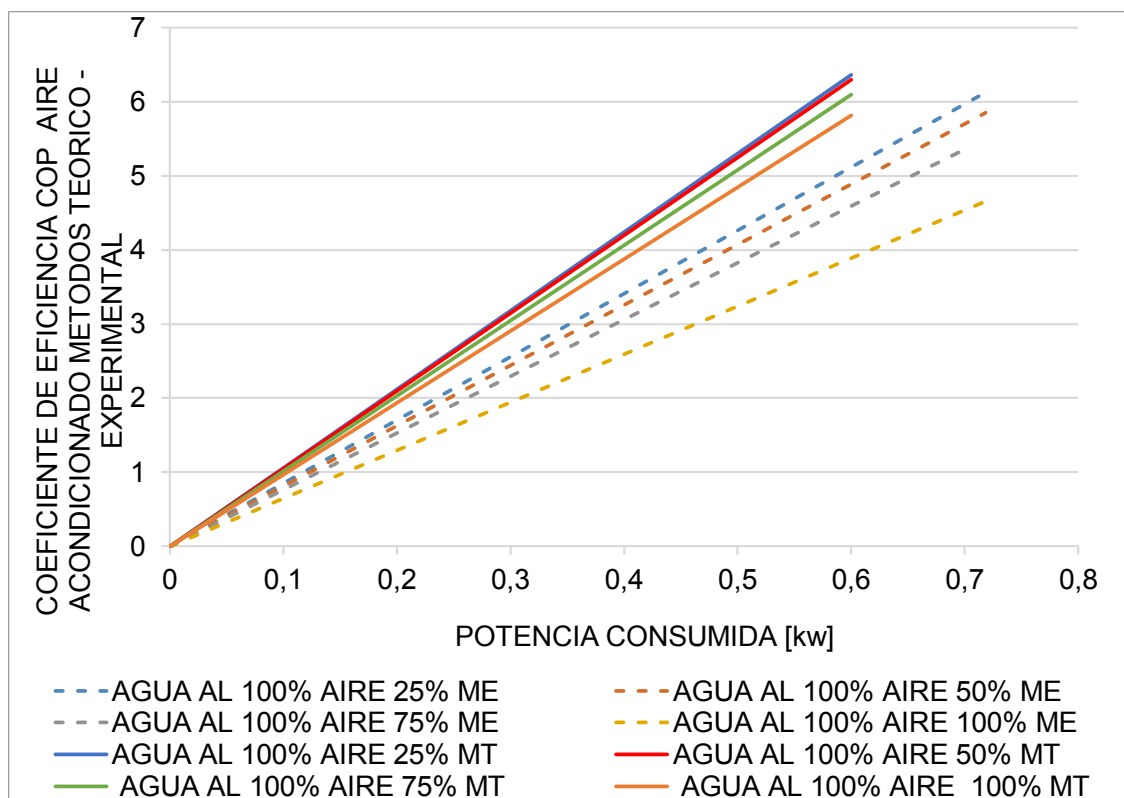


Figura 112. EER (Energy Efficiency Ratio) factor de eficiencia energética Q_e frente a la potencia - método teórico y experimental - aire acondicionado
Fuente: Autor

En la figura 112 se representa el comportamiento de EER (interpretando que el más alto equivale a menores costos operativos) de la bomba de calor en el modo aire acondicionado, con líneas continua se detalla el método teórico y con líneas entrecortadas la representación gráfica del método experimental del sistema.

En la figura 112 se obtiene que en los valores en método teórico son mayores frente al método experimental, donde en la tabla 28 se describe el comportamiento de la eficiencia EER, en el modo aire acondicionado donde se analiza con respecto a Q_e , cuando se aprovecha la temperatura en el evaporador para enfriar el ambiente.

Tabla 28. Comparación de eficiencia energético EER método teórico y experimental AC
Fuente: Autor

MODO AIRE ACONDICIONADO		
CAUDAL AIRE	EER TEORICO	EER EXPERIMENTAL
100%	5.82	4.64
75%	6.10	5.40

50%	6.30	5.85
25%	6.37	6.08

En la Tabla 28 denota por ejemplo que con el caudal del aire al cien por ciento en el método teórico entrega 5.82 Kw térmicos por cada Kw eléctrico consumido, mientras que en el experimental 4,64 Kw térmicos por cada Kw eléctrico consumido, además se describe mediante valores el comportamiento de la figura 112, mediante el método teórico nos demuestra que al veinte y cinco por ciento de caudal de aire en el evaporador resulta ser más eficiente según con valores calculados del fabricante, de igual manera en método experimental demuestra que al veinte y cinco por ciento es más eficiente según el EER calculado, es decir con menos costos operativos va a ser más eficiente al hacer fluir el aire al veinte y cinco por ciento. De igual manera en método experimental nos denota que al veinte y cinco por ciento es mayor, en esta etapa de prueba a diferencia de las demás etapas de prueba, ya que en el método experimental se usa la velocidad del aire para encontrar su flujo másico del aire y este valor elevado denota mayor valor calculado en Q_e , además también se puede apreciar la densidad del aire es mayor, porque a menor temperatura su valor de densidad tiende a crecer.

Se denota que, al restringir el paso de aire a la salida del evaporador, la velocidad del aire es mayor y esto afecta directamente, el flujo se obtiene mediante la multiplicación de la densidad del aire por el volumen y para calcular el EER va en función de Q_e , en este modo de aire acondicionado, y la ecuación (11). Q_e está en función del flujo másico del aire y las diferencias de temperatura, al obstruir el paso, el flujo másico también se incrementa por el volumen y la velocidad del aire, al igual que las diferencias de temperaturas por el motivo de concentrar toda la temperatura en un solo punto cerrado, por esta razón se incrementa el EER al fluir aire al veinte y cinco por ciento. En este análisis en el método experimental con el método teórico en este último los valores son elevados, esto se debe a que el flujo del agua en el método experimental en el laboratorio no es constante si no que varía de manera permanente y a su vez afecta la transferencia de calor del condensador hacia el evaporador, así mismo la densidad del agua es menor a mayor temperatura aunque la diferencia de temperatura sea mayor y mejor aprovechada, adicional a pesar de la calibración de los sensores de temperaturas de ambiente y de agua existe un valor mayor obtenidos en los datos recolectados del agua en el condensador ya que está monitoreando la temperatura de la tubería, mas no está sumergido el sensor dentro del agua, existiendo una variación mínima, y en el evaporador el sensor está a 20cm de distancia del ventilador en lugar abierto sin aislamiento. Por esta razón tenemos los valores en el método teórico mayor frente al experimental con valores menores.

En la tabla 25 se observa los rangos de valores elevados ya que el método teórico se utiliza el valor de placa del compresor de 0.6 Kw, no siendo así en el método experimental según los valores medidos es de 0.75Kw ya utilizando todos los componentes eléctricos y electrónicos de la bomba de calor, al ser menor la potencia del compresor como en el método teórico, esto afecta en la ecuación (13) ya que es un valor menor dividido para Q_e . Esta prueba de la recolección de datos se realizó en varias semanas para el método experimental y a su vez el caudal de agua que entrega la empresa ETAPA EP también cambia constantemente. Las diferencias elevadas del comportamiento entre el modelo teórico con el experimental influyen factores como los sensores físicos y los datos digitales, existiendo porcentajes de diferencia entre ellos descrito en el capítulo 3, también se puede deducir que las ecuaciones aplicadas en el método teórico están en función de las entalpías y temperaturas obtenidas con el sensor que se encuentran en las cañerías de cobre del equipo para detectar la temperatura del refrigerante **R-134a** circulando en el sistema de refrigeración, mientras que el método experimental se toman temperaturas ambientes abiertos como la del aire y el agua, dónde existen pérdidas de temperaturas.

Si se compara de manera general el EER en el modo aire acondicionado frente al COP en el modo bomba de calor, se observa que en aire acondicionado es mayor frente al modo bomba de calor con valores altos, tanto en el método teórico y experimental, cabe recalcar que el COP en bomba de calor está calculado mediante Q_c , mientras que el EER en aire acondicionado está calculado mediante Q_e . De manera que se comprueba que es más fácil bajar la temperatura que elevarla ya sea del agua o el aire. En el modo bomba de calor al elevar la temperatura a los treinta y cinco grados el agua se denota que no es considerable el aumento del COP, por lo poco eficiente que es el sistema de calentamiento mediante las niquelinas, mientras que en el modo aire acondicionado se facilita bajar la temperatura del aire, además por lo expuesto anteriormente por la incidencia de la velocidad del aire y por concentrar en un solo punto la temperatura del aire.

Causas de las diferencias de valores obtenidos en el método teórico y experimental del sistema en general por componentes del sistema:

- Las variaciones de estos valores van directamente proporcionales de la potencia ya que en datos del fabricante el compresor opera a 0.6 Kw y con las mediciones realizadas en laboratorio CER el compresor opera con una potencia de 0.7 Kw usando todos los componentes eléctricos y electrónicos.

- Los sensores de temperatura que se utiliza para esta investigación tienen un margen de error del $\pm 1.47\%$ siendo también esta una de las causas por la diferencia de los valores entre método teórico y experimental. Adicional la ubicación de los sensores de temperatura en el método teórico se unen a las cañerías de cobre del sistema, a diferencia del método experimental donde se toman temperaturas ambientes existiendo perdidas en la transferencia de temperaturas.
- En el momento de la toma de datos las diferentes pruebas se realizan tanto en la mañana, en la tarde y en la noche lo cual se llegó apreciar con los valores recolectados que no siempre se tenía el mismo caudal dependiendo de la hora en la que se realiza esta toma de datos, llegando a afectar las temperaturas y presiones en el equipo bomba de calor.
- Se observa que los valores entre experimental y teórico varían considerablemente ya sea que en el teórico nos da valores ideales adicional en el método teórico se están tomando valores de temperatura en las cañerías tanto de entrada y salida del refrigerante para ser calculadas mediante el software EES, mientras que el experimental se toman diferencias de temperaturas ambientes y toma de datos de flujos de aire y agua reales. Adicional a esto en el método teórico se calculan las entalpías mediante software, donde se está simulando un cálculo exacto en el mundo ideal del ciclo de refrigeración, por esta razón también obtenemos que el método teórico es más alto al obtenido en el experimental.

4.8.2 Análisis de los balances de energía en métodos teóricos y experimental en modo aire acondicionado

A continuación, vamos a describir y comparar los resultados obtenidos mediante los dos cálculos del sistema.

Tabla 29. Balance energético del sistema Aire acondicionado en métodos teórico y experimental
Fuente: Autor

BALANCE DE ENERGIA AIRE ACONDICIONADO MÉTODO TEÓRICO							BALANCE DE ENERGIA AIRE ACONDICIONADO MÉTODO EXPERIMENTAL						
ETAPAS	CAUDAL DE AIRE	CAUDAL DE AGUA	Qe	Qc	Wc	Qc+Wc=Qe	ETAPAS	CAUDAL DE AIRE	CAUDAL DE AGUA	Qe	Qc	Wc	Qc+Wc=Qe
	%	%	KJ/s	KJ/s	Kw	KJ/s		%	%	KJ/s	KJ/s	Kw	KJ/s
Primera	100%	100%	3.49	4.08	0.60	4.68=3.49	Primera	100%	100%	3.32	3.86	0.72	4.58=3.32
Segunda	75%	100%	3.66	4.24	0.60	4.84=3.66	Segunda	75%	100%	3.81	4.10	0.71	4.81=3.81
Tercero	50%	100%	3.78	4.38	0.60	4.98=3.78	Tercero	50%	100%	4.20	4.80	0.72	5.52=4.20
Cuarto	25%	100%	3.82	4.42	0.60	5.02=3.82	Cuarto	25%	100%	4.33	4.94	0.71	5.65=4.33

En la tabla 29 se muestra un resumen de las capacidades de calor (Q) ya sea en el condensador o evaporador tanto en el método teórico como también como el método experimental en cuatro etapas de prueba, además de la potencia consumida en este método aire acondicionado.

Con lo que respecta a Q_c , la capacidad de calor en el condensador en modo aire acondicionado, en el método teórico vemos que es mayor frente al método experimental en las dos primeras etapas según los valores obtenidos, inclusive de manera general es mayor que al Q_e con diferencias mínimas porque aquí está disipando el calor en el agua. Pero el Q_c , la capacidad de calor en el condensador en el aire acondicionado vemos que en la tercera y cuarta etapa es al revés siendo mayor en el método experimental frente al teórico, denotándose que el calor es mayor disipado al restringir más el paso del aire en el evaporador.

En lo que respecta a Q_e , la capacidad de calor en el evaporador, modo aire acondicionado, donde se aprovecha específicamente el frío para bajar la temperatura en el ambiente, en el método teórico tenemos de igual manera que en Q_c valores bajos y en el experimental valores altos, esto se debe a la restricción del flujo del aire y por ende se obtiene más flujo másico, haciendo incrementar los valores obtenidos, inclusive se refleja este efecto de aumento de capacidad de calor desde la primera etapa (baja), hacia la cuarta etapa (alta) del método experimental.

Se puede observar que en los dos métodos tanto teórico y experimental con respecto a la salida de energía térmica Q_e en la primera etapa es menor, es decir cuando se hace fluir aire en el evaporador al cien por ciento, mientras que es mucho mayor Q_e cuando se hace fluir aire al veinte y cinco por ciento en la cuarta etapa de prueba. Ahora si comparamos las diferencias entre los dos métodos en cada una de las etapas vemos que se repite el patrón de ser bajo en la primera etapa y mayor en la cuarta etapa de pruebas, además tenemos que existen rangos de diferencia entre 0.1 a 0.5 KJ/s, siendo mayor los valores obtenidos en el método experimental y menor en el método teórico. Además,

tenemos las pérdidas en el método teórico y experimental entre la salida Q_e y la sumatoria de las entradas del sistema Q_c+W_c , de cada etapa de prueba es entre 1.1 y 1.4 KJ/s ya sean estas pérdidas de energía térmica, en el caso experimental sean por radiación o convección, al no ser una maquina perfecta.

En lo que corresponde a la potencia “w” consideramos que es un valor fijo determinado en todo el funcionamiento de la bomba, con la diferencia que en el método teórico es de 0,6Kw por el dato de placa del motor compresor, mientras que en el experimental es de 0,7Kw ya utilizando todos los componentes de la bomba de calor como ventilador, panel de control y válvulas solenoides, este valor es obtenido mediante mediciones con arduino. Como dato adicional esta potencia que consume el equipo bomba de calor en este modo aire acondicionado es menor con 0.3 decimales al obtenido en el modo bomba de calor.

En la tabla 29. También se describe un kardex de resumen de las capacidades de calor calculados en el modo aire acondicionado, donde observamos los balances de energía del aire acondicionado tanto teórico como experimental, siendo esta la primera ley de termodinámica que nos dice que la energía no se destruye, se transforma. Las variaciones comparativas entre ambos modos tanto en método teórico como también experimental observamos que el método teórico no cumple la igualdad de la ecuación $Q_e=Q_c+W_c$, igual que el experimental existen variaciones debido a las pérdidas existentes antes mencionadas. Se puede observar que el valor calculado de la tabla mencionada no existe mucha diferencia entre ambos métodos. Se muestra que al realizar el balance de energía en el método teórico los valores varían entre 1.0 KJ/s a 1.4KJ/s; de igual manera en el método experimental la diferencias de las de energías (Q_c+W_c) es mayor que la entrada de energía térmica Q_e , esto implica que existen pérdidas parasitas minimas en todo el ciclo del sistema de transferencia de frio.

4.8.3 Análisis de los balances de energía en el métodos teórico y experimental en modo bomba de calor

Tabla 30. Balance energético del sistema Bomba de calor en métodos teórico y experimental

Fuente: Autor

BALANCE DE ENERGIA AIRE ACONDICIONADO METODO TEORICO							BALANCE DE ENERGIA AIRE ACONDICIONADO METODO EXPERIMENTAL						
ETAPAS	CAUDAL DE AIRE	CAUDAL DE AGUA	Q_e	Q_c	W_c	$Q_c=Q_e+W_c$	ETAPAS	CAUDAL DE AIRE	CAUDAL DE AGUA	Q_e	Q_c	W_c	$Q_c=Q_e+W_c$
	%	%	kJ/s	kJ/s	Kw	kJ/s		%	%	kJ/s	kJ/s	Kw	kJ/s
Primera	100%	100%	3.49	4.08	0.60	4.1 = 4.1	Primera	100%	100%	3.32	3.86	0.72	3.9 = 3.0
Segundo	75%	100%	3.66	4.24	0.60	4.2 = 4.2	Segundo	75%	100%	3.81	4.10	0.71	4.0 = 3.5
Tercero	50%	100%	3.78	4.38	0.60	4.2 = 4.2	Tercero	50%	100%	4.20	4.80	0.72	4.2 = 4.8
Cuarto	25%	100%	3.82	4.42	0.60	4.4 = 4.4	Cuarto	25%	100%	4.33	4.94	0.71	4.2 = 4.9

En la tabla 30 se muestra un resumen de las capacidades de calor Q_e , Q_c ya sea en el condensador o evaporador tanto en el método teórico como también como el método experimental en cuatro etapas de prueba, además de la potencia consumida en este método bomba de calor.

Con lo que respecta a Q_e , la capacidad de calor en el evaporador en modo bomba de calor, en el método teórico vemos que es mayor frente al método experimental en cuatro etapas según los valores obtenidos, pero de manera general es menor al Q_c con diferencias mínimas porque aquí está absorbiendo el calor del agua. Pero el Q_e , la capacidad de calor en el evaporador en bomba de calor vemos que en las cuatro etapas es menor en el método experimental frente al teórico, denotándose que el calor es menor absorbido del agua en el evaporador, existiendo gran diferencia también en este método experimental desde la primera etapa hacia la cuarta etapa donde se eleva la temperatura del agua a los treinta y cinco grados.

Lo que respecta a Q_c , la capacidad de calor en el condensador, modo bomba de calor, donde se aprovecha específicamente el calor para elevar la temperatura en el ambiente, en el método teórico tenemos que en Q_c son valores altos y en el método experimental valores bajos, esto se debe a la restricción del flujo del agua respecto a su densidad y por ende se obtiene menor flujo másico, haciendo reducir los valores obtenidos. Adicional el calor del agua absorbido por el evaporador no es suficiente para convertir en líquido el vapor que está en ese punto del evaporador para luego ser transferido hacia el condensador.

Se puede observar que en los dos métodos tanto teórico y experimental con respecto a Q_c el valor obtenido es menor en la primera y segunda etapa, es decir cuando se hace fluir agua en el evaporador al cien por ciento y a temperatura ambiente del agua de aproximadamente veinte grados centígrados, mientras que es mucho mayor Q_c cuando se hace fluir aire al cien por ciento agua pero estas dos últimas etapas de prueba elevando la temperatura del agua hasta los treinta y cinco grados. Ahora si comparamos las diferencias entre los dos métodos en cada una de las etapas vemos que se repite el patrón de ser bajo

en la primera y segunda etapa y mayor en la tercera y cuarta etapa de pruebas, además tenemos que existen rangos de diferencia entre 0,3 a 0,5 KJ/s, siendo mayor los valores obtenidos en el método teórico y menor en el método experimental.

En lo que corresponde a la “potencia” consideramos que es un valor fijo determinado en todo el funcionamiento de la bomba, con la diferencia que en el método teórico es de 0,6Kw por el dato de placa del motor compresor, mientras que en el experimental es de 0,7Kw ya utilizando todos los componentes de la bomba de calor como ventilador, panel de control y válvulas solenoides, este valor es obtenido mediante mediciones con arduino. Como dato adicional esta potencia que consume el equipo bomba de calor en este modo bomba de calor aire acondicionado es mayor con 0.3 decimales al obtenido en el modo aire acondicionado.

En la tabla 30, También se describe un kardex de resumen de las capacidades de calor calculados en el modo bomba de calor, donde observamos los balances de energía tanto teórico como experimental, siendo esta la primera ley de termodinámica que nos dice que la energía no se destruye, se transforma. Las variaciones comparativas entre ambos modos tanto en método teórico como también experimental observamos que el método teórico cumple la igualdad de la ecuación descrita, mientras que el experimental existen variaciones debido a las pérdidas existentes antes mencionadas. Se puede observar que el valor calculado de la tabla mencionada existe una diferencia de 0.5 Kj/s entre ambos métodos. Se muestra que al realizar el balance de energía en el método teórico los valores son exactos ya que se está despreciando las condiciones ambientales, asumiendo que son ideales; mientras que en el método experimental la sumatoria de las entradas de energía ($W+Q_e$) es mayor que la salida Q_c , esto implica que existen pérdidas parasitas mínimas en todo el ciclo del sistema de transferencia de calor o frío, hacia la salida Q_c .

Se denota en los balances de energía mediante método teórico que es mayor a los balances del método experimental, debido a que las diferencias de temperaturas no son mayores frente al modo aire acondicionado, ya que en el evaporador tenemos agua siendo enfriada por el sistema de refrigeración e ingresando agua a temperatura ambiente, pero al momento de aumentar la temperatura del ingreso del agua si se denota mayor diferencia de temperatura, asemejándose mucho los valores al método teórico, es decir existen variación entre el método teórico y experimental por las temperaturas recolectadas no son las medidas dentro del agua y las del aire medidas en un lugar abierto.

CONCLUSIONES.

En este trabajo de investigación se describió los datos obtenidos de la simulación tanto del sistema fotovoltaico como del sistema bomba de calor - aire acondicionado, logrando calentar el ambiente en el caso de bomba de calor y enfriar el ambiente como aire acondicionado.

En la bomba de calor – aire acondicionado, requiere de un consumo para su operación de 1Kw, donde existe aún una reserva adicional del sistema fotovoltaico de 1kW para los consumos básicos de una vivienda casa típica de la amazonia. Con esta reserva es suficiente según se lo indica en la sección 1.1 de esta investigación.

Cabe indicar que en los cálculos realizados se toma como dato 0.72 Kw en el caso de aire acondicionado y 0.75 Kw en bomba de calor, y en esta conclusión se habla de que utiliza 1 KW es por el motivo que el compresor requiere de un pico de potencia en un tiempo de milisegundos al momento del arranque.

En el sistema fotovoltaico cabe recalcar que el modelo del sistema fotovoltaico presentado en esta investigación se puede utilizar también como un sistema de respaldo backup es decir funciona alimentándose de la red eléctrica convencional, y al censar la interrupción de la red eléctrica entra en funcionamiento los paneles fotovoltaicos, al estar conectados ambos sistemas, el que no esté en uso va a funcionar, para el caso de la implementación en la amazonia no se utilizaría esta parte de respaldo ya que su estudio se recomienda utilizar en la amazonia porque es autónomo debido a su almacenamiento de energía en sus baterías. Este a su vez puede suministrar energía al sistema bomba de calor – aire acondicionado por periodos prolongados teniendo una autonomía de 4.8 horas alimentando una potencia de 1KW ya que la energía del sistema fotovoltaico es de 5.8Kw .h por día, ya sea su necesidad para calentar o enfriar el ambiente,

En el sistema (aire acondicionado – bomba de calor) resultante de este modelo es más eficiente por aproximadamente un 0,05 a 0,09 Kj/s en modo aire acondicionado que en el modo bomba de calor, es decir cuando se toma el calor del ambiente y se lo transfiere en el agua al tener un flujo de aire en el evaporador del 25% (6 m/s) frente al 100% (4,2 m/s) con un caudal de agua del 100% (12 L/m), según los valores obtenidos y pruebas realizadas en el CER Centro de energías renovables de la Universidad Católica de Cuenca.

El sistema (aire acondicionado – bomba de calor) en el modo bomba de calor, cuando absorbe la energía térmica del agua del evaporador y lo transfiere en el aire a través del condensador se denota que es menos eficiente frente al modo aire acondicionado ya que las

capacidades de calor son bajas debido a que el calor específico del agua es mucho mayor que el aire, facilitando que baje la temperatura del agua en el evaporador y por ende el consumo de potencia en el compresor es mayor de hasta 0,04Kw en el modo bomba de calor, ya que requiere más trabajo para enfriar el agua.

Se denota que en ambos modos ya sea aire acondicionado o bomba de calor al tener una mayor potencia consumida por el compresor como en el método experimental se obtiene menos capacidades de calor y de manera viceversa con el método teórico respectivamente, esto se debe a cambios de temperaturas como por ejemplo por causas de variación de la caudal agua, incluso por las temperaturas diferentes del ambiente al momento de realizar las tomas.

Las diferencias de temperaturas entre la entrada y salida de aire en el evaporador del modo aire acondicionado son de (8°C a 10°C) y cuando está en el modo bomba de calor la diferencia de temperatura en el condensador son de (6°C a 8°C). Es necesario explicar que también se podría usar para calentar el agua, así mismo para enfriar el agua.

Según lo antes mencionado se determina también que el equipo es menos eficiente por valores insignificantes según el COP, al usarlo en modo de bomba de calor para nuestro caso, es decir cuando calienta el ambiente, esto se debe según lo estudiado que incide en el uso del refrigerante R-134a por sus propiedades químicas y termodinámicas, adicional se explicó que el equipo adquirido (por el CER de la universidad católica de Cuenca), de forma original es diseñado solo para calentar el agua y al mismo tiempo enfriar el ambiente, es decir donde para esta investigación se llamó modo aire acondicionado, siendo una de estas las denotaciones que en el modo aire acondicionado es más eficiente que en bomba de calor de esta investigación.

El EER a pesar de tener diferentes etapas de pruebas en aire acondicionado restringiendo el paso del aire y en bomba de calor restringiendo el paso del agua además elevando la temperatura, se obtiene una similitud en sus valores de eficiencia, oscilando entre 4 a 6 su EER en aire acondicionado, mientras en que en el modo bomba de calor oscila entre 3 y 4 el COP, una vez más se denota que es menos eficiente en este modo bomba de calor frente al modo aire acondicionado. (Llegando a la conclusión que, si se lo ocupa para calentar el agua y/o enfriar el ambiente es más eficiente que, para enfriar el agua y/o calentar el ambiente).

Realizada la simulación de una bomba geotérmica con la utilización de las niquelinas en remplazo de la energía térmica del suelo, se denota que el equipo adquiere más beneficios para calentar el aire y a su vez el ambiente con valores superiores a las utilizadas con la

temperatura ambiente es decir sin la utilización de la simulación (niquelinas), y además se debe tomar en cuenta que los valores resultantes obtenidos en el modo aire acondicionado sobrepasan al método bomba de calor por el motivo ya expuesto de que se toma en cuenta en este estudio el aumento del flujo del aire como su diferencia de temperatura focalizada en un solo punto.

En todo este estudio se demuestra mediante cálculos reales que el consumo energético de la bomba es bastante eficiente calentando el agua de una manera limpia sin contaminar incluso el sistema en el sistema energético también siendo limpio capturando la energía del sol reduciendo así en los últimos 10 años las energías renovables que han ganado bastante terreno en el mercado y se ha reducido al 50% el uso del monóxido de carbono y en cuestión de precio de los sistemas de calentadores de agua con bomba de calor son bastante accesibles a los usuarios ya que no son costosos para el trabajo sorprendente que realiza y así contrastando también la publicación (Cleantechnica, 2020)

RECOMENDACIONES.

En este trabajo de investigación se considera una alternativa para implementar en zonas de difícil acceso de la energía eléctrica convencional ya que todo el cálculo se realizó como simulación en condiciones meteorológicas de la ubicación del laboratorio CER para que sea aplicado e implementado en la amazonia ecuatoriana y con proyección a cualquier ubicación geográfica que el lector desee.

Para próximas investigaciones se recomienda tener en cuenta que los caudales sean constantes ya que estos influyen en el método experimental de manera muy representativa en este sistema. Además de probar las diferencias de temperaturas en un lugar específico es decir que sea cerrado como una habitación determinada.

Se recomienda para futuras investigaciones utilizar otros métodos para elevar la temperatura del agua, en el modo bomba de calor ya que en esta investigación el método aplicado con las niquelinas no es eficiente al hacer fluir el caudal de agua al cien por ciento, ya que el agua ingresa al reservorio a una temperatura ambiente y recién dentro se comienza a calentar el agua con las niquelinas, donde ya se está enfriando mediante el evaporador de la bomba de calor, y estos valores fluctúan dando posibles valores erróneos.

Se recomienda para reducir las diferencias entre métodos teóricos y experimentales realizar tomas por día en cada nuevo ajuste durante el tiempo necesario para analizar los valores nuevos obtenidos, para futuras investigaciones, solucionar el ingreso de agua sea el que se requiere mas no el que entrega la empresa ETAPA EP que es un flujo de caudal que varía de manera permanente.

Se recomienda usar esta investigación para posteriores análisis y posible ejecución de la misma como por ejemplo utilizar una parte del sistema de enfriamiento de la bomba de calor como es el evaporador y sea aplicable a utilizar un sistema de refrigeración doméstico en el mismo interior de una vivienda como puede ser una nevera o un cuarto frio para mantener producto alimenticio en buen estado y así hacerlo más eficiente a este sistema, aplicado a una residencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

BIBLIOGRAFÍA

- Chávez. (agosto de 2016). diseño y construcción de una bomba de calor geotérmica. ecuador .
- Chicaiza, J., & Quisaguano, O. (2018). estudio técnico del consumo de energías eléctricas en el edificio el rey para la implementación de energías renovables. cuenca, azuay, ecuador.
- Cimmino, M., & Wetter, M. (15 de mayo de 2017). modelling of heat pumps with calibrated parameters based on manufactured data. canada.
- Cleantechnica. (2020). <https://cleantechnica.com/category/clean-energy/geothermal-energy/>.
- Colón. (2017). pv-driven heat pump water heater. *florida solar energy center*, 41.
- CONELC. (2007). *atlas solar del ecuador*.
- directindustry. (s.f.). www.directindustry.es.
- energías renovables*. (2017). Obtenido de <http://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/>
- Fontenault, & Gutierrez. (2012). modelado de un panel solar combinada fotovoltaica-térmica. *Actas de la conferencia COMSOL 2012, Boston, Boston MA, EE.UU.,.*
- Fontenault, B., & Gutierrez.Miravete, E. (2012). modelado de un panel solar combinada fotovoltaica-térmica. *Actas de la conferencia COMSOL 2012, Boston, Boston MA, EE.UU.*
- Fuentes, G., & Trapp, F. (2009). implementación de un sistema de climatización para el casino, mediante bomba de calor . chile.
- Gasquet. (2004). *conversión de la luz solar en energía eléctrica - manual teórico y práctico sobre los sistemas fotovoltaicos*. cuernavaca: Solartronic S.A.
- gas-servei. (2018). www.gas-servei.com.
- Gonzales, G., & Juan Zambrano, E. E. (guayaquil de abril de 2014). estudio, diseño e implementación de un sistema de energía solar en la comuna puerto roma de la isla mondragon del golfo de guayaquil, provincia del guayas. guayas, ecuador.
- Gonzalez, J. M. (1991). causas, efectos y métodos de control de flujo pulsante en bombas compresores y medidores de flujo.
- Guerrero, M. C. (10 de diciembre de 2012). proyecto de factibilidad para el uso de paneles solares en generación fotovoltaica de electricidad en el complejo Habitacional "San antonio de Riobamba". riobamba, ambato, ecuador.

- Harfard, S., Florez, & castellví. (21 de octubre de 2016). *estado de desarrollo de proyectos de bombas de calor geotérmicos instalados en chile*. santiago, chile.
- Harrison, S. (2017). the potential and challengues of solar boosted heat pumps for domestic hot weater heating. canada.
- haverland. (20 de 05 de 2020). el aire acondicionado contribuye a mejorar la calidad del aire interior.
- <http://fchartsoftware.com>. (s.f.). Obtenido de <https://www.software.polimi.it/en/software-download/ta-staff/engineering-equation-solver>
- <http://www.tratohosteleria.com/>. (s.f.).
- <https://0grados.com.mx/>. (s.f.).
- Jakh, S. ..., Sonu, M., & Gakkar, N. (2017). ener procedia. *modelado y simulación de concentración fotovoltaica con intercambiador de calor del agua de refrigeración de la tierra*, 209.
- Jakh, Sonu, & Gakkar. (2017). modelado y simulación de Concentración Fotovoltaica con intercambiador de calor del agua de refrigeración de la Tierra. *Energ. Procedia*, 109, 78-85.
- josebernad. (2020). el uso de refrigerantes naturales la alternativa mas saludable para el medio ambiente. <https://www.josebernad.com/el-uso-de-refrigerantes-naturales-la-alternativa-mas-saludable-para-el-medio-ambiente/>.
- Laura, & Rodrigo. (agosto de 2018). análisis y simulación mediante CFD (computacional fluid dynamics) de ansys del comportamiento térmico del refrigerante 134a en un condensador dentro de un ciclo de refrigeración. quito, ecuador.
- Laura, L., & Rodrigo, C. (agosto de 2018). análisis y simulación mediante CFD (computacional fluid dynamics) de ansys del comportamiento térmico del refrigerante 134a en un condensador dentro de un ciclo de refrigeracion. quito, ecuador.
- Marin. (2017). simulación dinámica de sistema hibrido (pila combustible PEM y panel solar fotovoltaico) para una vivienda tipo de hasta 1200 Wh/día. cuenca, azuay, ecuador.
- muñoz, m. (2018). bomba de calor geotérmica con intercambiador de calor verticales en coyhaique. chile.
- Ortega. (31 de junio de 2017). factibilidad del aprovechamiento de bombas de calor geotérmicas para localidades de méxico. méxico, méxico, méxico.
- Ortega, A. N. (s.f.). Factibilidad del aprovechamiento de bombas de calor geotérmicas para localidades de México. *UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO*, 78. México, México, México.

- Ramos, I. H., & Luna, I. R. (octubre de 2014). diseño de un sistema fotovoltaico Integrado a la red en el area de estacionamiento de la universidad tecnologica de salamaca. chihuahua, chihuahua, méxico.
- Rangel Carlos, R. J., & Diana, R. (31 de Mayo de 2017). Análisis termodinámico de un ciclo de refrigeración real con refrigerante R-134a. Puebla, Mexico.
- Robles, Naslund-Hadley, Paredes, & Ramos. (2015). ahorro de energía: uso eficiente y empleo de tecnologías alternativas. *bid*, 10.
- Rodriguez, C. U. (2018). metodología de selección de refrigerantes alternativas ecológicas y eficientes . *fundación universidad en américa*, vol. 11 n° 1:75-89, 89.
- Ruiz, T. J. (2016). análisis comparativo de compresores frigorificos para R-134a. sevilla.
- saclimafotovoltaica. (s.f.). Obtenido de <http://www.saclimafotovoltaica.com/energia-solar/tipos-de-baterias-monoblock-agm-gel-estacionarias-de-electrolito-gelificado-o-de-litio/>
- Sami. (17 de February de 2017). *a predictive numerical model for analyzing performance of solar photovoltaic, geothermal hybrid system for electricity generation and district heating*. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Sami. (13 de august de 2018). *a predictive numerical model for analyzing performance of solar photovoltaic, geothermal hybrid system for electricity generation and district heating*. cuenca, azuay, ecuador.
- Sami, s. (13 de agosto de 2018). Modeling and Simulation of Novel Combined Solar Photovoltaic-Termal Panel and Hear Pump. cuenca, azuay, ecuador.
- Sami, S., & Jorge, R. (17 de february de 2017). a predictive numerical model for analyzing performance of solar photovoltaic, geothermal hybrid system for electricity generation and district heating. cuenca, azuay, ecuador.
- Santamarta, J. (2009). *REVE*. Obtenido de <https://www.evwind.com>
- Santiago, M. C. (2018). *Simulación Dinámica de Sistema Híbrido (Pila Combustible PEM y Panel Solar Fotovoltaico) para una vivienda tipo de hasta 1200 Wh/día*. Trabajo de investigación , Universidad Católica de Cuenca , Cuenca.
- Tirapegui, W. J. (2006). *Introducción a las energías renovables no convencionales (ERNOC)*. chile: endesaeco.
- Trillo, & Angulo. (2008). *Guía de la Energía geotérmica*. Madrid.
- www.amperonline.com. (s.f.). <http://www.amperonline.com/banco-de-bater%C3%AD>.
- www.arduino.com. (s.f.).
- www.aulafacil.com. (s.f.).

www.caloryfrio.com. (s.f.). www.caloryfrio.com/refrigeracion-frio/los-gases-refrigerantes.

www.directindustry.es. (s.f.).

www.energía.org.ec. (s.f.). *atlas solar*. Obtenido de www.energía.org.ec

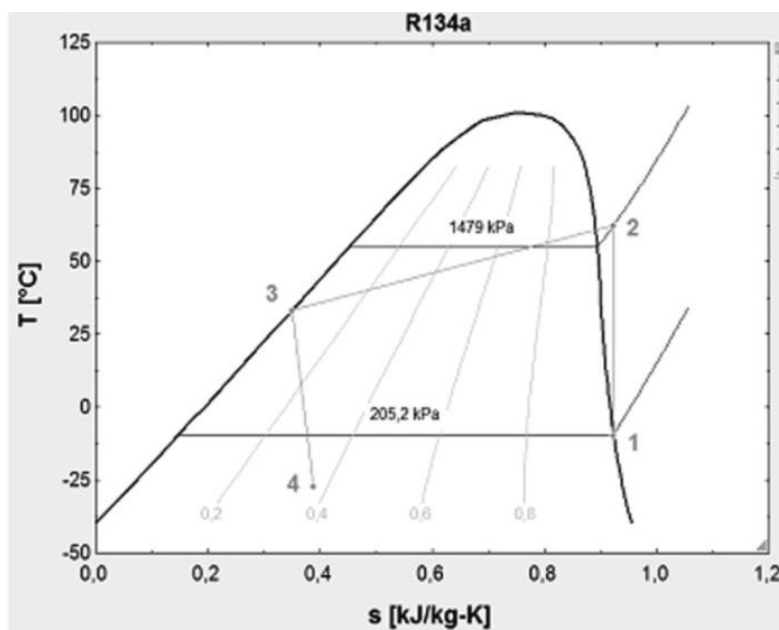
www.gas-servei.com. (s.f.).

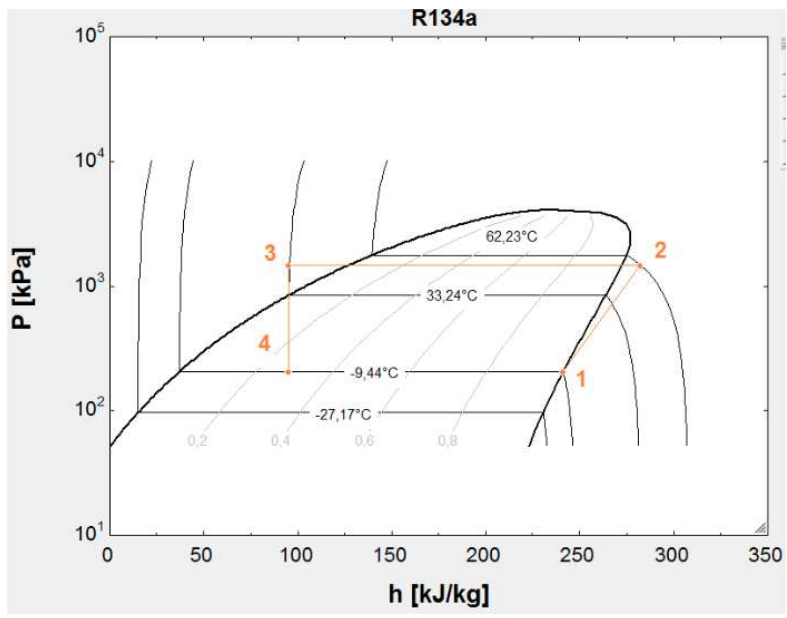
www.textoscientificos.com. (s.f.). <https://www.textoscientificos.com/energia/paneles-fotovoltaicos>.

www.tratohosteleria.com. (s.f.). <http://www.tratohosteleria.com>.

ANEXOS.

ANEXO 1. DIAGRAMA DE P-H T-S DEL REFRIGERANTE 134a.





ANEXO 2. CARACTERISTICAS DE LAS BATERIAS SOLARES.

S Series General Purpose Battery

S-12V120 (12V107AH) AGM Sealed Lead Acid

Specifications

Nominal Voltage	12V
Nominal Capacity	107 AH/5.35A (20 hr. to 1.80V/cell @ 77°F/25°C) 100 AH/10.0A (10 hr. to 1.80V/cell @ 77°F/25°C) 100 AH/12.5A (8 hr. to 1.75V/cell @ 77°F/25°C)
Length	12.99 in. (330±3mm)
Width	6.81 in. (173±2mm)
Total Height (with Terminal)	8.66 in. (220±3mm)
Approx. Weight	Approx. 69.5 lb. (31.5kg)
Hardware / Torque Rating	M8 / 98–130 in. lb.
Container Material	ABS
Max. Discharge Current	1200A (5s)
Internal Resistance	Approx. 4.9mΩ
Operating Temp. Range	Discharge: 5° to 130°F (-15° to 55°C) Charge: 32° to 104°F (0° to 40°C) Storage: 5° to 104°F (-15° to 40°C)
Nominal Operating Temp.	77±5°F (25±3°C)
Cycle Use	Initial Charging Current less than 30.0A Voltage 14.4V to 15.0V at 77°F (25°C) Temp. Coefficient - 30mV/°C
Stand by Use	Float Voltage: 13.5V at 77°F (25°C) Equalize Voltage: 14.1V at 77°F (25°C)
Capacity Affected by Temperature	104°F (40°C) 103% 77°F (25°C) 100% 32°F (0°C) 86%
Self Discharge	SBS S Series batteries may be stored for up to 6 months at 77°F (25°C) and then a freshening charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.

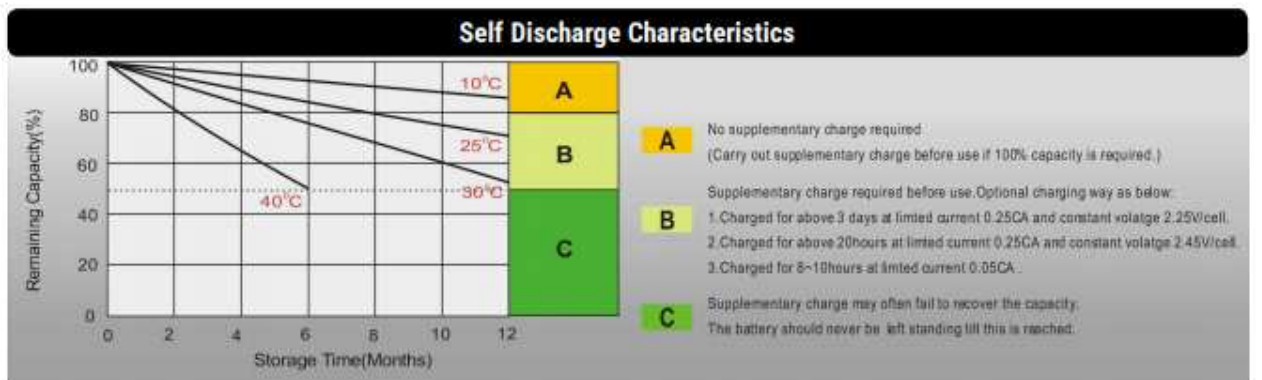
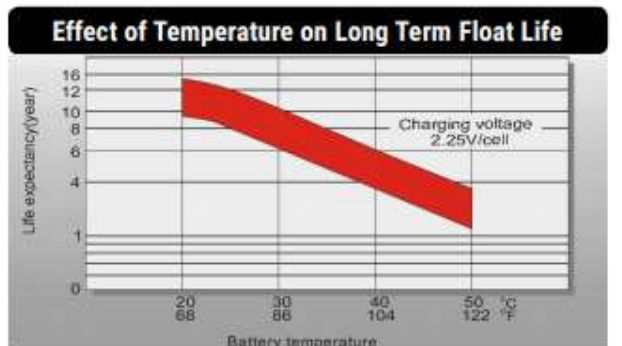
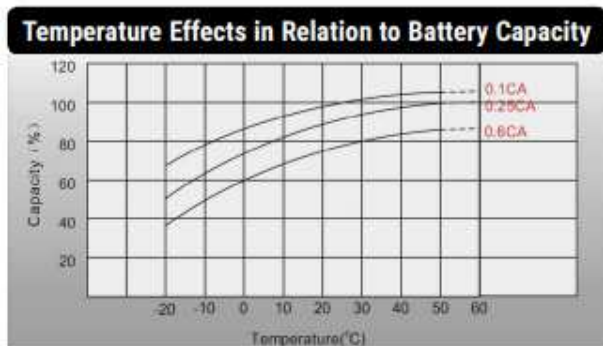
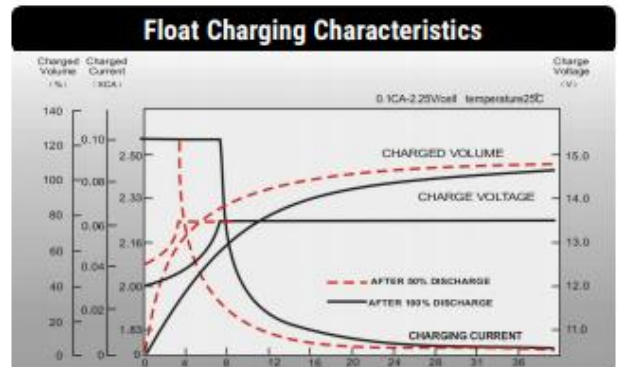
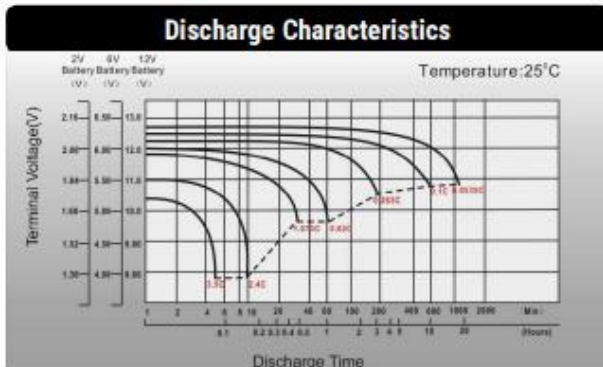


Constant Power Discharge (Watts/cell) at 77°F (25°C)

F.V/Time	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	1 hr	2 hr	3 hr	4 hr	5 hr	6 hr	8 hr	10 hr	20 hr
1.85V/cell	218.5	185.6	166.3	139.4	108.5	93.2	60.7	45.8	37.7	31.8	27.9	22.5	19.4	10.3
1.80V/cell	247.1	205.6	181.2	149.2	116.1	97.8	64.8	49.0	39.8	33.5	29.4	23.6	20.0	10.7
1.75V/cell	276.2	228.9	198.3	160.8	125.5	106.1	67.2	50.7	41.0	34.2	30.3	24.7	20.5	10.9
1.70V/cell	304.9	250.5	217.3	174.6	134.7	112.0	70.6	53.3	42.8	36.1	31.7	25.3	21.2	11.2
1.65V/cell	324.5	266.2	229.5	182.7	141.2	115.0	72.8	55.2	44.3	37.1	32.7	26.1	21.8	11.6
1.60V/cell	348.9	286.8	246.6	193.6	146.0	117.8	74.3	56.4	45.2	37.9	33.3	26.5	22.2	11.7

Constant Current Discharge (Amperes) at 77°F (25°C)

F.V/Time	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	1 hr	2 hr	3 hr	4 hr	5 hr	6 hr	8 hr	10 hr	20 hr
1.85V/cell	117.0	98.4	87.3	72.4	55.9	47.6	31.0	23.3	19.1	16.0	14.1	11.3	9.69	5.17
1.80V/cell	133.9	110.5	96.5	78.6	60.3	50.5	33.3	25.0	20.3	17.0	14.9	11.9	10.0	5.35
1.75V/cell	152.1	124.5	106.7	85.5	65.7	55.0	34.6	26.0	21.0	17.4	15.4	12.5	10.3	5.49
1.70V/cell	171.7	138.2	117.7	93.3	70.8	58.2	36.5	27.4	21.9	18.4	16.1	12.8	10.7	5.63
1.65V/cell	184.4	147.9	125.3	98.5	74.9	60.2	37.8	28.5	22.8	19.0	16.7	13.2	11.0	5.80
1.60V/cell	202.9	162.0	136.1	105.1	77.9	62.0	38.8	29.2	23.3	19.4	17.0	13.4	11.2	5.89



ANEXO 3. CARACTERISTICAS DEL PANEL SOLAR.

INFORMACIÓN TÉCNICA

Model NO.	JGN-260W-M
Weight	17kg
Transport Package	Carton, Tray and Wooden
Origin	Shenzhen
Size	1650*987*40mm
Trademark	JUGUANGNENG
Specification	CE, IEC61215, ISO, Rohs
HS Code	8541402000

Maximum power (Pmax): 260W
Optimum operating voltage (Vm): 30V
Optimum operating current (Im): 8.66A
Open-circuit voltage (Voc): 37.75V
Short-circuit current (Isc): 9.70A

Number of cell: 60 pieces in series
Size: 156 x 156mm
Cell efficiency: 17.1%
Output tolerance (Pmax): 0 to +3%
Maximum system voltage: 1000V
Maximum series fuse rating: 15A

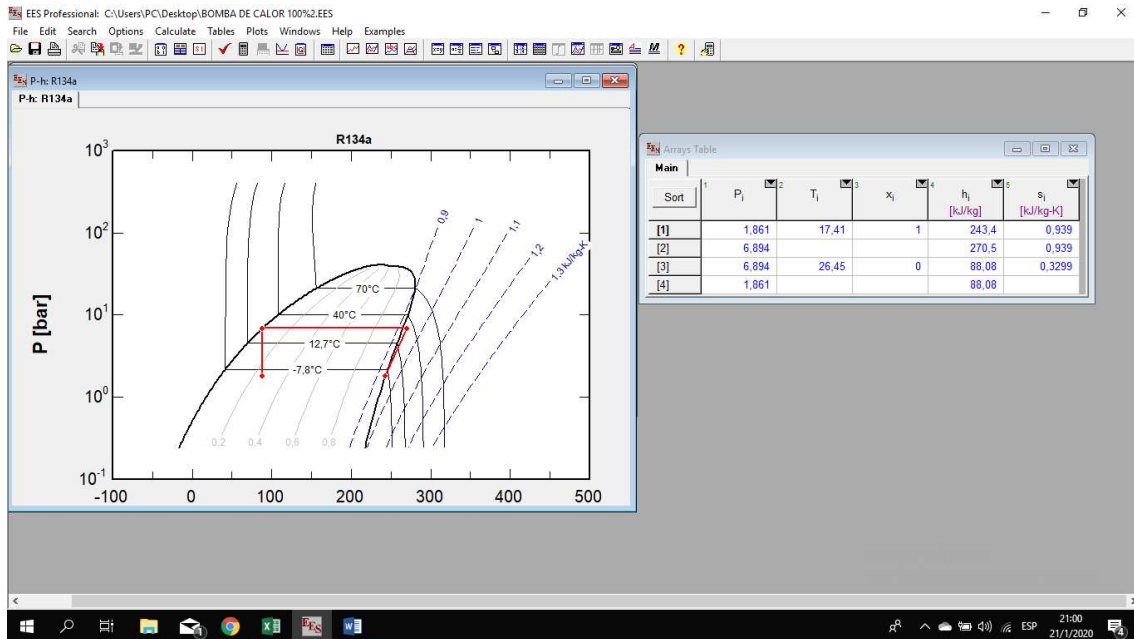
Temperature cycling range: -40 to 85° C
Temperature co-efficient:
Isc: $+(0.053 \pm 0.01)\%/K$
Voc: $-(0.35 \pm 0.001)\%/K$
Pmax: $-(0.40 \pm 0.05)\%/K$

Module size: 1650*987*40mm
Weight: 17kg
Warranty:
10 year at 90% power output
25 years at 80% power output

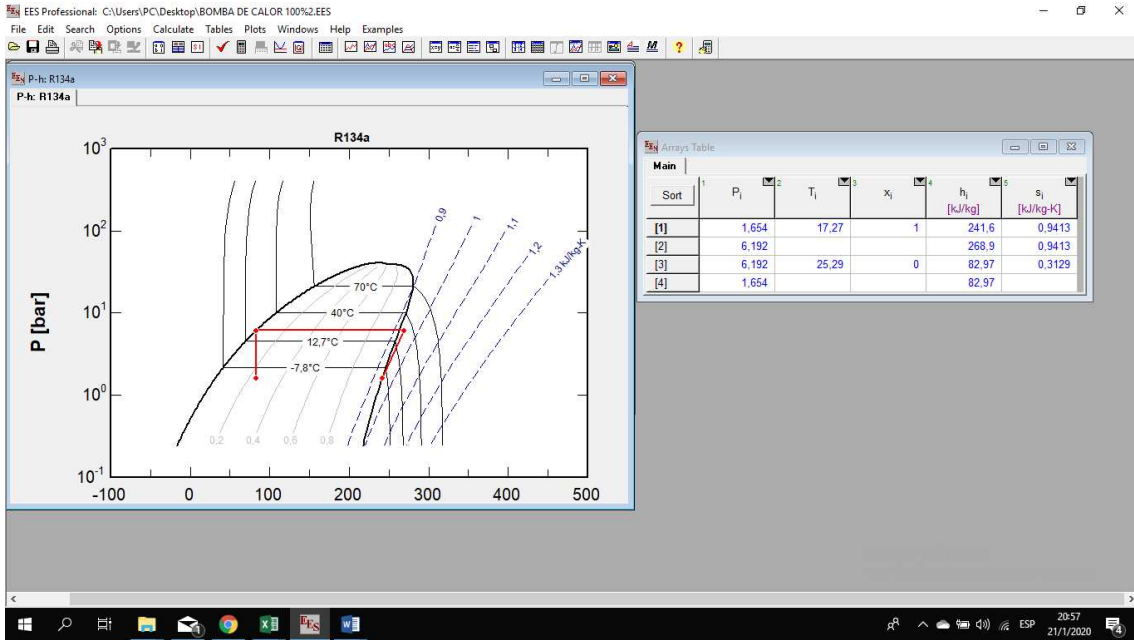
ANEXO 4. CALCULO DE ENTALPIAS MEDIANTE SOFTWARE EES PARA METODO TEORICO.

MODO BOMBA DE CALOR

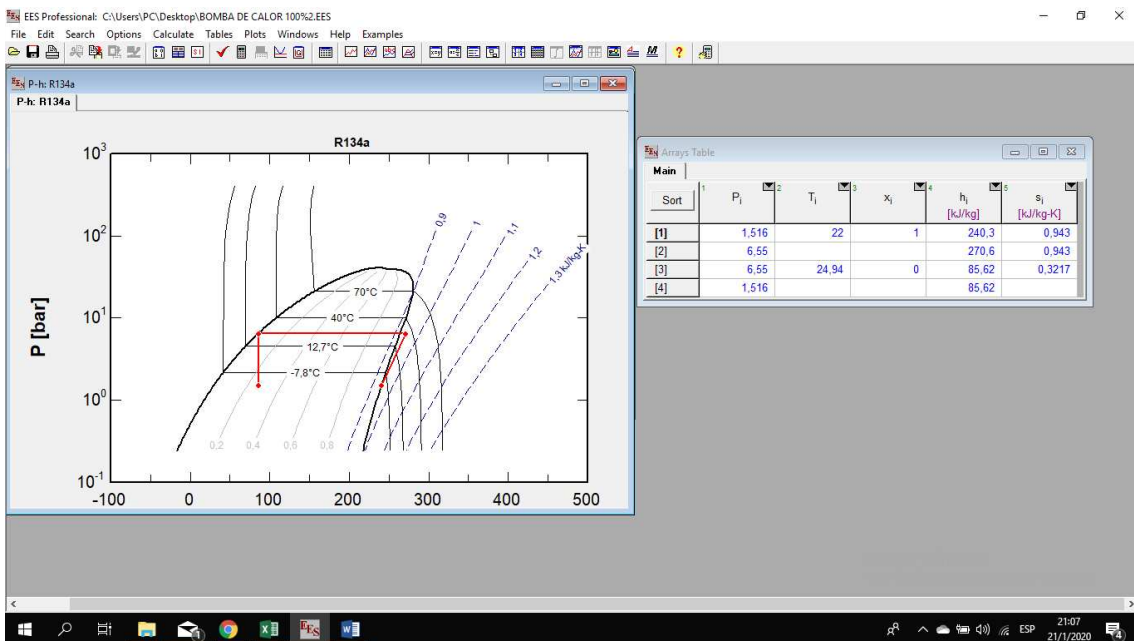
BOMBA CALOR 100% AGUA TEMP AMBIENTE



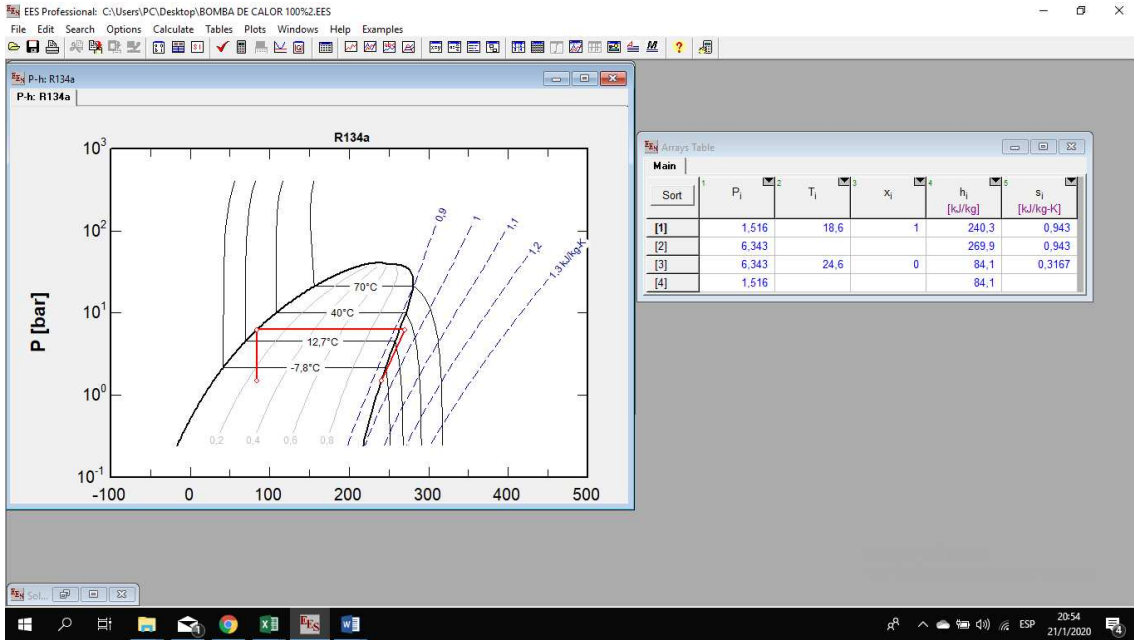
BOMBA CALOR 25% AGUA TEMP AMBIENTE



BOMBA CALOR 25% AGUA TEMP 35°C

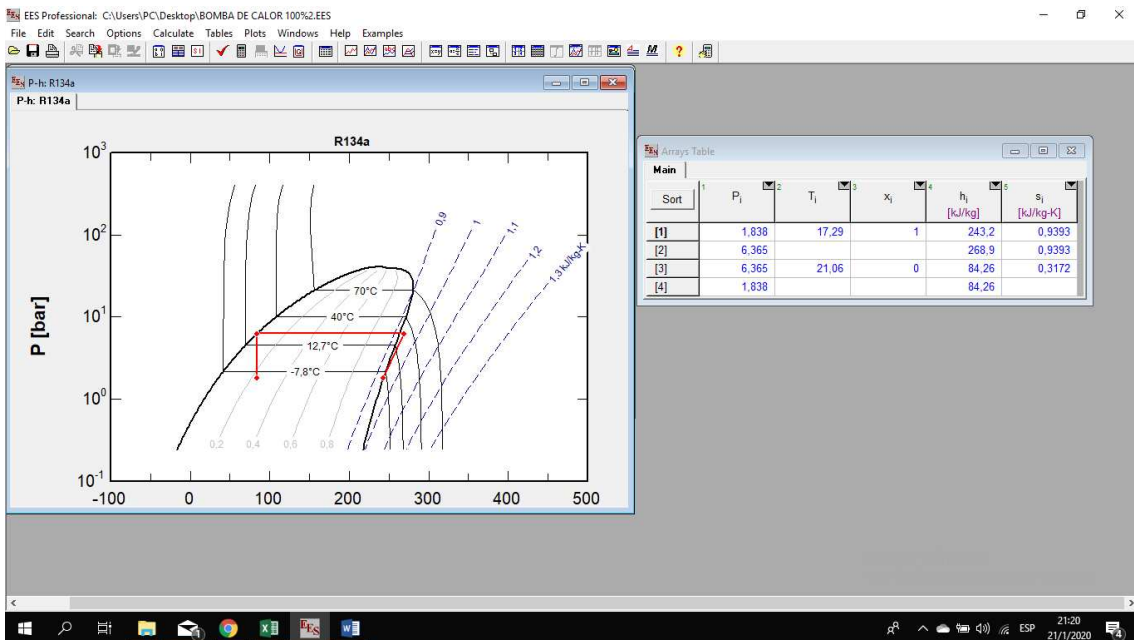


BOMBA CALOR 100% AGUA TEMP 35°C

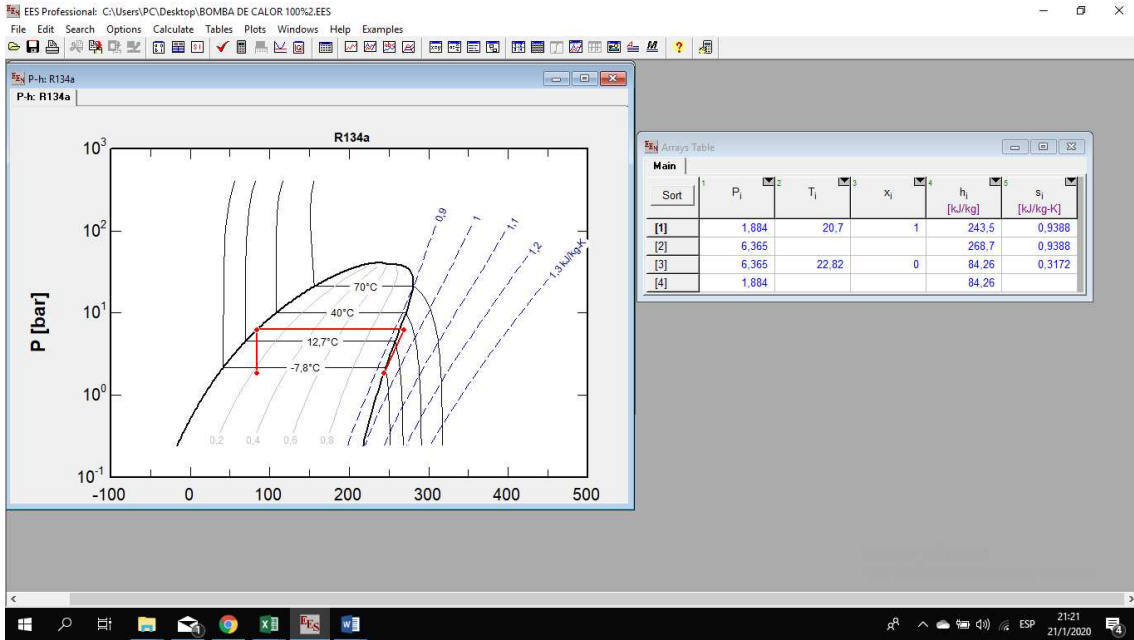


MODO AIRE ACONDICIONADO

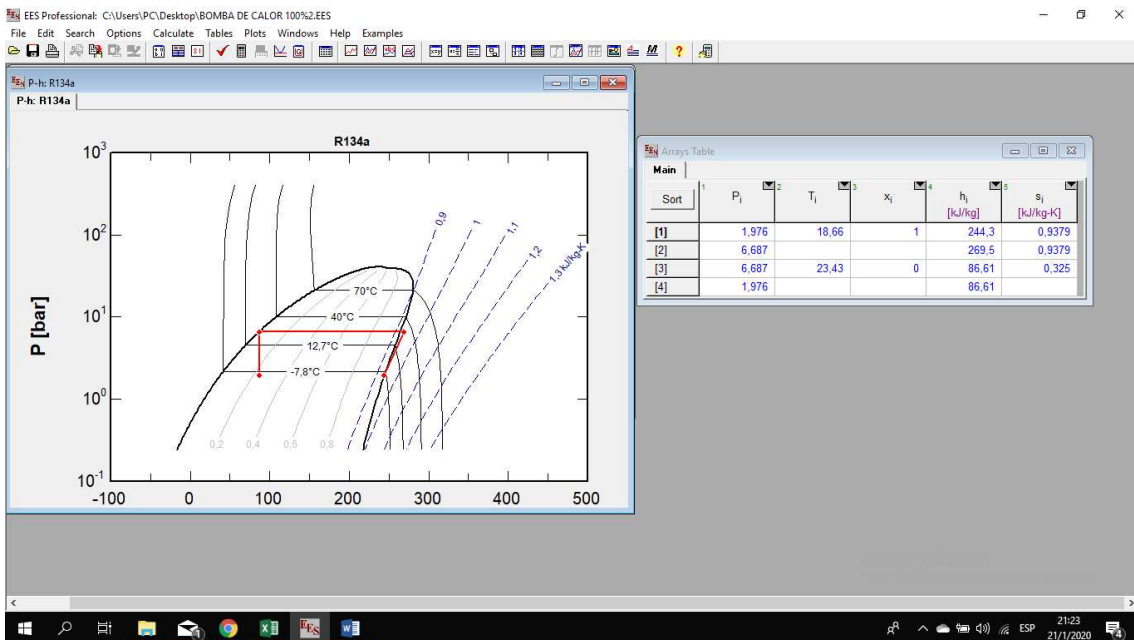
75% FLUJO DE AIRE



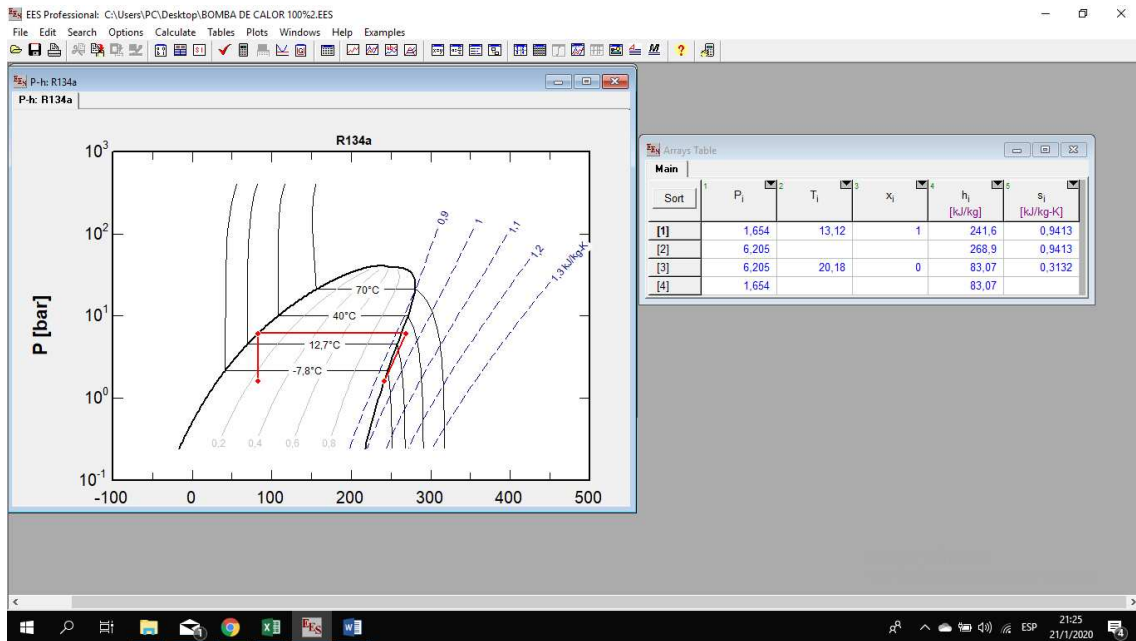
100% FLUJO DE AIRE



50% FLUJO DE AIRE



25% FLUJO DE AIRE.



ANEXO 5. CALCULOS DE ENTALPIAS Y FLUJOS MASICOS.

25% AGUA TEM AMBIENTE										
						PROMEDIO DE LAS ENTALPIAS				
	T1	T2	T3	T4	P1		h1	h2	h3	h4
	°C	°C	°C	°C	PSI	PSI	KJ/KG	KJ/KG	KJ/KG	KJ/KG
10min	8.38	33.63	24.44	19.19	20	90	240.3	269.9	84.1	84.1
20min	8.63	41.56	24.5	18.37	22	90				
30 min	9	45.06	24.94	18.5	23	95				
PROM	8.67	40.0833	24.6267	18.6867	21.6667	91.6667				

100% AGUA 35 GRADOS CENTIGRADOS										
						PROMEDIO DE LAS ENTALPIAS				
	T1	T2	T3	T4	P1		h1	h2	h3	h4
	°C	°C	°C	°C	PSI	PSI	KJ/KG	KJ/KG	KJ/KG	KJ/KG
10min	9.63	45.69	24.81	17.25	23	75.48	241.6	268.9	82.97	82.97
20min	9.38	45.69	25.06	17.25	24	95				
30 min	10.31	46.06	26	17.31	25	99				
PROM	9.77333	45.8133	25.29	17.27	24	89.8267				

100% AGUA 35 GRADOS CENTIGRADOS										
						PROMEDIO DE LAS ENTALPIAS				
	T1	T2	T3	T4	P1		h1	h2	h3	h4
	°C	°C	°C	°C	PSI	PSI	KJ/KG	KJ/KG	KJ/KG	KJ/KG
10min	9.63	45.69	24.81	17.25	23	75.48	241.6	268.9	82.97	82.97
20min	9.38	45.69	25.06	17.25	24	95				
30 min	10.31	46.06	26	17.31	25	99				
PROM	9.77333	45.8133	25.29	17.27	24	89.8267				

POTENCIA CONSUMIDA POR EL COMPRESOR		
$W_c = A * V$		
Donde Wc	kw	0.8932
A =	4.06	
V =	220	

MASA DEL REFRIGERANTE		
$m_{ref} = \frac{W_c}{(h_2 - h_1)}$		
Mref =	Kg/s	0.024
Wc= Kg/s	0.6	
h2-h1= kJ/Kg	25.2	

BOMBA DE CALOR			
CAUDAL DE AGUA	TEMPERATURA AGUA	FLUJO MASICO DEL REFRIGERANTE	UNIDAD
25%	25°C	0.02	kg/s
100%	25°C	0.02	kg/s
25%	35°C	0.022	kg/s
100%	35°C	0.022	kg/s

AIRE ACONDICIONADO			
CAUDAL DE AIRE	CAUDAL DE AGUA	FLUJO MASICO	UNIDAD
100%	100%	0.022	kg/s
75%	100%	0.023	kg/s
50%	100%	0.024	kg/s
25%	100%	0.024	kg/s

ANEXO 6. TOMA DE DATOS DE LA BOMBA DE CALOR MEDIANTE ARDUINO

DATOS DE INGRESO							
N°	°C	°C	Lt/min	M3/s	V	A	w
TOMAS	ENTRADA DE AGUA	SALIDA DE AGUA	CAUDAL	CAUDAL	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA
CAUDAL DE AGUA 100% TEMPERATURA AMBIENTE							
1	17.05	13.63	6.67	0.00011119	219.29	3.39	742.6
2	17.06	13.63	6.93	0.00011552	220.11	3.4	747.66
3	17.12	13.63	7.2	0.00012002	221.43	3.37	745.54
4	17.12	13.63	7.47	0.00012452	220.29	3.37	742.98
5	17.12	13.63	7.2	0.00012002	219.39	3.38	741.26
6	17.06	13.69	6.67	0.00011119	220.85	3.39	748.97
7	17.12	13.63	5.33	8.8851E-05	220.98	3.35	740.99
8	17.06	13.63	4.27	7.1181E-05	222.87	3.37	750.92
9	17.06	13.63	3.47	5.7845E-05	220.04	3.38	744.32
10	17.06	13.63	3.73	6.2179E-05	220.08	3.39	745.52
11	17.06	13.63	4	0.00006668	219.59	3.36	738.22
12	17.06	13.63	4.4	7.3348E-05	221.72	3.36	745.54
13	17.06	13.69	4.8	8.0016E-05	222.23	3.37	749.3
14	17.06	13.63	4.93	8.2183E-05	220.59	3.39	747.74
15	17.06	13.69	4.67	7.7849E-05	222.05	3.38	750.65
16	17.06	13.63	4.27	7.1181E-05	220.05	3.37	741.15
17	17.06	13.63	3.47	5.7845E-05	220.91	3.38	746.57
18	17.06	13.63	2.27	3.7841E-05	220.91	3.39	748.66
19	17.06	13.63	1.73	2.8839E-05	222.29	3.39	753.87
20	17.06	13.69	4.8	8.0016E-05	219.35	3.38	740.6
21	17.06	13.63	4.93	8.2183E-05	220.87	3.38	747.38
22	17.06	13.69	4.67	7.7849E-05	223.34	3.4	760.19
23	17.06	13.63	4.27	7.1181E-05	221.03	3.38	746.83
24	17.06	13.69	4.8	8.0016E-05	221.57	3.38	748.38
25	17.12	13.63	4.93	8.2183E-05	221.85	3.39	751.77
TOMAS	ENTRADA DE AGUA	SALIDA DE AGUA	CAUDAL	CAUDAL	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA
CAUDAL DE AGUA 25% TEMPERATURA AMBIENTE							
1	17.06	14.87	9.33	0.00015553	223.07	3.43	765.08
2	17	14.87	9.6	0.00016003	220.01	3.4	749.12
3	17	14.87	9.73	0.0001622	220.96	3.4	752.04
4	17	14.87	9.73	0.0001622	221.19	3.42	756.35

5	17	14.87	9.33	0.00015553	222.71	3.43	763.74
6	17	14.87	9.47	0.00015786	222.09	3.41	758.37
7	17	14.87	9.33	0.00015553	222.63	3.4	758.02
8	17	14.87	9.2	0.00015336	223.06	3.43	764.07
9	17	14.94	9.6	0.00016003	220.18	3.42	754.11
10	17	14.87	9.6	0.00016003	221.45	3.41	756.08
11	17	14.87	9.47	0.00015786	222.56	3.41	759.06
12	17	14.94	0.13	2.1671E-06	222.76	3.44	766.95
13	17	14.87	3.5	5.8345E-05	222.23	3.43	762.92
14	17	14.87	2.9	4.8343E-05	223.04	3.42	763.14
15	17	14.94	3.1	5.1677E-05	221.62	3.4	752.91
16	16.94	14.87	3.5	5.8345E-05	223.19	3.43	765.36
17	17	14.87	3.4	5.6678E-05	222.15	3.46	767.83
18	17	14.87	3.2	5.3344E-05	220.89	3.45	762.73
19	16.94	14.94	4.25	7.0848E-05	221.94	3.42	759.48
20	17	14.94	7.47	0.00012452	221.11	3.41	753.47
21	17	14.87	0.4	6.668E-06	221.76	3.43	761.34
22	16.94	14.87	0.13	2.1671E-06	221.89	3.45	765.63
23	17	14.94	0.93	1.5503E-05	222.44	3.44	765.34
24	16.94	14.87	0.27	4.5009E-06	222.1	3.43	762.07
25	17	14.87	0.8	1.3336E-05	223.85	3.4	761.87

ANEXO 7. CAPACIDAD DEL CONDENSADOR QC MODO BOMBA DE CALOR METODO TEÓRICO.

CAPACIDAD DE CALOR DEL CONDENSADOR (ecu 7)

$$Q_{cond} = \eta_{hx} * m_{ref} * (h_2 - h_3)$$

capacidad de calor del condensador	Qc			Kj/s
eficiencia del intercambio de calor	$\eta_{hx} =$	1	%	3.72
masa del refrigerante	$m_{ref} =$	0.020	kg/s	
entalpías	$h_2 - h_3 =$	184.44	Kj/kg	

CAUDAL DE AGUA	TEMPERATURA	Qc	UNIDAD	POTENCIAS
25%	25°C	3.72	kJ/s	0.6
100%	25°C	3.70	kJ/s	0.6
25%	35°C	4.01	kJ/s	0.6
100%	35°C	4.09	kJ/s	0.6

ANEXO 8. CAPACIDAD DEL EVAPORADOR QE MODO BOMBA DE CALOR METODO TEÓRICO.

CAPACIDAD DE CALOR DEL EVAPORADOR (ecu 9)

$$Q_e = \eta_{hx} * m_{ref} * (h_1 - h_4)$$

capacidad de calor evaporador	Qe		
eficiencia del intercambio de calor	$\eta_{hx} =$	1	%
masa edl refrigerante	$m_{ref} =$	0.020	kg/s
entalpias (energia que puede intercambiar con su entorno)	$h_1 - h_4 =$	154.68	Kj/kg

CAUDAL DE AGUA	TEMPERATURA	Qe	POTENCIAS
%	°C	Kj/s	Kw
25%	25°C	3.12	0.60
100%	25°C	3.09	0.60
25%	35°C	3.42	0.60
100%	35°C	3.49	0.60

ANEXO 9. CAPACIDAD DEL CONDENSADOR QC MODO AIRE ACONDICIONADO METODO TEÓRICO.

CAPACIDAD DE CALOR DEL CONDENSADOR (ecu 7)

$$Q_{cond} = \eta_{hx} * m_{ref} * (h_2 - h_3)$$

eficiencia del intercambio de calor	$\eta_{hx} =$	1	%	4.42656
masa del refrigerante	$m_{ref} =$	0.024	kg/s	
entalpias	$h_2 - h_3 =$	184.44	Kj/kg	

AIRE ACONDICIONADO				
CAUDA DE AIRE	CAUDAL DE AGUA	MASA DEL REFRIGERANTE	Qc	POTENCIAS
%	%	kg/s	kJ/s	Kw
100%	100%	0.022	4.08	0.60
75%	100%	0.023	4.24	0.60
50%	100%	0.024	4.38	0.60
25%	100%	0.024	4.42	0.60

ANEXO 10. CAPACIDAD DEL EVAPORADOR QE MODO AIRE ACONDICIONADO METODO TEÓRICO.

CAPACIDAD DE CALOR DEL EVAPORADOR (ecu 9)

$$Q_e = \eta_{hx} * m_{ref} * (h_1 - h_4)$$

capacidad de calor evaporador	Qe			Kj/s
eficiencia del intercambio de calor	$\eta_{hx} =$	1	%	3.82
masa edl refrigerante	$m_{ref} =$	0.024	kg/s	
entalpias (energía que puede intercambiar con su entorno)	$h_1 - h_4 =$	159.24	Kj/kg	

AIRE ACONDICIONADO							
CAUDA DE AIRE	CAUDAL DE AGUA	MASA DEL REFRIGERANTE	UNIDAD	qe	UNIDAD	POTENCIAS	UNIDAD
100%	100%	0.022	kg/s	3.49	kJ/s	0.6000	Kw

75%	100%	0.023	kg/s	3.66	kJ/s	0.6000	Kw
50%	100%	0.024	kg/s	3.78	kJ/s	0.6000	Kw
25%	100%	0.024	kg/s	3.82	kJ/s	0.6000	Kw

ANEXO 11. CAPACIDAD DEL EVAPORADOR QE MODO BOMBA DE CALOR METODO EXPERIMENTAL.

DATOS DE INGRESO								DATOS CALCULADOS Qe			
N°	°C	°C	Lt/min	M3/s	V	A	w				
TOMAS	ENTRADA DE AGUA	SALIDA DE AGUA	CAUDAL	CAUDAL	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA	$Q_e = m_w * C_{p_w}(T_f - T_i)$			
CAUDAL DE AGUA 100% TEMPERATURA AMBIENTE								Qc (Kg/seg)	Mw (Kg/seg)	CPWagua J/(Kg°K)	Tf-Ti (°K)

1	17.05	13.63	6.67	0.00011119	219.29	3.39	742.6	1.58701825	0.11	4186	3.42
2	17.06	13.63	6.93	0.00011552	220.11	3.4	747.66	1.59165866	0.12		3.43
3	17.12	13.63	7.2	0.00012002	221.43	3.37	745.54	1.61950108	0.12		3.49
4	17.12	13.63	7.47	0.00012452	220.29	3.37	742.98	1.61950108	0.12		3.49
5	17.12	13.63	7.2	0.00012002	219.39	3.38	741.26	1.61950108	0.12		3.49
6	17.06	13.69	6.67	0.00011119	220.85	3.39	748.97	1.56381623	0.11		3.37
7	17.12	13.63	5.33	8.8851E-05	220.98	3.35	740.99	1.61950108	0.09		3.49
8	17.06	13.63	4.27	7.1181E-05	222.87	3.37	750.92	1.59165866	0.07		3.43
9	17.06	13.63	3.47	5.7845E-05	220.04	3.38	744.32	1.59165866	0.06		3.43
10	17.06	13.63	3.73	6.2179E-05	220.08	3.39	745.52	1.59165866	0.06		3.43
11	17.06	13.63	4	0.00006668	219.59	3.36	738.22	1.59165866	0.07		3.43
12	17.06	13.63	4.4	7.3348E-05	221.72	3.36	745.54	1.59165866	0.07		3.43
13	17.06	13.69	4.8	8.0016E-05	222.23	3.37	749.3	1.56381623	0.08		3.37
14	17.06	13.63	4.93	8.2183E-05	220.59	3.39	747.74	1.59165866	0.08		3.43
15	17.06	13.69	4.67	7.7849E-05	222.05	3.38	750.65	1.56381623	0.08		3.37
16	17.06	13.63	4.27	7.1181E-05	220.05	3.37	741.15	1.59165866	0.07		3.43
17	17.06	13.63	3.47	5.7845E-05	220.91	3.38	746.57	1.59165866	0.06		3.43
18	17.06	13.63	2.27	3.7841E-05	220.91	3.39	748.66	1.59165866	0.04		3.43
19	17.06	13.63	1.73	2.8839E-05	222.29	3.39	753.87	1.59165866	0.03		3.43
20	17.06	13.69	4.8	8.0016E-05	219.35	3.38	740.6	1.56381623	0.08		3.37
21	17.06	13.63	4.93	8.2183E-05	220.87	3.38	747.38	1.59165866	0.08		3.43
22	17.06	13.69	4.67	7.7849E-05	223.34	3.4	760.19	1.56381623	0.08		3.37
23	17.06	13.63	4.27	7.1181E-05	221.03	3.38	746.83	1.59165866	0.07		3.43
24	17.06	13.69	4.8	8.0016E-05	221.57	3.38	748.38	1.56381623	0.08		3.37
25	17.12	13.63	4.93	8.2183E-05	221.85	3.39	751.77	1.61950108	0.08		3.49
TOMAS	ENTRADA DE AGUA	SALIDA DE AGUA	CAUDAL	CAUDAL	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA				

CAUDAL DE AGUA 25% TEMPERATURA AMBIENTE								Qc (Kg/seg)	Mw (Kg/seg)	CPWagua J/(Kg°K)	Tf-Ti (°K)
1	17.06	14.87	9.33	0.00015553	223.07	3.43	765.08	1.01624853	0.16	4186	2.19
2	17	14.87	9.6	0.00016003	220.01	3.4	749.12	0.98840611	0.16		2.13
3	17	14.87	9.73	0.0001622	220.96	3.4	752.04	0.98840611	0.16		2.13
4	17	14.87	9.73	0.0001622	221.19	3.42	756.35	0.98840611	0.16		2.13
5	17	14.87	9.33	0.00015553	222.71	3.43	763.74	0.98840611	0.16		2.13
6	17	14.87	9.47	0.00015786	222.09	3.41	758.37	0.98840611	0.16		2.13
7	17	14.87	9.33	0.00015553	222.63	3.4	758.02	0.98840611	0.16		2.13
8	17	14.87	9.2	0.00015336	223.06	3.43	764.07	0.98840611	0.15		2.13
9	17	14.94	9.6	0.00016003	220.18	3.42	754.11	0.95592328	0.16		2.06
10	17	14.87	9.6	0.00016003	221.45	3.41	756.08	0.98840611	0.16		2.13
11	17	14.87	9.47	0.00015786	222.56	3.41	759.06	0.98840611	0.16		2.13
12	17	14.94	0.13	2.1671E-06	222.76	3.44	766.95	0.95592328	0.00		2.06
13	17	14.87	3.5	5.8345E-05	222.23	3.43	762.92	0.98840611	0.06		2.13
14	17	14.87	2.9	4.8343E-05	223.04	3.42	763.14	0.98840611	0.05		2.13
15	17	14.94	3.1	5.1677E-05	221.62	3.4	752.91	0.95592328	0.05		2.06
16	16.94	14.87	3.5	5.8345E-05	223.19	3.43	765.36	0.96056368	0.06		2.07
17	17	14.87	3.4	5.6678E-05	222.15	3.46	767.83	0.98840611	0.06		2.13
18	17	14.87	3.2	5.3344E-05	220.89	3.45	762.73	0.98840611	0.05		2.13
19	16.94	14.94	4.25	7.0848E-05	221.94	3.42	759.48	0.92808085	0.07		2
20	17	14.94	7.47	0.00012452	221.11	3.41	753.47	0.95592328	0.12		2.06
21	17	14.87	0.4	6.668E-06	221.76	3.43	761.34	0.98840611	0.01		2.13
22	16.94	14.87	0.13	2.1671E-06	221.89	3.45	765.63	0.96056368	0.00		2.07
23	17	14.94	0.93	1.5503E-05	222.44	3.44	765.34	0.95592328	0.02		2.06
24	16.94	14.87	0.27	4.5009E-06	222.1	3.43	762.07	0.96056368	0.00		2.07
25	17	14.87	0.8	1.3336E-05	223.85	3.4	761.87	0.98840611	0.01		2.13
TOMAS			CAUDAL	CAUDAL	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA				

	ENTRADA DE AGUA	SALIDA DE AGUA									
CAUDAL DE AGUA 100% 35 GRADOS CENTIGRADOS								Qc (Kg/seg)	Mw (Kg/seg)	CPWagua J/(Kg°K)	Tf-Ti (°K)
1	35.6	31.81	8.13	0.00013553	219.66	3.38	741.39	1.75871321	0.14	4186	3.79
2	35.64	31.75	8.4	0.00014003	219.82	3.4	748.01	1.80511725	0.14		3.89
3	35.75	31.81	8.13	0.00013553	220.71	3.38	746.51	1.82831928	0.14		3.94
4	35.23	31.75	7.87	0.00013119	219.4	3.43	751.86	1.61486068	0.13		3.48
5	35.78	31.75	7.87	0.00013119	218.42	3.38	738.08	1.87008291	0.13		4.03
6	35.6	31.75	8.13	0.00013553	220.26	3.37	742.71	1.78655564	0.14		3.85
7	35.64	31.75	8.27	0.00013786	219.89	3.38	744.31	1.80511725	0.14		3.89
8	35.46	31.75	8	0.00013336	218.41	3.43	748.88	1.72158998	0.13		3.71
9	34.67	31.75	7.73	0.00012886	219.9	3.39	744.89	1.35499804	0.13		2.92
10	34.56	31.75	7.33	0.00012219	220.2	3.36	740.9	1.30395359	0.12		2.81
11	34.21	31.75	7.6	0.00012669	219	3.39	743.48	1.14153945	0.13		2.46
12	35.67	31.75	7.87	0.00013119	220.48	3.4	750.63	1.81903847	0.13		3.92
13	32.45	31.75	7.2	0.00012002	220.87	3.38	746.8	0.3248283	0.12		0.7
14	32.45	31.75	6.67	0.00011119	220.67	3.39	747.46	0.3248283	0.11		0.7
15	32.45	31.75	6.93	0.00011552	220.56	3.4	750.46	0.3248283	0.12		0.7
16	35.6	31.75	7.33	0.00012219	220.01	3.4	748.66	1.78655564	0.12		3.85
17	35.64	31.75	7.6	0.00012669	219.81	3.38	742.57	1.80511725	0.13		3.89
18	35.75	31.75	8.27	0.00013786	219.41	3.4	745.95	1.8561617	0.14		4
19	35.23	31.75	9.2	0.00015336	219.95	3.4	748.81	1.61486068	0.15		3.48
20	35.78	31.75	9.47	0.00015786	219.34	3.38	742.25	1.87008291	0.16		4.03
21	35.6	31.75	10	0.0001667	219.75	3.38	742.57	1.78655564	0.17		3.85
22	35.64	31.75	10.27	0.0001712	220.59	3.39	747.86	1.80511725	0.17		3.89
23	35.46	31.75	9.87	0.00016453	220.49	3.4	749.06	1.72158998	0.16		3.71
24	34.67	31.75	9.87	0.00016453	220.99	3.37	744.66	1.35499804	0.16		2.92
25	35.6	31.75	9.87	0.00016453	219.59	3.39	744.16	1.78655564	0.16		3.85

TOMAS	ENTRADA DE AGUA	SALIDA DE AGUA	CAUDAL	CAUDAL	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA				
CAUDAL DE AGUA 25% 35 GRADOS CENTIGRADOS								Qc (Kg/seg)	Mw (Kg/seg)	CPWagua J/(Kg°K)	Tf-Ti (°K)
1	35.46	31.87	6.67	0.00011119	220.15	3.41	750.52	1.66590513	0.11	4186	3.59
2	34.67	31.81	6.67	0.00011119	220.83	3.42	754.65	1.32715562	0.11		2.86
3	34.56	31.75	6.67	0.00011119	220.16	3.4	749.39	1.30395359	0.11		2.81
4	34.21	31.94	6.8	0.00011336	220.11	3.42	751.78	1.05337177	0.11		2.27
5	35.6	31.87	6.8	0.00011336	220.25	3.42	753.05	1.73087079	0.11		3.73
6	35.64	31.87	6.8	0.00011336	220.63	3.41	752.92	1.7494324	0.11		3.77
7	35.75	31.94	6.93	0.00011552	218.99	3.43	751.32	1.76799402	0.12		3.81
8	35.23	31.87	6.93	0.00011552	219.93	3.43	753.65	1.55917583	0.12		3.36
9	35.78	31.87	6.93	0.00011552	220.12	3.42	753.9	1.81439806	0.12		3.91
10	35.6	31.81	6.8	0.00011336	220.06	3.44	756.92	1.75871321	0.11		3.79
11	35.64	31.75	6.93	0.00011552	221.54	3.44	761.07	1.80511725	0.12		3.89
12	35.46	31.75	6.93	0.00011552	219.18	3.43	751.61	1.72158998	0.12		3.71
13	35.6	31.69	6.8	0.00011336	220.14	3.44	758.02	1.81439806	0.11		3.91
14	35.64	31.62	6.4	0.00010669	219.23	3.42	750.49	1.86544251	0.11		4.02
15	35.75	31.87	6.27	0.00010452	219.74	3.45	757.06	1.80047685	0.10		3.88
16	35.23	31.81	6.13	0.00010219	219.55	3.44	754.46	1.58701825	0.10		3.42
17	35.78	31.75	6.13	0.00010219	220.24	3.43	756	1.87008291	0.10		4.03
18	35.6	31.75	6.67	0.00011119	219.6	3.43	752.74	1.78655564	0.11		3.85
19	35.64	31.69	6.53	0.00010886	220.37	3.43	756.41	1.83295968	0.11		3.95
20	35.46	31.62	6.67	0.00011119	220.66	3.43	756.08	1.78191523	0.11		3.84
21	35.6	31.75	6.67	0.00011119	220.61	3.44	758.85	1.78655564	0.11		3.85
22	35.64	31.75	6.4	0.00010669	220.14	3.43	755.87	1.80511725	0.11		3.89
23	35.75	31.69	5.87	9.7853E-05	221.18	3.43	759.29	1.88400413	0.10		4.06

24	35.23	31.62	4.53	7.5515E-05	221.17	3.44	760.52	1.67518593	0.08		3.61
25	35.78	31.87	4.27	7.1181E-05	220.77	3.42	754.39	1.81439806	0.07		3.91

ANEXO 12. CAPACIDAD DEL CONDENSADOR QC MODO BOMBA DE CALOR METODO EXPERIMENTAL.

DATOS DE INGRESO								DATOS CALCULADOS Qc			
N°	°C	°C	Lt/min	M3/s	V	A	w	$Q_c = m_{air} * C_{p_{air}} * (T_f - T_i)$			
TOMAS	ENTRADA DE AIRE	SALIDA DE AIRE	CAUDAL	CAUDAL	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA				
CAUDAL DE AGUA 100% TEMPERATURA AMBIENTE								Qc (Kg/seg)	Mw (Kg/seg)	Cpair J/(Kg°K)	Tf-Ti (°K)
1	22.69	28.79	6.67	0.00011119	219.29	3.39	742.6	2.34586499	0.38	1012	6.1
2	22.69	28.79	6.93	0.00011552	220.11	3.4	747.66	2.34586499			6.1
3	22.69	28.79	7.2	0.00012002	221.43	3.37	745.54	2.34586499			6.1
4	22.69	28.79	7.47	0.00012452	220.29	3.37	742.98	2.34586499			6.1
5	22.69	28.79	7.2	0.00012002	219.39	3.38	741.26	2.34586499			6.1
6	22.69	28.72	6.67	0.00011119	220.85	3.39	748.97	2.31894523			6.03
7	22.69	28.79	5.33	8.8851E-05	220.98	3.35	740.99	2.34586499			6.1
8	22.69	28.79	4.27	7.1181E-05	222.87	3.37	750.92	2.34586499			6.1
9	22.75	28.79	3.47	5.7845E-05	220.04	3.38	744.32	2.32279091			6.04
10	22.75	28.79	3.73	6.2179E-05	220.08	3.39	745.52	2.32279091			6.04
11	22.75	28.79	4	0.00006668	219.59	3.36	738.22	2.32279091			6.04
12	22.75	28.79	4.4	7.3348E-05	221.72	3.36	745.54	2.32279091			6.04

13	22.75	28.79	4.8	8.0016E-05	222.23	3.37	749.3	2.32279091			6.04
14	22.75	28.79	4.93	8.2183E-05	220.59	3.39	747.74	2.32279091			6.04
15	22.81	28.85	4.67	7.7849E-05	222.05	3.38	750.65	2.32279091			6.04
16	22.81	28.85	4.27	7.1181E-05	220.05	3.37	741.15	2.32279091			6.04
17	22.75	28.85	3.47	5.7845E-05	220.91	3.38	746.57	2.34586499			6.1
18	22.81	28.91	2.27	3.7841E-05	220.91	3.39	748.66	2.34586499			6.1
19	22.81	28.91	1.73	2.8839E-05	222.29	3.39	753.87	2.34586499			6.1
20	22.81	28.97	4.8	8.0016E-05	219.35	3.38	740.6	2.36893907			6.16
21	22.81	28.97	4.93	8.2183E-05	220.87	3.38	747.38	2.36893907			6.16
22	22.81	28.97	4.67	7.7849E-05	223.34	3.4	760.19	2.36893907			6.16
23	22.81	28.97	4.27	7.1181E-05	221.03	3.38	746.83	2.36893907			6.16
24	22.87	28.97	4.8	8.0016E-05	221.57	3.38	748.38	2.34586499			6.1
25	22.87	28.97	4.93	8.2183E-05	221.85	3.39	751.77	2.34586499			6.1
TOMAS	ENTRADA DE AIRE	SALIDA DE AIRE	CAUDAL	CAUDAL	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA				
CAUDAL DE AGUA 25% TEMPERATURA AMBIENTE								Qc (Kg/seg)	Mw (Kg/seg)	Cpair J/(Kg°K)	Tf-Ti (°K)
1	23.56	29.66	9.33	0.00015553	223.07	3.43	765.08	2.34586499	0.38	1012	6.1
2	23.56	29.66	9.6	0.00016003	220.01	3.4	749.12	2.34586499			6.1
3	23.56	29.66	9.73	0.0001622	220.96	3.4	752.04	2.34586499			6.1
4	23.56	29.66	9.73	0.0001622	221.19	3.42	756.35	2.34586499			6.1
5	23.5	29.66	9.33	0.00015553	222.71	3.43	763.74	2.36893907			6.16
6	23.56	29.66	9.47	0.00015786	222.09	3.41	758.37	2.34586499			6.1
7	23.56	29.66	9.33	0.00015553	222.63	3.4	758.02	2.34586499			6.1
8	23.56	29.66	9.2	0.00015336	223.06	3.43	764.07	2.34586499			6.1
9	23.56	29.72	9.6	0.00016003	220.18	3.42	754.11	2.36893907			6.16
10	23.5	29.72	9.6	0.00016003	221.45	3.41	756.08	2.39201315			6.22

11	23.5	29.72	9.47	0.00015786	222.56	3.41	759.06	2.39201315			6.22
12	23.5	29.72	0.13	2.1671E-06	222.76	3.44	766.95	2.39201315			6.22
13	23.56	29.79	3.5	5.8345E-05	222.23	3.43	762.92	2.39585883			6.23
14	23.5	29.72	2.9	4.8343E-05	223.04	3.42	763.14	2.39201315			6.22
15	23.56	29.79	3.1	5.1677E-05	221.62	3.4	752.91	2.39585883			6.23
16	23.56	29.79	3.5	5.8345E-05	223.19	3.43	765.36	2.39585883			6.23
17	23.56	29.79	3.4	5.6678E-05	222.15	3.46	767.83	2.39585883			6.23
18	23.56	29.72	3.2	5.3344E-05	220.89	3.45	762.73	2.36893907			6.16
19	23.56	29.79	4.25	7.0848E-05	221.94	3.42	759.48	2.39585883			6.23
20	23.56	29.79	7.47	0.00012452	221.11	3.41	753.47	2.39585883			6.23
21	23.56	29.79	0.4	6.668E-06	221.76	3.43	761.34	2.39585883			6.23
22	23.56	29.79	0.13	2.1671E-06	221.89	3.45	765.63	2.39585883			6.23
23	23.56	29.79	0.93	1.5503E-05	222.44	3.44	765.34	2.39585883			6.23
24	23.56	29.79	0.27	4.5009E-06	222.1	3.43	762.07	2.39585883			6.23
25	23.56	29.79	0.8	1.3336E-05	223.85	3.4	761.87	2.39585883			6.23
TOMAS	ENTRADA DE AIRE	SALIDA DE AIRE	CAUDAL	CAUDAL	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA				
CAUDAL DE AGUA 100% 35 GRADOS CENTIGRADOS								Qc (Kg/seg)	Mw (Kg/seg)	Cpair J/(Kg°K)	Tf-Ti (°K)
1	23.31	29.04	8.13	0.00013553	219.66	3.38	741.39	2.20357482	0.38	1012	5.73
2	23.37	29.10	8.4	0.00014003	219.82	3.4	748.01	2.20357482			5.73
3	23.37	29.10	8.13	0.00013553	220.71	3.38	746.51	2.20357482			5.73
4	23.37	29.16	7.87	0.00013119	219.4	3.43	751.86	2.2266489			5.79
5	23.37	29.22	7.87	0.00013119	218.42	3.38	738.08	2.24972298			5.85
6	23.44	29.29	8.13	0.00013553	220.26	3.37	742.71	2.24972298			5.85
7	23.44	29.29	8.27	0.00013786	219.89	3.38	744.31	2.24972298			5.85
8	23.44	29.29	8	0.00013336	218.41	3.43	748.88	2.24972298			5.85
9	23.44	29.35	7.73	0.00012886	219.9	3.39	744.89	2.27279706			5.91

10	23.37	29.35	7.33	0.00012219	220.2	3.36	740.9	2.29971683			5.98
11	23.37	29.35	7.6	0.00012669	219	3.39	743.48	2.29971683			5.98
12	23.37	29.35	7.87	0.00013119	220.48	3.4	750.63	2.29971683			5.98
13	23.37	29.35	7.2	0.00012002	220.87	3.38	746.8	2.29971683			5.98
14	23.37	29.41	6.67	0.00011119	220.67	3.39	747.46	2.32279091			6.04
15	23.37	29.41	6.93	0.00011552	220.56	3.4	750.46	2.32279091			6.04
16	23.44	29.41	7.33	0.00012219	220.01	3.4	748.66	2.29587115			5.97
17	23.44	29.41	7.6	0.00012669	219.81	3.38	742.57	2.29587115			5.97
18	23.44	29.41	8.27	0.00013786	219.41	3.4	745.95	2.29587115			5.97
19	23.44	29.41	9.2	0.00015336	219.95	3.4	748.81	2.29587115			5.97
20	23.44	29.47	9.47	0.00015786	219.34	3.38	742.25	2.31894523			6.03
21	23.5	29.47	10	0.0001667	219.75	3.38	742.57	2.29587115			5.97
22	23.5	29.47	10.27	0.0001712	220.59	3.39	747.86	2.29587115			5.97
23	23.5	29.47	9.87	0.00016453	220.49	3.4	749.06	2.29587115			5.97
24	23.5	29.47	9.87	0.00016453	220.99	3.37	744.66	2.29587115			5.97
25	23.5	29.47	9.87	0.00016453	219.59	3.39	744.16	2.29587115			5.97
TOMAS	ENTRADA DE AIRE	SALIDA DE AIRE	CAUDAL	CAUDAL	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA				
CAUDAL DE AGUA 25% 35 GRADOS CENTIGRADOS								Qc (Kg/seg)	Mw (Kg/seg)	Cpair J/(Kg°K)	Tf-Ti (°K)
1	23.75	30.41	6.67	0.00011119	220.15	3.41	750.52	2.56122309	0.38	1012	6.66
2	23.75	30.41	6.67	0.00011119	220.83	3.42	754.65	2.56122309			6.66
3	23.75	30.41	6.67	0.00011119	220.16	3.4	749.39	2.56122309			6.66
4	23.81	30.41	6.8	0.00011336	220.11	3.42	751.78	2.53814901			6.6
5	23.75	30.41	6.8	0.00011336	220.25	3.42	753.05	2.56122309			6.66
6	23.81	30.47	6.8	0.00011336	220.63	3.41	752.92	2.56122309			6.66
7	23.81	30.47	6.93	0.00011552	218.99	3.43	751.32	2.56122309			6.66

8	23.81	30.47	6.93	0.00011552	219.93	3.43	753.65	2.56122309			6.66
9	23.81	30.54	6.93	0.00011552	220.12	3.42	753.9	2.58814285			6.73
10	23.81	30.54	6.8	0.00011336	220.06	3.44	756.92	2.58814285			6.73
11	23.81	30.54	6.93	0.00011552	221.54	3.44	761.07	2.58814285			6.73
12	23.81	30.54	6.93	0.00011552	219.18	3.43	751.61	2.58814285			6.73
13	23.87	30.54	6.8	0.00011336	220.14	3.44	758.02	2.56506877			6.67
14	23.87	30.54	6.4	0.00010669	219.23	3.42	750.49	2.56506877			6.67
15	23.87	30.54	6.27	0.00010452	219.74	3.45	757.06	2.56506877			6.67
16	23.87	30.54	6.13	0.00010219	219.55	3.44	754.46	2.56506877			6.67
17	23.87	30.54	6.13	0.00010219	220.24	3.43	756	2.56506877			6.67
18	23.94	30.54	6.67	0.00011119	219.6	3.43	752.74	2.53814901			6.6
19	23.94	30.47	6.53	0.00010886	220.37	3.43	756.41	2.51122924			6.53
20	23.94	30.54	6.67	0.00011119	220.66	3.43	756.08	2.53814901			6.6
21	23.94	30.47	6.67	0.00011119	220.61	3.44	758.85	2.51122924			6.53
22	24	30.54	6.4	0.00010669	220.14	3.43	755.87	2.51507492			6.54
23	23.94	30.54	5.87	9.7853E-05	221.18	3.43	759.29	2.53814901			6.6
24	23.94	30.54	4.53	7.5515E-05	221.17	3.44	760.52	2.53814901			6.6
25	23.94	30.54	4.27	7.1181E-05	220.77	3.42	754.39	2.53814901			6.6

ANEXO 13. CAPACIDAD DEL CONDENSADOR QC MODO AIRE ACONDICIONADO METODO EXPERIMENTAL.

DATOS DE INGRESO								DATOS CALCULADOS Qe			
N°	°C	°C	Lt/min	M3/s	V	A	w				
TOMAS	ENTRADA DE AGUA	SALIDA DE AGUA	CAUDAL	CAUDAL	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA	$Q_e = m_w * C_{p_w}(T_f - T_i)$			
CAUDAL DE AGUA 100% CAUDAL DE AIRE 100%								Qc (Kg/seg)	Mw (Kg/seg)	Cpagua J/(Kg°K)	Tf-Ti (°K)
1	18.19	22.21	6.27	0.0001045 2	219.72	3.33	731.77	1.7535718 9	0.10	4186	4.02
2	18.25	22.21	11.33	0.0001888 7	222.25	3.29	731.07	3.1214406 2	0.19		3.96
3	18.25	22.21	11.87	0.0001978 7	218.55	3.35	732.87	3.2702118 4	0.20		3.96
4	18.31	22.21	11.73	0.0001955 4	221.55	3.37	746.54	3.1826772 6	0.19		3.9
5	18.37	22.21	12	0.0002000 4	220.22	3.32	731.56	3.2058445	0.20		3.84
6	18.44	22.21	11.6	0.0001933 7	219.88	3.3	724.7	3.0424911 4	0.19		3.77
7	18.56	22.28	11.2	0.0001867	220.62	3.32	731.5	2.8986177 3	0.19		3.72
8	18.62	22.28	11.47	0.0001912	219.69	3.31	726.97	2.9206161 7	0.19		3.66
9	18.62	22.28	11.87	0.0001978 7	221.65	3.3	731.93	3.0224685 2	0.20		3.66
10	18.62	22.28	11.87	0.0001978 7	218.67	3.34	729.35	3.0224685 2	0.20		3.66
11	18.56	22.28	11.73	0.0001955 4	220.08	3.37	742.11	3.0357844 6	0.19		3.72
12	18.56	22.28	12	0.0002000 4	219.57	3.29	722.12	3.1056618 6	0.20		3.72
13	18.56	22.28	12	0.0002000 4	219.24	3.27	716.76	3.1056618 6	0.20		3.72

14	18.56	22.28	12.13	0.0002022 1	220.16	3.32	732.04	3.1393065 3	0.20		3.72
15	18.56	22.34	12.13	0.0002022 1	219.12	3.3	722.53	3.1899405	0.20		3.78
16	18.56	22.34	12.13	0.0002022 1	220.19	3.3	726.34	3.1899405	0.20		3.78
17	18.5	22.34	12.67	0.0002112 1	222.49	3.31	735.83	3.3848374 8	0.21		3.84
18	18.5	22.34	12.53	0.0002088 8	219.98	3.31	727.13	3.3474359 6	0.21		3.84
19	18.5	22.34	10.93	0.0001822	220.15	3.27	720.57	2.9199900 3	0.18		3.84
20	18.5	22.28	11.87	0.0001978 7	218.35	3.36	734.04	3.1215658 5	0.20		3.78
21	18.5	22.34	11.6	0.0001933 7	219.28	3.29	721.43	3.0989830 1	0.19		3.84
22	18.44	22.34	12	0.0002000 4	219.48	3.35	735.08	3.2559358 2	0.20		3.9
23	18.44	22.4	11.6	0.0001933 7	218.85	3.3	722.31	3.1958262 3	0.19		3.96
24	18.44	22.4	11.33	0.0001888 7	220.3	3.31	728.21	3.1214406 2	0.19		3.96
25	18.44	22.4	11.6	0.0001933 7	218.51	3.29	718.17	3.1958262 3	0.19		3.96
TOMA S	ENTRAD A DE AGUA	SALIDA DE AGUA	CAUDA L	CAUDAL	VOLTAJ E	CORRIENT E	POTENCI A				
CAUDAL DE AGUA 100% CAUDAL DE AIRE 75%								Qc (Kg/seg)	Mw (Kg/seg)	Cpagua J/(Kg°K)	Tf-Ti (°K)
1	18.06	21.71	14.67	0.0002445 5	217.15	3.27	709.23	3.7252288 7	0.24	4186	3.65
2	18	21.71	14.67	0.0002445 5	217.76	3.26	709.91	3.7864655 1	0.24		3.71

3	18.06	21.71	14.53	0.0002422 2	221.15	3.24	716.21	3.6896779 5	0.24		3.65
4	18	21.71	14.4	0.0002400 5	219.5	3.25	713.98	3.7167759 6	0.24		3.71
5	18	21.71	14.13	0.0002355 5	220.11	3.25	716.05	3.6470864 1	0.23		3.71
6	18	21.71	14	0.0002333 8	220.03	3.23	711.57	3.6135321 9	0.23		3.71
7	18	21.71	13.6	0.0002267 1	219.62	3.23	709.38	3.5102884 1	0.23		3.71
8	18	21.77	14.13	0.0002355 5	218.99	3.25	712.16	3.7060689 4	0.23		3.77
9	18	21.77	14	0.0002333 8	217.71	3.22	700.23	3.6719720 6	0.23		3.77
10	18	21.77	14.13	0.0002355 5	220.38	3.23	711.94	3.7060689 4	0.23		3.77
11	18	21.77	14.13	0.0002355 5	219.2	3.21	704.64	3.7060689 4	0.23		3.77
12	18	21.77	14.13	0.0002355 5	219.2	3.23	708.7	3.7060689 4	0.23		3.77
13	18	21.77	14.13	0.0002355 5	221.21	3.22	712	3.7060689 4	0.23		3.77
14	18	21.84	14	0.0002333 8	218.38	3.24	706.86	3.7401519 1	0.23		3.84
15	18	21.77	14.13	0.0002355 5	219.63	3.22	707.88	3.7060689 4	0.23		3.77
16	18	21.77	14.27	0.0002378 8	220.07	3.22	709.31	3.7427886 6	0.24		3.77
17	18	21.77	14.4	0.0002400 5	218.59	3.22	704.62	3.7768855 5	0.24		3.77
18	18	21.77	14.53	0.0002422 2	218.91	3.22	705.3	3.8109824 3	0.24		3.77
19	18	21.77	14.13	0.0002355 5	219.15	3.19	698.89	3.7060689 4	0.23		3.77

20	18	21.84	14.27	0.00023788	217.89	3.22	701.92	3.81228341	0.24		3.84
21	17.94	21.84	14.4	0.00024005	218.32	3.17	692.18	3.90712298	0.24		3.9
22	18	21.84	13.87	0.00023121	220.68	3.22	710.65	3.70542193	0.23		3.84
23	17.94	21.84	13.73	0.00022888	220.54	3.2	705.6	3.72533323	0.23		3.9
24	17.94	21.90	14	0.00023338	219.56	3.22	706.17	3.85703166	0.23		3.96
25	17.94	21.84	13.47	0.00022454	218.85	3.22	704.73	3.65478795	0.22		3.9
TOMAS	ENTRADA DE AGUA	SALIDA DE AGUA	CAUDAL	CAUDAL	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA				
CAUDAL DE AGUA 100% CAUDAL DE AIRE 50%								Qc (Kg/seg)	Mw (Kg/seg)	Cpagua J/(Kg°K)	Tf-Ti (°K)
1	18.81	23.14	12.27	0.00020454	218.16	3.36	732.23	3.69625939	0.20	4186	4.33
2	18.81	23.14	12.67	0.00021121	221.68	3.37	747.97	3.81675685	0.21		4.33
3	18.75	23.14	13.07	0.00021788	218.6	3.39	740.16	3.9918121	0.22		4.39
4	18.75	23.20	13.2	0.00022004	218.84	3.37	736.79	4.08661688	0.22		4.45
5	18.75	23.20	13.07	0.00021788	218.84	3.34	731.29	4.04636989	0.22		4.45
6	18.69	23.20	13.33	0.00022221	219.41	3.36	736.77	4.18250697	0.22		4.51
7	18.69	23.20	13.47	0.00022454	220.5	3.37	742.65	4.22643428	0.22		4.51
8	18.62	23.26	13.47	0.00022454	218.5	3.36	734.32	4.34826054	0.22		4.64

9	18.62	23.26	13.47	0.0002245 4	219.54	3.33	730.35	4.3482605 4	0.22		4.64
10	18.62	23.26	13.6	0.0002267 1	218.46	3.36	733.07	4.3902259 4	0.23		4.64
11	18.56	23.26	13.73	0.0002288 8	218.66	3.36	734	4.4895041 5	0.23		4.7
12	18.56	23.26	13.73	0.0002288 8	219.09	3.33	728.58	4.4895041 5	0.23		4.7
13	18.5	23.26	13.73	0.0002288 8	217.08	3.36	728.46	4.5468169 7	0.23		4.76
14	18.5	23.33	13.87	0.0002312 1	219.48	3.39	743.05	4.6607260 2	0.23		4.83
15	18.44	23.33	13.87	0.0002312 1	218.71	3.36	735.82	4.7186232 4	0.23		4.89
16	18.44	23.33	13.87	0.0002312 1	219.01	3.37	737.47	4.7186232 4	0.23		4.89
17	18.44	23.39	13.47	0.0002245 4	217.4	3.32	722.79	4.6387693 3	0.22		4.95
18	18.44	23.39	13.2	0.0002200 4	219	3.34	730.52	4.5457873 1	0.22		4.95
19	18.37	23.39	12.67	0.0002112 1	218.67	3.37	737.89	4.4249698 3	0.21		5.02
20	18.44	23.39	12.53	0.0002088 8	217.48	3.34	726.63	4.3150541 7	0.21		4.95
21	18.37	23.45	12.27	0.0002045 4	220.93	3.33	735.26	4.3364890 8	0.20		5.08
22	18.37	23.45	12.4	0.0002067 1	217.03	3.37	731.43	4.3824339 5	0.21		5.08
23	18.37	23.45	12.4	0.0002067 1	218.83	3.34	731.88	4.3824339 5	0.21		5.08
24	18.31	23.45	12.53	0.0002088 8	219.24	3.31	726.32	4.4806825 1	0.21		5.14
25	18.31	23.45	12.8	0.0002133 8	219.95	3.34	735.41	4.5772335 3	0.21		5.14

TOMAS	ENTRADA DE AGUA	SALIDA DE AGUA	CAUDAL	CAUDAL	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA				
CAUDAL DE AGUA 100% CAUDAL DE AIRE 25%								Qc (Kg/seg)	Mw (Kg/seg)	Cpagua J/(Kg°K)	Tf-Ti (°K)
1	18.31	23.27	14.53	0.0002422 2	218.83	3.23	707.15	5.0139185 3	0.24	4186	4.96
2	18.31	23.27	14.4	0.0002400 5	219.98	3.23	711.59	4.9690589 7	0.24		4.96
3	18.31	23.27	14.4	0.0002400 5	219.46	3.23	709.78	4.9690589 7	0.24		4.96
4	18.31	23.27	14.4	0.0002400 5	219.01	3.21	703.74	4.9690589 7	0.24		4.96
5	18.31	23.27	14.53	0.0002422 2	219.53	3.24	711.9	5.0139185 3	0.24		4.96
6	18.31	23.27	14.53	0.0002422 2	219.95	3.21	705.92	5.0139185 3	0.24		4.96
7	18.37	23.27	14.53	0.0002422 2	220.39	3.24	713.68	4.9532662 9	0.24		4.9
8	18.37	23.27	14.8	0.0002467 2	218.98	3.23	708.02	5.0453090 9	0.25		4.9
9	18.37	23.27	14.67	0.0002445 5	218.97	3.23	707.5	5.0009921 9	0.24		4.9
10	18.37	23.27	14.53	0.0002422 2	220.06	3.24	713.32	4.9532662 9	0.24		4.9
11	18.31	23.27	14.67	0.0002445 5	220.79	3.22	711.23	5.0622288 3	0.24		4.96
12	18.37	23.27	14.53	0.0002422 2	220.86	3.25	718.32	4.9532662 9	0.24		4.9
13	18.37	23.21	14.13	0.0002355 5	221.64	3.24	718.21	4.7579240 5	0.23		4.84
14	18.37	23.21	14	0.0002333 8	220.07	3.26	717.38	4.7141498 1	0.23		4.84

15	18.37	23.27	14.13	0.0002355 5	219.92	3.21	705.26	4.8169065 8	0.23		4.9
16	18.37	23.21	14	0.0002333 8	219.96	3.22	708.95	4.7141498 1	0.23		4.84
17	18.37	23.21	13.87	0.0002312 1	219.41	3.23	709.59	4.6703755 6	0.23		4.84
18	18.37	23.21	13.87	0.0002312 1	219.65	3.26	716.01	4.6703755 6	0.23		4.84
19	18.37	23.21	13.87	0.0002312 1	221.07	3.25	718.63	4.6703755 6	0.23		4.84
20	18.37	23.21	14	0.0002333 8	219.3	3.22	705.6	4.7141498 1	0.23		4.84
21	18.37	23.21	14.13	0.0002355 5	219.17	3.25	711.99	4.7579240 5	0.23		4.84
22	18.37	23.21	14.13	0.0002355 5	221.52	3.22	712.52	4.7579240 5	0.23		4.84
23	18.37	23.21	14.27	0.0002378 8	220.06	3.25	714.58	4.8050655 5	0.24		4.84
24	18.37	23.21	14	0.0002333 8	220.44	3.22	710.48	4.7141498 1	0.23		4.84
25	18.37	23.21	14.13	0.0002355 5	220.21	3.23	711.75	4.7579240 5	0.23		4.84

ANEXO 14. CAPACIDAD DEL EVAPORADOR QE MODO AIRE ACONDICIONADO METODO EXPERIMENTAL.

DATOS DE INGRESO								DATOS CALCULADOS Qe			
N°	°C	°C	Lt/min	M3/s	V	A	w	$Q_c = m_{air} * C_{p_{air}} * (T_f - T_i)$			
TOMAS	ENTRADA DE AIRE	SALIDA DE AIRE	CAUDAL	CAUDAL	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA				
CAUDAL DE AGUA 100% CAUDAL DE AIRE 100%								Qc (Kg/seg)	Mw (Kg/seg)	Cp _{air} J/(Kg°K)	Tf-Ti (°K)
1	22.81	17	6.27	0.0001045 2	219.72	3.33	731.77	2.2342936	0.38	1012	5.81
2	22.81	17	11.33	0.0001888 7	222.25	3.29	731.07	2.2342936	0.38		5.81
3	22.81	17	11.87	0.0001978 7	218.55	3.35	732.87	2.2342936	0.38		5.81
4	22.81	17	11.73	0.0001955 4	221.55	3.37	746.54	2.2342936	0.38		5.81
5	22.81	17	12	0.0002000 4	220.22	3.32	731.56	2.2342936	0.38		5.81
6	22.81	17	11.6	0.0001933 7	219.88	3.3	724.7	2.2342936	0.38		5.81
7	22.81	17	11.2	0.0001867	220.62	3.32	731.5	2.2342936	0.38		5.81
8	22.81	17	11.47	0.0001912	219.69	3.31	726.97	2.2342936	0.38		5.81
9	22.87	16.94	11.87	0.0001978 7	221.65	3.3	731.93	2.2804408	0.38		5.81
10	22.87	16.94	11.87	0.0001978 7	218.67	3.34	729.35	2.2804408	0.38		5.81
11	22.87	17	11.73	0.0001955 4	220.08	3.37	742.11	2.2573672	0.38		5.81
12	22.87	17	12	0.0002000 4	219.57	3.29	722.12	2.2573672	0.38		5.81
13	22.87	17	12	0.0002000 4	219.24	3.27	716.76	2.2573672	0.38		5.81

14	22.87	17.06	12.13	0.0002022 1	220.16	3.32	732.04	2.2342936	0.38		5.81
15	22.87	17.06	12.13	0.0002022 1	219.12	3.3	722.53	2.2342936	0.38		5.81
16	22.94	17.06	12.13	0.0002022 1	220.19	3.3	726.34	2.2612128	0.38		5.81
17	22.94	17.06	12.67	0.0002112 1	222.49	3.31	735.83	2.2612128	0.38		5.81
18	22.94	17.12	12.53	0.0002088 8	219.98	3.31	727.13	2.2381392	0.38		5.81
19	22.94	17.12	10.93	0.0001822	220.15	3.27	720.57	2.2381392	0.38		5.81
20	22.94	17.12	11.87	0.0001978 7	218.35	3.36	734.04	2.2381392	0.38		5.81
21	22.94	17.12	11.6	0.0001933 7	219.28	3.29	721.43	2.2381392	0.38		5.81
22	22.94	17.19	12	0.0002000 4	219.48	3.35	735.08	2.21122	0.38		5.81
23	22.94	17.12	11.6	0.0001933 7	218.85	3.3	722.31	2.2381392	0.38		5.81
24	22.94	17.12	11.33	0.0001888 7	220.3	3.31	728.21	2.2381392	0.38		5.81
25	23	17.12	11.6	0.0001933 7	218.51	3.29	718.17	2.2612128	0.38		5.81
TOMA S	ENTRAD A DE AIRE	SALID A DE AIRE	CAUDA L	CAUDAL	VOLTAJ E	CORRIENT E	POTENCI A				
CAUDAL DE AGUA 100% CAUDAL DE AIRE 75%								Qc (Kg/seg)	Mw (Kg/seg)	Cpair J/(Kg°K)	Tf-Ti (°K)
1	22.31	15.38	14.67	0.0002445 5	217.15	3.27	709.23	2.8753956	0.41	1012	6.93
2	22.25	15.38	14.67	0.0002445 5	217.76	3.26	709.91	2.8505004	0.41		6.87

3	22.31	15.38	14.53	0.0002422 2	221.15	3.24	716.21	2.8753956	0.41		6.93
4	22.31	15.44	14.4	0.0002400 5	219.5	3.25	713.98	2.8505004	0.41		6.87
5	22.31	15.38	14.13	0.0002355 5	220.11	3.25	716.05	2.8753956	0.41		6.93
6	22.31	15.38	14	0.0002333 8	220.03	3.23	711.57	2.8753956	0.41		6.93
7	22.31	15.44	13.6	0.0002267 1	219.62	3.23	709.38	2.8505004	0.41		6.87
8	22.25	15.44	14.13	0.0002355 5	218.99	3.25	712.16	2.8256052	0.41		6.81
9	22.31	15.44	14	0.0002333 8	217.71	3.22	700.23	2.8505004	0.41		6.87
10	22.31	15.44	14.13	0.0002355 5	220.38	3.23	711.94	2.8505004	0.41		6.87
11	22.25	15.44	14.13	0.0002355 5	219.2	3.21	704.64	2.8256052	0.41		6.81
12	22.31	15.44	14.13	0.0002355 5	219.2	3.23	708.7	2.8505004	0.41		6.87
13	22.31	15.44	14.13	0.0002355 5	221.21	3.22	712	2.8505004	0.41		6.87
14	22.31	15.38	14	0.0002333 8	218.38	3.24	706.86	2.8753956	0.41		6.93
15	22.31	15.38	14.13	0.0002355 5	219.63	3.22	707.88	2.8753956	0.41		6.93
16	22.31	15.38	14.27	0.0002378 8	220.07	3.22	709.31	2.8753956	0.41		6.93
17	22.31	15.38	14.4	0.0002400 5	218.59	3.22	704.62	2.8753956	0.41		6.93
18	22.31	15.38	14.53	0.0002422 2	218.91	3.22	705.3	2.8753956	0.41		6.93
19	22.31	15.38	14.13	0.0002355 5	219.15	3.19	698.89	2.8753956	0.41		6.93

20	22.31	15.38	14.27	0.0002378 8	217.89	3.22	701.92	2.8753956	0.41		6.93
21	22.31	15.31	14.4	0.0002400 5	218.32	3.17	692.18	2.90444	0.41		7
22	22.25	15.31	13.87	0.0002312 1	220.68	3.22	710.65	2.8795448	0.41		6.94
23	22.25	15.31	13.73	0.0002288 8	220.54	3.2	705.6	2.8795448	0.41		6.94
24	22.25	15.31	14	0.0002333 8	219.56	3.22	706.17	2.8795448	0.41		6.94
25	22.25	15.31	13.47	0.0002245 4	218.85	3.22	704.73	2.8795448	0.41		6.94
TOMA S	ENTRAD A DE AIRE	SALID A DE AIRE	CAUDA L	CAUDAL	VOLTAJ E	CORRIENT E	POTENCI A				
CAUDAL DE AGUA 100% CAUDAL DE AIRE 50%								Qc (Kg/seg)	Mw (Kg/seg)	Cpair J/(Kg°K)	Tf-Ti (°K)
1	21.69	13.31	12.27	0.0002045 4	218.16	3.36	732.23	3.9858632	0.47	1012	8.38
2	21.69	13.25	12.67	0.0002112 1	221.68	3.37	747.97	4.0144016	0.47		8.44
3	21.69	13.25	13.07	0.0002178 8	218.6	3.39	740.16	4.0144016	0.47		8.44
4	21.69	13.19	13.2	0.0002200 4	218.84	3.37	736.79	4.04294	0.47		8.5
5	21.69	13.19	13.07	0.0002178 8	218.84	3.34	731.29	4.04294	0.47		8.5
6	21.69	13.13	13.33	0.0002222 1	219.41	3.36	736.77	4.0714784	0.47		8.56
7	21.69	13.19	13.47	0.0002245 4	220.5	3.37	742.65	4.04294	0.47		8.5
8	21.69	13.13	13.47	0.0002245 4	218.5	3.36	734.32	4.0714784	0.47		8.56

9	21.69	13.13	13.47	0.0002245 4	219.54	3.33	730.35	4.0714784	0.47		8.56
10	21.69	13.13	13.6	0.0002267 1	218.46	3.36	733.07	4.0714784	0.47		8.56
11	21.69	13.13	13.73	0.0002288 8	218.66	3.36	734	4.0714784	0.47		8.56
12	21.69	13.06	13.73	0.0002288 8	219.09	3.33	728.58	4.1047732	0.47		8.63
13	21.69	13.06	13.73	0.0002288 8	217.08	3.36	728.46	4.1047732	0.47		8.63
14	21.69	13.06	13.87	0.0002312 1	219.48	3.39	743.05	4.1047732	0.47		8.63
15	21.62	13.00	13.87	0.0002312 1	218.71	3.36	735.82	4.1000168	0.47		8.62
16	21.62	13.00	13.87	0.0002312 1	219.01	3.37	737.47	4.1000168	0.47		8.62
17	21.62	13.00	13.47	0.0002245 4	217.4	3.32	722.79	4.1000168	0.47		8.62
18	21.62	13.00	13.2	0.0002200 4	219	3.34	730.52	4.1000168	0.47		8.62
19	21.62	13.00	12.67	0.0002112 1	218.67	3.37	737.89	4.1000168	0.47		8.62
20	21.62	12.94	12.53	0.0002088 8	217.48	3.34	726.63	4.1285552	0.47		8.68
21	21.69	12.94	12.27	0.0002045 4	220.93	3.33	735.26	4.16185	0.47		8.75
22	21.62	12.94	12.4	0.0002067 1	217.03	3.37	731.43	4.1285552	0.47		8.68
23	21.69	13.00	12.4	0.0002067 1	218.83	3.34	731.88	4.1333116	0.47		8.69
24	21.69	13.00	12.53	0.0002088 8	219.24	3.31	726.32	4.1333116	0.47		8.69
25	21.69	13.00	12.8	0.0002133 8	219.95	3.34	735.41	4.1333116	0.47		8.69

TOMAS	ENTRADA DE AIRE	SALIDA DE AIRE	CAUDAL	CAUDAL	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA				
CAUDAL DE AGUA 100% CAUDAL DE AIRE 25%								Qc (Kg/seg)	Mw (Kg/seg)	Cpair J/(Kg°K)	Tf-Ti (°K)
1	21.81	12.00	14.53	0.0002422 2	218.83	3.23	707.15	5.3609688	0.54	1012	9.81
2	21.81	11.94	14.4	0.0002400 5	219.98	3.23	711.59	5.3937576	0.54		9.87
3	21.81	12.00	14.4	0.0002400 5	219.46	3.23	709.78	5.3609688	0.54		9.81
4	21.81	11.94	14.4	0.0002400 5	219.01	3.21	703.74	5.3937576	0.54		9.87
5	21.87	11.94	14.53	0.0002422 2	219.53	3.24	711.9	5.4265464	0.54		9.93
6	21.81	11.94	14.53	0.0002422 2	219.95	3.21	705.92	5.3937576	0.54		9.87
7	21.81	11.94	14.53	0.0002422 2	220.39	3.24	713.68	5.3937576	0.54		9.87
8	21.81	11.94	14.8	0.0002467 2	218.98	3.23	708.02	5.3937576	0.54		9.87
9	21.75	11.88	14.67	0.0002445 5	218.97	3.23	707.5	5.3937576	0.54		9.87
10	21.75	11.94	14.53	0.0002422 2	220.06	3.24	713.32	5.3609688	0.54		9.81
11	21.81	11.94	14.67	0.0002445 5	220.79	3.22	711.23	5.3937576	0.54		9.87
12	21.81	11.88	14.53	0.0002422 2	220.86	3.25	718.32	5.4265464	0.54		9.93
13	21.81	11.94	14.13	0.0002355 5	221.64	3.24	718.21	5.3937576	0.54		9.87
14	21.87	11.88	14	0.0002333 8	220.07	3.26	717.38	5.4593352	0.54		9.99

15	21.81	11.94	14.13	0.0002355 5	219.92	3.21	705.26	5.3937576	0.54		9.87
16	21.87	11.88	14	0.0002333 8	219.96	3.22	708.95	5.4593352	0.54		9.99
17	21.81	11.94	13.87	0.0002312 1	219.41	3.23	709.59	5.3937576	0.54		9.87
18	21.87	11.94	13.87	0.0002312 1	219.65	3.26	716.01	5.4265464	0.54		9.93
19	21.81	11.94	13.87	0.0002312 1	221.07	3.25	718.63	5.3937576	0.54		9.87
20	21.81	11.94	14	0.0002333 8	219.3	3.22	705.6	5.3937576	0.54		9.87
21	21.81	11.88	14.13	0.0002355 5	219.17	3.25	711.99	5.4265464	0.54		9.93
22	21.81	11.88	14.13	0.0002355 5	221.52	3.22	712.52	5.4265464	0.54		9.93
23	21.81	11.88	14.27	0.0002378 8	220.06	3.25	714.58	5.4265464	0.54		9.93
24	21.81	11.88	14	0.0002333 8	220.44	3.22	710.48	5.4265464	0.54		9.93
25	21.81	11.88	14.13	0.0002355 5	220.21	3.23	711.75	5.4265464	0.54		9.93

ANEXO 15. RADIACIÓN SOLAR DICIEMBRE DEL 2019.

Fecha	Hora, GMT- 05:00	Radiación solar, W/m ²
24/12/2019	1:00:00	0.6
	2:00:00	0.6
	3:00:00	0.6
	4:00:00	0.6
	5:00:00	0.6
	6:00:00	14.34
	7:00:00	123.85
	8:00:00	394.35
	9:00:00	517.44
	10:00:00	252.60
	11:00:00	457.14
	12:00:00	676.68
	13:00:00	1054.41
	14:00:00	753.41
	15:00:00	302.95
	16:00:00	99.27
	17:00:00	61.33
	18:00:00	5.08
	19:00:00	0.6
	20:00:00	0.6
	21:00:00	0.6
	22:00:00	0.6
	23:00:00	0.6
	0:00:00	0.6

ANEXO 16. COEFICIENTE DE EFICIENCIA ENERGETICA COP BOMBA DE CALOR METODO TEORICO.

COEFICIENTE DE EFICIENCIA ENÉRGETICA (ecu13)

$$COP = \frac{Q_c}{W_{comp}}$$

capacidad térmica del condensador		2	
potencia eléctrica del condensador	W_{comp}	Q_c	2 1

CAUDAL DE AGUA	TEMPERATURA	QC	UNIDAD	POTENCIAS	UNIDAD	COP
25%	25°C	3.72	kJ/s	0.60	Kw	6.20
100%	25°C	3.70	kJ/s	0.60	Kw	6.17
25%	35°C	4.01	kJ/s	0.60	Kw	6.68
100%	35°C	4.09	kJ/s	0.60	Kw	6.82

ANEXO 17. COEFICIENTE DE EFICIENCIA ENERGETICA COP AIRE ACONDICIONADO METODO TEORICO.

CAPACIDAD DE CALOR DEL CONDENSADOR (ecu 7)			
$Q_{cond} = \eta_{hx} * m_{ref} * (h_2 - h_3)$			
capacidad de calor del condensado	Qc		Kj/s
eficiencia del intercambio de calor	$\eta_{hx} =$	1 %	4.42656
masa del refrigerante	$m_{ref} =$	0.024 kg/s	
entalpias	$h_2 - h_3 =$	184.44 Kj/kg	

COP AIRE ACONDICIONADO					
CAUDAL DE AIRE	CAUDAL DE AGUA	FLUJO MASICO REFRIGERANTE	Qe	POTENCIAS	COP
%	%	Kg/s	KJ/s	Kw	
100%	100%	0.024	3.49	0.60	5.82
75%	100%	0.024	3.66	0.60	6.10
50%	100%	0.024	3.78	0.60	6.30
25%	100%	0.022	3.82	0.60	6.37

**ANEXO 18. COEFICIENTE DE EFICIENCIA ENERGETICA COP AIRE ACONDICIONADO
METODO TEORICO.**

COEFICIENTE DE EFICIENCIA ENÉRGETICA (ecu13)			
$COP = \frac{Q_c}{W_{comp}}$			
Caudal térmico del condensador	Q_c	2	1
Potencia eléctrica del condensador	W_{comp}	2	

COP BOMBA DE CALOR					
TEMPERATURA	CAUDAL DE AGUA	FLUJO MASICO	Qc	POTENCIA	COP
°C	%	Kg/s	Kj/s	Kw	
AMBIENTE	100%	0.022	2.44	0.75	3.26
AMBIENTE	25%	0.023	2.26	0.75	3.02
35°C	100%	0.024	2.54	0.75	3.38
35°C	25%	0.024	2.53	0.75	3.37

**ANEXO 19. COEFICIENTE DE EFICIENCIA ENERGETICA COP AIRE ACONDICIONADO
METODO EXPERIMENTAL.**

COP AIRE ACONDICIONADO					
CAUDAL DE AIRE	CAUDAL DE AGUA	FLUJO MASICO	Qc	POTENCIA	COP
%	%	Kg/s	Kj/s	Kw	
100%	100%	0.022	2.24	0.72	3.13
75%	100%	0.023	2.79	0.71	3.96
50%	100%	0.024	4.04	0.72	5.63
25%	100%	0.024	4.20	0.71	5.89

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, **Holger Damián Cedillo Ulloa** portador de la cédula de ciudadanía N° 0703867705. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Simulación de un sistema híbrido de bomba de calor geotérmica y paneles solares fotovoltaicos para una casa típica de la Amazonia Ecuatoriana”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 15 de julio de 2020



F:

Holger Damián Cedillo Ulloa

0703867705