

Universidad Internacional del Ecuador



Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz

**Artículo Investigación para la obtención del Título de Ingeniería en Mecánica
Automotriz**

**Diseño de un generador de agua atmosférico aplicado a vehículos utilitarios para
consumo de sus ocupantes en la ciudad de Quito-Ecuador**

Martín Alejandro Flores Guevara

Director: Ing. Andrés Castillo

Quito, Enero 2022

Contenido

Resumen	iv
Abstract	iv
Introducción	5
Teoría y Metodología	5
Resultados	9
Conclusiones	12
Anexos	14

Resumen

En el presente artículo se realiza el diseño de un generador de agua atmosférico con la utilización de un refrigerante R134a con una capacidad de enfriamiento de 3.354kW. Su aplicación esta prevista en vehículos utilitarios en la ciudad de Quito, Ecuador, el diseño se realizó tomando en cuenta los siguientes parámetros climáticos: humedad relativa de 40.8%, una temperatura de bulbo seco de 10.7 °C y la presión atmosférica de 71.9 kPa.

El diseño se basa en el ciclo de compresión de vapor en donde se tiene una estimación de 15 litros al día de condensado el cual mediante un proceso de filtrado y purificación será dispensado para el consumo de los ocupantes del vehículo aprovechando el uso de envases reutilizables y no desechables.

Pensando en la portabilidad el prototipo tiene de un peso estimado de 30 kg.

Palabras clave: Generador de agua atmosférico, humedad relativa, temperatura, presión atmosférica, compresión de vapor.

Abstract

In this paper, the design of atmospheric water generator is carried out with the use of a R134a refrigerant with a cooling capacity of 3.354kW. Its application is foreseen in utility vehicles in the city of Quito, Ecuador, where a relative humidity of 40.8%, a temperature of 10.7 °C and an atmospheric pressure of 71.9 kPa are taken as design parameters.

The design is based on the vapor compression cycle where there is an estimate of 15 liters per day of condensate (water). Once is filtered this condensate (water) will be dispensed to the occupants of the vehicle, with the use of reusable and non-disposable bottles.

Thinking about portability, the prototype has an estimated weight of 30 kg.

Key words: Water generator, relative humidity, temperature, atmospheric pressure, vapor compression

Introducción

La obtención de agua limpia y pura hoy en día en el 2022 es una de las necesidades principales en el mundo, el cambio climático es el principal causante de la escasez de agua. Por esta razón, existen empresas que se han preocupado por el medio ambiente y han propuesto, entre varias soluciones viables el desarrollo de generadores de agua atmosféricos estacionarios y móviles en donde se aprovecha la humedad relativa del aire para la obtención de agua pura para el consumo humano.

Watergen, Genaq y otras empresas más son las que día a día se encuentran en el desarrollo de estos dispositivos como solución a la escasez de agua en lugares inhóspitos. Además, este tipo de tecnologías ayudan a reducir el consumo de botellas desechables, contribuyendo a reducir la contaminación plástica que existe alrededor del mundo.

Adicional a esto, las empresas buscan desarrollar los generadores de agua atmosféricos de manera más eficiente, haciendo que sean suministrados por energías renovables para su funcionamiento. De esta manera el equipo es de carácter ecológico y con bajo impacto ambiental. Un claro ejemplo de estos generadores ya aplicados, presenta Chile en la provincia de Talca donde existe un gran déficit hídrico, por esta razón el gobierno provincial aplicó estos generadores para beneficiar a varias familias que padecían de agua. “La máquina de tecnología israelita, produce alrededor de 30 litros diariamente de agua extraída directamente desde la atmósfera y la deja dispuesta para el consumo humano.” (Riesgo ambiental, 2017)

En el presente artículo se desarrolla el diseño de un sistema de generación de agua atmosférico de una manera compacta y eficiente, considerando que sea propicio para su aplicación en Ecuador, específicamente en la ciudad de Quito, tomando en cuenta las condiciones climáticas y meteorológicas; con el afán de que pueda ser aplicado en vehículos utilitarios en donde sus ocupantes puedan consumir agua de calidad en envases

reutilizables a lo largo del día en horarios de trabajo.

Teoría y Metodología

Existen varias tecnologías que permiten la generación de agua atmosférica, una de ellas está en la aplicación de químicos que deshumidifican el aire y bajo el acompañamiento de cambios de temperatura, se dan fases de condensado obteniendo así el agua requerida. También, otras utilizan energía eólica ya que obtienen un gran flujo de aire y que, mediante placas en diferente temperatura logran alterar de acuerdo a la necesidad, ciclo del agua y de esta manera se colecta la misma.

Por otro lado, y de los más comunes se encuentra un sistema muy parecido al de un aire acondicionado en donde mediante un líquido refrigerante, compresores, bombas y más componentes aprovechan el diferencial de temperatura que existe entre el sistema y el aire del ambiente para la generación de agua. (Dilernia & Zecchin Chiaia, 2021)

En este caso, se ha considerado la generación de agua por ciclo de compresión de vapor, ya que es una manera sencilla en donde se puede tener las variables controladas de mejor manera y a su vez un rendimiento óptimo de acuerdo a las condiciones de trabajo del equipo.

Generación de agua atmosférica por ciclo de compresión de vapor

El ciclo de refrigeración por compresión de vapor (Figura 1) utiliza un compresor el cual envía el gas refrigerante hacia un intercambiador de calor conocido como condensador. En este proceso tanto la presión como la temperatura del refrigerante se incrementan proporcionalmente. El refrigerante a medida que pasa por el condensador disipa calor hacia los alrededores del sistema, empezando así a condensarse hasta convertirse en un líquido presurizado frío. El líquido pasa a través de una válvula de expansión la cual reduce la presión del refrigerante, así como también la temperatura. En este punto se convierte en una mezcla entre

estado líquido y vapor la cual se dirige hacia un evaporador en donde absorbe el calor de la humedad del aire y hace que el refrigerante pase por una fase de sobrecalentamiento la que reduce la presión para ingresar así nuevamente al compresor en estado gaseoso y repetir el ciclo (Khanyisa, 2018). Durante esta última fase del proceso la temperatura del aire se encuentra por debajo de la temperatura de rocío y hace que exista una condensación que es colectada en un reservorio del sistema, posteriormente este condensado es tratado mediante filtros para que pueda ser apta para el consumo humano.

Diagrama de Ciclo de Refrigeración

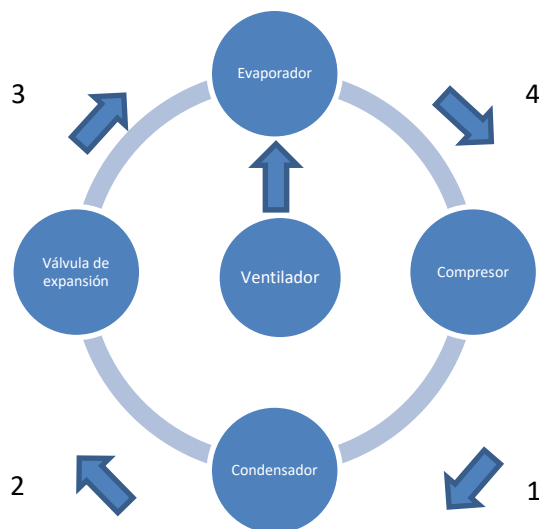


Figura 1. Diagrama del Ciclo de Compresión de Vapor. (Flores M. , Diagrama del ciclo de compresión de vapor, 2021)

Estados Termodinámicos del Refrigerante

1. Vapor de refrigerante a alta presión.
2. Líquido de refrigerante enfriado a alta presión.
3. Mezcla líquida/vapor de refrigerante a baja presión.
4. Vapor de refrigerante calentado a baja presión.

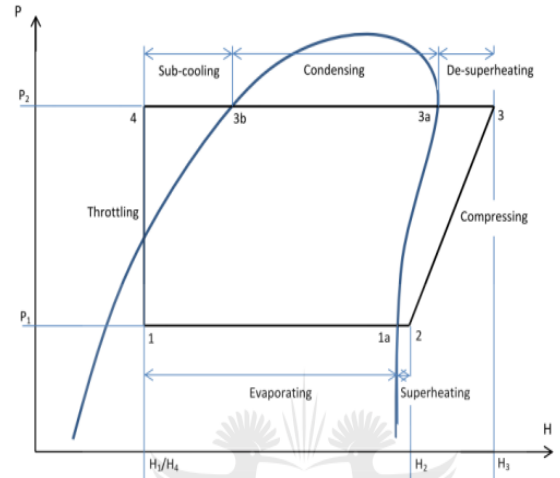


Figura 2. Diagrama presión vs entalpía del Ciclo de Compresión de Vapor. (Khanyisa, 2018)

Descripción del proceso del generador de agua atmosférico

El aire ingresa al generador de agua atmosférico, el cual, mediante el ciclo de compresión de vapor, obtiene un condensado de acuerdo a las condiciones climáticas que se encuentre durante el día. El agua obtenida, se deposita en un reservorio, luego pasa por un proceso de filtrado el cual se encarga de eliminar cualquier tipo de contaminación que pueda tener el agua, finalmente mediante un sistema de bombeo se dispensa agua en la cabina del vehículo para que sus ocupantes puedan beberla en envases reutilizables a lo largo del día.

Todo el sistema se encuentra alimentado por los 12 V provenientes del mismo vehículo.

Sistema de filtrado

El proceso de filtrado se encuentra dado por un dispositivo que utiliza luz ultravioleta para eliminar microorganismos dañinos en el agua. Este tratamiento al agua es más seguro que el cloro, debido a que es capaz de eliminar incluso protozoos, lo cual el cloro no lo puede hacer. En si la luz ultravioleta tiene la capacidad de eliminar factores patógenos del agua en un 99%, considerando dentro de estos

a virus, bacterias, hongos, etc. (Aquaistemas tecnología y confort en agua, 2014)

Según Aquaistemas, una empresa dedicada a la fabricación de productos de filtrado indica que un sistema de tratamiento de agua UV generalmente consiste en una fuente de luz UV (con una salida de aproximadamente 254 nm) montada frente a una cámara de flujo por donde pasará el agua. Una funda de vidrio de cuarzo generalmente sostiene la lámpara UV y permite que la longitud de onda UV pase sin obstáculos. El cuarzo de vidrio es necesario para proteger la lámpara del agua.

A medida que el agua pasa a través de la cámara de flujo, queda expuesta a la fuente de luz ultravioleta germicida. En esta etapa, los microorganismos nocivos presentes en el agua se inactivan.

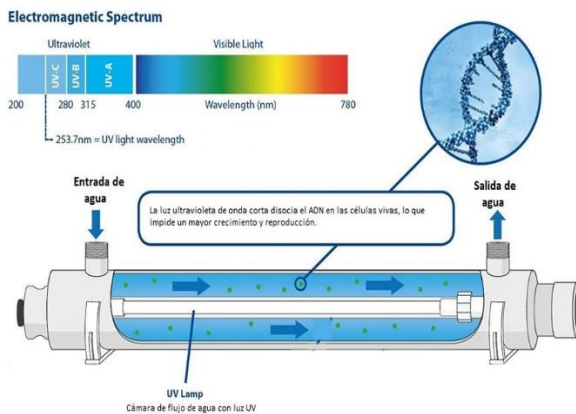


Figura 3. Lámpara ultravioleta. (Aquaistemas tecnología y confort en agua, 2014)

Este tratamiento permite que el agua obtenga un buen sabor, olor y que mantenga un color cristalino.

El generador de agua atmosférico está diseñado para tener la lámpara UV como sistema de filtrado, esto permite que el agua almacenada proveniente del condensado sea desinfectada y a continuación pueda ser dispensada en la cabina del vehículo.

Sistema de circulación de agua

Una vez que el agua se encuentra en el reservorio, una bomba la succiona y mediante tuberías direcciona al agua hacia la cabina del vehículo en donde mediante un dispensador podrán obtener agua fresca en envases reutilizables a lo largo del día, obteniendo de esta manera confort en el interior de los vehículos.



Figura 4: Dispensador de agua. (Grace, 2020)

Diseño y dimensionamiento del Equipo

Para dar inicio a la fase de diseño, se debe considerar algunos parámetros, condiciones y variables. Al estar enfocado el diseño de este prototipo para la aplicación en la ciudad de Quito-Ecuador, se requiere partir de las condiciones climáticas que esta ciudad presenta, en donde las variables indispensables son: humedad relativa, temperatura y presión. Estas variables permiten hacer un dimensionamiento para determinar que flujos, variaciones de temperaturas y entalpías permitirán la creación de un sistema que generación atmosférica de agua.

Condiciones Climáticas Quito

Parámetros	Valor
Humedad Relativa (%)	40.8
Temperatura (°C)	10.7
Presión (kPa)	71.9

Tabla 1. Condiciones Climáticas Quito (Inahmi, 2017)

Parámetros de Diseño

Parámetro	Valor
Flujo Volumétrico de agua (L/día)	15
Temperatura del aire entrada de la zona de enfriamiento (°C)	10.7
Temperatura del aire después de la zona de enfriamiento (°C)	-5

Tabla 2. Parámetros de Diseño (Flores M. , 2021)

Cálculos de diseño

En esta sección se presenta las ecuaciones necesarias para determinar las diferentes variables necesarias para diseñar el generador de agua atmosférico. (McDonald, 2012) Cada una de ellas cumple una función para poder sucesivamente ir determinando valores que permitan el dimensionamiento del sistema.

- a. Flujo másico condensado

$$\dot{m}_{agua} = \rho_{agua} \times \dot{V}_{agua}$$

- b. Flujo másico de aire

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

Donde:

\dot{m}_{agua} : flujo másico de agua.

\dot{m}_a : flujo másico de aire.

w_1 : humedad absoluta del aire en estado inicial.

w_2 : humedad absoluta del aire en estado final.

- c. Cantidad de Calor extraída del aire

$$Q_L = \dot{m}_a(h_{2a} - h_{1a})$$

Donde:

h_{2a} = entalpía de salida del aire después de la zona de enfriamiento.

h_{1a} = entalpía de entrada del aire a la zona de enfriamiento.

Las siguientes ecuaciones (d-f) se utilizan para el dimensionamiento del evaporador:

- d. Coeficiente de convección de refrigerante (Evaporador)

$$h_{tp} = 0.0082 \times \frac{k_l}{D} (K_f Re_L^2)^{0.4}$$

Donde:

h_{tp} : coeficiente de convección de refrigerante

k_l : conductividad térmica de refrigerante en estado líquido

D : diámetro interno de tubería

K_f : número de Bo Pierre

Re_L : número de Reynolds

- e. Correlación de Bo Pierre

$$K_f = \frac{J \times h_{fg} \times \Delta x}{L}$$

Donde:

J = calor mecánico

h_{fg} = Calor de vaporización

Δx = cambio en calidad

L = longitud de tubería

- f. Numero de Reynolds

$$Re_l = \frac{\rho_l V D}{\mu}$$

Donde:

- V = velocidad de refrigerante
- D = diámetro interno de tubería
- μ = viscosidad cinemática
- ρ = densidad del refrigerante

- g. Capacidad de enfriamiento del evaporador

$$Q_{evap} = Q_L \times (1 + \beta)$$

Donde:

Q_L = capacidad de enfriamiento del evaporador

β = Factor de corrección de bypass con ineficiencia (15%)

- h. Flujo másico del refrigerante

$$Q_{evap} = \dot{m}_{R-134a}(h_2 - h_1)$$

Donde:

Q_{evap} = capacidad de enfriamiento del evaporador

\dot{m}_{R-134a} = flujo másico de refrigerante

h_2 = entalpía de salida de refrigerante

h_1 = entalpía de entrada de refrigerante

Resultados

Resumen de variables calculadas

En la siguiente tabla se resumen los valores obtenidos de las variables más importantes necesarias para el diseño del equipo. Mediante el uso del software Engineering Equation Solver (EES) se calcula de manera dinámica las variables para obtener datos exactos en base a los requerimientos y parámetros preestablecidos, para lo cual, se obtiene lo siguiente:

Variable	Valor
$\dot{m}_a(kg/s)$	0.1602
$Q_{evap}(kW)$	3.42
$h_{tp}(W/m^2K)$	4129
$\dot{m}_{R-134a}(kg/s)$	0.01897

Tabla 3. Resumen de Variables Calculadas
(Flores M. , 2021)

El programa EES requiere el ingreso de los datos conocidos, parámetros de diseño, así como las ecuaciones necesarias para resolver el sistema de ecuaciones. El código para la ejecución de los cálculos que se ingresan en el programa se detalla en el Anexo 1.

Los datos obtenidos parten de los parámetros de diseño mencionados anteriormente, sin embargo, la obtención de condensado podría aumentar si es que las condiciones climáticas y meteorológicas cambian. Cabe recalcar que el dimensionamiento del sistema se hace en base al límite inferior de las variables, por ende, cualquier variación positiva en las variables podría ser favorable para el sistema.

A continuación, se muestra el diagrama de los estados termodinámicos del refrigerante (R-134A) en el sistema de refrigeración:

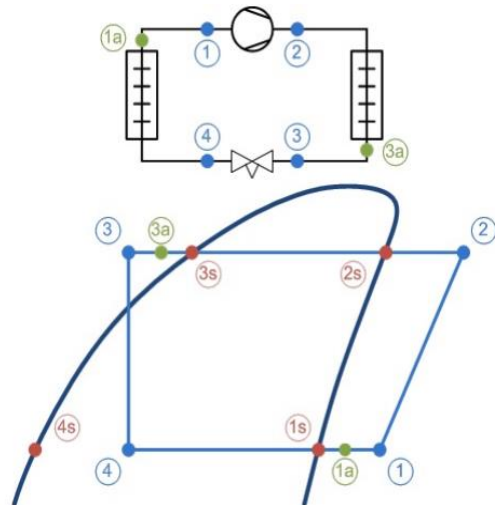


Figura 4. Diagrama del sistema, simulador Danfoss (Flores M. , Coolselector 2, 2021)

El detalle del diagrama se muestra en la tabla a continuación:

		Temp.	Presión	Densidad	Entalpia
	Descripción	°C	bar	kg/m ³	kJ/kg
1	Entrada al Compresor	-2.0	2.006	9.665	399.4
2	Descarga de compresor	69.9	7.208	28.42	457.3
3a	Salida del condensador	25.7	7.208	1205	236.1
3	Entrada evaporador	25.7	7.208	1205	236.1
4	Después de valvula de expansión	-10.0	2.006	40.78	236.1
1a	Salida del evaporador	-2.0	2.006	9.665	399.4

Tabla 4. Descripción del diagrama del sistema, reporte de simulador Danfoss (Flores M. , Coolselector 2, 2021)

Esta información fue obtenida utilizando el software de selección Cool Selector2 de la empresa Danfoss, que es una herramienta en línea que permite la selección de componentes para sistemas de refrigeración. Como complemento se puede ver el diagrama más detallado de Presión-Entalpía (P-h) para el refrigerante R-134A en el Anexo 2.

Selección de Componentes del Sistema

Una vez diseñado y calculadas los parámetros de operación del sistema se procede a la selección de algunos de los componentes con la ayuda de la herramienta gratuita Cool Selector 2 de la empresa Danfoss, a continuación, se especifica las características de dichos equipos.

Para dicha selección se toma como referencia las capacidades de enfriamiento, su disposición como equipo, dimensiones, acoples, entre otras cosas más. Siempre tomando como referencia los parámetros de

diseño establecidos cotejando con los resultados ya obtenidos.

1.- Unidad Condensadora

El modelo de la unidad condensadora es OP-HCZC0250UWJ300N, el del compresor es MTZ028-1. El sistema utiliza refrigerante R134a y su capacidad de enfriamiento es de 3.354kW. Su potencia de entrada es de 1.487 kW

2.- Tuberías

Para el sistema se ha considerado una tubería de cobre de 1/2 pulgadas en todas sus líneas con reductores de diámetro en ciertas zonas para conexión de otros componentes.

3.- Válvula de expansión

Es una TXV modelo TU-8, con una capacidad nominal de 4.381 kW.



Figura 5. Modelo de la Válvula de Expansión

(Danfoss, s.f)

4.- Evaporador

El evaporador del sistema de refrigeración es de tubos con aletas. Los tubos son de cobre con un diámetro de 1/2 pulgada con una longitud total de la tubería de 4 metros.

Las aletas son hechas de aluminio con un espesor de 0.5 mm. La siguiente figura muestra el modelo del evaporador usados en el prototipo.



Figura 6. Modelo del Evaporador (Flores M. , 2022)

5.- Reservorio

El reservorio de acero inoxidable con capacidad de 7 litros de superficie plana y forma rectangular.

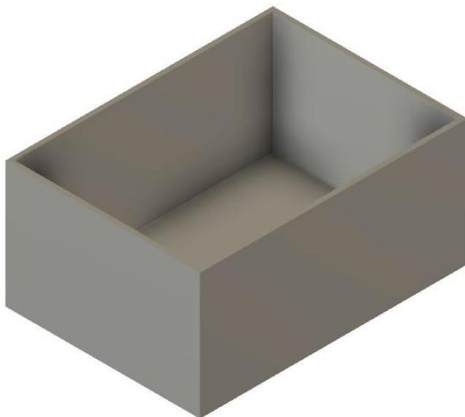


Figura 7. Modelo del Reservorio (Flores M. , 2022)

6.- Filtro de luz ultravioleta

Conexión: 1/4" MNPT

Material de cámara: acero inoxidable 304

Vida útil: 9000 horas



Figura 8. Modelo polaris lámpara UV
(Aquisistemas tecnología y confort en agua, 2014)

7.- Ventiladores

Los ventiladores seleccionados tanto para el evaporador como para el condensador son ventiladores axiales DC de la marca EBM-PAPST con un flujo de aire de 340 m³/h. El evaporador usa dos de estos ventiladores mientras que el condensador uno.

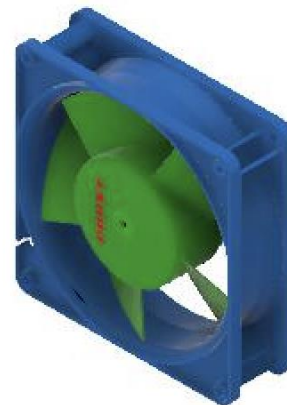


Figura 9. Modelo del Ventilador (EBM-PAPST, 2022)

8.- Componentes Auxiliares

- Bomba de agua sumergible alimentada de 12 V con potencia de 6 W.
- Transformador de AC a DC para aprovechamiento de 12 V con entrega de 9 W.

Modelado CAD del Generador de Agua

Utilizando el software de AutoDesk Fusion 360 se realizó el modelado del prototipo del generador de agua a partir de aire atmosférico.

A continuación, se presenta la vista isométrica de la parte exterior del prototipo. La caja externa está modelada con un material de plástico. El plano con las dimensiones del equipo se encuentra en el Anexo 3.



Figura 9. Modelo Generador de Agua Atmosférico (Flores M. , 2022)

Las siguientes figuras muestran el modelado del sistema de refrigeración con sus diferentes componentes. Los planos de los componentes del sistema con sus dimensiones se presentan en el Anexo 3.

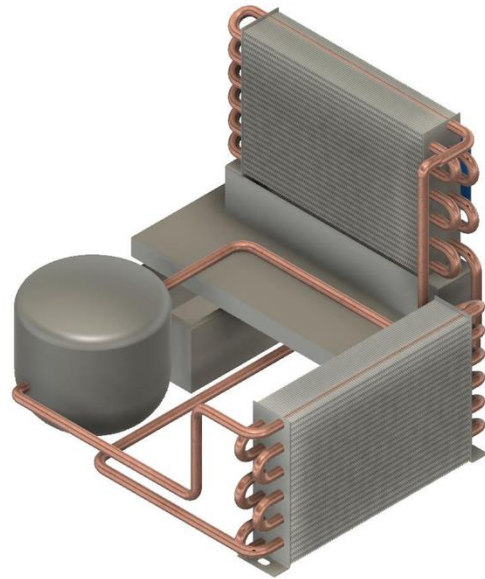


Figura 10. Modelo Sistema de Refrigeración (Flores M. , 2022)

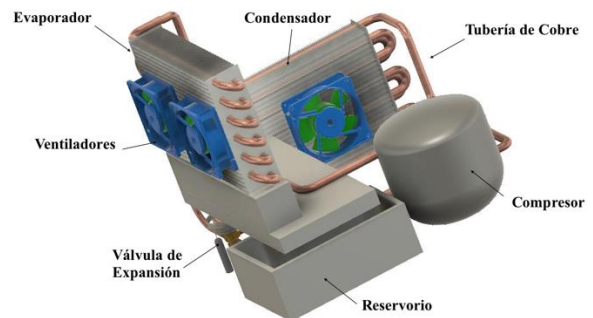


Figura 11. Modelo Sistema de Refrigeración (Flores M. , 2022)

Conclusiones

- El generador de agua atmosférico diseñado para la ciudad de Quito, tendría una producción teórica de agua de 15 litros diarios.
- El diseño del prototipo es compacto y eficiente, lo que permite que puede ser montado en la parte trasera del vehículo y ser utilizado en viajes,

salidas de camping o en horarios de trabajo.

- La producción de 15 litros al día de agua apta para el consumo de las personas reduce el uso de botellas plásticas, ayudando a reducir la contaminación que producen este tipo de botellas.

Recomendaciones

- Se sugiere ejecutar un plan de acción para el desarrollo del prototipo en donde se pueda saber con seguridad que rendimientos se obtiene de acuerdo a los parámetros de la ciudad de Quito.
- Sería interesante complementar con un suministro de energía renovable como la fotovoltaica para el funcionamiento de dicho prototipo. En este artículo se hizo un dimensionamiento de paneles fotovoltaicos, sin embargo, los mismos no respondieron eficientemente al diseño.

Referencias

(s.f.).

Aquasistemas tecnología y confort en agua.
(2014). Obtenido de <https://ecom.aquasistemas.com.gt/>

Danfoss. (s.f). Obtenido de <https://grace-latam.com/>

Dilernia, L. G., & Zecchin Chiaia, F. E. (2021). *Aplicación de ciclo de absorción a generador de agua atmosférico.*

EBM-PAPST. (2022).

Flores, M. (2021).

Flores, M. (2021). *Coolselector 2.*

Flores, M. (20 de Septiembre de 2021). Diagrama del ciclo de compresión de vapor. Quito.

Flores, M. (2022).

Flores, M. (2022).

Grace. (2020). Obtenido de <https://grace-latam.com/>

Inahmi. (2017). *Anuario Meteorológico.* Quito.

Khanyisa, S. (2018). *a sustainable atmospheric water generator solution for coastal rural households in Kwazulu natal .*

McDonald, A. G. (2012). *Introduction to Thermo-Fluids System Design.* Alberta: John Wiley & Sons Ltd.

Riesgo ambiental, T. (2017). *Division de gobierno ambiental.* Obtenido de <http://www.innovacionprovincial.gob.cl/noticias/generadores-de-agua-atmosferica-para-consumo-de-familias-con-deficit-hidrico-en-provincia-de-talca/>

Anexos

Anexo 1

"Cálculos"

"Datos"

Flowrate_condensado= 15[L/day]*convert(L/day,m^3/s)
Densidad_agua=Density(Water,T=T_2,P=P_1)
m_dot_condensado=Flowrate_condensado*Densidad_agua

"Condiciones Atmosféricas Ambiente"

RH_1=0.408
T_1= 10.7 [C]
P_1= 71.9 [kPa]
Call psychprops(T=T_1,P=P_1,R=RH_1: ,v_1,h_1,s_1,,omega_1,,,DewP_1)

"Condiciones Aire después del proceso de enfriamiento"

RH_2=1
T_2= -5 [C]
P_2= 71.9 [kPa]
Call psychprops(T=T_2,P=P_2,R=RH_2: ,v_2,h_2,s_2,,omega_2,,,DewP_2)

"Condiciones Refrigerante"

"Entrada Evaporador"

T_r1=-10 [C]
x_r1=0.25 "Calidad usada como estandar Industrial"

P_sat_r1=p_sat(R134a,T=T_r1)

h_r1=236.1 [kJ/kg]
rho_r1=density(R134a,T=T_r1,x=0)
rho_r1v=density(R134a, T=T_r1,x=1)
rho_ref=(rho_r1*0.85)+(rho_r1v*0.15)
mu=viscosity(R134a, T=T_r1,x=0)

k_l=conductivity(R134a, P=P_sat_r1,x=0)

"Salida Evaporador: Sobrecalentado por 8C"

T_r2=-2 [C]
P_r2=P_sat_r1
h_r2=399.4 [kJ/kg]

"Capacidad de Enfriamiento"

Q_L=m_dot_aire*(h_1-h_2)
Q_evap=Q_L*(1+0.15)

"Cálculo de flujo másico de aire"

m_dot_aire=m_dot_condensado/(omega_1-omega_2)
Flowrate_aire=m_dot_aire/((1/v_1))*convert(m^3/s,cfm)

"Flujo masico del refrigerante"

m_dot_ref=Q_evap/(h_r2-h_r1)
Flowrate_ref=m_dot_ref/rho_ref
V_ref=Flowrate_ref/Area_evap
Area_evap=(pi*(D^2))/4

"Calculos Evaporador"

"Datos Evaporador"

$D=0.0109$ [m]
 $OD=0.0127$ [m]
 $Re_{ref}=(\rho_{ref} \cdot V_{ref} \cdot D)/\mu$
 $K_f=(J \cdot (h_{r2}-h_{r1}) \cdot \Delta_x \cdot 1000)/L$
 $J=1$ [kg*m/kJ]
 $\Delta_x=0.75$
 $h_{conv_ref}=0.0082 \cdot (k_l/D) \cdot ((K_f \cdot Re_{ref}^2)^{0.4})$
 $L=10$ [m]

"Calculo Longitud Evaporador"

"Datos"

$Q_{evap}=3421$ [W]
 $T_{inf}=10.7$ [C]
 $T_{ref}=-10$ [C]
 $h_{conv_ref}=4295$ [W/m²*K]
 $k_{cobre}=386$ [W/m*K]
 $k_{aluminio}=170$ [W/m*K]
 $OD=0.0127$ [m]
 $ID=0.0109$ [m]
 $h_o=100$ [W/m²*K]

"Conveccion Forzada aire"

$B=0.04$ [m]
 $t=0.0005$ [m]
 $L_f=0.01865$ [m]

"Ecuaciones"

$Q_{evap}+(Q_{fin} \cdot (L/0.003))=(T_{inf}-T_{ref})/R_T$

$R_T=R_{conv_i}+R_{conv_o}+R_{cond}$
 $R_{conv_i}=1/(h_{conv_ref} \cdot A_i)$
 $R_{conv_o}=1/(h_o \cdot A_o)$
 $R_{cond}=(r_o-r_i)/r_{LM}/(2 \cdot \pi \cdot k_{cobre} \cdot L)$
 $A_i=\pi \cdot ID \cdot L$
 $A_o=\pi \cdot OD \cdot L$
 $r_{LM}=(r_o-r_i)/\ln(r_o/r_i)$
 $r_o=OD/2$
 $r_i>ID/2$

$Q_{fin}=(h_o \cdot P \cdot k_{aluminio} \cdot A_c)^{1/2} \cdot (T_{ref}-T_{inf}) \cdot \tanh(m \cdot L_f)$

$P=2 \cdot (B+t)$
 $A_c=B \cdot t$
 $m=((h_o \cdot P)/(k_{aluminio} \cdot A_c))^{1/2}$

Coolselector2

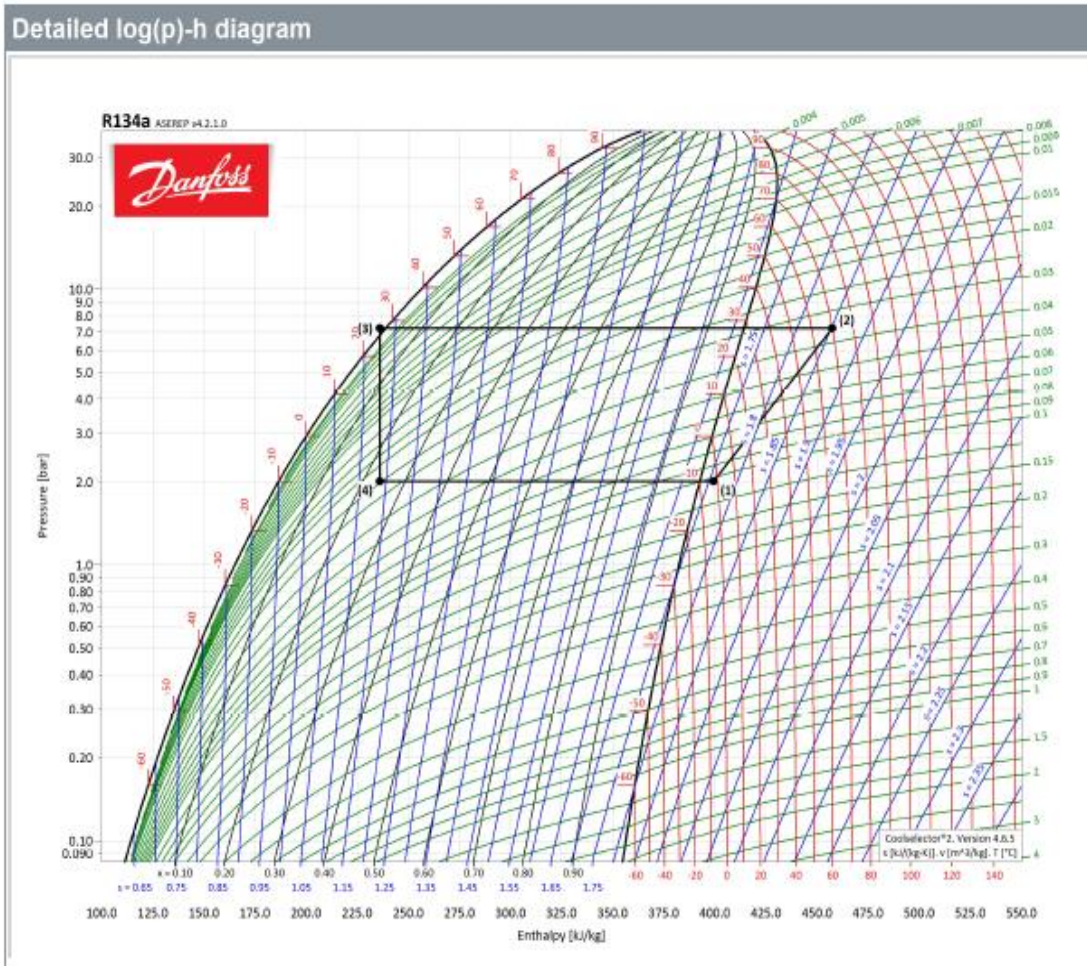


Figura A1. Diagrama P-h refrigerante R134a. (Danfoss, s.f)

Anexo 3

Las medidas de los planos se encuentran en milímetros

