

**EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR
COMPRESIÓN DE VAPOR EMPLEADO PARA CONSERVAR ALIMENTOS
PARA SU POSTERIOR USO EN UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO**

EDWARD ALEXANDER CANO DÁVILA

EDDY FERNEY ACVEDO PINEDA

ESTIVEN CARMONA PATIÑO



**FACUALDAD INGENIERÍA
INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLIN
2018**

EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR
COMPRESIÓN DE VAPOR EMPLEADO PARA CONSERVAR ALIMENTOS PARA
SU POSTERIOR USO EN UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO

EDWARD ALEXANDER CANO DÁVILA

EDDY FERNEY ACEVEDO PINEDA

ESTIVEN CARMONA PATIÑO

INTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACUALDAD INGENIERÍA
INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLIN
2018

EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR
COMPRESIÓN DE VAPOR EMPLEADO PARA CONSERVAR ALIMENTOS PARA
SU POSTERIOR USO EN UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO

EDWARD ALEXANDER CANO DÁVILA

EDDY FERNEY ACVEDO PINEDA

ESTIVEN CARMONA PATIÑO

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

Director: SALAZAR HINCAPIE ARLEY
INGENIERO MECÁNICO

INTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACUALDAD INGENIERÍA
INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLIN
2018

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	7
1 IDENTIFICACION DEL PROBLEMA	8
2 JUSTIFICACIÓN	9
3 OBJETIVOS	10
4 REFERENTES TEORICOS.....	11
4.1 Sistemas de refrigeración.	11
4.2 Componentes del sistema de refrigeración.	12
4.3 Funcionamiento de los sistemas de refrigeración.....	14
5 CICLO TERMODINAMICO DE REFRIGERACION.....	16
6 ANALISIS DE UN CICLO DE REFRIGERACION.....	17
6.1 Carga de refrigeración.....	17
6.2 Proceso de evaporación.	17
6.3 Proceso de compresión.	18
6.4 Proceso de Condensación.....	18
6.5 Proceso de expansión.....	18
6.6 Coeficiente de operación.	18
6.7 Cálculos para comprar un climatizador	18
6.8 Carga sensible por ocupantes (Q_{sp}).....	19
6.9 Carga sensible por aparatos eléctricos (Q_{se}).....	20
6.10 Carga sensible total (Q_s).	20
7 REFRIGERANTE.....	20
7.1 Refrigerante R134a.....	23
8 INGENIERÍA DE PROYECTO.....	26
8.1 Parámetros del diseño.	26
8.2 Pruebas, mediciones y registros.....	29
9 Resultados.	41
10 Conclusiones.	45
11 Referencias	46
12 Anexos.	¡Error! Marcador no definido.

TABLA DE CONTENIDO

Grafico 1.Grafica de presión Vs temperatura para los refrigerantes R-12 y HFC-134a. .	24
Tabla 1 Características básicas de un refrigerante.	21
Tabla 2.tipos de refrigerantes.....	22
Tabla 3 Grupos de seguridad de los refrigerantes. Fuente: Alarcón Creus José. Libro, Tratado practico de refrigeración automática. Marcombo	23
Tabla 4. Propiedades físicas del gas refrigerante.....	25
Tabla 5.Características de refrigerante R-134a. Fuente: Manual de refrigerantes para sistemas de refrigeración.....	25
Tabla 6.Materiales compatibles con el refrigerante R-134a. Fuente: Manual de refrigerantes para sistemas de refrigeración.	26

TABLA DE CONTENIDO ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ciclo de refrigeración y sus componentes.....	11
Ilustración 2. Temperaturas y compenetes del refrigerador doméstico.	15
Ilustración 3. Descripción del funcionamiento del aire acondicionado de un cuarto mientras extrae el calor.	15
Ilustración 4. Descripción y funcionamiento del ciclo de refrigeración.	17
Ilustración 5. Puntos de entradas del evaporador	27
Ilustración 6. Puntos de salida del evaporador.	28
Ilustración 7. Sensor, registro de temperaturas.	30
Ilustración 8. Sensores en puntos clave de del refrigerador. Conservación de alimentos.	30
Ilustración 9. Sensores de temperatura instalados en el congelador de alimentos.	31
Ilustración 10. Micro controlador.....	32
Ilustración 11. Sensor de temperatura para registros de cada tiempo en el proceso.....	32
Ilustración 12. Manómetros de alta y de baja, para registrar las variaciones de presión en el gas refrigerante.	33
Ilustración 13. Presiones en manómetros. Mide presión de baja.....	34
Ilustración 14. Registro de en manómetros, mide presión de alta.	34
Ilustración 15.microcontrolador	35
Ilustración 16. Plano de conexiones para la posterior toma de datos en conjunto con el Arduino.....	36
Ilustración 17.recipiente para almacenar el fluido.....	37
Ilustración 18 .esquema del micro controlador conectado a la pantalla.....	38
Ilustración 19.esquema de la instalación.....	38
Ilustración 20.registro de datos en la pantalla	39
Ilustración 21.Temperaturas del refrigerador (conservador de alimentos).	40

INTRODUCCIÓN

La presente investigación consiste en analizar el ciclo de refrigeración por compresión de vapor. Es el ciclo hoy usado por los sistemas termodinámicos para producir frío, son necesarios para la conservación de alimentos, medicamentos, acondicionamiento de ambientes y para el control de la temperatura de procesos exotérmicos; La refrigeración y el acondicionamiento de aire involucran equipos que demandan altos consumos energéticos. Con el objetivo de reducir el gasto energético se realizará la construcción de un prototipo que nos permitirá dar solución a esta problemática uniendo dos equipos de aplicaciones domésticas; una nevera y un sistema de acondicionamiento de ambientes.

1 IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

Las necesidades de refrigeración a escala mundial se ven afectadas por diversos factores tales como el agotamiento de las energías convencionales (combustibles fósiles) y la deficiencia en el suministro de la energía eléctrica debido en gran medida a la falta de infraestructura, como consecuencia de los altos costos de inversión y de la dificultad para el acceso a ciertas zonas de topografía especial.

En Colombia gran parte de la población requiere de un sistema de refrigeración para lograr los niveles de confort adecuados y la conservación de los alimentos. El uso de sistemas de refrigeración demanda altos consumos de energía, sobre todo de energía eléctrica, por lo tanto, es necesario buscar estrategias conducentes al ahorro energético y al uso eficiente de la energía para garantizar la sustentabilidad. ¿Qué aspectos podrán sustentar la eficiencia correcta del equipo de refrigeración domestica?

2 JUSTIFICACIÓN

La energía es el motor del mundo, su uso forma parte de nuestro estilo de vida y por eso solo nos preocupamos por ella cuando nos hace falta. A medida que una sociedad es más desarrollada consume más energía, pero no siempre lo hace de un modo eficiente. Es por esto que nuestro proyecto se enfoca en implementar nuevas ideas que conduzcan al uso eficiente de la energía y al ahorro de la misma.

Se desarrollará la construcción de un prototipo de electrodoméstico que nos permita conservar alimentos y a su vez generar aire acondicionado para mantener los niveles de confort en nuestros hogares. Este prototipo nos permitirá registrar datos experimentales que nos conducirán a la viabilidad de la investigación.

3 OBJETIVOS

GENERAL

- Evaluar un sistema de refrigeración por compresión de vapor empleado para la conservación y congelación de alimentos y posteriormente utilizarlo en la generación de aire acondicionado.

ESPECIFICOS

- Realizar una investigación sobre el funcionamiento de los refrigeradores domésticos.
- Monitorear el comportamiento de cada uno de los equipos de refrigeración de forma independiente.
- Adaptar ambos sistemas para que funcionen como un solo ciclo termodinámico.
- Chequear el consumo energético del prototipo.

4 REFERENTES TEORICOS.

4.1 Sistemas de refrigeración.

Los denominados sistemas frigoríficos o sistemas de refrigeración corresponden a arreglos mecánicos que utilizan propiedades termodinámicas de la materia para trasladar energía térmica en forma de calor entre dos -o más focos, conforme se requiera. Están diseñados primordialmente para disminuir la temperatura del producto almacenado en cámaras frigoríficas o cámaras de refrigeración las cuales pueden contener una variedad de alimentos o compuestos químicos, conforme especificaciones.

El ciclo termodinámico se realiza utilizando una sustancia de trabajo que se denomina refrigerante, la cual cambia de estado durante el ciclo, permitiendo la transferencia de calor mencionada.

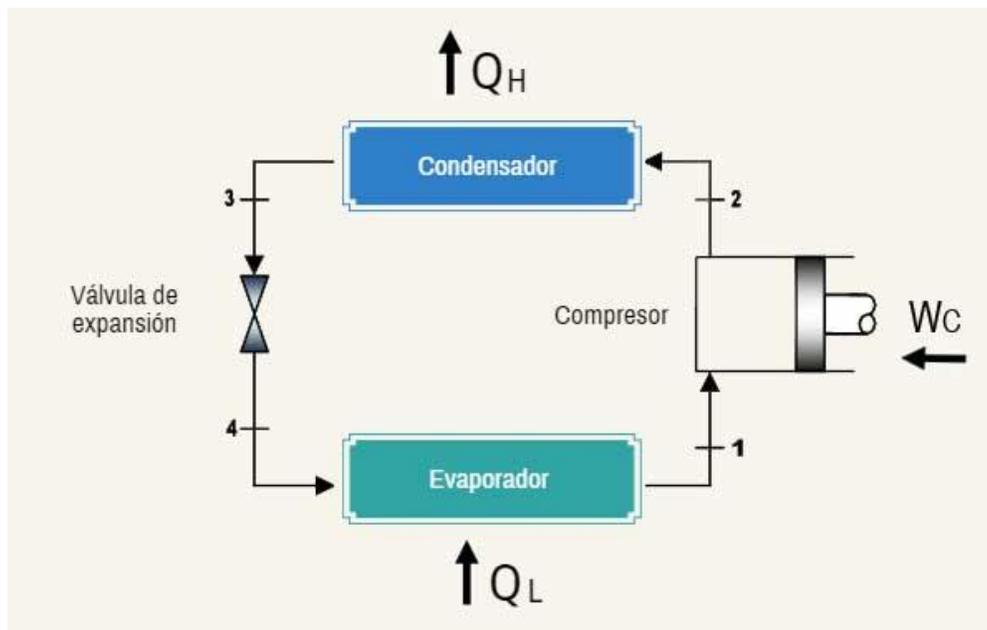


Ilustración 1. Ciclo de refrigeración y sus componentes

En este estudio nos centramos exclusivamente en el ciclo básico de la refrigeración por compresión.

La refrigeración por compresión desplaza la energía térmica entre dos focos; creando zonas de alta y baja presión confinadas en intercambiadores de calor, mientras estos procesos de intercambio de energía suceden cuando el fluido refrigerante se encuentra en procesos de cambio de estado; de líquido a vapor, y viceversa.

El proceso de refrigeración por compresión se logra evaporando un gas refrigerante en estado líquido a través de un dispositivo de expansión dentro de un intercambiador de calor, denominado evaporador. Para evaporarse este requiere absorber calor latente de vaporización. Al evaporarse el líquido refrigerante cambia su estado a vapor. Durante el cambio de estado el refrigerante en estado de vapor absorbe energía térmica del medio en contacto con el evaporador, bien sea este medio gaseoso o líquido. A esta cantidad de calor contenido en el ambiente se le denomina carga térmica. Luego de este intercambio energético, un compresor mecánico se encarga de aumentar la presión del vapor para poder condensarlo dentro de otro intercambiador de calor conocido como condensador. En este intercambiador se liberan del sistema frigorífico tanto el calor latente como el sensible, ambos componentes de la carga térmica. Ya que este aumento de presión además produce un aumento en su temperatura, para lograr el cambio de estado del fluido refrigerante y producir el subenfriamiento del mismo es necesario enfriarlo al interior del condensador; esto suele hacerse por medio de aire y/o agua conforme el tipo de condensador, definido muchas veces en función del refrigerante. De esta manera, el refrigerante ya en estado líquido, puede evaporarse nuevamente a través de la válvula de expansión y repetir el ciclo de refrigeración por compresión.

4.2 Componentes del sistema de refrigeración.

- Línea de Líquido.
Su función consiste en llevar el refrigerante líquido desde el receptor hacia el control de flujo de refrigerante.
- Control de Flujo de Refrigerante.
Sus funciones consisten en medir la cantidad adecuada de refrigerante que va hacia el evaporador y en reducir la presión del líquido que entra en el evaporador, para que así el líquido se evapore en el evaporador a la temperatura baja deseada.

- Evaporador.
Su función consiste en proporcionar una superficie de transferencia de calor a través de la cual el calor pasa del ambiente refrigerado al refrigerante evaporado.
- Línea de Aspiración.
Su función consiste en llevar el vapor de presión baja desde el evaporador hacia la entrada de aspiración del compresor.
- Compresor.
Sus funciones consisten en extraer el vapor del evaporador y en aumentar la temperatura y presión del vapor para que éste pueda condensarse con los medios de condensación normalmente disponibles.
- Línea de Descarga
Su función es entregar el vapor a presión alta y temperatura alta desde el compresor hasta el condensador.
- Condensador.
Su función es proporcionar una superficie de intercambio de calor a través de la cual el calor pasa del vapor refrigerante caliente a un medio de condensación (aire o agua, generalmente).
- Lado de Alta y Baja.
Un sistema de refrigeración se divide en dos partes según la presión que el refrigerante ejerce en estas dos partes.
- Lado de Baja.
La parte de baja presión del sistema se compone del control de flujo de refrigerante, el evaporador y la línea de aspiración. La presión que ejerce el refrigerante en estas partes es la presión baja necesaria para que el refrigerante se evapore en el evaporador. Esta presión se conoce como “presión baja”, “presión del lado baja”, “presión de aspiración” o “presión de evaporación “.
- Lado de Alta.
La parte de alta presión del sistema se compone del compresor, la línea de descarga, el condensador, el receptor y la línea de líquido. La presión que ejerce el refrigerante en esta parte del sistema es la presión alta necesaria para

la condensación del refrigerante en el condensador. Esta presión se llama “presión alta”, “presión de descarga” o “presión de condensación”.

4.3 Funcionamiento de los sistemas de refrigeración.

El ciclo básico de refrigeración consta de 4 puntos que son evaporación, compresión, condensación, control y expansión a continuación se dará un breve resumen de cada uno de los puntos anteriores.

Evaporación.

En la etapa de evaporación el refrigerante absorbe el calor del espacio que lo rodea y por consiguiente lo enfría. Esta etapa tiene lugar en un componente denominado evaporador, el cual es llamado así debido de que en el refrigerante se evapora cambia de líquido a vapor.

Compresión.

Después de evaporarse el refrigerante sale del evaporador en forma de vapor a baja presión, pasa al compresor en donde se comprime incrementando su presión (este aumento de presión es necesario para que el gas refrigerante cambie fácilmente a líquido y lo bombea asía la etapa de condensación).

Condensación.

La etapa de condensación del ciclo se efectúa en una unidad llamada “condensador”.

Se encuentra localizado en el exterior del espacio refrigerado. Aquí el gas refrigerante a alta presión y alta temperatura, rechaza calor asía el medio ambiente (es enfriado por una corriente de agua o de aire), cambiando de gas a líquido frío y a una alta presión.

Control y expansión.

Esta etapa es desarrollada por un mecanismo de control de flujo, este dispositivo retiene el flujo y expansiona al refrigerante para facilitar su evaporación posterior. Después de que el refrigerante deja el control del flujo se dirige al evaporador para absorber calor y comenzar un nuevo flujo.

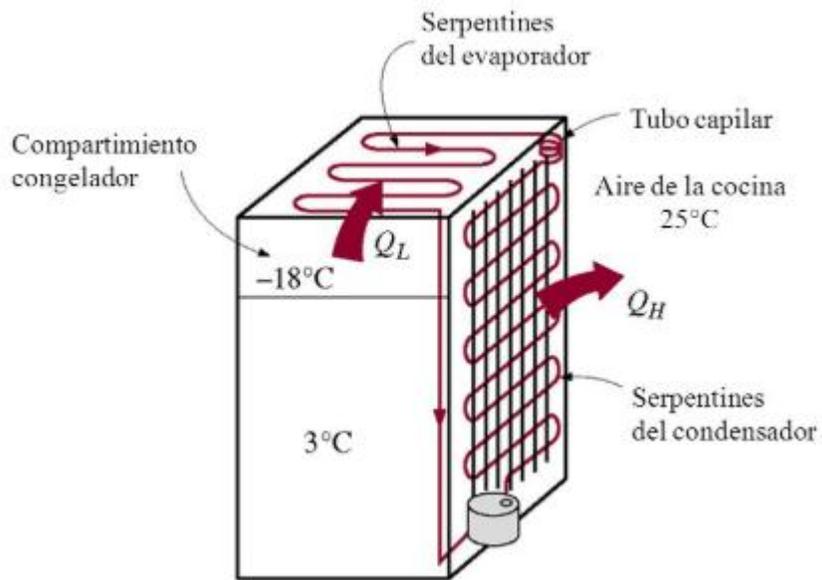


Ilustración 2. Temperaturas y compenertes del refrigerador doméstico.

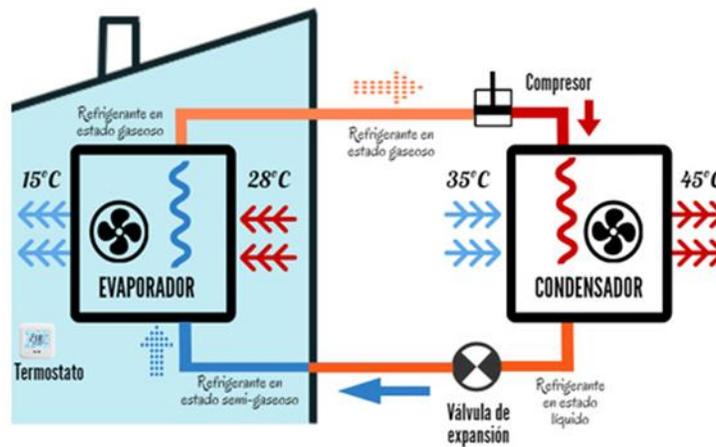


Ilustración 3. Descripción del funcionamiento del aire acondicionado de un cuarto mientras extrae el calor.

Los sistemas de aire acondicionado basan su funcionamiento en el ciclo frigorífico. Un sistema de aire acondicionado no genera aire frío, sino que extrae el calor del aire de la estancia que se quiera climatizar.

5 CICLO TERMODINAMICO DE REFRIGERACION.

La refrigeración se emplea para extraer calor de un recinto disipándolo en el ambiente se dice que hay refrigeración cuando la temperatura deseada es menor que la del ambiente.

Este servicio es de gran importancia en la industria alimentaria para la licuación de gases y condensación de vapores.

La transferencia de calor de un medio de baja temperatura a uno de alta temperatura requiere de dispositivos especiales llamados refrigeradores estos son dispositivos cíclicos cuyo fluido de trabajo se denomina refrigerante.

Existen varias clases de procesos de refrigeración, pero por su difusión de destacan dos:

Ciclo de refrigeración por compresión de vapor: En este caso se consume energía mecánica en un compresor que comprime el fluido de trabajo evaporado que viene del evaporador de modo que el calor que toma el fluido refrigerante en el evaporador pueda ser disipado a un nivel térmico superior en el condensador. Luego de ello, el fluido pasa a un expansor, que es una simple válvula de modo que el fluido condensado a alta presión que sale relativamente frío del condensador al expandirse se evapora, con lo que se enfría considerablemente ya que para ello requiere una gran cantidad de calor que toma del recinto que está refrigerado.

6 ANALISIS DE UN CICLO DE REFRIGERACION.

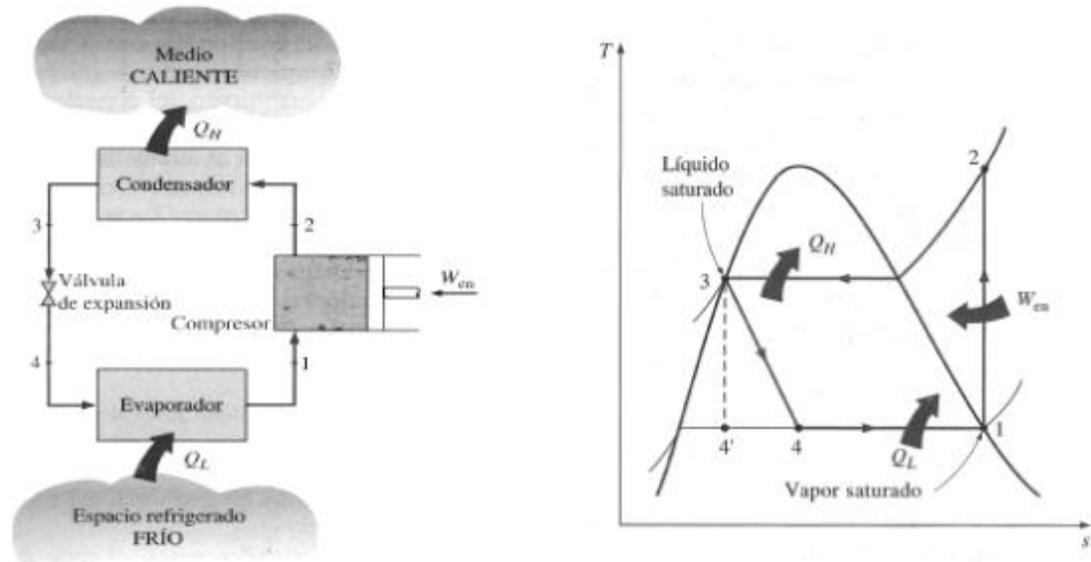


Ilustración 4. Descripción y funcionamiento del ciclo de refrigeración.

6.1 Carga de refrigeración.

La carga térmica en este estudio, es el calor retirado en el evaporador al agua que circula a través de este y se expresa de la manera siguiente.

$$Q_o = mC_p \nabla T$$

En donde m es el flujo de agua que circula a través del evaporador, C_p es el calor específico del agua y ∇T es el decremento de temperatura del agua al retirarle la carga térmica.

6.2 Proceso de evaporación.

El calor que absorbe el refrigerante por unidad de masa, se llama efecto refrigerante y se expresa de la siguiente manera.

$$q_o = h_{se} - h_{ee}$$

Donde q_o es el efecto refrigerante, h_{se} es la entalpía a la salida del evaporador, h_{ee} es la entalpía a la entrada del evaporador. El flujo de refrigerante que circula en el evaporador para una carga térmica dada, se expresa como.

$$m_r = \frac{Q_o}{q_o}$$

6.3 Proceso de compresión.

La compresión del refrigerante es desde la presión de evaporación hasta la presión de condensación. El trabajo de compresión es:

$$w_c = h_{sc} - h_{ec}$$

Donde h_{sc} es la entalpía en la salida del compresor y h_{ec} es la entalpía a la entrada del compresor.

La potencia del compresor es: $P_c = m_r w_c$

6.4 Proceso de Condensación.

El calor disipado en el proceso de condensación es el siguiente:

$$Q_{cond} = h_{scd} - h_{ecd}$$

Donde h_{scd} es la entalpía a la salida del condensador, h_{ecd} es la entalpía a la entrada del condensador.

6.5 Proceso de expansión.

El refrigerante R-134a se expande desde la presión de condensación hasta la presión de evaporación. Este proceso de expansión se realiza a entalpía constante.

6.6 Coeficiente de operación.

El coeficiente de operación de Carnot es:

$$COP_{CARNOT} = \frac{T_R}{T_O - T_R}$$

Donde T_R es la temperatura promedio del espacio a enfriar, T_O es la temperatura ambiente. Y para obtención del coeficiente de operación real:

$$COP_{REAL} = \frac{q_o}{w_c}$$

6.7 Cálculos para comprar un climatizador

Para conocer la capacidad del aire acondicionado que se debe comprar para determinado lugar se deben tener en cuenta varios factores, ellos son:

- Número de personas que habitarán el recinto.
- Potencia de los aparatos que se encuentran en el lugar que disipen calor (computadores, televisores, electrodomésticos en general). Toda la potencia se liberará como calor.
- Ventilación (posibles fugas de aire que pueda haber como ventanas, puertas, etc.)
- Volumen del lugar en metros cúbicos (m^3) Largo X Ancho X Alto.

Para realizar el cálculo de capacidad se debe tener en cuenta lo siguiente:

- $1kW = 860 \text{ kcal/h}$
- $12.000 \text{ BTU/h} = 1 \text{ TON. DE REFRIGERACION}$
- $1 \text{ kcal} = 3,967 \text{ BTU}$
- $1 \text{ BTU} = 0,252 \text{ kcal}$
- $1\text{kcal/h} = 3,967 \text{ BTU/h}$
- $1HP = 642 \text{ kcal/h}$

Cálculo de capacidad

$$C = 230 \times V + (\#PyE \times 476)$$

Donde:

- 230 = Factor calculado para América Latina "Temperatura máxima de $40 \text{ }^\circ\text{C}$ " (dado en BTU/hm^3)
- V = Volumen del ÁREA donde se instalará el equipo, Largo x Alto x Ancho en metros cúbicos m^3
- #PyE = # de personas + Electrodomésticos instalados en el área.
- 476 = Factores de ganancia y pérdida aportados por cada persona y/o electrodoméstico (en BTU/h)

6.8 Carga sensible por ocupantes (Q_{sp}).

Para calcular la carga sensible que aporta cada persona (Q_{sp}), es necesario conocer previamente las distintas cargas térmicas que origina:

- **Radiación:** Debido a que la temperatura media del cuerpo es superior a la de los objetos que le rodean.
- **Convección:** Ya que la superficie de la piel se encuentra a mayor temperatura que el aire que la rodea, creándose pequeñas corrientes de convección que aportan calor al aire.

- **Conducción:** Originada a partir del contacto del cuerpo con otros elementos que le rodeen.
- **Respiración:** Lo que origina un aporte de calor por el aire exhalado, que se encuentra a mayor temperatura. Aquí se produce también un aporte de vapor de agua que aumentará la humedad relativa del aire.
- **Evaporación cutánea:** Este aporte de calor puede ser importante en verano.

La carga por ocupación tiene, por tanto, una componente sensible y otra latente, debido ésta última tanto a la respiración como a la transpiración. En ambos casos habrá que tener en cuenta el número de ocupantes del cuarto o área.

La expresión para obtener el calor sensible de aporte por la ocupación del local sería la siguiente:

$Q_{sp} = N \cdot C_{sensible, persona}$ siendo:

N: El número de personas que se espera que ocupen el local.

$C_{sensible, persona}$: Es el calor sensible por persona y actividad que realice. Temperatura corporal y función realizada dentro del cuarto.

6.9 Carga sensible por aparatos eléctricos (Q_{se}).

Para el cálculo de la carga térmica aportada por la maquinaria, equipos y demás electrodomésticos presentes en el espacio climatizado del local se considerará que la potencia íntegra de funcionamiento de las máquinas y equipos presente en ese recinto se transformará en calor sensible.

Por otro lado, todos los equipos y electrodomésticos se considera que no funcionarán todos a la vez. Por lo que se deberá tomar un rango de temperatura estable.

6.10 Carga sensible total (Q_s).

La carga sensible total (Q_s) aportada al local es la suma de todas las anteriores:

$$Q_s = Q_{sr} + Q_{str} + Q_{st} + Q_{si} + Q_{sil} + Q_{sp} + Q_{se}$$

7 REFRIGERANTE.

Son productos químicos que se pueden encontrar gaseosos o líquidos estos son usados como transmisores de calor en una máquina térmica. Para obtener una buena refrigeración en nuestro sistema el refrigerante que debemos utilizar debe contener ciertas características:

Característica	Definición
Calor latente de evaporación.	Debe obtener un número alto de calorías en su ebullición para emplear la menor cantidad de refrigerante en el proceso de evaporación.
Punto de ebullición.	Deberá ser bajo para que siempre sea menor a la temperatura de los alimentos almacenados.
Temperatura y presiones de condensación.	Deben ser bajas para condensar rápidamente en presiones de trabajo normales y en las temperaturas usuales del medio enfriador que se emplee en el condensador.
Volumen específico del refrigerante evaporado.	Es el espacio que ocupa el refrigerante en estado de vapor el cual debe ocupar muy poco espacio preferiblemente.
Temperatura y presión crítica.	Es el punto máximo de temperatura y presión donde el refrigerante ya no condensa; por lo tanto, se busca que sea lo más alto posible.
Efecto del aceite lubricante.	El compresor necesita lubricación, por tal razón se busca que el refrigerante no cause ningún efecto en el aceite que este contiene.
Propiedad de inflamación o explosión.	Es recomendable que no sean ni inflamables ni explosivos.
Acción sobre los metales.	No debe atacar ningún metal del sistema.
Propiedades tóxicas.	No debe ser en lo posible tóxico, por consiguiente, no afecta la integridad del ser humano.
Facilidad de localización en las fugas.	Por su composición debe ser fácil ubicar una fuga.

Tabla 1 Características básicas de un refrigerante.

Fuente: integrantes.

Hay varios tipos de refrigerante que dependiendo de cuál sea su aplicación serán seleccionados, pueden encontrarse divididos en tres grupos de seguridad:

Grupo I de alta seguridad: Se encuentran los refrigerantes que no son combustibles y cuya toxicidad es ligera o nula.

Grupo II de alta seguridad: Estos son tóxicos y son inflamables a 3,5% en volumen.

Grupo III de alta seguridad: Generalmente no son tóxicos, pero tienen reglamentos.

Estrictos para su uso y su nivel de combustión o explosión está por debajo del 3,5% en volumen.

Grupo	Denominación simbólica numérica	Nombre químico común	Fórmula química	Punto de ebullición °C	
GRUPO I ALTA SEGURIDAD	R-11	Tricloromonofluorometano	CCl_3F	+23,8	
	R-12	Diclorodifluorometano	CCl_2F_2	-29,8	
	R-13	Monoclorotrifluorometano	$CClF_3$	-81,5	
	R-13B1	Monobromotrifluorometano	$CBrF_3$	-58	
	R-21	Dicloromonofluorometano	$CHCl_2F$	+8,92	
	R-22	Monoclorodifluorometano	$CHClF_2$	-40,8	
	R-113	Triclorotrifluoroetano	$C_2Cl_3F_3$	+47,7	
	R-114	Diclorotetrafluoroetano	$C_2Cl_2F_4$	+3,5	
	R-115	Monocloropentafluoroetano	C_2ClF_5	-38,7	
	R-C318	Octafluorociclobutano	C_4F_8	-5,9	
	R-500	R-12 (73,8%) + R-152 (26,2%)		$CCl_2F_2/C_2H_4F_2$	-28
	R-502	R-22 (48,8%) + R-115 (51,2%)		$CHClF_2/C_2ClF_5$	-45,6
	R-744	Anhídrido carbónico		CO_2	-78,5

Tabla 2. tipos de refrigerantes

GRUPO II MEDIA SEGURIDAD	R-717	Amoníaco	NH ₃	-33,3
	R-30	Diclorometano (cloruro de metileno)	CH ₂ Cl ₂	+40,1
	R-40	Cloruro de metilo	CH ₃ Cl	-24
	R-611	Formiato de metilo	C ₂ H ₄ O ₂	+31,2
	R-764	Anhídrido sulfuroso	SO ₂	-10
	R-160	Cloruro de etilo	C ₂ H ₅ Cl	+12,5
R-1130	Dicloroetileno	C ₂ H ₂ Cl ₂	+48,5	
GRUPO III BAJA SEGURIDAD	R-170	Etano	C ₂ H ₆	-88,6
	R-290	Propano	C ₃ H ₈	-42,8
	R-600	Butano	C ₄ H ₁₀	+0,5
	R-601	Isobutano	(CH ₃) ₃ CH	-10,2
	R-1150	Etileno	C ₂ H ₄	-103,7

Tabla 3 Grupos de seguridad de los refrigerantes. Fuente: Alarcón Creus José.
Libro, Tratado practico de refrigeración automática. Marcombo

En 1990, dentro del programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUE) decidieron la supresión de los refrigerantes halogenados entre los que se encontraban R-11 – R-12 – R-22 y R-502.

Al momento de suceder esto se empezaron a desarrollar nuevos refrigerantes exentos de cloro o también llamados Hidrofluorocarbonados (HFC) quienes reemplazaron a los clorofluorados (CFC); el primer gran cambio fue reemplazar el R-12 por el HFC R-134a y en sustitución del R-502, que se emplea en bajas temperaturas como sustitución de este apareció el HFC 404-A que es una mezcla azeotrópica de R-134a, R-125 y R-143a.

Para este tipo de refrigerantes se debe tener en cuenta que contiene un aceite incongelable el cual no es compatible con los refrigerantes minerales o sintético utilizado por los CFC.

7.1 Refrigerante R134a.

Este es un refrigerante HFC y sustituye a R12 en nuevas instalaciones, Este refrigerante no daña la capa de ozono, posee gran estabilidad térmica y química, baja toxicidad y no es inflamable, posee gran compatibilidad con la mayoría de materiales.

Su miscibilidad parcial con los aceites poliésteres (POE) a base de éster, por tal razón se debe preverse que el retorno del aceite al compresor sea el correcto; se recomienda colocar un filtro en la aspiración ya que estos aceites tienden a limpiar y arrastrar impurezas.

Las presiones de aspiración son más bajas y sus temperaturas de descarga son 10% menores que el R-12, por otra parte, sus temperaturas de condensación son ligeramente más altas; tiene baja capacidad térmica pero alta conductividad térmica,

sus aplicaciones son aire acondicionado para autos, refrigerador doméstico y en transporte frigorífico en temperaturas positivas.

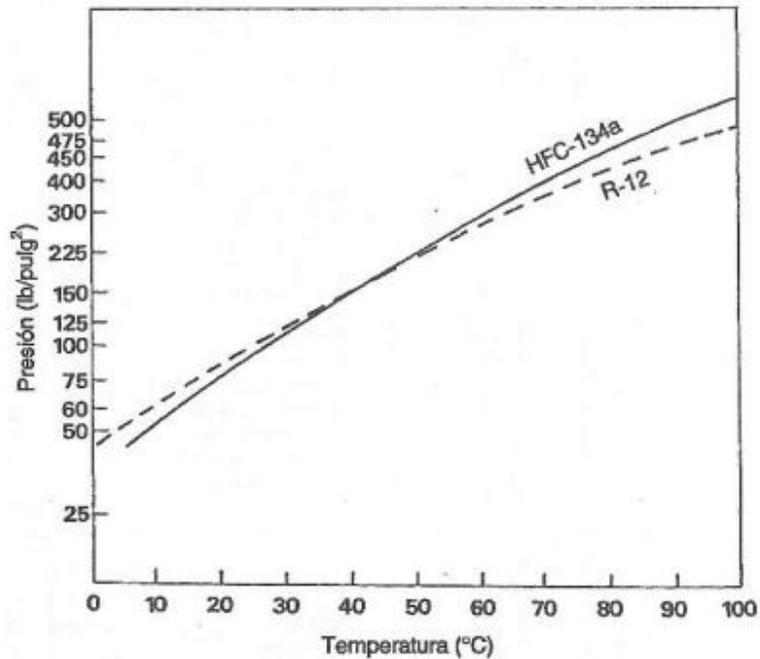


Grafico 1. Grafica de **presión Vs temperatura** para los refrigerantes R-12 y HFC-134a.

Fuente: Alarcón Creus José. Libro, Tratado practico de refrigeración automática. Marcombo.

Cuando su temperatura de evaporación llega hasta -10°C tiene un rendimiento igual que el R-22, pero es recomendable no descender a menos de -20°C , para los intercambiadores de calor no hay necesidad de cambiar su superficie pueden usar la misma que para el R-12.

PROPIEDADES FISICAS	R 134A
Formula química	CH ₂ F-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
Temperatura crítica (°C)	101.1
Presión crítica (bar)	40.67

Tabla 4. Propiedades físicas del gas refrigerante.

Densidad crítica (Kg/l)	0.51
Densidad del líquido (25°C) (Kg/l)	1.206
Densidad del líquido (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 R134a en agua (%)	0.15
Capacidad volumétrica refrig. (-25°C) (Kg/m ³)	1192.11
Inflamabilidad	No

Tabla 5. Características de refrigerante R-134a. Fuente: Manual de refrigerantes para sistemas de refrigeración.

Su punto de ebullición se produce a una presión atmosférica de 1.013 Bar, la temperatura máxima de descarga es de 125°C.

Este es compatible con el cobre, latón, hierro fundido y aluminio con sus aleaciones, por el contrario, no es compatible con el zinc, plomo y las aleaciones de aluminio con más de un 5% de magnesio entre otros como:

COMPATIBILIDAD CON LOS MATERIALES							
ELASTOMEROS				PLASTOMEROS			
	C	PC	NC		C	PC	NC
Goma Butilica	X			Propileno	X		
Neopreno	X			PVC	X		
Buna N	X			Polietileno	X		
Buna S		X		Nylon	X		
Goma fluorada			X	Poliestireno		X	
Goma natural	X			PTFE	X		
Goma siliconada		X		Poliacetileno	X		
Goma EPDM	X			Resina epoxi	X		
Polisulfúrica	X			ABS		X	

C = Compatible PC = Poco Compatible NC = No Compatible

Tabla 6. Materiales compatibles con el refrigerante R-134a. Fuente: Manual de refrigerantes para sistemas de refrigeración.

Presenta mayor riesgo de fugas que el R-12, es recomendable que las uniones no sean roscadas sino soldadas y tener mayor cuidado en la comprobación de fugas, debe utilizarse un detector especial que es ionico-electronico, adicional a esto las válvulas de expansión deben ser las adecuadas para este refrigerante las cuales ya existen en el mercado, de igual manera los filtros secadores a utilizar deben ser los recomendados por el fabricante.

8 INGENIERÍA DE PROYECTO.

8.1 Parámetros del diseño.

Para llevar a cabo el diseño del proyecto planteado anteriormente se tienen como parámetros iniciales los siguientes puntos:

- El diseño debe acoplarse aun refrigerador domestico ya existente, el proyecto se llevará a cabo en la ciudad de Medellín- Colombia de temperatura ambiente de 21,6 °C.
- El material seleccionado para fabricar el recipiente que almacenara el agua, es de acero inoxidable el cual es el más comercial en el mercado y el más indicado para el almacenamiento de líquidos.
- El diseño de esta máquina de refrigeración doméstica, también adecuada para refrigeración de espacios se plantea para almacenar, conservar y refrigerar el lugar las 24 horas del día o cuando se requiera encender.

- Monitoreo de temperatura y consumo del refrigerador domestico con el fin de relacionar los datos teóricos con los experimentales.
- Se realiza un monitoreo de las presiones del gas refrigerante.
- Se traza un estudio para realizar una evaluación sobre el funcionamiento de este dispositivo.

Área de entrada del aire en el evaporador

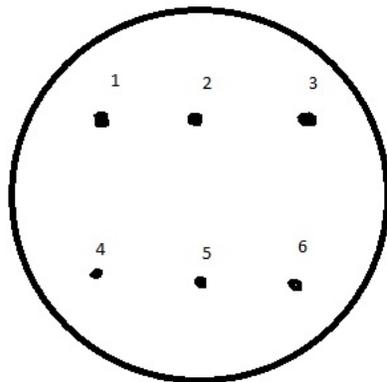


Ilustración 5. Puntos de entradas del evaporador

AREA CALCULADA: 59 in^2

1. 123CFM
2. 185.4CFM
3. 150.2CFM
4. 275CFM
5. 410CFM
6. 414CFM

TOTAL: 260CFM

Área de salida del aire en el evaporador

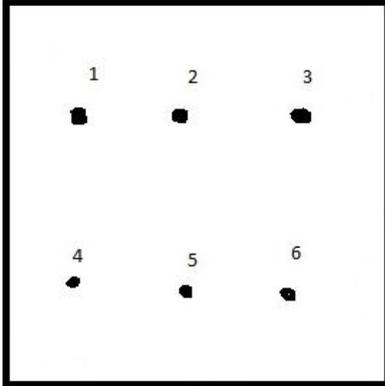


Ilustración 6. Puntos de salida del evaporador.

ÁREA CALCULADA: $160in^2$

1. 183CFM
2. 200CFM
3. 356CFM
4. 225CFM
5. 360CFM
6. 356CFM

TOTAL: 280CFM

Flujo másico aire.

Entrada.

$$\dot{v} = 260 \frac{f^3}{min}$$

$$\rho = 1.225 \frac{kg}{m^3}$$

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

$$\dot{m}_E = \dot{v} \cdot \rho$$

Salida.

$$\dot{v}_s = 280 \frac{f^3}{min}$$

$$\rho = 1.225 \frac{kg}{m^3}$$

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

$$\dot{v}_E = 260 \frac{f^3}{min} * \frac{(0.3048m)^3}{f^3} = 7.36 \frac{m^3}{min}$$

$$\dot{v}_s = 280 \frac{f^3}{min} * \frac{(0.3048)^3}{f^3} = 7.92 \frac{m^3}{min}$$

$$\dot{m}_E = \rho \cdot \dot{v}$$

$$\dot{m}_E = 1.225 \frac{kg}{m^3} * 7.92 \frac{m^3}{min} = 9.702 \frac{kg}{min}$$

Datos agua.

$$\dot{v} = 1560 \frac{L}{h}$$

$$v = 1560 \frac{L}{h} * \frac{1m^3}{1000L} * \frac{1h}{60min}$$

$$v = 0.026 \frac{m^3}{min}$$

$$\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$\dot{m}_A = \rho \cdot \dot{v}$$

$$\dot{m}_A = 1000 \frac{kg}{m^3} * 0.026 \frac{m^3}{min} = 26 \frac{kg}{min}$$

8.2 Pruebas, mediciones y registros.

Para tomar los datos de temperatura entre el sistema y para transmitir esos datos a una base de datos o registros fue necesario instalar sensores.

Sensor:



Ilustración 7. Sensor, registro de temperaturas.

Estos se instalan por todo el refrigerador domestico para conocer los puntos más fríos y determinar el punto de instalación del recipiente que almacenará el fluido para comenzar a enfriar.



Ilustración 8. Sensores en puntos clave de del refrigerador. Conservación de alimentos

La instalación de los sensores de temperatura se hace en puntos específicos luego de conocer las funciones de un refrigerador domestico con la idea de llevar un registro de la temperatura que registra este durante diferentes horas del día

Las características del arduino se da a conocer en las siguientes imágenes y se procede hacer una descripción de cada herramienta mostrando los respectivos planos y conexiones en este.



Ilustración 9. Sensores de temperatura instalados en el congelador de alimentos.

- Utilizable con 3.0V a 5.5V de alimentación / datos.
- $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ de precisión desde: -10 a $+85^{\circ}\text{C}$
- Rango de temperatura utilizable: -55 a 125°C (-67 a $+257^{\circ}\text{F}$)
- Resolución seleccionable de 9 a 12 bits.

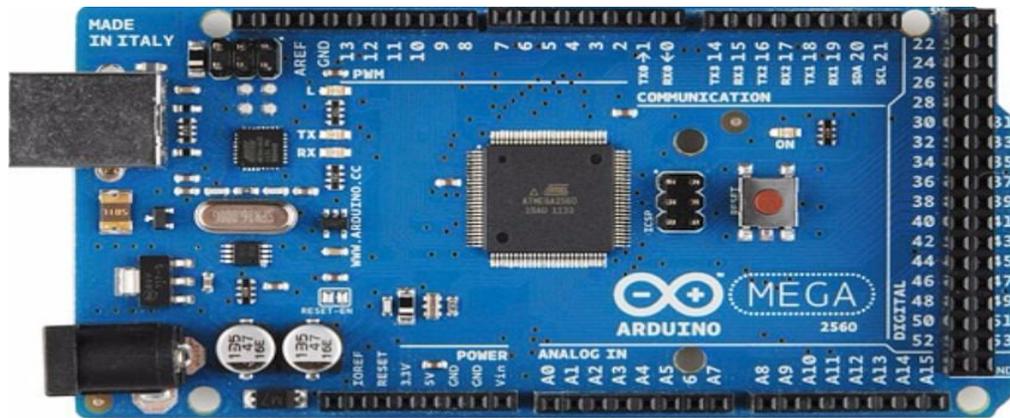


Ilustración 10. Micro controlador

Micro controlador

- Micro controlador ATmega2560.
- Voltaje de entrada de – 7-12V.
- 54 pines digitales de Entrada/Salida (14 de ellos son salidas PWM).
- 16 entradas análogas.
- 256k de memoria flash.

Velocidad del reloj de 16Mhz.



Ilustración 11. Sensor de temperatura para registros de cada tiempo en el proceso.

Sensor de temperatura para registros de cada tiempo en el proceso.

- Exactitud de ± 2 ppm operando a una temperatura de 0°C a +40°C
- Módulo cuenta con reloj DS3231 y memoria EEPROM I2C
- Registro de segundos, minutos, horas, día de la semana, fecha, mes y año con compensación de años bisiestos hasta 2100
- El DS3231 Incluye sensor de temperatura con exactitud de +/- 3 grados centígrados
- 2 alarmas programables por hora/fecha
- Salida de señal cuadrada programable



Ilustración 12. Manómetros de alta y de baja, para registrar las variaciones de presión en el gas refrigerante.

Manómetros de alta y de baja, para registrar las variaciones de presión en el gas refrigerante.

Las presiones del gas se mantuvieron constantes. después de ser instaladas en los conductos estos no mostraron variaciones de presión y siempre se registró la misma.



Ilustración 13. Presiones en manómetros. Mide presión de baja.



Ilustración 14. Registro de en manómetros, mide presión de alta.

En el funcionamiento del refrigerador se puede analizar que entre más ocupado este de alimentos es más frecuente que se encienda el compresor y circule el gas refrigerante por el sistema y comience a extraer el calor de estos por los que se dé

el aumento de presión de alta, aunque se mantiene en este punto frecuentemente ya que el gas refrigerante realiza el recorrido cumpliendo el ciclo termodinámico.

- Sistema de visualización:
Analógico
- Tecnología:
de tubo Bourdon de líquido
- Aplicaciones:
de proceso, para gas refrigerante, para HVAC
- Otras características:
de latón, robusto
- Presión:
Máx.: 800 psi
Mín.: 0 psi (0 psi)

El prototipo de este proyecto consta de dos manómetros uno de alta el cual está ubicado después de compresor y el de baja antes de retornar el gas refrigerante de nuevo al compresor para lograr ver las presiones que tiene el sistema ,también tiene siete sensores de temperatura los cuales están ubicados dos en el congelador y el resto de los sensores por diferentes partes estratégicas de la nevera, un sensor de corriente el cual nos indica el gasto energético del compresor ,un sensor rtc el cual captura la información más exacta ya que es la que da a conocer la fecha y hora de la toma de datos recopilados en tanto tiempo determinado.

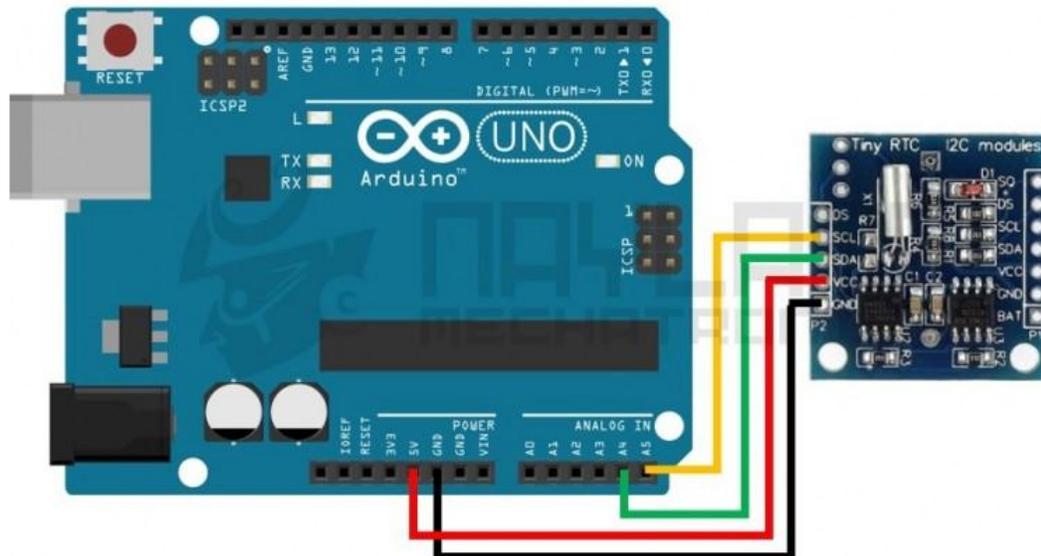


Ilustración 15. microcontrolador

Plano de conexiones para proceder con los registros.

Se realizan las conexiones para dar inicio con la toma de datos y proceder a registrar las temperaturas que son arrojadas por los sensores instalados.

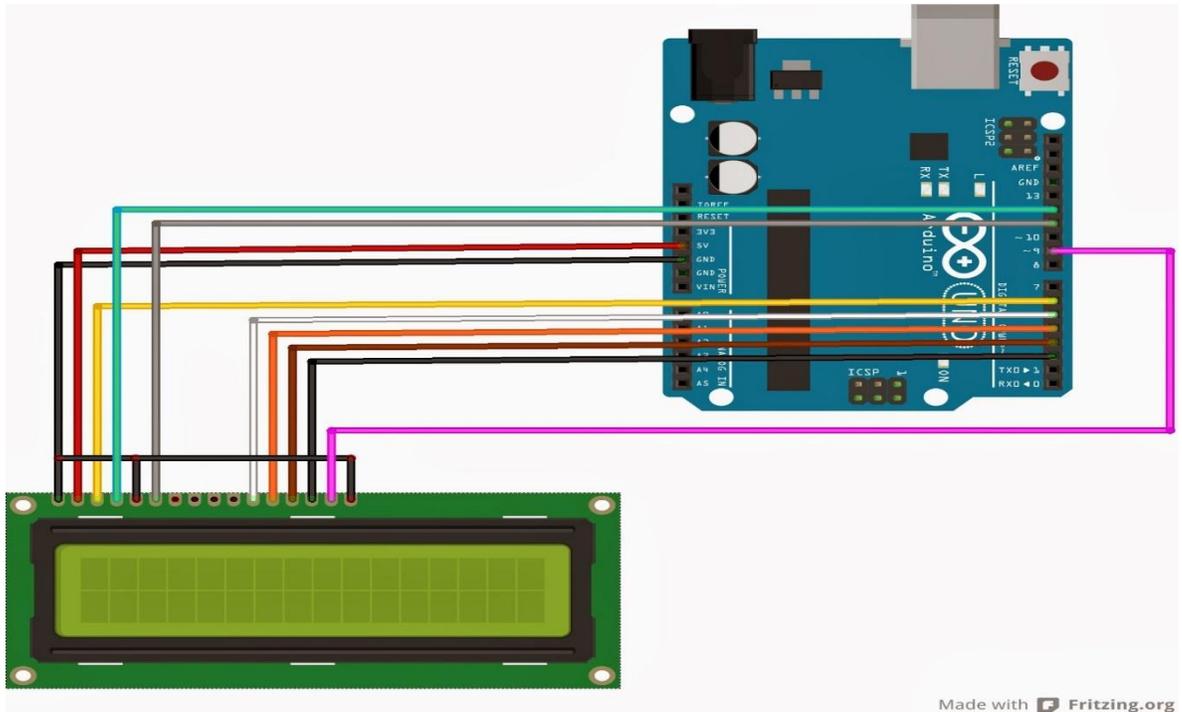


Ilustración 16. Plano de conexiones para la posterior toma de datos en conjunto con el Arduino



Ilustración 17. recipiente para almacenar el fluido

Se procede a instalar el recipiente para almacenar el fluido en el refrigerador doméstico y tomar los datos de temperatura y funcionamiento de este por medio del arduino.

Este recipiente almacenará el fluido (agua) que será utilizado para enfriar a medida que se hace circular impulsado por una bomba en donde este realiza un recorrido enfriando y absorbiendo calor, gracias a las propiedades que tiene el agua para ganar calor y perderlo forzosamente en un instante de tiempo, permitiendo la refrigeración del cuarto. Estas propiedades son estudiadas y registradas con las herramientas descritas en el desarrollo del proyecto.

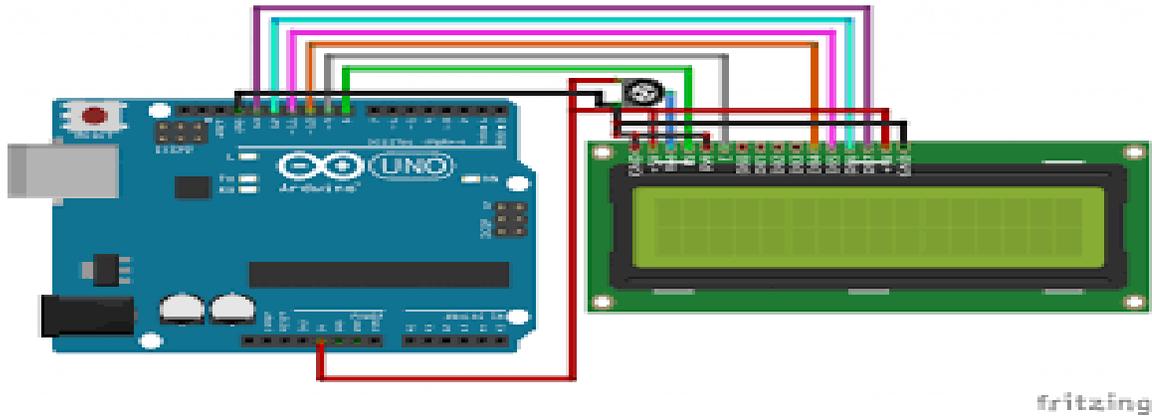


Ilustración 18 .esquema del micro controlador conectado a la pantalla

Se completan las conexiones mostradas en el plano para dar inicio con todos los registros, después de instalado el recipiente.



Ilustración 19.esquema de la instalación

Luego de instalado el recipiente, sensores y manómetros de presión alta y de presión baja los sensores toman temperaturas y son mostradas por medio de la pantalla que revela lo registrado por el medio de arduino.

Como se comienza mostrar en las siguientes imágenes la pantalla muestra las temperaturas de cada sensor instalado en las partes el refrigerador doméstico, conservador de alimentos y congelador de alimentos.



Ilustración 20.registro de datos en la pantalla

Temperaturas de funcionamiento en el refrigerador, estas varían muy poco.



Ilustración 21. Temperaturas del refrigerador (conservador de alimentos).

9 Resultados.

TODAS LAS TEMPERATURAS ESTAN DADAS EN GRADOS CELSIUS ()									
IP	P	TIEMPO	TCONGELADOR1	TCONGELADOR2	TREFRIGERADOR1	TREFRIGERADOR2	TREFRIGERADOR3	TREFRIGERADOR4	TREFRIGERADOR5
amp	watts	minutos	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
0,00	0,19	0	-9,31	-8,44	0,81	3,50	5,50	5,56	9,25
2,5	275,54	10	-14,63	-12,63	0,63	3,31	5,50	5,50	9,25
2,51	276,50	20	-8,81	-7,94	0,88	3,38	5,5	5,56	9,25
0,00	0,12	30	-13,69	-12,06	0,63	3,19	5,5	5,5	9,19
2,52	276,65	40	-9,06	-7,75	0,88	3,44	5,5	5,56	9,19
0	0,16	50	-12,63	-11,25	0,5	3,38	5,5	5,5	9,13
2,62	288,46	60	-9,56	-8,63	0,37	3,06	5,13	5,19	8,75
2,6	285,54	70	-9,13	-8,19	0,37	3,13	5,13	5,19	8,75
2,59	285,21	80	-9,56	-8,56	0,31	3,06	5,13	5,19	8,75
2,52	276,95	90	-9,13	-7,75	0,44	3,06	5,13	5,19	8,75
2,5	274,5	100	-9,13	-8,38	0,44	3,06	5,13	5,19	8,75
2,56	281,81	110	-11,06	-8,19	0,37	3	5,06	5,19	8,69
0	0,16	120	-13,69	-10,44	0,37	3	5,13	5,06	8,69
0	0,35	130	-13,13	-11,56	0,12	2,94	5,06	5	8,63
2,6	285,73	140	-9,63	-8,69	0,31	3,06	5,06	5,13	8,63
2,52	276,92	150	-9,75	-7,75	0,44	2,94	5,06	5,13	8,69
2,49	273,6	160	-12,13	-9,19	0,44	2,94	5,13	5,13	8,69
0	0,04	170	-14,5	-11,31	0,31	2,94	5,13	5,06	8,63
0	0,08	180	-13,94	-12,19	0,12	2,94	5,06	5	8,63
2,57	282,79	190	-9,56	-8,94	0,5	3,81	6	5	9
2,52	276,76	200	-9,63	-8	0,63	3,69	6	4,38	9
2,48	272,84	210	-9,31	-7,94	0,69	3,75	6	4,5	8,94
2,44	268,67	220	-10,25	-8,06	0,69	3,75	6	4,31	8,94
2,46	270,79	230	-11,5	-8,69	0,63	3,75	6	4,19	8,94
0	0,32	240	-12,81	-9,69	0,63	3,75	6	4,13	8,94
0	0,16	250	-14,13	-10,81	0,56	3,75	6	4	8,94

Tabla 7.datos de resultados

Los datos obtenidos en la tabla son datos estándar de la nevera, temperaturas en el congelador y refrigerador, la potencia.

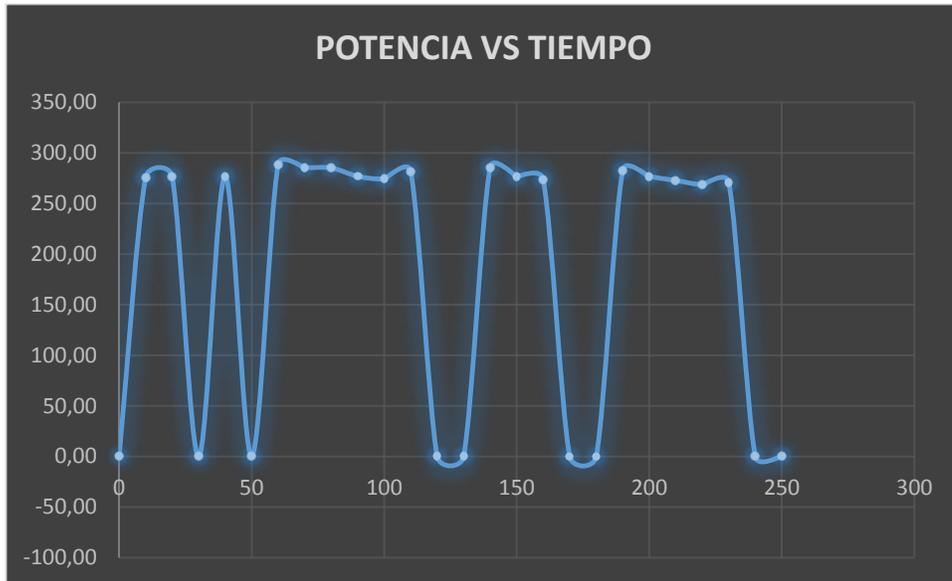


Grafico 2.potencia vs tiempo

En esta grafica podemos observar que la potencia requerida por un sistema de refrigeración de una nevera aumenta y disminuye debido a las cargas terminas que se ingresan con diferentes alimentos y las pérdidas de calor con el fluido que se encuentra almacenado en el tanque recirculando por el ciclo cerrado para adicionar frio al aire al ambiente.

Nota: el fluido de trabajo empleado en el sistema del aire acondiona es agua.

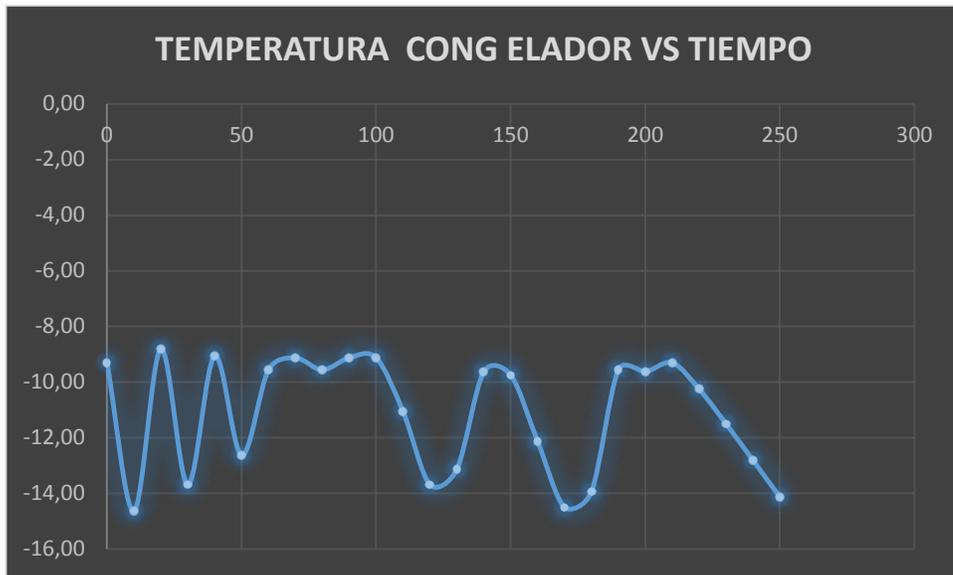


Grafico 3.temperatura del congelador vs tiempo

Podemos observar en la gráfica que la temperatura varía con el tiempo ya que como es muy común en una nevera estar generando mayor carga termina debido al ingreso de alimentos ya sea para la congelación o la refrigeración de ellos.

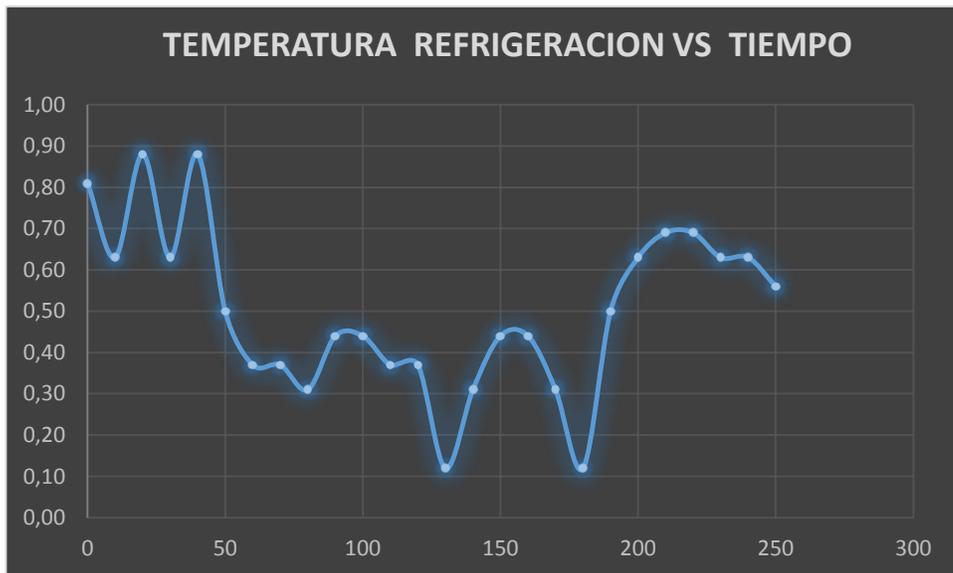


Grafico 4.temperatura del refrigerador vs tiempo



Ilustración 22. nevera y aire acondicionado unidos

10 Conclusiones.

De los resultados experimentales obtenidos y de la aplicación de la metodología desarrollada en este proyecto se procede a evaluar el ciclo real de refrigeración con la finalidad de realizar una comparación de efectividad en el sistema de refrigeración doméstica.

La presión de condensación se mantiene constante en el desarrollo del proceso ya que la temperatura ambiente no vario significativamente.

Con los resultados obtenidos en el análisis de flujo de aire se demostró que la eficiencia del condensador utilizado en el prototipo es ala para un cuarto de poca dimensión, ya que cumple con los requerimientos de poder retirar el mayor calor posible para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

Este prototipo es de gran importancia teniendo en cuenta que con la optimización del mismo se puede dar a conocer en un mercado como las poblaciones lejanas que tengan la necesidad de sistemas de refrigeración alternativas donde sea imposible el acceso a sistemas convencionales de compresión mecánica.

11 Referencias

- Enescu, D., Ciocia, A., Mazza, A., & Russo, A. (2017). Solutions based on thermoelectric refrigerators in humanitarian contexts. 16.
- Lychnos, G., & Tamainot-Telto, Z. (2018). Prototype of hybrid refrigeration system using refrigerant R723. 12.
- Ouali, M., Djebiret, M., Randha Ouali, R., Mokrane, M., Kesbadji Merzouk, N., & Bouabdallah, A. (2016). Thermal control influence on energy efficiency in. 7.
- Saji Raveendran, c., & Sekhar, S. (2016). Performance studies on a domestic refrigerators retrofitted with building-integrated water-cooled condenser. *Energy and Buildings*, 10.
- Borjes, B., Melo, C., & Hermes, C. (2014). Prediction of Evaporator Frosting in Household., (pág. 10). brazil.
- creus, j. a. (Edición de 01/2009 en Español). *tratado practico de refrigeracion automatica (11a ED)*. marcombo.
- Flores, J., Barroso Maldonado, J., Rodríguez Muñoz, A., & Camacho Vázquez, G. (2015). Renewable and Sustainable Energy Reviews. 14.
- Lee, H., Ki, S., Jung, S., & Rhee, W. (2008). The Innovative Green Technology for Refrigerators. *International Compressor Engineering Conference*, (pág. 7).
- Waltrich, P., Barbosa Jr., J., Hermes, C., & Melo, C. (2010). Air-side heat transfer and pressure drop characteristics. *Department of Mechanical Engineering, Federal University of Parana'*, 14.