

2013

UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA



TUTORIAL DEL SOFTWARE REFRI-TERM V.1.0

El presente documento contiene una serie de instructivos para el uso y manejo del software Refri-term V.1.0 dando además ejemplos y aplicaciones de cada una de las opciones de trabajo que el software presente.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
¿QUÉ ES Y PARA QUÉ SIRVE REFRI-TERM V.1.0?.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
ELEMENTOS DEL REFRI-TERM V.10.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
EMPEZANDO A TRABAJAR CON REFRI-TERM V.1.0.	.	.	.	.	.	.	.	.	5
1. CONCEPTOS BÁSICOS DE REFRIGERACIÓN.	.	.	.	.	.	.	.	.	5
2. CICLOS DE REFRIGERACIÓN A TRABAJAR.	.	.	.	.	.	.	.	.	5
2. 1 Ciclo de refrigeración simple.	.	.	.	.	.	.	.	.	5
2.1.1 Aplicación de un ciclo de refrigeración simple por compresión de vapor	.	.	.	.	.	.	.	.	7
2.2 Sistema de refrigeración en cascada.	.	.	.	.	.	.	.	.	9
2.2.1 Aplicación de un ciclo de refrigeración en cascada de dos etapas	.	.	.	.	.	.	.	.	10
2.3 Ciclo de refrigeración por compresión de múltiples etapas..	.	.	.	.	.	.	.	.	12
2.3.1 Aplicación de un ciclo de refrigeración por compresión de múltiples etapas.	.	.	.	.	.	.	.	.	13
2.4 Sistemas de refrigeración por absorción.	.	.	.	.	.	.	.	.	16
2.4.1 Aplicación de un ciclo de refrigeración por absorción.	.	.	.	.	.	.	.	.	17

INTRODUCCIÓN

¿QUÉ ES Y PARA QUÉ SIRVE REFRI-TERM V.1.0?

Refri-term V.1.0 es una aplicación desarrollada en el lenguaje de programación de MATLAB que permite realizar cálculos de diferentes ciclos de refrigeración.

Una de las principales áreas de aplicación de la termodinámica y de la ingeniería es la refrigeración, que es la transferencia de calor de una región de temperatura inferior hacia una de temperatura superior. En esta aplicación se aborda principalmente el ciclo de refrigeración por compresión de vapor, donde el refrigerante se evapora y se condensa alternadamente, para luego comprimirse en la fase de vapor. También es tratada la refrigeración por absorción, donde el refrigerante se disuelve en un líquido antes de ser comprimido para aprovechar su capacidad de absorber calor.

Con la aplicación **Refri-term V.1.0** es posible realizar diferentes ejercicios de ciclos de refrigeración simple, y con modificaciones (cascada y multi-etapa), además del ciclo de refrigeración por absorción en muy poco tiempo únicamente ingresando los datos principales, permitiendo obtener las propiedades de cada una de las corrientes de fluido, el trabajo realizado por el compresor, el calor retirado y liberado, el *COP*, además del diagrama $T - s$ del ciclo.

ELEMENTOS DEL REFRI-TERM V.10

Para inicial la aplicación debemos darle doble clic al archivo **Refri-term V.1.0** de Matlab. Al iniciar se tiene una ventana como la siguiente (figura 1), en donde podemos seleccionar el ciclo de refrigeración que se necesite trabajar. Como se puede observar Refri-term V.1.0 presenta cuatro opciones de trabajo que son:

- Ciclo de refrigeración Simple.
- Ciclo de refrigeración en cascada.
- Ciclo de refrigeración multi-etapa.
- Ciclo de refrigeración por absorción.



Figura 1. Pantalla de inicio de Refri-term V.1.0.

Como se aprecia en la figura 1, la pantalla de inicio contiene una serie de opciones de trabajo; para utilizar cualquiera de estas opciones solo basta en seleccionarla y darle click al botón Ir. Además se encuentra el botón Salir el cual permite dar por finalizado el programa y un botón de Autores que abre una nueva ventana con la información referente a los creadores de Refri-term V.1.0 (Figura 2).

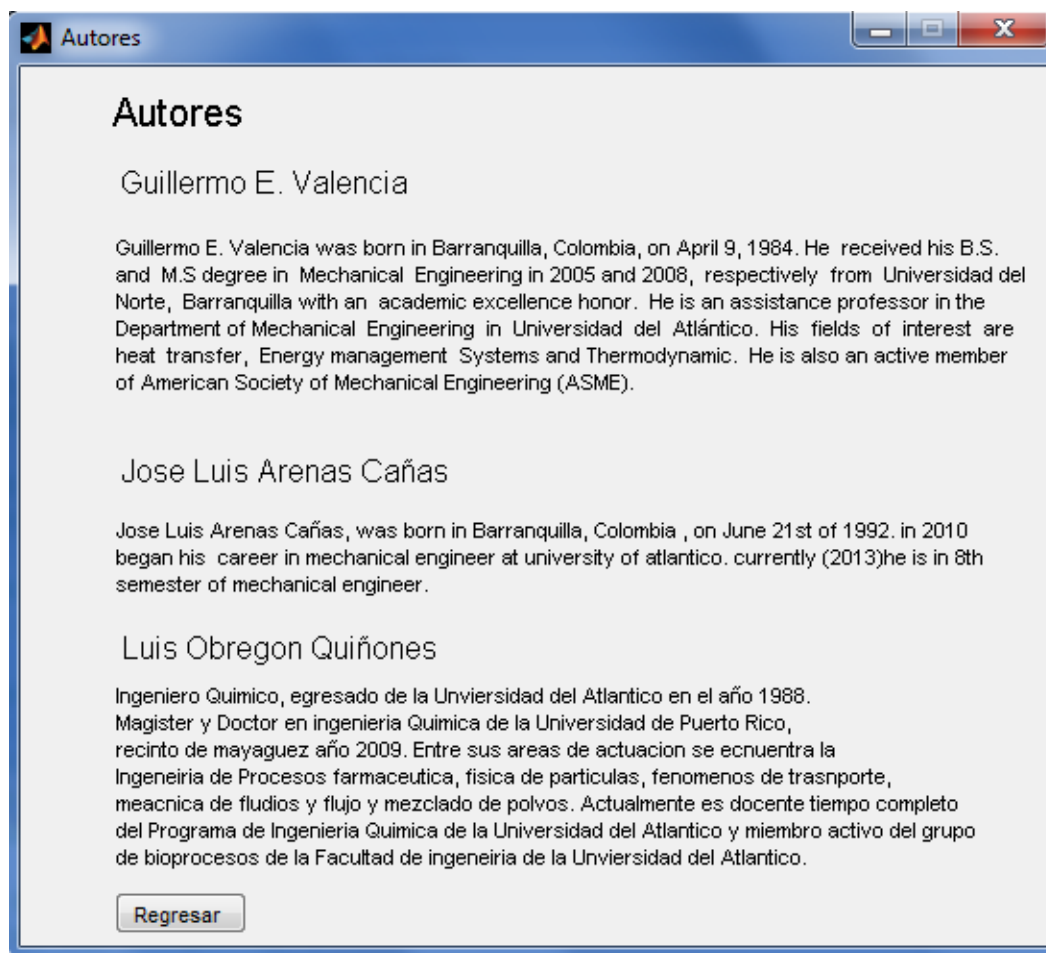


Figura 2. Pantalla de información sobre creadores de Refri-term V.1.0.

EMPEZANDO A TRABAJAR CON REFRI-TERM V.1.0

1. CONCEPTOS BÁSICOS DE REFRIGERACIÓN

Refri-term V.1.0 permite realizar cálculos para ejercicios de ciclos de refrigeración. Los ciclos de refrigeración son utilizados para hacer fluir un calor Q_L (Calor de baja) de una zona de temperatura baja T_L a una zona de temperatura alta T_H la magnitud de calor Q_H (Calor de alta). Principalmente está compuesto por los siguientes elementos:

- Compresor: se encarga de comprimir el gas de trabajo a presiones muy altas. Para funcionar necesita un $W_{neto,entrada}$
- Condensador: funciona como intercambiador del calor Q_H entre el gas de trabajo y el medio a alta temperatura. Es ubicado en el exterior de la zona a refrigerar.
- Válvula de estrangulamiento: se encarga de restringir el paso de gas de trabajo causándole una caída de presión importante que muchas veces va acompañada de una disminución de la temperatura.
- Evaporador: funciona como intercambiador del calor Q_L entre el gas de trabajo y el medio a baja temperatura. Es ubicado en el interior de la zona a refrigerar.

El desempeño de refrigeradoras se expresa en términos del coeficiente de desempeño COP por sus siglas en inglés (*coefficient of performance*), definido como:

$$COP = \frac{\text{Salida deseada}}{\text{Entrada de trabajo}} = \frac{Q_L}{W_{neto,entrada}}$$

3. CICLOS DE REFRIGERACIÓN A TRABAJAR

2. 1 Ciclo de refrigeración simple.

En un ciclo de refrigeración por compresión de vapor simple (figura 3), el refrigerante entra al compresor en el estado 1 como vapor saturado proveniente del evaporador y se comprime hasta la presión del condensador. La temperatura del refrigerante aumenta durante el proceso de compresión hasta una temperatura mayor a la del medio circundante. Después el refrigerante entra en el condensador como vapor sobrecalentado en el estado 2 y sale como líquido saturado en el estado 3, como resultado del rechazo de calor hacia los alrededores. El refrigerante líquido saturado se estrangula a la presión del evaporador, al pasar por una válvula de estrangulamiento, donde la temperatura del refrigerante desciende por debajo de la temperatura del espacio refrigerado. El refrigerante entra al evaporador en el estado 4 como un vapor húmedo de baja calidad, y se evapora por completo absorbiendo calor del espacio refrigerador. El refrigerante sale del evaporador como vapor saturado y vuelve a entrar al compresor, completando el ciclo. En la siguiente imagen se puede observar un esquema de los componentes del ciclo.

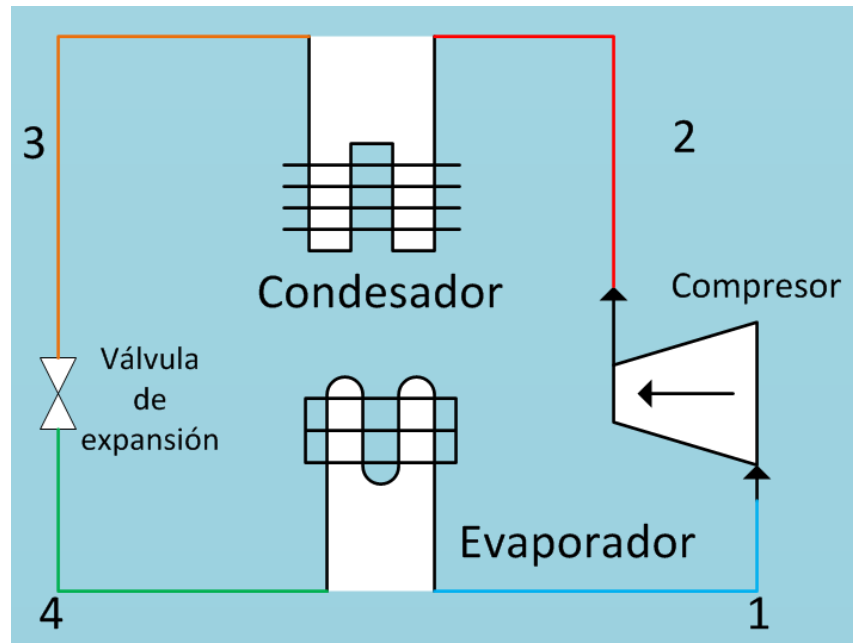


Figura 3. Componentes básicos de un sistema de refrigeración por compresión de vapor.

Los cuatro componentes básicos asociados con el ciclo de refrigeración por compresión de vapor simple son dispositivos de flujo estacionario, por lo cual los cuatro procesos pueden analizarse como procesos de flujo estacionario. Los cambios en la energía cinética y potencial del refrigerante suelen ser pequeños en relación con los términos de trabajo y transferencia de calor, y por lo tanto, pueden ignorarse. Entonces la ecuación de energía de flujo estacionario por unidad de masa se reduce a:

$$(q_{\text{entrada}} - q_{\text{salida}}) + (W_{\text{entrada}} - W_{\text{salida}}) = h_f - h_i$$

Además el *COP* puede expresarse como:

$$COP = \frac{q_L}{W_{\text{neto,entrada}}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

2.1.1 Aplicación de un ciclo de refrigeración simple por compresión de vapor

A partir del uso de refrigerante 134 a en un refrigerador como fluido de trabajo, el cual opera bajo un ciclo ideal de compresión de vapor entre 0.14 y 0.8 MPa; a partir de un flujo de 0.05 kg/s. Dicho ejercicio se puede resolver a partir del uso del software Refri-term V.1.0; para realizar dicho análisis se procede de la siguiente manera:

- Se abre el programa escogiendo en la ventana principal (Figura 4) la opción de ciclo de vapor por compresión de vapor dando click posteriormente en el botón Ir para abrir la ventana de entorno de trabajo.



Figura 4. Ventana principal, selección de un ciclo de refrigeración por compresión de vapor.

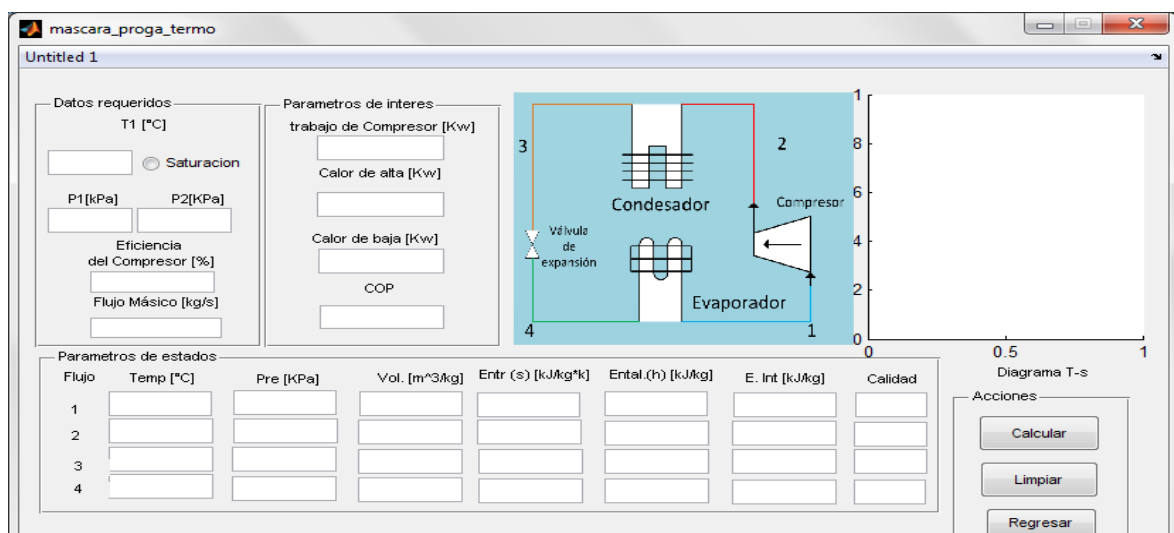


Figura 5. Ventana de trabajo de un ciclo de refrigeración por compresión de vapor.

- En la figura 5 se aprecia la ventana de trabajo para el análisis de un ciclo de refrigeración por compresión de vapor, cabe mencionar que en la sección de datos requerido (Arriba a la derecha Figura 6), se indican los datos que necesita el programa para su normal funcionamiento; En cada una de estas casillas se procede a introducir cada uno de los datos dados por el ejercicio, teniendo mucho cuidado en las unidades que maneja el software y lo que representa cada casilla del mismo.

Datos requeridos

T1 [°C]

☒ Saturacion

P1[kPa] P2[kPa]

Eficiencia del Compresor [%]

Flujo Másico [kg/s]

NOTAS:

- $P1[KPa]$: Presión de Baja.
- $P2[KPa]$: Presión de Alta.
- El software reconoce el punto "." como indicador de la parte decimal.

Figura 6. Anotaciones referentes a los datos de interés.

- A partir de los datos de interés previamente introducido se da click en Calcular y se obtienen los resultados que se muestran en la figura 7.

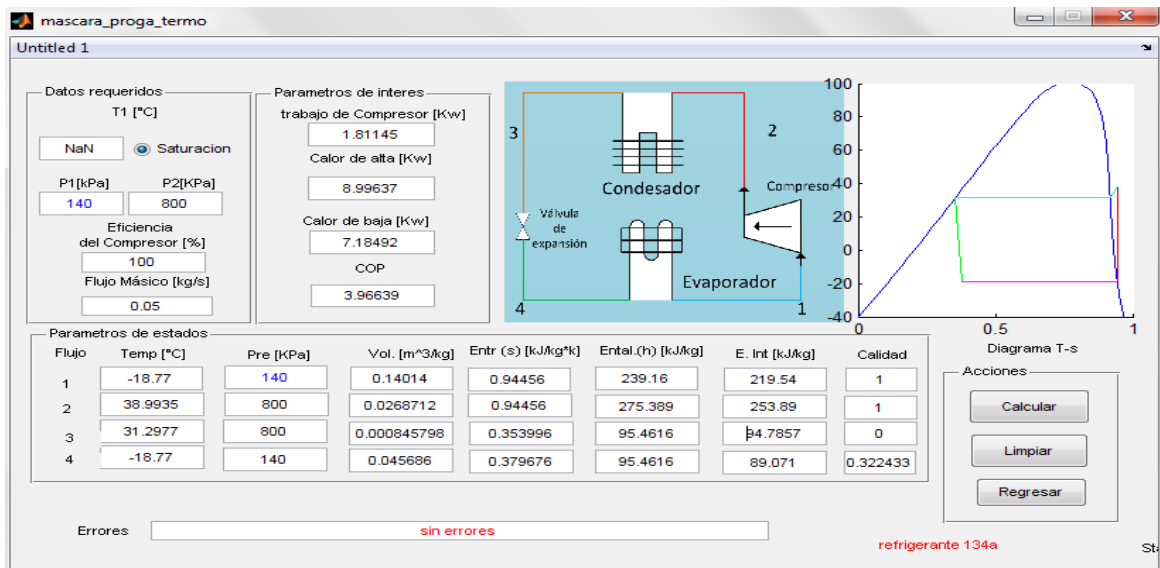


Figura 7. Ventana de resultados de un ciclo de refrigeración por compresión de vapor.

2.2 Sistema de refrigeración en cascada.

En ciertas aplicaciones cuando se requieren temperaturas moderadamente bajas, y el intervalo de temperatura que involucran es demasiado grande para que un ciclo de refrigeración por compresión de vapor simple resulte práctico. Un gran intervalo de temperatura significa también un gran nivel de presión en el ciclo y un pobre desempeño en un compresor. Una manera de enfrentar esas situaciones consiste en efectuar el proceso de refrigeración por etapas, es decir, tener dos o más ciclos de refrigeración que operan en serie.

Los dos ciclos se conectan por medio de un intercambiador de calor en el medio, tal como se ve en la figura, el cual sirve como el evaporador para el ciclo superior (ciclo A) y como el condensador en el ciclo inferior (ciclo B). Tal como en el ciclo de refrigeración por compresión de vapor simple, el balance de energía para un proceso de flujo estacionario en el intercambiador de calor y sin variaciones de la energía cinética y potencial es el siguiente:

$$\dot{m}_A(h_5 - h_8) = \dot{m}_B(h_2 - h_3)$$

$$\frac{\dot{m}_A}{\dot{m}_B} = \frac{h_2 - h_3}{h_5 - h_8}$$

Además,

$$COP = \frac{\dot{Q}_L}{W_{neto,entrada}} = \frac{\dot{m}_B(h_1 - h_4)}{\dot{m}_A(h_6 - h_5) + \dot{m}_B(h_2 - h_1)}$$

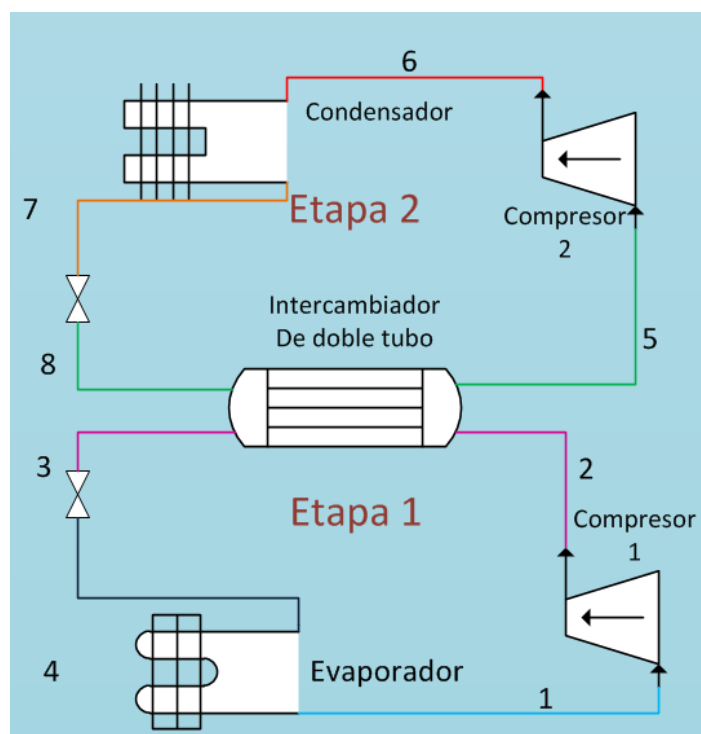


Figura 8. Componentes de un ciclo de refrigeración en cascada.

2.2.1 Aplicación de un ciclo de refrigeración en cascada de dos etapas

A partir del uso de refrigerante 134a como fluido de trabajo, el cual opera bajo un ciclo ideal de refrigeración en cascada de dos etapas entre los límites de presión 0.14 y 0.8 MPa ; cabe mencionar que la presión presente en el intercambiador de calor en contraflujo adiabático es de 0.32 MPa , a partir de un flujo de 0.05 kg/s en el ciclo superior y de 0.039 kg/s en el ciclo inferior. Dicho ejercicio se puede resolver a partir del uso del software Refri-term V.1.0; para realizar dicho análisis se procede de la siguiente manera:

- Se abre el programa escogiendo en la ventana principal (Figura 9) la opción de ciclo de refrigeración en cascada dando click posteriormente en el botón Ir para abrir la ventana de entorno de trabajo.



Figura 9. Ventana principal, selección de un ciclo de refrigeración en cascada.

- En la figura 11 se aprecia la ventana de trabajo para el análisis de un ciclo de refrigeración en cascada, cabe mencionar que en la sección de datos requerido (Arriba a la derecha Figura 10), se indican los datos que necesita el programa para su normal funcionamiento; En cada una de estas casillas se procede a introducir cada uno de los datos dados por el ejercicio, teniendo mucho cuidado en las unidades que maneja el software y lo que representa cada casilla del mismo.

Datos de entrada

Etapas

Etapas 1

P1[Kpa] P2[Kpa]

140 320

Eficiencia flujo masico

Comp 1 [%] 2 [Kg/s]

100 0.039

Etapas 2

P5[Kpa] P6[Kpa]

320 800

Eficiencia flujo masico

Comp 2 [%] 1 [Kg/s]

100 0.05

NOTAS:

- $P1[KPa]$: Presión de Baja.
- $P2[KPa]$: Presión de Media.
- $P5[KPa]$: Presión de Baja.
- El software reconoce el punto "." como indicador de la parte decimal.

Figura 10. Anotaciones referentes a los datos de interés.

A partir de los datos de interés previamente introducido se da click en Calcular y se obtienen los resultados que se mues

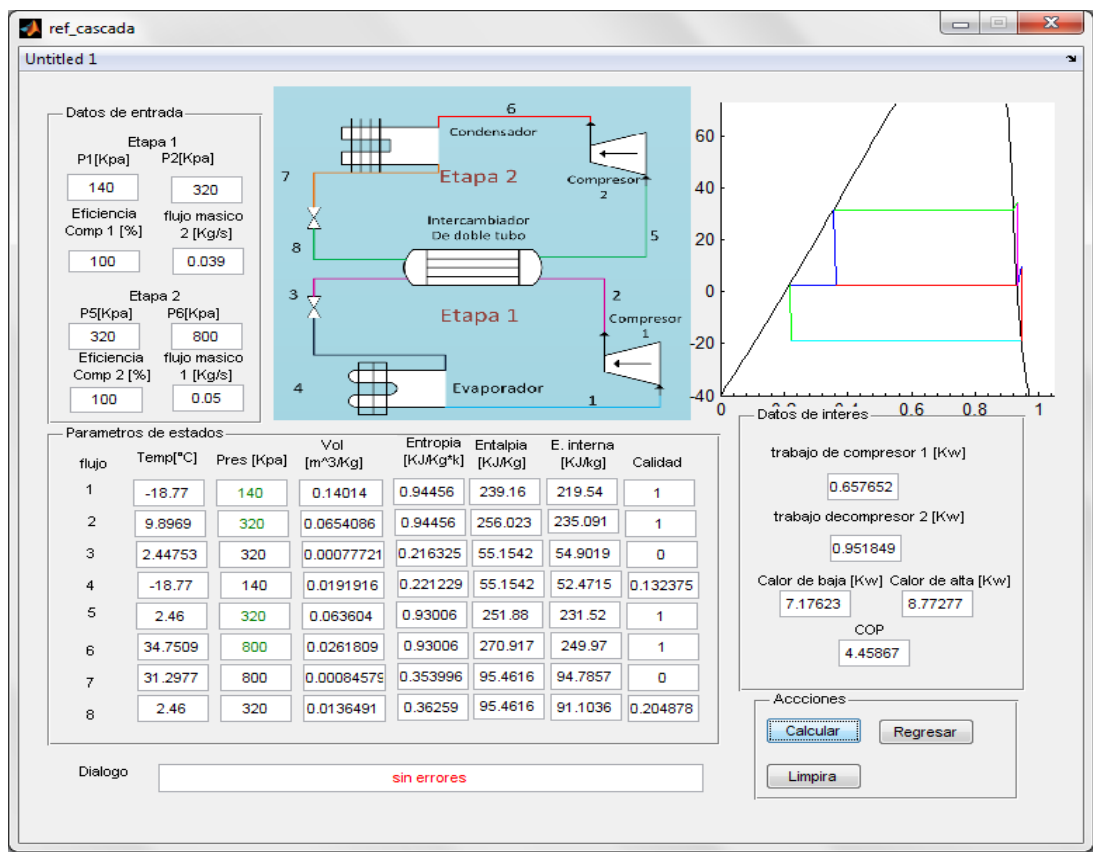


Figura 11. Ventana de resultados de un ciclo de refrigeración en cascada de dos

2.3 Ciclo de refrigeración por compresión de múltiples etapas.

Cuando el fluido utilizado por todo el sistema de refrigeración en cascada es el mismo, el intercambiador de calor entre las etapas puede sustituirse por una cámara de mezclado (llamada cámara de vaporización instantánea), puesto que tienes mejores características de transferencia de calor. Un sistema de refrigeración por compresión de dos etapas se muestra en la figura 12.

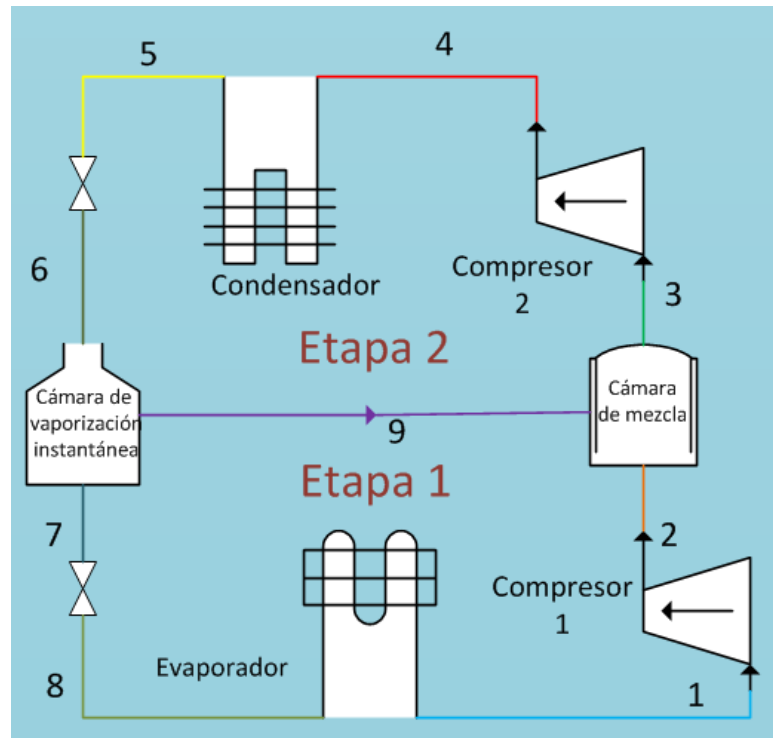


Figura 12. Componentes de un ciclo de refrigeración de múltiples etapas.

En este sistema, el refrigerante líquido se expande en la primera válvula de expansión hasta la presión de la cámara de vaporización instantánea, que es la misma que la presión entre las etapas del compresor. Parte del líquido se evapora durante este proceso. Este vapor saturado (estado 3) se mezcla con el vapor sobrecalentado del compresor de baja presión (estado 2), y la mezcla entra al compresor de presión alta en el estado 9. Esto es, en esencia, un proceso de refrigeración. El líquido saturado (estado 7) se expande a través de la segunda válvula de expansión hacia el evaporador, donde recoge calor del espacio refrigerado.

2.3.1 Aplicación de un ciclo de refrigeración por compresión de múltiples etapas.

Un sistema de refrigeración por compresión de dos etapas opera en los límites de presión de 1000 y 140 kPa . El fluido de trabajo es refrigerante 134a. El refrigerante sale del condensador como líquido saturado y se estrangula a una cámara de vaporización instantánea a 500 kPa . El refrigerante que sale del compresor de baja presión se conduce a la cámara de mezcla. El vapor de la cámara de mezcla se comprime luego a la presión del condensador mediante el compresor de alta presión. El líquido se estrangula a la presión del evaporador. Suponiendo que el refrigerante sale del evaporador como vapor saturado y sabiendo que ambos compresores tienen una eficiencia de 90%, determine el trabajo de cada uno de los compresores, el calor retirado y el COP del sistema.

Este problema puede ser resuelto a partir del uso de la aplicación Refri-term V.1.0 procediendo de la siguiente manera:

- Se abre el programa escogiendo en la ventana principal (Figura 13) la opción de ciclo de refrigeración de múltiples etapas dando clic posteriormente en el botón Ir para abrir la ventana de entorno de trabajo.



Figura 13. Ventana principal, selección de un ciclo de refrigeración por multi-etapa.

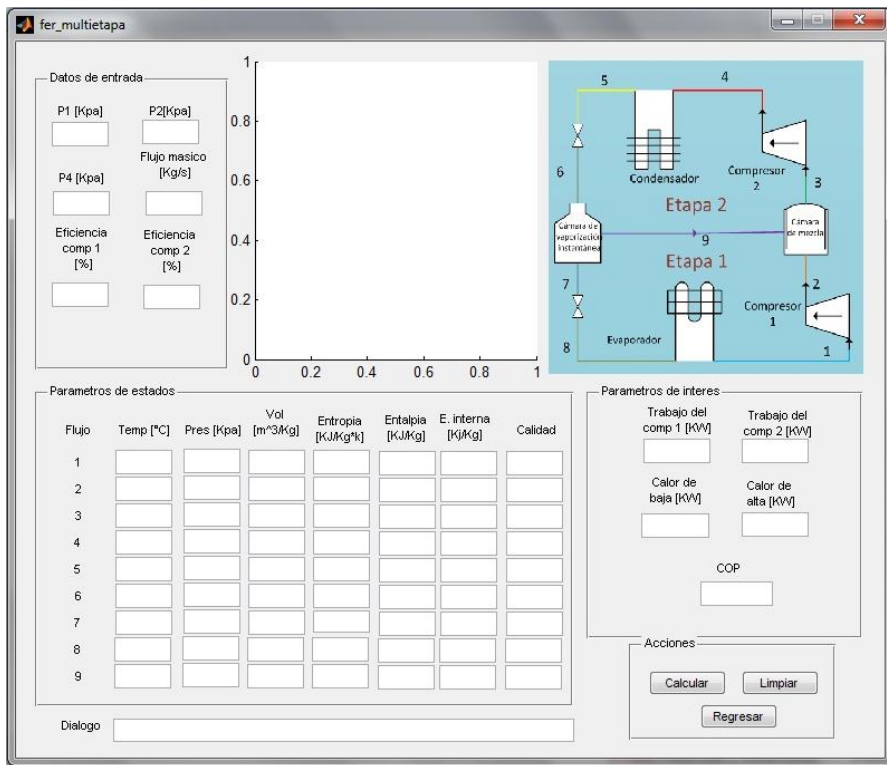


Figura 14. Ventana de trabajo de un ciclo de refrigeración multi-etapas.

- En la figura 15 se aprecia la ventana de trabajo para el análisis de un ciclo de refrigeración de múltiples etapas, en donde primeramente se deben indicar los datos de entrada para aplicación que se necesitan para poder realizar los cálculos del ejercicio. En cada una de estas casillas se procede a introducir cada uno de los datos dados por el ejercicio, teniendo mucho cuidado en las unidades que maneja el software y lo que representa cada casilla dentro del ciclo.

Datos de entrada

P1 [Kpa]	P2 [Kpa]
140	500
P4 [Kpa]	Flujo masico [Kg/s]
1000	1
Eficiencia comp 1 [%]	Eficiencia comp 2 [%]
100	100

NOTAS:

- $P1[KPa]$: Presión de Baja.
- $P2[KPa]$: Presión de media.
- $P4[KPa]$: Presión de Alta.
- $Eficiencia\ comp.\ [%]$: eficiencia del compresor.
- El software reconoce el punto "." como indicador de la parte decimal.

Figura 15. Anotaciones referentes a los datos de interés.

- A partir de los datos de interés previamente introducido se da clic en Calcular y se obtienen los resultados que se muestran en la figura 16.

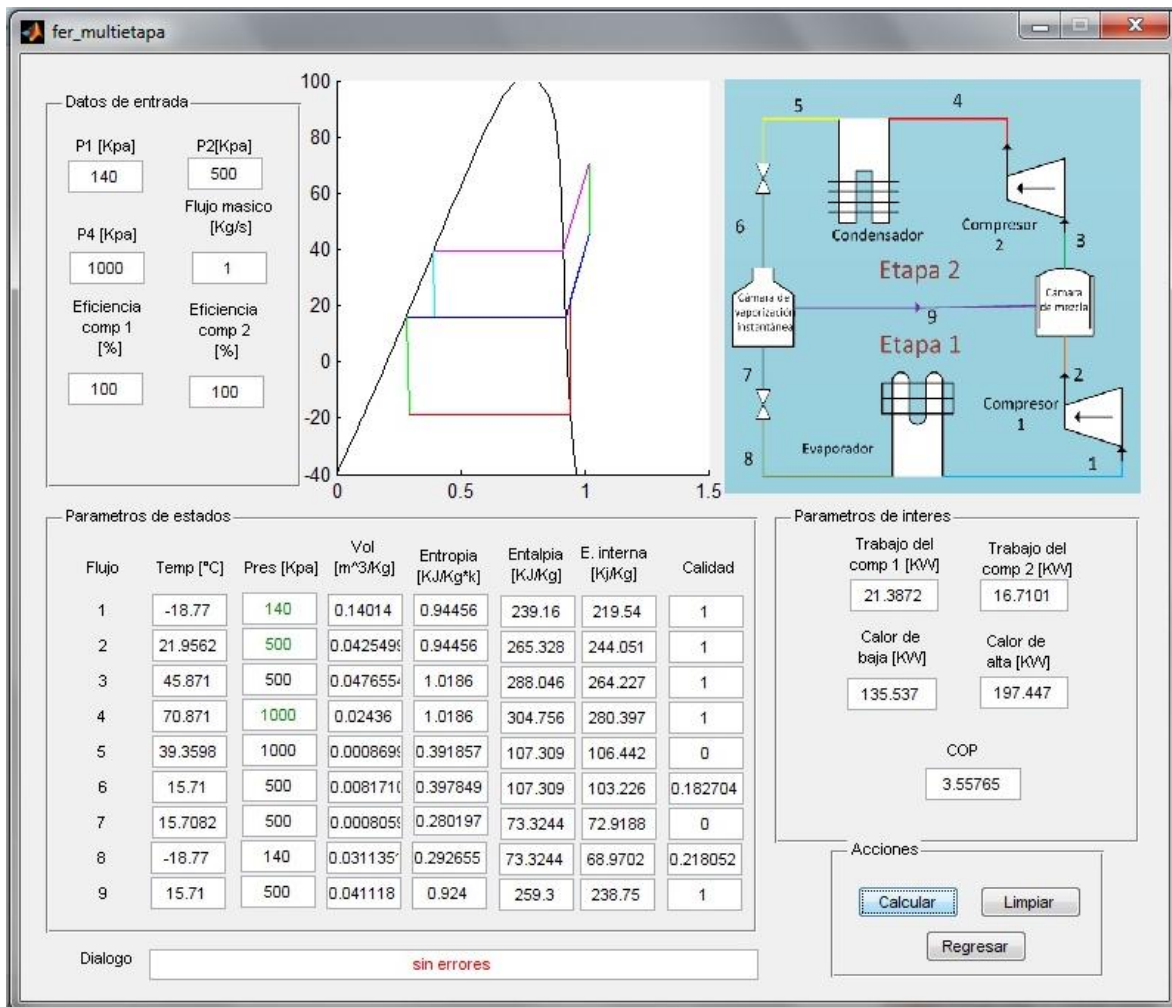


Figura 16. Ventana de resultados de un ciclo de refrigeración multi-etapas.

2.4 Sistemas de refrigeración por absorción.

Como su nombre lo indica, los sistemas de refrigeración por absorción implican la absorción de un refrigerante por un medio de transporte. El sistema de refrigeración por absorción más utilizado es el sistema de amoníaco-agua, donde el amoníaco (NH_3) sirve como refrigerante y el agua (H_2O) es el medio de transporte. Es similar al sistema por compresión de vapor, excepto que el compresor se ha sustituido por un complicado mecanismo de absorción.

Una vez que la presión del NH_3 es elevada, el amoníaco se enfría y se condensa en el condensador, liberando calor hacia los alrededores; se estrangula hasta la presión del evaporador y absorbe calor del espacio refrigerado cuando fluye a través del evaporador.

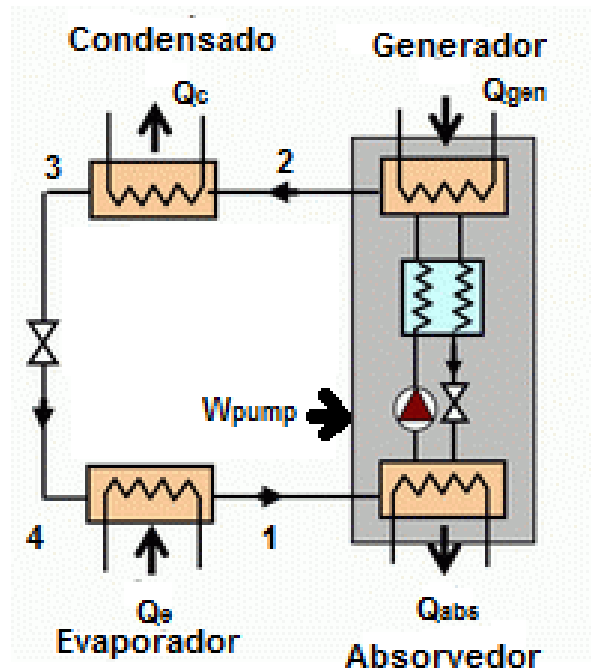


Figura 17. Componentes de un ciclo de refrigeración por absorción.