

Trabajo Fin de Grado  
en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

# APLICACIONES DOCENTES PARA EL APRENDIZAJE DE LA TECNOLOGÍA FRIGORÍFICA

Autor: Manuel Vega Pont

Tutor: Luis Pérez-Lombard Martín de Oliva

**Dpto. Ingeniería Energética**

**Escuela Técnica Superior  
de Ingeniería Universidad  
de Sevilla**

Sevilla, 2024





Trabajo Fin de Grado  
en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

# **APLICACIONES DOCENTES PARA EL APRENDIZAJE DE LA TECNOLOGÍA FRIGORÍFICA**

Autor:  
Manuel Vega Pont

Tutor:  
Luis Pérez-Lombard Martín de Oliva

Dpto. Ingeniería Energética  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2024



Trabajo Fin de Grado: APLICACIONES DOCENTES PARA EL APRENDIZAJE DE LA  
TECNOLOGÍA FRIGORÍFICA

Autor: Manuel Vega Pont  
Tutor: Luis Pérez-Lombard Martín de Oliva

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2024

El Secretario del Tribunal



# ÍNDICE

---

|   |    |
|---|----|
| ÍNDICE .....  | 7  |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....                                  | 10 |
| 1 INTRODUCCIÓN .....  | 13 |
| 1.1 Objetivos .....   | 13 |
| 1.2 Herramientas.....   | 14 |
| 1.2.1 pSolver .....   | 14 |
| 1.2.2 Bitzer Software .....                                   | 14 |
| 1.3 Contenido .....   | 15 |
| 2 CICLOS FRIGORÍFICOS.....                                    | 16 |
| 2.1 Sistemas de Producción de Frío.....                       | 16 |
| 2.1.1 Sistemas de producción de frío por medios físicos ..... | 16 |
| 2.1.2 Sistemas de producción de frío por medios químicos..... | 17 |
| 2.1.3 Ciclos Frigoríficos por compresión mecánica .....       | 17 |
| 2.2 Uso de Refrigerantes .....                                | 18 |
| 2.3 Revisión del Ciclo Frigorífico .....                      | 19 |
| 2.3.1 Ciclo de Carnot.....                                    | 19 |
| 2.3.2 Ciclo estándar de refrigeración .....                   | 20 |
| 2.3.3 Ciclo real de refrigeración.....                        | 21 |
| 2.4 Componentes del Ciclo .....                               | 22 |
| 2.4.1 Compresor.....  | 22 |
| 2.4.2 Condensador .....                                       | 23 |
| 2.4.3 Válvula de expansión .....                              | 23 |
| 2.4.4 Evaporador.....   | 24 |

|   |    |
|---|----|
| 2.4.5 Tuberías y depósitos.....                                 | 24 |
| 2.4.6 Sistema de control y seguridad.....                       | 24 |
| 3 PLANTILLAS.....   | 25 |
| 3.1 Resolución de Plantillas.....                               | 25 |
| 3.1.1 Elementos.....  | 25 |
| 3.1.2 Metodología General para la Resolución de Plantillas..... | 28 |
| 3.2 Plantillas de Diseño/Selección de Componentes.....          | 29 |
| 3.3 Plantillas de Funcionamiento.....                           | 29 |
| 3.4 Posibles Errores.....                                       | 30 |
| 4 COMPRESORES.....  | 31 |
| 4.1 Selección de Compresores.....                               | 31 |
| 4.1.1 Instrucciones de Uso.....                                 | 31 |
| 4.1.2 Resultados.....   | 32 |
| 4.2 Funcionamiento de Compresores.....                          | 33 |
| 4.2.1 Instrucciones de Uso.....                                 | 33 |
| 4.2.2 Resultados.....   | 34 |
| 5 EVAPORADORES.....   | 36 |
| 5.1 Selección de Evaporadores de Líquido.....                   | 37 |
| 5.1.1 Instrucciones de Uso.....                                 | 37 |
| 5.1.2 Resultados.....   | 38 |
| 5.2 Funcionamiento de Evaporadores.....                         | 39 |
| 5.2.1 Instrucciones de Uso.....                                 | 39 |
| 5.2.2 Resultados.....   | 40 |
| 6 CONDENSADORES.....  | 41 |
| 6.1 Selección de Condensadores.....                             | 42 |
| 6.1.1 Instrucciones de Uso.....                                 | 42 |
| 6.1.2 Resultados.....   | 43 |

|  |    |
|--|----|
| 6.2 Funcionamiento de Condensadores..... | 44 |
| 6.2.1 Instrucciones de Uso .....         | 44 |
| 6.2.2 Resultados .....                   | 45 |
| 7 DISEÑO DEL CICLO .....                 | 46 |
| 7.1 Diseño Ideal del Ciclo .....         | 46 |
| 7.1.1 Instrucciones de Uso .....         | 46 |
| 7.1.2 Resultados .....                   | 47 |
| 7.2 Diseño Real del Ciclo.....           | 48 |
| 7.2.1 Instrucciones de Uso .....         | 48 |
| 7.2.2 Resultados .....                   | 50 |
| 7.3 Funcionamiento del Ciclo .....       | 50 |
| 7.3.1 Instrucciones de Uso .....         | 51 |
| 7.3.2 Resultados .....                   | 52 |
| ANEXO I - NOTACIÓN .....                 | 53 |
| ANEXO 2 – CÓDIGOS ID .....               | 55 |

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

---

|   |    |
|---|----|
| Ilustración 1 - Ciclo Frigorífico por compresión mecánica .....                       | 17 |
| Ilustración 2 - Comparativa de la Curva de Saturación de Refrigerantes vs. Agua ..... | 18 |
| Ilustración 3 - Ciclo de Carnot .....   | 20 |
| Ilustración 4 - Diagrama T-s del Ciclo de Carnot.....                                 | 20 |
| Ilustración 5 - Diagrama T-s del Ciclo Estándar .....                                 | 21 |
| Ilustración 6 - Diagrama p-h del Ciclo Estándar .....                                 | 21 |
| Ilustración 7 - Diagrama p-h Ciclo Real .....   | 22 |
| Ilustración 8 - Ejemplo de Dato .....   | 25 |
| Ilustración 9 - Ejemplo de Dato 'Cualitativo' .....                                   | 26 |
| Ilustración 10 - Ejemplo de Propiedad .....   | 26 |
| Ilustración 11 - Ejemplo de Ecuación .....  | 26 |
| Ilustración 12 - Ejemplo de Incógnita y Cambio de Unidad .....                        | 27 |
| Ilustración 13 - Ejemplo de Tabla.....  | 27 |
| Ilustración 14 - Ejemplo de Gráfica.....  | 27 |
| Ilustración 15 - Ejemplo de Imagen junto con incógnitas.....                          | 28 |
| Ilustración 16 - Resolver Plantilla.....  | 28 |
| Ilustración 17 - Guardar Resultados Obtenidos .....                                   | 28 |
| Ilustración 18 - Actualizar Tablas.....   | 29 |
| Ilustración 19 - Copiar Problema con Id .....   | 31 |
| Ilustración 20 - Resultados Ciclo (Selección de Compresor) .....                      | 32 |
| Ilustración 21- Resultados Compresor .....  | 33 |
| Ilustración 22 - Descargar Excel Bitzer.....  | 33 |
| Ilustración 23- Coeficientes de Curvas de Compresor .....                             | 34 |
| Ilustración 24 - Ejemplo Gráfica Análisis de Sensibilidad .....                       | 35 |
| Ilustración 25 - Resultados Ciclo (Selección Evaporador) .....                        | 38 |

|  |    |
|--|----|
| Ilustración 26 - Resultados Evaporador .....                                   | 38 |
| Ilustración 27 - Diagrama de Temperaturas (Selección de Evaporador) .....      | 39 |
| Ilustración 28 - Diagrama de Temperaturas (Funcionamiento de Evaporador) ..... | 40 |
| Ilustración 29 - Resultados Ciclo (Selección de Condensadores) .....           | 43 |
| Ilustración 30 - Resultados Condensador .....                                  | 43 |
| Ilustración 31- Diagrama de Temperaturas (Selección de Condensador).....       | 44 |
| Ilustración 32 - Diagrama de Temperaturas (Funcionamiento de Condensador)..... | 45 |
| Ilustración 33 - Resultados Ciclo .....  | 48 |
| Ilustración 34 - Añadir Sección .....  | 50 |
| Ilustración 35 - Ejemplo Sección (Diseño Real de Ciclo) .....                  | 50 |



# 1 INTRODUCCIÓN

---

La producción de frío es una necesidad indispensable en la sociedad moderna, ya que desempeña un papel fundamental en sectores clave como la conservación de alimentos, la industria farmacéutica, la climatización de espacios y diversos procesos industriales. Desde la preservación de cadenas de suministro en condiciones óptimas hasta la estabilidad térmica de entornos críticos, el frío garantiza la calidad, seguridad y eficiencia en múltiples aplicaciones.

La tecnología frigorífica, basada en los principios de la termodinámica y la transferencia de calor, se erige como el pilar central para satisfacer esta necesidad. A través del diseño y operación de ciclos frigoríficos, se logra un control preciso de las temperaturas, posibilitando transferir calor de regiones de baja temperatura a regiones más cálidas con el uso eficiente de energía. Este enfoque ha evolucionado gracias a avances tecnológicos que han permitido optimizar componentes y sistemas, mejorando su eficiencia y reduciendo el impacto ambiental.

En este contexto, el estudio y desarrollo de sistemas frigoríficos no solo tiene un impacto técnico, sino también económico y ambiental, dado que fomenta la sostenibilidad y la transición hacia tecnologías más limpias. Por ello, la tecnología frigorífica constituye un campo clave en el desarrollo de soluciones para las demandas actuales y futuras de la sociedad.

El desarrollo de este trabajo contribuye al campo de la ingeniería frigorífica al proporcionar una metodología sistemática y computacionalmente asistida para el diseño y análisis de ciclos frigoríficos, promoviendo la toma de decisiones informadas en la selección de componentes de un ciclo frigorífico y en la evaluación de sus parámetros de operación y rendimiento.

## 1.1 Objetivos

El presente Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo contribuir al diseño y análisis de un ciclo frigorífico a través de plantillas, ejecutadas en el programa pSolver, que modelan y evalúan el comportamiento de los componentes individuales del ciclo y del sistema completo. Las plantillas desarrolladas en este trabajo están diseñadas para analizar los componentes de un ciclo frigorífico (compresor, evaporador y condensador), así como para integrar estos elementos en un modelo global del ciclo frigorífico.

Mediante la introducción de condiciones iniciales, estos programas permiten seleccionar equipos específicos utilizando el software Bitzer como referencia, y analizar su desempeño bajo diferentes condiciones operativas. Este enfoque no solo facilita el diseño y optimización de sistemas frigoríficos, sino que también ofrece una herramienta pedagógica y de investigación para que el usuario pueda comprender el impacto de las variaciones en las condiciones de operación sobre la eficiencia y funcionamiento del sistema.

Este documento detalla el desarrollo de los códigos, la metodología empleada y los resultados obtenidos, con el fin de aportar una solución práctica y robusta a los desafíos del diseño de sistemas frigoríficos modernos.

## 1.2 Herramientas

A lo largo del trabajo se ha hecho uso, principalmente, de dos herramientas esenciales para el desarrollo del mismo, ya mencionadas en este documento y descritas a continuación:

### 1.2.1 pSolver

pSolver es una aplicación diseñada para facilitar la resolución de los problemas numéricos que usualmente se plantean en las disciplinas técnicas vinculadas con la ingeniería. Se trata de una herramienta gratuita y on-line diseñada para analizar, resolver, editar y gestionar problemas.

La aplicación permite plantear y resolver problemas del mismo modo que lo haríamos sobre un papel, resolviéndose dichos problemas a una rapidez mucho mayor que si se hiciera a mano. De esta forma, el solver es capaz de resolver sistemas no lineales de 'n' ecuaciones con 'n' incógnitas en cuestión de segundos. Además de datos, ecuaciones e incógnitas la aplicación permite añadir textos enriquecidos, imágenes, propiedades de fluidos, tablas y gráficas.

Este solver es también de gran utilidad para abordar el análisis de resultados. Un solver permite resolver rápidamente diferentes 'versiones' de un mismo problema permitiendo realizar análisis paramétricos o de sensibilidad para examinar cómo se modifican los resultados (salidas) cuando cambian los datos (entradas).

En relación con este trabajo, pSolver es la herramienta en la cual se han desarrollado todas las plantillas que ayudan a realizar la selección de equipos del ciclo frigorífico, así como el análisis del funcionamiento de estos.

URL: [https://jfcornel.github.io/psolver\\_org/app/](https://jfcornel.github.io/psolver_org/app/)

### 1.2.2 Bitzer Software

El software Bitzer es una herramienta especializada desarrollada por la empresa Bitzer, líder en la fabricación de componentes para sistemas de refrigeración y aire acondicionado. Este software está diseñado para asistir en la selección de compresores y otros componentes del ciclo frigorífico, proporcionando una base de datos completa de productos disponibles junto con sus especificaciones técnicas detalladas.

Mediante una interfaz intuitiva, el usuario puede introducir parámetros de operación a utilizar. A partir de estos datos, el software Bitzer genera una lista de opciones compatibles, destacando las características técnicas de cada equipo y las condiciones límites de operación. Además, incluye cálculos de rendimiento y diagramas de funcionamiento que permiten analizar el comportamiento del equipo seleccionado en diversas condiciones operativas.

Gracias a estas capacidades, el software Bitzer es una herramienta indispensable para diseñar sistemas frigoríficos eficientes y adaptados a las necesidades específicas de cada proyecto, garantizando la selección óptima de componentes para maximizar el rendimiento del ciclo frigorífico.

En relación con este proyecto, Bitzer software ha servido de base de datos para la selección de los componentes a utilizar, así como para la elaboración de cálculos específicos de cada

uno de dichos componentes. En la ejecución de ciertas plantillas desarrolladas en este trabajo, el usuario deberá hacer uso de dicho software para, en base a unas condiciones iniciales, tomar ciertas especificaciones, facilitadas por la interfaz, como referencia para los cálculos que ayudaran a entender el comportamiento de cada uno de los componentes, bien en esas condiciones iniciales, o bien en otras condiciones que se adapten mejor a nuestro objetivo.

URL: <https://www.bitzer.de/websoftware/>

## 1.3 Contenido

Los contenidos de este proyecto se ajustan a los objetivos planteados y a la metodología propuesta:

- **Apartado 2** - Ciclos Frigoríficos: Detalla la base teórica sobre la que se rige el trabajo, tratando áreas como la Transmisión de Calor en Intercambiadores o la Tecnología Frigorífica.
- **Apartado 3** - Plantillas: Información general de uso de las plantillas proporcionadas; cómo deben usarse, qué es lo que representan, cómo funcionan, etc.
- **Apartado 4** - Compresores: Instrucciones de uso específicas de las plantillas relacionadas con compresores.
- **Apartado 5** - Evaporadores: Instrucciones de uso específicas de las plantillas relacionadas con evaporadores.
- **Apartado 6** - Condensadores: Instrucciones de uso específicas de las plantillas relacionadas con condensadores.
- **Apartado 7** - Diseño del Ciclo: Instrucciones de uso específicas de las plantillas relacionadas con el diseño y funcionamiento del ciclo completo.
- **Apartado 8** - Conclusiones sacadas con la elaboración del trabajo y posibles desarrollos futuros.
- **Anexo I** - Notación utilizada en las plantillas.
- **Anexo II** – Listado de códigos ID de las plantillas.

# 2 CICLOS FRIGORÍFICOS

---

La tecnología frigorífica es la disciplina que se encarga del estudio, diseño y optimización de sistemas destinados a la producción de frío mediante ciclos frigoríficos basados en principios termodinámicos. Estos sistemas permiten la transferencia de calor desde regiones de baja temperatura a otras de mayor temperatura, utilizando equipos como compresores, condensadores, evaporadores y válvulas de expansión.

Su aplicación es esencial en numerosos sectores: en la industria alimentaria, garantiza la conservación y transporte de productos perecederos; en la farmacéutica, mantiene la estabilidad de medicamentos y vacunas; en la climatización, asegura el confort térmico en edificios y vehículos; y en diversos procesos industriales, proporciona condiciones controladas para manufactura, almacenamiento y tecnologías específicas.

## 2.1 Sistemas de Producción de Frío

Los sistemas de producción de frío pueden clasificarse en función de los principios fundamentales que utilizan para generar una reducción de temperatura, distinguiéndose principalmente entre métodos físicos y químicos.

Ambos enfoques se aplican según la escala, eficiencia energética y condiciones operativas requeridas, siendo los métodos físicos predominantes en aplicaciones industriales y comerciales, mientras que los químicos son más comunes en sistemas portátiles o especializados.

### 2.1.1 Sistemas de producción de frío por medios físicos

Estos sistemas aprovechan fenómenos físicos relacionados con la transferencia de calor o cambios de estado de la materia para lograr la refrigeración. Entre ellos destacan:

- **Ciclos frigoríficos de compresión mecánica:** Los más comunes en la industria, utilizan un refrigerante que circula a través de compresores, condensadores, válvulas de expansión y evaporadores, absorbiendo calor en el evaporador y liberándolo en el condensador.
- **Ciclos de absorción:** Basados en un proceso termoquímico, reemplazan el compresor por una mezcla absorbente-refrigerante (como amoníaco y agua), y usan una fuente de calor externa para activar el ciclo.
- **Enfriamiento por expansión directa:** Consiste en la expansión de gases comprimidos que, al experimentar un descenso de presión, generan frío (efecto Joule-Thomson).
- **Refrigeración termoeléctrica:** Se basa en el efecto Peltier, donde la corriente eléctrica que pasa por un material semiconductor crea un diferencial de temperatura, enfriando una cara del material.

## 2.1.2 Sistemas de producción de frío por medios químicos

Estos sistemas emplean reacciones químicas o procesos que absorben calor del entorno para generar frío. Algunos ejemplos son:

- **Reacciones endotérmicas:** Las reacciones químicas que consumen calor del entorno reducen la temperatura, como la mezcla de sales disueltas en agua o reacciones específicas en compuestos diseñados para ello.
- **Sistemas de adsorción:** Similar al ciclo de absorción, pero en este caso, el refrigerante se adhiere a la superficie de un material adsorbente sólido (como gel de sílice o carbón activado) liberando el calor en un condensador.
- **Desorción controlada:** Se basa en el control de liberación de moléculas adheridas a superficies, lo que genera un enfriamiento localizado.

## 2.1.3 Ciclos Frigoríficos por compresión mecánica

En este trabajo nos hemos centrado en los ciclos de refrigeración mediante compresión mecánica. Se trata del sistema más comúnmente utilizado para la producción de frío en aplicaciones industriales, comerciales y domésticas. Se basa en el uso de un refrigerante que circula a través de un circuito cerrado, llevando a cabo cuatro procesos principales:

1. **Compresión:** El refrigerante, en estado gaseoso a baja presión y temperatura, pasa por el compresor, aumentando su presión y temperatura.
2. **Condensación:** El refrigerante caliente pasa al condensador, donde cede calor al entorno (aire o agua) y se condensa, cambiando de gas a líquido a alta presión.
3. **Expansión:** En la válvula de expansión, el refrigerante líquido sufre una caída brusca de presión, lo que también reduce su temperatura y lo prepara para el siguiente paso.
4. **Evaporación:** Finalmente, el refrigerante frío entra al evaporador, donde absorbe calor del medio a enfriar (por ejemplo, aire o agua), cambiando nuevamente a estado gaseoso.

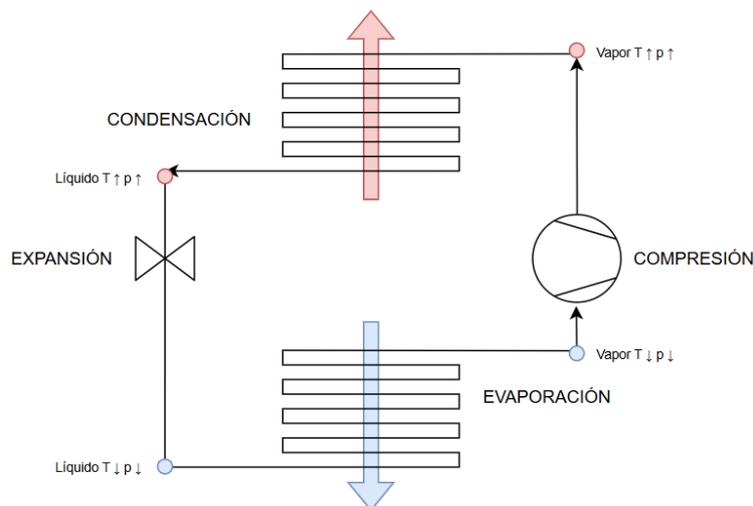


Ilustración 1 - Ciclo Frigorífico por compresión mecánica

El ciclo se repite continuamente para mantener un efecto de enfriamiento. Este sistema es eficiente, versátil y se utiliza en refrigeradores, aires acondicionados y procesos industriales.

## 2.2 Uso de Refrigerantes

Los refrigerantes son sustancias clave en los ciclos frigoríficos, ya que se encargan de absorber, transportar y liberar el calor necesario para producir el efecto de enfriamiento. Su importancia radica en las propiedades únicas que permiten un intercambio de calor eficiente durante los procesos de evaporación y condensación en el ciclo frigorífico.

Los refrigerantes tienen características termodinámicas que les permiten absorber grandes cantidades de calor durante el proceso de evaporación y liberarlo durante la condensación. Esto facilita el intercambio térmico entre las zonas a enfriar y el ambiente.

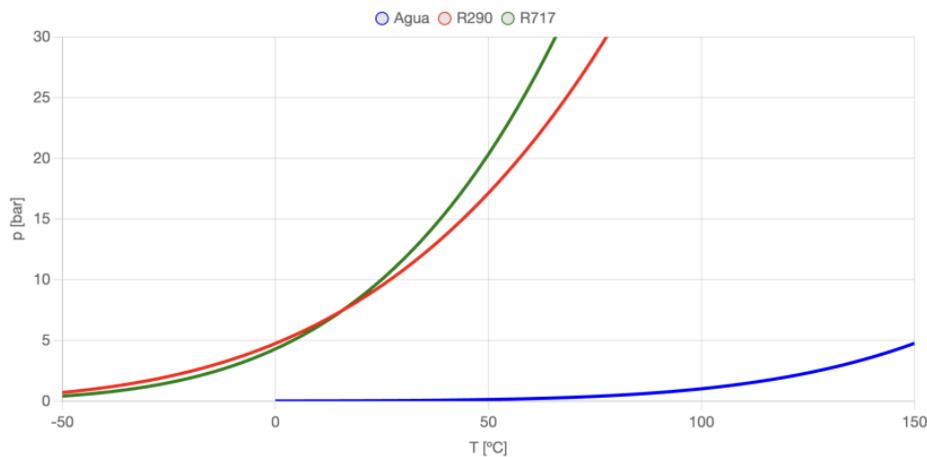


Ilustración 2 - Comparativa de la Curva de Saturación de Refrigerantes vs. Agua

Como podemos observar en la *Ilustración 2*, las propiedades de los refrigerantes nos permiten obtener presiones altas, mediante el compresor, sin tener que alcanzar temperaturas excesivamente altas. Una vez el refrigerante salga del compresor en estado vapor y a alta presión, al ponerlo en contacto con otro fluido a menor temperatura en el condensador, el refrigerante pasará a estado líquido cediendo calor a dicho fluido. Posteriormente disminuirémos la presión del refrigerante líquido mediante una válvula de expansión, llegando a alcanzar temperaturas incluso negativas. Por último, el refrigerante entrará en contacto en el evaporador con otro fluido a mayor temperatura, absorbiendo calor de este para pasar a nuevamente a estado gaseoso. Dicha absorción de energía provocará una disminución de la temperatura del fluido, lo cuál es el objetivo principal del ciclo frigorífico.

Los ciclos frigoríficos aprovechan los cambios de estado para el intercambio de calor, por lo que los refrigerantes deben tener puntos de ebullición adecuados a las temperaturas y presiones típicas del sistema. Esto garantiza un proceso eficiente bajo diferentes condiciones operativas.

Los refrigerantes deben estar diseñados para trabajar correctamente con compresores, válvulas de expansión y otros elementos del sistema, minimizando riesgos de corrosión o daño a los equipos. Deben ser seguros en cuanto a toxicidad, inflamabilidad y compatibilidad ambiental. Sustancias no adecuadas pueden poner en riesgo tanto a los operadores como al sistema.

La diversidad de refrigerantes permite adaptarse a una amplia gama de aplicaciones, desde pequeños electrodomésticos hasta sistemas de refrigeración industrial o climatización. Un refrigerante bien seleccionado maximiza la eficiencia del ciclo frigorífico, reduciendo el consumo energético y los costos operativos.

La selección de refrigerantes tiene un peso significativo en términos de sostenibilidad. Refrigerantes antiguos como los clorofluorocarbonos (CFC) y los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) dañaban la capa de ozono y tenían un elevado potencial de calentamiento global (GWP). Los actuales esfuerzos buscan sustituirlos por sustancias más sostenibles, como los hidrofluorocarbonos (HFC) de bajo GWP, refrigerantes naturales (como CO<sub>2</sub> y amoníaco), e hidrocarburos (como propano o isobutano).

El uso de refrigerantes está estrictamente regulado por normas internacionales, como el Protocolo de Montreal y sus enmiendas, que fomentan el uso de alternativas con menor impacto ambiental. Elegir refrigerantes adecuados garantiza el cumplimiento legal y contribuye a los objetivos globales de mitigación del cambio climático.

En conclusión, los refrigerantes son fundamentales para el correcto desempeño de los ciclos frigoríficos. Su elección no solo afecta el rendimiento y la eficiencia del sistema, sino que también tiene repercusiones económicas, ambientales y de seguridad que deben ser cuidadosamente consideradas.

## **2.3 Revisión del Ciclo Frigorífico**

En termodinámica existen tres variedades principales del ciclo de refrigeración según el contexto en el que se base nuestro estudio, que permiten analizar y comparar la eficiencia y operación de los sistemas de refrigeración desde sistemas idealistas que desprecien diversos factores para simplificar el estudio, hasta sistemas más realistas que tengan en cuenta todos los factores operacionales. A continuación, se describen las características y diferencias de cada uno:

### **2.3.1 Ciclo de Carnot**

Desarrollado por el ingeniero francés Sadi Carnot en 1824, el ciclo de Carnot es un modelo idealizado que representa el límite teórico de eficiencia para un ciclo termodinámico, es decir, la eficiencia máxima teórica posible para un ciclo de refrigeración.

No tiene pérdidas, ya que se asume reversibilidad perfecta y ausencia de irreversibilidades como fricciones, transferencias de calor no ideales o pérdidas de presión. Es inalcanzable en la práctica debido a la imposibilidad de evitar las irreversibilidades inherentes a los procesos reales. Sin embargo, su utilidad reside en que puede servir como referencia para evaluar otros ciclos.

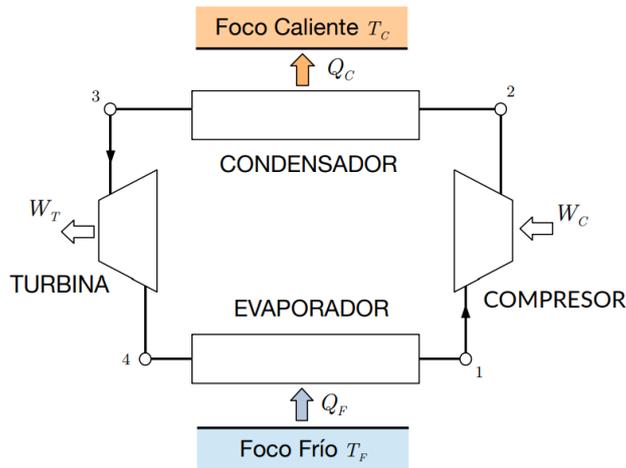


Ilustración 3 - Ciclo de Carnot

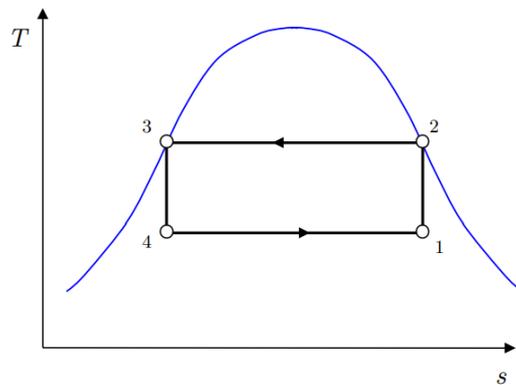


Ilustración 4 - Diagrama T-s del Ciclo de Carnot

En las *Ilustraciones 3 y 4* podemos apreciar claramente los distintos componentes y fases del ciclo de Carnot:

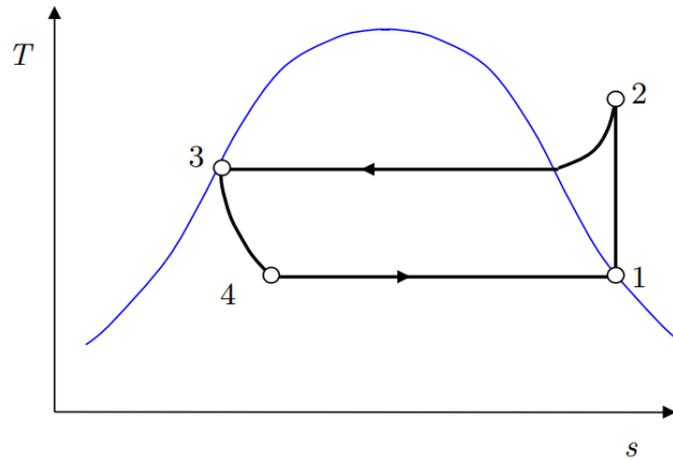
1. **Compresión isentrópica** ( $1 \rightarrow 2$ ), llevada a cabo en el compresor.
2. **Condensación isotérmica** ( $2 \rightarrow 3$ ), llevada a cabo en el condensador.
3. **Expansión isentrópica** ( $3 \rightarrow 4$ ), llevada a cabo en la válvula de expansión.
4. **Evaporación isotérmica** ( $4 \rightarrow 1$ ), llevada a cabo en el evaporador.

### 2.3.2 Ciclo estándar de refrigeración

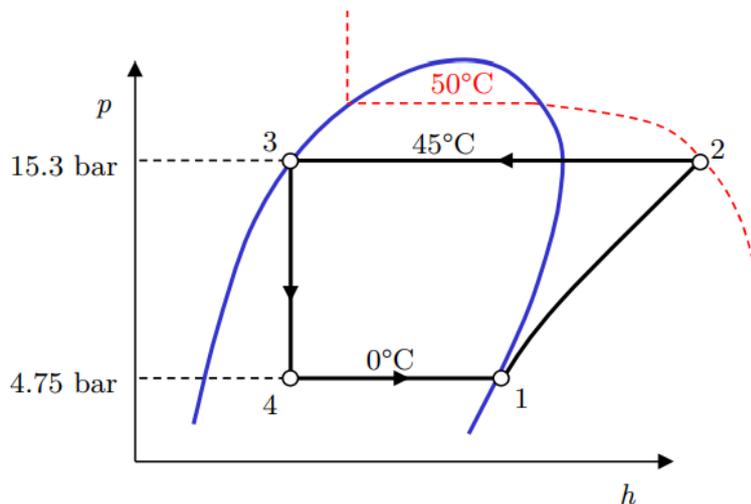
El ciclo estándar, también conocido como ciclo ideal de compresión de vapor, se aproxima al ciclo real de refrigeración, es una versión más realista, pero sin considerar irreversibilidades. En comparación con el ciclo de Carnot, el ciclo estándar tiene en cuenta los siguientes aspectos:

- No es rentable utilizar una turbina, la cuál es sustituida por una válvula de expansión, en la cual tiene lugar una expansión isentálpica.
- La compresión del refrigerante es una compresión seca, es decir se produce con este se encuentra totalmente en estado gaseoso.

- Consecuentemente al punto anterior, el refrigerante entrará en el evaporador a una temperatura superior a la de evaporación, por lo tanto, antes del cambio de fase deberá producirse un enfriamiento (véase *Ilustración 5 e Ilustración 6*).



*Ilustración 5 - Diagrama T-s del Ciclo Estándar*



*Ilustración 6 - Diagrama p-h del Ciclo Estándar*

### 2.3.3 Ciclo real de refrigeración

El ciclo real de refrigeración describe el funcionamiento de los sistemas frigoríficos tal como operan en condiciones reales. A diferencia del ciclo estándar, tiene en cuenta las siguientes irreversibilidades y pérdidas del sistema:

- Los compresores no trabajan de forma isentrópica, ya que generan calor y pérdidas mecánicas.

- Un condensador real no produce líquido saturado sino líquido subenfriado.
- Los conductos que conectan el ciclo y algunos componentes no están perfectamente aislados, lo cual conlleva pérdidas de presión y temperatura.
- Se producen intercambios no controlados con el ambiente, que afectan la eficiencia térmica.

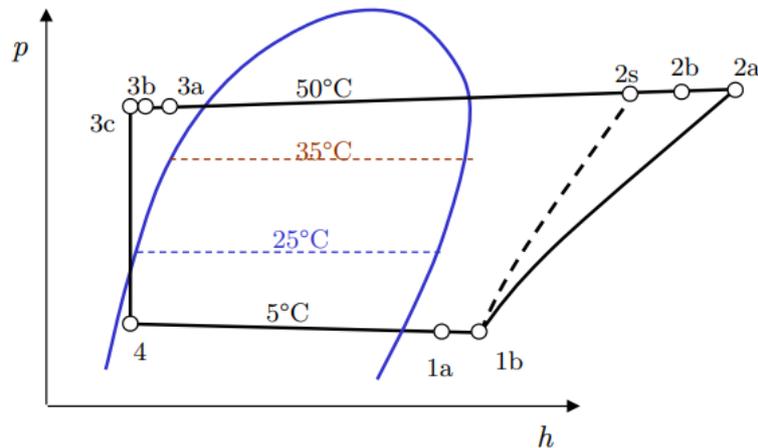


Ilustración 7 - Diagrama p-h Ciclo Real

## 2.4 Componentes del Ciclo

El ciclo real de refrigeración se compone de varios elementos fundamentales, cada uno con un papel específico para lograr el transporte de calor y la producción de frío. A continuación, se describen los principales componentes y su función en el ciclo:

### 2.4.1 Compresor

El compresor es el corazón del sistema, encargado de incrementar la presión y la temperatura del refrigerante en estado gaseoso. Se trata del único elemento del ciclo que consume energía para su funcionamiento.

Aspira el vapor de refrigerante a baja presión y temperatura procedente del evaporador. Lo comprime de manera que alcance una presión y temperatura más alta, preparándolo para ceder calor en el condensador.

En la operación real, el compresor presenta pérdidas debidas a fricciones internas y generación de calor. También hay que tener en cuenta que, para evitar la entrada de aire en el ciclo y las consecuencias negativas que esto acarrea, tanto la presión de entrada como la de salida deben ser mayor que la atmosférica.

A continuación, se mencionan los tipos más comunes de compresores:

- **Alternativos:** Funcionan mediante un pistón que se mueve de forma lineal dentro de un cilindro, comprimiendo el refrigerante al reducir su volumen.
- **Rotativos:** Utilizan un rotor o paleta que gira dentro de una cámara para comprimir el refrigerante.
- **Scroll:** Comprimen el refrigerante mediante el movimiento orbital de una espiral dentro de otra fija, reduciendo gradualmente el volumen del gas.
- **Centrífugos:** Utilizan un impulsor giratorio de alta velocidad para convertir la energía cinética del refrigerante en energía de presión.

## 2.4.2 Condensador

El condensador permite que el refrigerante, ahora a alta presión y temperatura, libere el calor absorbido en el evaporador y durante la compresión hacia el entorno (generalmente aire o agua). Su función es la de enfriar el refrigerante hasta que alcance su punto de condensación y pase de vapor a líquido, liberando calor latente al medio externo.

En condiciones reales, las pérdidas en la transferencia de calor y la caída de presión dentro del condensador afectan su rendimiento.

Los distintos tipos de evaporadores son los siguientes:

- **De aire** (condensación por aire).
- **De agua** (condensación por agua). Este tipo de condensador es con el que vamos a trabajar en este trabajo.
- **Evaporativos** (combinación de aire y agua).

## 2.4.3 Válvula de expansión

Este componente reduce la presión y la temperatura del refrigerante líquido que sale del condensador, ajustando su estado para entrar al evaporador. Su función es provocar una caída de presión en el refrigerante líquido, disminuyendo su temperatura a un nivel adecuado para absorber calor en el evaporador.

En el ciclo real, las válvulas de expansión generan pérdidas de energía al no ser dispositivos perfectamente adiabáticos.

Los tipos más comunes de dispositivos de expansión son los siguientes:

- **Válvulas termostáticas:** regula el flujo de refrigerante líquido que entra al evaporador, ajustándolo según la demanda de carga térmica. Funciona detectando la temperatura del refrigerante al salir del evaporador mediante un bulbo térmico que controla la apertura de la válvula.
- **Dispositivos de orificio fijo:** simples elementos restrictivos que controlan el flujo de refrigerante al evaporador mediante un orificio de diámetro fijo.
- **Válvulas electrónicas de expansión:** regulan el flujo de refrigerante al evaporador mediante un actuador controlado electrónicamente.

## 2.4.4 Evaporador

El evaporador es un componente clave del ciclo de refrigeración, responsable de absorber el calor del medio que se desea enfriar y transferirlo al refrigerante. En su interior, el refrigerante entra a baja presión y temperatura en estado líquido y, al absorber el calor del medio circundante, cambia a estado gaseoso mediante evaporación. Este proceso permite reducir la temperatura del entorno o del fluido que interactúa con el evaporador, cumpliendo así la función principal de enfriamiento del sistema.

El rendimiento del evaporador puede influir directamente en la eficiencia del ciclo, ya que su capacidad para transferir calor depende de factores como el flujo de refrigerante, las propiedades del intercambiador de calor y las condiciones de operación del sistema.

## 2.4.5 Tuberías y depósitos

Las tuberías de un sistema frigorífico transportan el refrigerante entre los componentes del ciclo. Son fundamentales para mantener el flujo adecuado del refrigerante y deben ser diseñadas para soportar altas presiones y temperaturas. Los materiales más comunes para su fabricación son el cobre, el acero y el aluminio debido a su resistencia a la corrosión y durabilidad. Además, el tamaño adecuado de las tuberías y su aislamiento son cruciales para minimizar pérdidas de calor y caída de presión, lo que mejora la eficiencia del ciclo.

Los depósitos de almacenamiento, como el recipiente de acumulación o el depósito de líquido en sistemas de refrigeración, sirven para contener el refrigerante en su estado líquido, asegurando que esté disponible para pasar por la válvula de expansión y el evaporador. En los sistemas de refrigeración, los depósitos pueden estar diseñados para separar la fase líquida de la fase gaseosa del refrigerante, permitiendo un control efectivo del sistema, especialmente en ciclos que implican grandes volúmenes de fluido o cargas térmicas variables.

El diseño adecuado tanto de las tuberías como de los depósitos es esencial para asegurar que el refrigerante se mantenga en las condiciones correctas (presión y temperatura) durante todo el ciclo, evitando pérdidas de eficiencia y posibles fallos en el sistema.

## 2.4.6 Sistema de control y seguridad

El sistema de control y seguridad regula y protege el funcionamiento del ciclo frigorífico en condiciones reales. Incluye:

- **Termostatos:** Controlan la temperatura deseada.
- **Presostatos:** Monitorean la presión del sistema para evitar fallos por sobrepresión o baja presión.
- **Sensores de nivel y temperatura:** Garantizan el correcto funcionamiento del equipo.
- **Relés y válvulas de alivio:** Protegen el sistema contra fallos inesperados.

# 3 PLANTILLAS

En el siguiente apartado se va a detallar el uso y funcionamiento general de las plantillas generadas a lo largo del trabajo para que sirva de guía para aquella persona que haga uso de ellas. Dichas plantillas asisten al usuario a la hora de resolver problemas relacionados con el diseño de un ciclo frigorífico, bien sea de algún equipo en concreto o del ciclo al completo.

El usuario podrá encontrar una guía de la notación utilizada en todas las plantillas en el Anexo I y una lista de los códigos ID de cada una de las plantillas en el Anexo II.

## 3.1 Resolución de Plantillas

Cada una de las plantillas está diseñada para resolver un problema de ‘n’ ecuaciones con ‘n’ incógnitas, mostrando los resultados de manera práctica para que el usuario pueda observarlos con claridad y facilitando el uso de herramientas para el análisis de estos.

### 3.1.1 Elementos

A continuación, se detallan los distintos elementos que puede encontrarse en cada una de las plantillas:

- **Datos**

Se trata del medio de entrada a través del cuál el usuario transmite información al sistema, condicionando así los resultados a obtener. Cada problema cuenta con el número de datos necesarios para su resolución. Cada dato tiene asignado un símbolo, valor y unidades. El usuario debe introducir únicamente el valor correspondiente en cada caso, asegurando que lo introduce en las unidades indicadas. Los datos que el usuario debe introducir son aquellos que están delimitados por un borde negro (véase *Ilustración 8*).

| Símbolo | Valor | Unidad |
|---------|-------|--------|
| Q_CD    | 125   | kW     |

Descripción

Activo  Borde

> Cambio de unidad

Convertir en incógnita

*Ilustración 8 - Ejemplo de Dato*

Debe tenerse en consideración, que ciertos datos tienen un valor ‘cualitativo’. Los valores de dichos valores deben rellenarse entre comillas (“”) (véase *Ilustración 9*)

$FLUIDO_{cn} = "Agua"$

| DATO:       |        |        |
|-------------|--------|--------|
| Símbolo     | Valor  | Unidad |
| FLUIDO      | "Agua" |        |
| Descripción |        |        |
|             |        |        |

Ilustración 9 - Ejemplo de Dato 'Cualitativo'

- **Propiedades**

Se trata de propiedades intrínsecas de los fluidos de trabajo obtenidas al asignarle ciertas condiciones. Tienen unidades fijas y están asignados a uno de fluidos introducidos mediante datos cualitativos.

$$h_1 = 406 \text{ kJ/kg [h (REF) } p = p_{EV} \text{ kPa, } T = T_{EV} + \Delta T_V \text{ } ^\circ\text{C}]$$

| FLUIDO:      |               |
|--------------|---------------|
| Símbolo      | Propiedad     |
| h_1          | h [kJ/kg]     |
| Fluido       |               |
| REF          |               |
| 1ª propiedad | Valor         |
| p [kPa]      | p_EV          |
| 2ª propiedad | Valor         |
| T [°C]       | T_EV+DeltaT_V |

Ilustración 10 - Ejemplo de Propiedad

- **Ecuaciones**

Igualdades que permiten asignarle valores a las incógnitas a partir de los datos. Cada una tiene asignada una pequeña descripción.

$$Q_F = \dot{m}_{FEV} \cdot \frac{c_{PFEV}}{1000} \cdot (T_{EEV} - T_{SEV}) \text{ [Balance Energético en el Evaporador (FLUIDO)]}$$

| ECUACIÓN:  |
|--|
| Ecuación   |
| $Q_F = \dot{m}_{FEV} * (c_{p_{FEV}}) / 1000 * (T_{EEV} - T_{SEV})$                                   |
| Etiqueta   |
| Balance Energético en el Evapor.   |
| <input checked="" type="checkbox"/> Activo <input type="checkbox"/> Borde <input type="checkbox"/> 🔒 |

Ilustración 11 - Ejemplo de Ecuación

- **Incógnitas**

Variables cuyo valor depende de los datos introducidos, se trata de los resultados de los problemas. Cada una de ellas tiene unas unidades asignadas. Sin embargo, si el usuario lo desea puede hacer un cambio de unidad (véase *Ilustración 12*) a aquellas que le sean de su conveniencia. También pueden modificarse los parámetros de convergencia de cada incógnita para facilitar la resolución del código.

$$\dot{m}_R = 0.778 \text{ kg/s} = 2799 \text{ kg/h}$$

INCÓGNITA:

Símbolo:  Unidad:

Descripción:

Activo  Borde

▼ Cambio de unidad

Expresión (incog. 'y'):  Unidad final:

> Parámetros de convergencia

Ilustración 12 - Ejemplo de Incógnita y Cambio de Unidad

- **Tablas**

Herramienta mediante la cual puede modificarse el valor de ciertos datos para ver como varían en restos de incógnitas.

| T <sub>EV</sub> | T <sub>CN</sub> | r <sub>C</sub> | dotm <sub>R</sub> | Q <sub>F</sub> | P <sub>TOTAL</sub> | η <sub>S</sub> | η <sub>v</sub> | P <sub>EE</sub> | COP  |
|-----------------|-----------------|----------------|-------------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|-----------------|------|
| -10             | 10              | 1.92           | 2348              | 129            | 50.5               | 77.4           | 95.3           | 20.9            | 6.2  |
| -10             | 20              | 2.56           | 2301              | 120            | 58.1               | 89.1           | 93.4           | 26.1            | 4.58 |
| -10             | 30              | 3.36           | 2246              | 109            | 62.1               | 95.2           | 91.1           | 31.1            | 3.51 |
| -10             | 40              | 4.32           | 2166              | 97.5           | 61.7               | 94.7           | 87.9           | 36.9            | 2.64 |
| -10             | 50              | 5.48           | 2042              | 84.5           | 56.8               | 87             | 82.8           | 44.5            | 1.9  |
| -10             | 60              | 6.84           | 1856              | 69.6           | 47.9               | 73.4           | 75.3           | 54.7            | 1.27 |

TABLA:

Nº Filas:  Nº Columnas:  Nº Filas pag.:

Etiqueta:

Borde

Nº de orden

Mostrar unidad

COLUMNAS:

Col. 1:

Col. 2:

Col. 3:

Col. 4:

Col. 5:

Ilustración 13 - Ejemplo de Tabla

- **Gráficas**

Herramienta que facilita al usuario el análisis de los resultados de mayor relevancia.

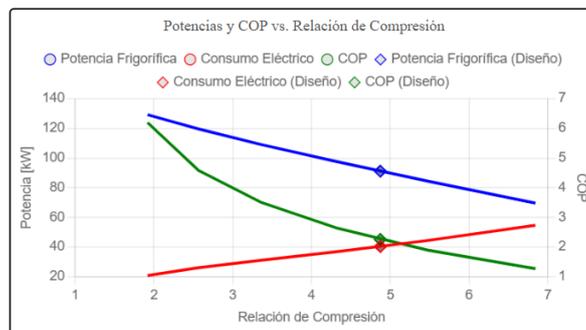
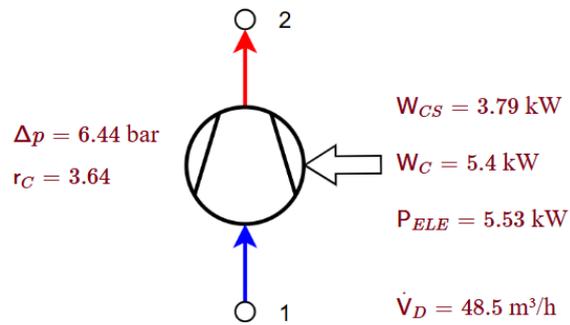


Ilustración 14 - Ejemplo de Gráfica

- **Imágenes**

Herramienta utilizada para facilitar la visualización de los resultados.



*Ilustración 15 - Ejemplo de Imagen junto con incógnitas*

### 3.1.2 Metodología General para la Resolución de Plantillas

1. Introducir el valor de los datos en las unidades correspondientes (haciendo uso de Bitzer Software si la plantilla lo indica).
2. Resolver el problema (véase *Ilustración 16*).
3. Guardar los resultados obtenidos (véase *Ilustración 17*).
4. Ajustar los valores de los análisis de sensibilidad si fuera necesario.
5. Actualizar las tablas (véase *Ilustración 18*).
6. Analizar los resultados obtenidos.



*Ilustración 16 - Resolver Plantilla*



*Ilustración 17 - Guardar Resultados Obtenidos*

| Diagrama de Temperaturas |     |   |      |
|--------------------------|-----|---|------|
| y                        | T1  | z | T2   |
| 0                        | 100 | 0 | 84.2 |
| 1                        | 60  | 1 | 20   |

Col. 2  
T1=T\_EC->T\_SC

Col. 3  
z=0->1

Col. 4  
T2=T\_FS->T\_EF

**Calcular**

Exportar a CSV

Ilustración 18 - Actualizar Tablas

## 3.2 Plantillas de Diseño/Selección de Componentes

Cuando hablamos de plantillas de diseño nos referimos a aquellas cuyo propósito principal es asesorar a la hora de hacer la selección de componentes del ciclo.

Para hacer uso de ellas, generalmente, el usuario deberá partir de unas condiciones iniciales de diseño. Dichas condiciones deberán ser introducidas en el software Bitzer en el apartado que corresponda al tipo de equipo que estemos buscando en cada caso. Al introducir las condiciones en el software y ejecutarlo, este nos dará todas las opciones de equipo disponibles dentro del catálogo de Bitzer que puedan cumplir nuestras necesidades.

Elegiremos el equipo que mejor se adapte a nuestro caso y, posteriormente, terminaremos de rellenar los datos de la plantilla con los resultados ofrecidos por Bitzer. Una vez hayamos rellenado todos los datos de la plantilla, procederemos a la resolución de la misma, lo cual nos devolverá los datos de operación de dicho equipo en las condiciones introducidas.

En el caso de obtener resultados muy poco parejos a lo esperado, es aconsejable cambiar las condiciones iniciales antes de pasar a la plantilla de funcionamiento correspondiente, de manera que los resultados nuevamente obtenidos tengan mayor similitud con lo que se desea obtener.

## 3.3 Plantillas de Funcionamiento

Una vez hayamos utilizado la plantilla de diseño para seleccionar el equipo correspondiente, será hora de pasar a la plantilla de funcionamiento. La función de dicha plantilla es analizar el rendimiento y las variaciones en los resultados obtenidos al cambiar las condiciones de operación.

La utilidad de estas plantillas reside en la posibilidad de adaptar el uso de cada equipo a distintas condiciones de operación, evaluando el comportamiento de cada equipo en cada caso. También permite al usuario saber cuales son las condiciones óptimas de cada equipo, es decir, aquellas para las cuales su rendimiento es máximo.

En dichas plantillas podremos encontrar distintas gráficas que nos servirán para llevar a cabo un análisis de sensibilidad. Para ello variaremos el valor de una condición de entrada entre

dos valores adecuados, manteniendo el resto de las condiciones de entrada en sus valores de diseño inicial. Con ello se pretende entender como una variación en cada uno de los datos de entrada afecta al resto de resultados. Puede resultar muy útil si queremos saber que condiciones tenemos que imponer al equipo para obtener un resultado concreto. Por ejemplo: ¿cuánto caudal de agua debo introducir en el evaporador para que salga de él a unos 8°C?

### 3.4 Posibles Errores

Hay que tener en cuenta que el uso de las plantillas no es completamente infalible. Es aconsejable seguir las instrucciones de uso específicas de cada plantilla al pie de la letra para evitar fallos.

Si por cualquier razón se produce algún error a la hora de ejecutar el código, a continuación se detalla una lista de posibles errores para que sean revisados por el usuario con el fin de mitigar dicho error:

- Valores de los datos de entrada no coherentes ni dentro de unos rangos realistas. Ejemplo: Tratar de enfriar un fluido que se encuentre a una temperatura menor que a la que se evapora el refrigerante en ese caso. **Solución:** Cambiar las condiciones de entrada.
- Datos introducidos en unidades distintas a las requeridas. Ejemplo: Introducir la temperatura de evaporación en grados Kelvin en lugar de grados Celsius. **Solución:** Cambiar las unidades a las requeridas.
- Datos cualitativos introducidos sin comillas. **Solución:** Introducir las comillas.
- Número máximo de iteraciones alcanzado. **Soluciones:** En primer lugar, comprobar que no se haya cometido ninguno de los otros errores. En segundo lugar, comprobar que se hayan seguido las instrucciones de la plantilla al pie de la letra. Por último, introducir parámetros de convergencia coherentes para las incógnitas claves. En caso de que el error persista, puede deberse a que los datos de entrada introducidos, aunque aparentemente coherentes, no tengan una solución real.

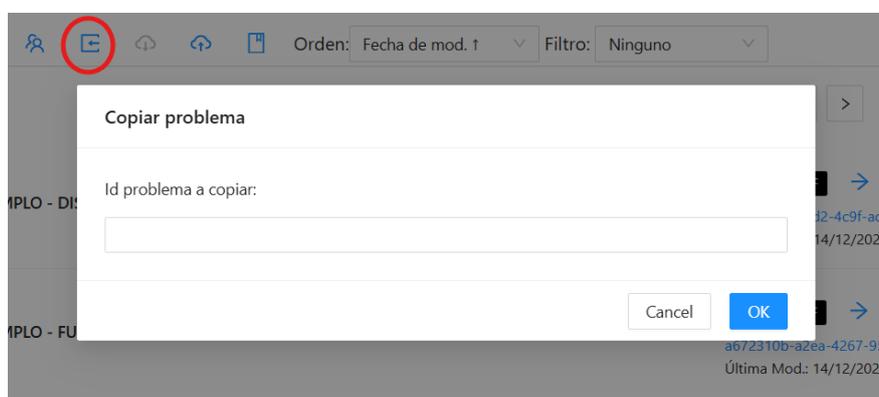
Para facilitar la identificación de fallos, se ponen a disposición del usuario ejemplos resueltos correctamente de cada una de las plantillas para que se pueda llevar a cabo una comparación entre ambos códigos con el objetivo de encontrar posibles errores cometidos.

# 4 COMPRESORES

En este apartado se detallan las instrucciones de uso de las plantillas relacionadas con los compresores. En primer lugar, se facilitan los ‘Id’ de cada una de ellas para que el usuario pueda emplearlas:

- Selección de Compresores: [78b864a2-b47a-40cf-ae5c-ed4876081c12](#)
- Ejemplo de Selección de Compresores: [db09f82e-8dc4-4cc3-8a34-e2b161126c09](#)
- Funcionamiento de Compresores: [2f354c5e-579a-4fcd-9a22-d981ab65eff2](#)
- Ejemplo de Funcionamiento de Compresores: [a672310b-a2ea-4267-952a-907deaf09888](#)

Para hacer uso de dichas plantillas, el usuario debe utilizar la función que ofrece pSolver de ‘Copiar Problema con Id’ (véase *Ilustración 19*) e introducir el ‘Id’ correspondiente.



*Ilustración 19 - Copiar Problema con Id*

La resolución de estos problemas se basa en balances de energía realizados en el compresor y calculados mediante la definición de propiedades del refrigerante utilizado, así como de ecuaciones que definen las distintas especificaciones de un compresor.

## 4.1 Selección de Compresores

### 4.1.1 Instrucciones de Uso

Se enumeran a continuación los pasos a seguir para un correcto uso de la plantilla:

1. Elegir el refrigerante con el que va a trabajar el compresor e introducirlo en la plantilla.
2. Rellenar las condiciones de diseño iniciales:
  - Temperatura de evaporación.
  - Temperatura de condensación.
  - Subenfriamiento del líquido.
  - Sobrecalentamiento del vapor.
  - Potencia frigorífica inicial.
3. Abrir el software Bitzer y elegir el tipo de compresores con el que queremos trabajar.

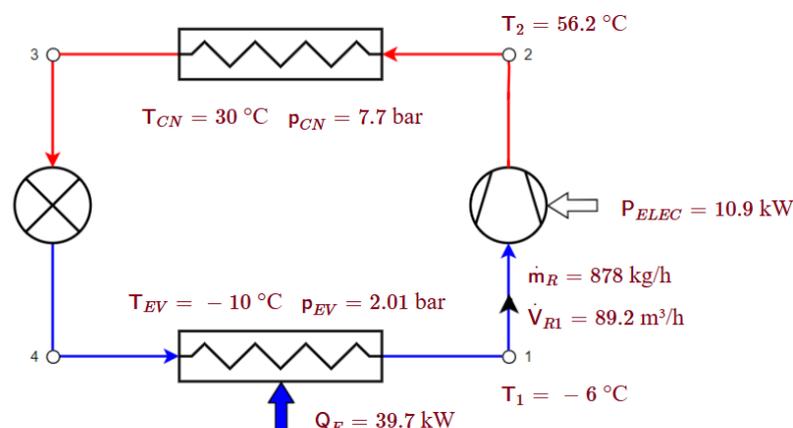
4. Editar los parámetros requeridos y adaptarlos a nuestras condiciones:
  - Refrigerante.
  - Potencia frigorífica inicial.
  - Temperatura de evaporación.
  - Temperatura de condensación.
  - Líquido subenfriado.
  - Recalentamiento de gas aspirado (cuidado porque inicialmente no nos dan esta opción).
5. Ejecutar el software con el botón ‘Calcular’ y elegir entre los compresores ofertados el que más se adapte a nuestras necesidades.
6. Completar los datos restantes de la plantilla con los ofrecidos por Bitzer:
  - Compresor (número del modelo de compresor elegido).
  - Potencia eléctrica (potencia absorbida en Bitzer).
  - Caudal másico de refrigerante (caudal másico en Bitzer).
  - Temperatura de descarga (temperatura gas de descarga no enfriado en Bitzer).
  - Volumen desplazado (aparece en el apartado de datos técnicos, tomar el valor a 50 Hz).
7. Resolver la plantilla y observar los resultados. Es aconsejable guardar los resultados obtenidos cada vez que se ejecute el código con el fin de facilitar los cálculos (véase *Ilustración 17*).

Se recuerda que si existe alguna duda sobre que símbolo corresponde a cada variable puede consultarse el *Anexo I* y que se dispone de un código a modo de ejemplo con el que poder comparar.

### 4.1.2 Resultados

Una vez resuelta la plantilla, el usuario podrá observar los resultados de una manera bastante práctica y visual haciendo uso de dos diagramas; uno en el cual se pueden apreciar valores relacionados con el ciclo de refrigeración en el que trabajaría el compresor (véase *Ilustración 20*), y otro en el cual se detallan características más específicas del compresor utilizado (véase *Ilustración 21*).

#### RESULTADOS



*Ilustración 20 - Resultados Ciclo (Selección de Compresor)*

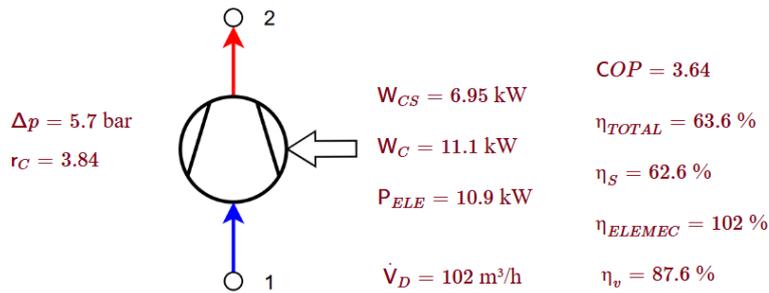


Ilustración 21- Resultados Compresor

## 4.2 Funcionamiento de Compresores

### 4.2.1 Instrucciones de Uso

Se enumeran a continuación los pasos a seguir para un correcto uso de la plantilla:

1. Indicar a la plantilla cual ha sido el compresor seleccionado en el paso anterior y el refrigerante con el que se está trabajando.
2. Rellenar los datos de diseño obtenidos de la plantilla anterior:
  - Potencia frigorífica inicial.
  - Temperatura de evaporación de diseño.
  - Temperatura de condensación de diseño.
  - Subenfriamiento del líquido.
  - Sobrecalentamiento del vapor.
  - Volumen desplazado.
  - Rendimiento electromecánico.
3. Descargar el Excel facilitado por Bitzer (véase *Ilustración 22*), seleccionando la opción de polinomio.

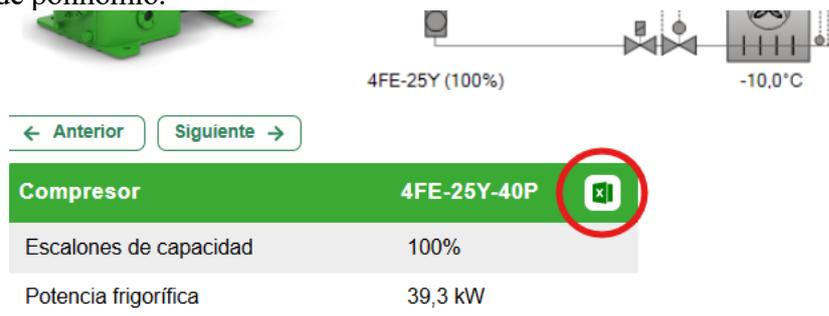


Ilustración 22 - Descargar Excel Bitzer

4. Rellenar el apartado de curvas del compresor con los valores indicados en el Excel (véase *Ilustración 23*) (tened en cuenta que el separador decimal utilizado en pSolver es el punto).

|    |              |              |              |              |              |              |
|----|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 27 |              |              |              |              |              |              |
| 28 | Coeficiente: |              |              |              |              |              |
| 29 |              | c1           | c2           | c3           | c4           | c5           |
| 30 | Q [W]        | 80790,465261 | 3256,754519  | -616,241405  | 48,733605508 | -22,5192474  |
| 31 | P [W]        | 4280,210244  | -189,231626  | 321,45898133 | -6,85607922  | 11,906575284 |
| 32 | m [kg/h]     | 1389,8887918 | 52,127222797 | -1,82749726  | 0,7314099659 | -0,05150765  |

Ilustración 23- Coeficientes de Curvas de Compresor

5. Introducir ahora las nuevas condiciones de funcionamiento que queremos estudiar:
  - Temperatura de evaporación
  - Temperatura de condensación
6. Antes de resolver la plantilla, debemos asegurarnos de introducir valores estimados en los datos de entrada de los análisis de sensibilidad (serán modificados posteriormente si es necesario).
7. Resolver la plantilla y observar los resultados. Es aconsejable guardar los resultados obtenidos cada vez que se ejecute el código con el fin de facilitar los cálculos (véase *Ilustración 17*).
8. Si queremos realizar un análisis de sensibilidad entonces ajustaremos los valores máximos y mínimos deseados de la variable de entrada a estudiar. Volveremos a resolver el código y a guardar los resultados.
9. Actualizaremos las tablas del análisis de sensibilidad (véase *Ilustración 18*).

Se recuerda que si existe alguna duda sobre que símbolo corresponde a cada variable puede consultarse el *Anexo I* y que se dispone de un código a modo de ejemplo con el que poder comparar.

## 4.2.2 Resultados

Una vez resuelta la plantilla, el usuario podrá observar los resultados de una manera bastante práctica y visual haciendo uso de dos diagramas; uno en el cual se pueden apreciar valores relacionados con el ciclo de refrigeración en el que trabajaría el compresor (véase *Ilustración 20*), y otro en el cual se detallan características más específicas del compresor utilizado (véase *Ilustración 21*).

Dichos resultados pueden ser comparados con los obtenidos en la plantilla de Selección de Compresor para ver cómo han variado al cambiar las condiciones de operación.

Por último, el usuario tiene a su disposición dos análisis de sensibilidad para ver como varían los resultados clave del código en función de la variación de dos datos de entrada, en este caso, temperatura de evaporación y temperatura de condensación (relación de compresión), entre dos valores ajustables (mínimo y máximo), manteniendo el resto de las variables de entrada en sus condiciones de diseño inicial. Se recuerda que cada vez que se altere cualquier dato y se ejecute el programa, deben ser actualizadas las tablas para ver los resultados correspondientes (véase *Ilustración 18*).

Los resultados de cada análisis de sensibilidad se mostrarán en gráficas organizadas de manera que el eje 'x' muestre la variación de la variable de entrada modificada y los ejes 'y' las variaciones de los resultados obtenidos. A su vez, los resultados obtenidos con las condiciones de diseño iniciales aparecerán marcados por un rombo. (véase *Ilustración 24*)

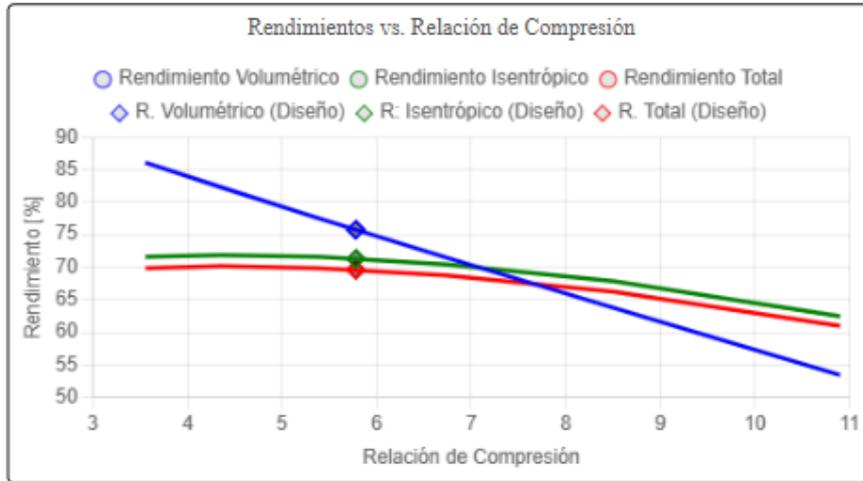


Ilustración 24 - Ejemplo Gráfica Análisis de Sensibilidad

## 5 EVAPORADORES

---

En este apartado se detallan las instrucciones de uso de las plantillas relacionadas con los evaporadores. En primer lugar, se facilitan los 'Id' de cada una de ellas para que el usuario pueda emplearlas:

- Selección de Evaporadores: [3fde5b07-8a88-48ba-b062-c7a9ea78585a](#)
- Ejemplo de Selección de Evaporadores: [8e19db31-7ef5-4569-b480-e3dd99143054](#)
- Funcionamiento de Evaporadores: [213789f7-7c64-4c9c-b86b-ecdf8223343c](#)
- Ejemplo de Funcionamiento de Evaporadores: [2827a4a1-5f97-4c45-b0a4-99b4a9531756](#)

Para hacer uso de dichas plantillas, el usuario debe utilizar la función que ofrece pSolver de 'Copiar Problema con Id' (véase Ilustración 19) e introducir el 'Id' correspondiente.

En este trabajo y, con motivo de la simplificación de cálculos, nos centraremos únicamente en el estudio de evaporadores de líquidos. En los evaporadores de aire no solo se produce un cambio de temperatura del fluido, sino que también una variación en la humedad de este o, lo que es lo mismo, la energía cedida al fluido consta de dos componentes, una latente y otra sensible. Dicha particularidad complica sobremanera los cálculos y hace el estudio del funcionamiento del equipo prácticamente imposible con las herramientas a nuestra disposición.

La resolución de estos problemas se basa en balances de energía realizados en el evaporador y calculados mediante la definición de propiedades del refrigerante y fluido utilizados, así como de ecuaciones que definen las distintas especificaciones de un evaporador.

Se realizan también los cálculos para dos métodos distintos de resolución de ejercicios de intercambiadores de calor:

- **Método F-DTLM:** se utiliza en el diseño de intercambiadores de calor. Permite calcular con precisión la transferencia térmica en configuraciones que no son de flujo paralelo ni contracorriente puro. En este caso, al producirse un cambio de fase, el factor de corrección F es igual a la unidad.
- **Método Efectividad-NTU:** este método relaciona la efectividad del equipo (proporción de calor transferido respecto al máximo posible) con el número de unidades de transferencia de calor (NTU) y la capacidad térmica de los fluidos. Es especialmente útil para dimensionar el evaporador y analizar su eficiencia bajo condiciones reales de operación.

También hay que tener en cuenta que, en contraste con los compresores, Bitzer no nos ofrece en este caso los polinomios que caracterizan el comportamiento del equipo al variar las condiciones operacionales. Por ello, se asume que la variación del caudal de fluido respecto al de diseño equivale a la variación del coeficiente 'U\*A' respecto al de diseño elevado a 0,8:

$$\frac{\dot{m}_F}{\dot{m}_{FD}} = \left( \frac{U * A}{U_D * A_D} \right)^{0.8}$$

## 5.1 Selección de Evaporadores de Líquido

### 5.1.1 Instrucciones de Uso

Se enumeran a continuación los pasos a seguir para un correcto uso de la plantilla:

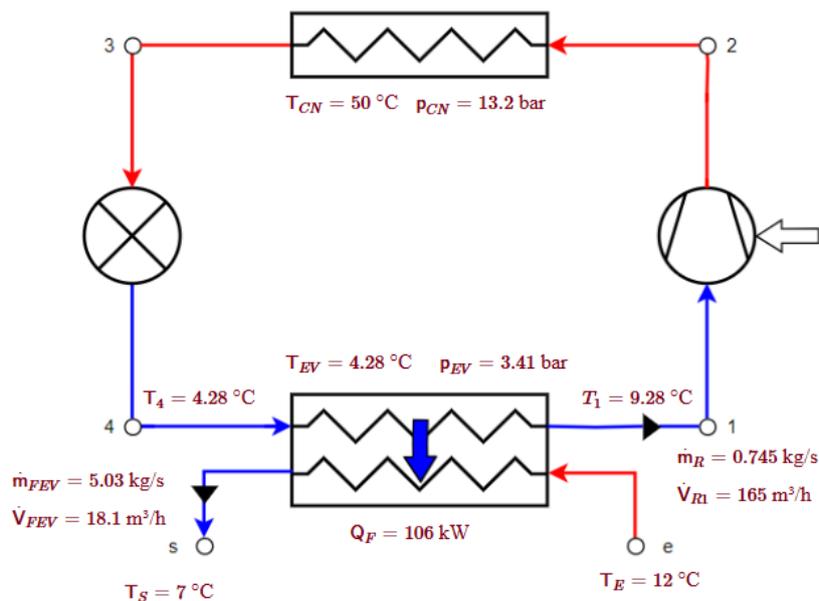
1. Elegir el refrigerante y el fluido con el que va a trabajar el evaporador e introducirlo en la plantilla, se recuerda que el fluido secundario introducido debe ser de carácter líquido.
2. Rellenar las condiciones de diseño iniciales:
  - Temperatura de entrada.
  - Temperatura de salida.
  - Temperatura de evaporación inicial.
  - Temperatura de condensación.
  - Subenfriamiento del líquido.
  - Sobrecalentamiento del vapor.
  - Potencia frigorífica inicial.
  - Presión del fluido (normalmente estableceremos este valor en 200 kPa, no tiene una gran repercusión en los resultados)
3. Abrir el software Bitzer y elegir la sección de evaporadores multitubulares.
4. Editar los parámetros requeridos y adaptarlos a nuestras condiciones:
  - Refrigerante.
  - Fluido secundario.
  - Potencia del evaporador
  - Temperatura de entrada.
  - Temperatura de salida.
  - Temperatura de condensación.
  - Subenfriamiento.
  - Temperatura de evaporación.
  - Recalentamiento.
5. Ejecutar el software con el botón ‘Calcular’ y elegir entre los evaporadores ofertados el que más se adapte a nuestras necesidades.
6. Completar los datos restantes de la plantilla con los ofrecidos por Bitzer:
  - Modelo (número del modelo de evaporador elegido).
  - Temperatura de evaporación.
  - Caudal másico de refrigerante (caudal másico refrigerante – calculado en Bitzer).
7. Resolver la plantilla y observar los resultados. Es aconsejable guardar los resultados obtenidos cada vez que se ejecute el código con el fin de facilitar los cálculos (véase *Ilustración 17*).
8. Actualizar la tabla del diagrama de temperaturas (véase *Ilustración 18*)

Se recuerda que si existe alguna duda sobre que símbolo corresponde a cada variable puede consultarse el *Anexo I* y que se dispone de un código a modo de ejemplo con el que poder

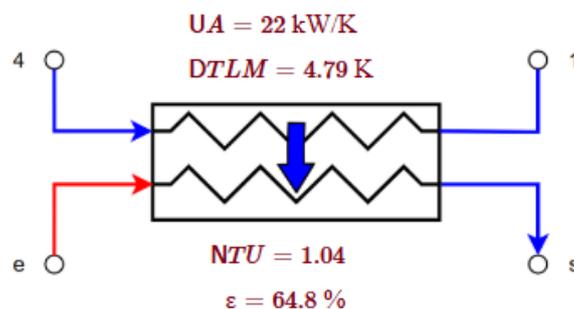
comparar.

## 5.1.2 Resultados

Una vez resuelta la plantilla, el usuario podrá observar los resultados de una manera bastante práctica y visual haciendo uso de dos diagramas; uno en el cual se pueden apreciar valores relacionados con el ciclo de refrigeración en el que trabajaría el evaporador (véase *Ilustración 25*), y otro en el cual se detallan características más específicas del evaporador utilizado (véase *Ilustración 26*).



*Ilustración 25 - Resultados Ciclo (Selección Evaporador)*

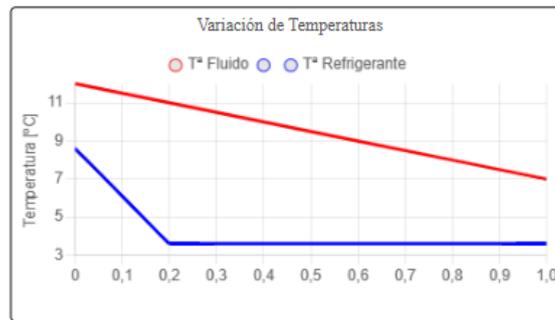


*Ilustración 26 - Resultados Evaporador*

Además de los resultados mencionados anteriormente el usuario podrá observar en el diagrama de temperaturas (véase *Ilustración 27*) cómo varían las temperaturas de ambos fluidos a lo largo de su paso por el evaporador, rojo en este caso para el fluido y azul para el refrigerante.

$$T_{ENT} = 12 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_1 = 9.28 \text{ }^{\circ}\text{C}$$



$$T_{SAL} = 7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{EVAP} = 4.28 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Ilustración 27 - Diagrama de Temperaturas (Selección de Evaporador)

## 5.2 Funcionamiento de Evaporadores

### 5.2.1 Instrucciones de Uso

Se enumeran a continuación los pasos a seguir para un correcto uso de la plantilla:

1. Indicar a la plantilla cual ha sido el evaporador seleccionado en el paso anterior y el cuales son los fluidos con los que se está trabajando; refrigerante y fluido secundario.
2. Rellenar los datos de diseño obtenidos en la plantilla anterior:
  - Temperatura de entrada de diseño.
  - Temperatura de salida de diseño.
  - Sobrecalentamiento del vapor.
  - Subenfriamiento del líquido.
  - Caudal de fluido en el evaporador de diseño.
  - Coeficiente 'U\*A' de diseño.
  - Temperatura de evaporación de diseño.
3. Introducir ahora las nuevas condiciones de funcionamiento que queremos estudiar:
  - Temperatura de entrada.
  - Temperatura de evaporación.
  - Caudal de fluido en el evaporador.
  - Temperatura de condensación.
4. Antes de resolver la plantilla, debemos asegurarnos de introducir valores estimados en los datos de entrada de los análisis de sensibilidad (serán modificados posteriormente si es necesario).
5. Resolver la plantilla y observar los resultados. Es aconsejable guardar los resultados obtenidos cada vez que se ejecute el código con el fin de facilitar los cálculos (véase *Ilustración 17*).
6. Actualizar la tabla del diagrama de sensibilidad (véase *Ilustración 18*).
7. Si queremos realizar un análisis de sensibilidad entonces ajustaremos los valores máximos y mínimos deseados de la variable de entrada a estudiar. Volveremos a resolver el código y a guardar los resultados.
8. Actualizaremos las tablas del análisis de sensibilidad (véase *Ilustración 18*).

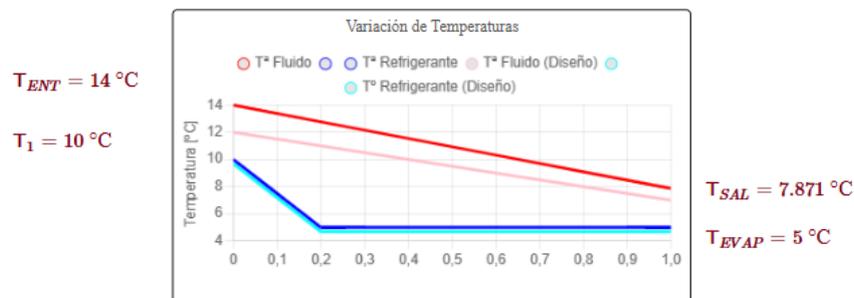
Se recuerda que si existe alguna duda sobre que símbolo corresponde a cada variable puede consultarse el *Anexo I* y que se dispone de un código a modo de ejemplo con el que poder comparar.

## 5.2.2 Resultados

Una vez resuelta la plantilla, el usuario podrá observar los resultados de una manera bastante práctica y visual haciendo uso de dos diagramas; uno en el cual se pueden apreciar valores relacionados con el ciclo de refrigeración en el que trabajaría el evaporador (véase *Ilustración 25*), y otro en el cual se detallan características más específicas del evaporador utilizado (véase *Ilustración 26*).

Dichos resultados pueden ser comparados con los obtenidos en la plantilla de Selección de Evaporador para ver cómo han variado al cambiar las condiciones de operación.

Además de los resultados mencionados anteriormente el usuario podrá observar en el diagrama de temperaturas (véase *Ilustración 28*) cómo varían las temperaturas de ambos fluidos a lo largo de su paso por el evaporador, rojo en este caso para el fluido y azul para el refrigerante, en comparación con cómo variaban en las condiciones de diseño, rosa en este caso para el fluido y celeste para el refrigerante.



*Ilustración 28 - Diagrama de Temperaturas (Funcionamiento de Evaporador)*

Por último, el usuario tiene a su disposición tres análisis de sensibilidad para ver como varían los resultados clave del código en función de la variación de tres datos de entrada, en este caso, temperatura de evaporación, temperatura de entrada del fluido y caudal de fluido en el evaporador, entre dos valores ajustables (mínimo y máximo), manteniendo el resto de las variables de entrada en sus condiciones de diseño inicial. Se recuerda que cada vez que se altere cualquier dato y se ejecute el programa, deben ser actualizadas las tablas para ver los resultados correspondientes (véase *Ilustración 18*).

Los resultados de cada análisis de sensibilidad se mostrarán en gráficas organizadas de manera que el eje 'x' muestre la variación de la variable de entrada modificada y los ejes 'y' las variaciones de los resultados obtenidos. A su vez, los resultados obtenidos con las condiciones de diseño iniciales aparecerán marcados por un rombo. (véase *Ilustración 24*)

# 6 CONDENSADORES

---

En este apartado se detallan las instrucciones de uso de las plantillas relacionadas con los condensadores. En primer lugar, se facilitan los ‘Id’ de cada una de ellas para que el usuario pueda emplearlas:

- Selección de Condensadores: [fbe94819-90d7-4f16-ba3b-bc4a822d0437](#)
- Ejemplo de Selección de Condensadores: [f201ba68-76d0-4bca-adc4-9a73a200153c](#)
- Funcionamiento de Condensadores: [1aec67db-4dd7-485a-9c67-a1ac664e7935](#)
- Ejemplo de Funcionamiento de Condensadores: [4a129f7f-1f4e-4091-b6e7-1f1c700eb5f8](#)

Para hacer uso de dichas plantillas, el usuario debe utilizar la función que ofrece pSolver de ‘Copiar Problema con Id’ (véase Ilustración 19) e introducir el ‘Id’ correspondiente.

En este trabajo y, con motivo de la simplificación de cálculos, nos centraremos únicamente en el estudio de condensadores de líquidos. En los condensadores de aire no solo se produce un cambio de temperatura del fluido, sino que también una variación en la humedad de este o, lo que es lo mismo, la energía cedida al fluido consta de dos componentes, una latente y otra sensible. Dicha particularidad complica sobremanera los cálculos y hace el estudio del funcionamiento del equipo prácticamente imposible con las herramientas a nuestra disposición.

La resolución de estos problemas se basa en balances de energía realizados en el condensador y calculados mediante la definición de propiedades del refrigerante y fluido utilizados, así como de ecuaciones que definen las distintas especificaciones de un condensador.

Se realizan también los cálculos para dos métodos distintos de resolución de ejercicios de intercambiadores de calor:

- **Método F-DTLM:** se utiliza en el diseño de intercambiadores de calor. Permite calcular con precisión la transferencia térmica en configuraciones que no son de flujo paralelo ni contracorriente puro. En este caso, al producirse un cambio de fase, el factor de corrección F es igual a la unidad.
- **Método Efectividad-NTU:** este método relaciona la efectividad del equipo (proporción de calor transferido respecto al máximo posible) con el número de unidades de transferencia de calor (NTU) y la capacidad térmica de los fluidos. Es especialmente útil para dimensionar el condensador y analizar su eficiencia bajo condiciones reales de operación.

También hay que tener en cuenta que, en contraste con los compresores, Bitzer no nos ofrece en este caso los polinomios que caracterizan el comportamiento del equipo al variar las condiciones operacionales. Por ello, se asume que la variación del caudal de fluido

respecto al de diseño es equivalente a la variación del coeficiente ‘U\*A’ respecto al de diseño elevado a 0,8:

$$\frac{\dot{m}_F}{\dot{m}_{FD}} = \left( \frac{U * A}{U_D * A_D} \right)^{0.8}$$

## 6.1 Selección de Condensadores

### 6.1.1 Instrucciones de Uso

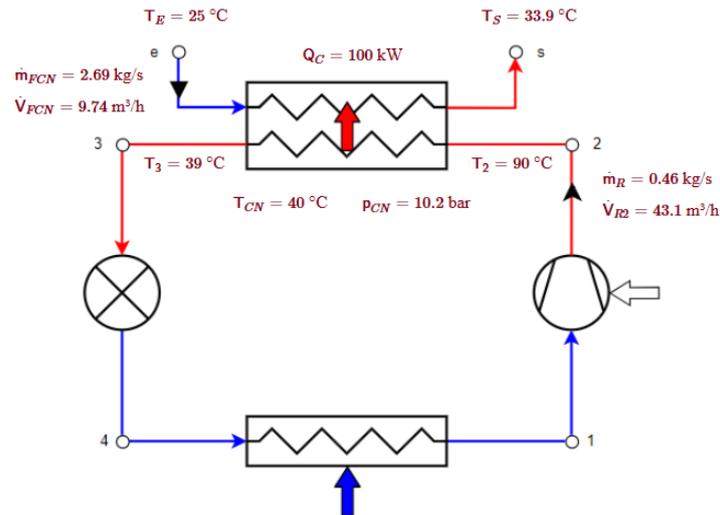
Se enumeran a continuación los pasos a seguir para un correcto uso de la plantilla:

1. Elegir el refrigerante y el fluido con el que va a trabajar el condensador e introducirlo en la plantilla, se recuerda que el fluido secundario introducido debe ser de carácter líquido.
2. Rellenar las condiciones de diseño iniciales:
  - Temperatura de entrada.
  - Temperatura de condensación.
  - Subenfriamiento del líquido.
  - Temperatura de descarga.
  - Potencia calorífica inicial.
  - Presión del fluido (normalmente estableceremos este valor en 200 kPa, no tiene una gran repercusión en los resultados)
3. Abrir el software Bitzer y elegir la sección de condensadores multitubulares.
4. Editar los parámetros requeridos y adaptarlos a nuestras condiciones:
  - Refrigerante.
  - Fluido secundario.
  - Potencia del condensador
  - Temperatura de condensación.
  - Temperatura de gas de descarga.
  - Temperatura de entrada.
  - Subenfriamiento.
5. Ejecutar el software con el botón ‘Calcular’ y elegir entre los condensadores ofertados el que más se adapte a nuestras necesidades.
6. Completar los datos restantes de la plantilla con los ofrecidos por Bitzer:
  - Modelo (número del modelo de condensador elegido).
  - Caudal volumétrico de fluido en el condensador (caudal en Bitzer).
  - Temperatura de salida (temperatura de salida de agua en Bitzer)
7. Resolver la plantilla y observar los resultados. Es aconsejable guardar los resultados obtenidos cada vez que se ejecute el código con el fin de facilitar los cálculos (véase *Ilustración 17*).
8. Actualizar la tabla del diagrama de temperaturas (véase *Ilustración 18*)

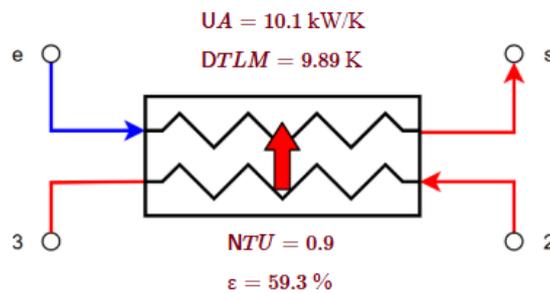
Se recuerda que si existe alguna duda sobre que símbolo corresponde a cada variable puede consultarse el *Anexo I* y que se dispone de un código a modo de ejemplo con el que poder comparar.

## 6.1.2 Resultados

Una vez resuelta la plantilla, el usuario podrá observar los resultados de una manera bastante práctica y visual haciendo uso de dos diagramas; uno en el cual se pueden apreciar valores relacionados con el ciclo de refrigeración en el que trabajaría el condensador (véase *Ilustración 29*), y otro en el cual se detallan características más específicas del condensador utilizado (véase *Ilustración 30*).



*Ilustración 29 - Resultados Ciclo (Selección de Condensadores)*



*Ilustración 30 - Resultados Condensador*

Además de los resultados mencionados anteriormente el usuario podrá observar en el diagrama de temperaturas (véase *Ilustración 31*) cómo varían las temperaturas de ambos fluidos a lo largo de su paso por el condensador, azul en este caso para el fluido y rojo para el refrigerante.

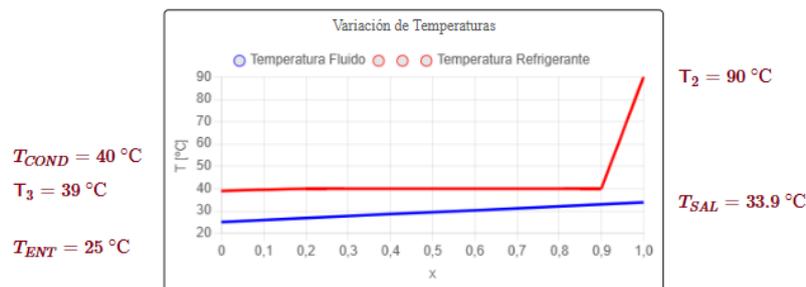


Ilustración 31- Diagrama de Temperaturas (Selección de Condensador)

## 6.2 Funcionamiento de Condensadores

### 6.2.1 Instrucciones de Uso

Se enumeran a continuación los pasos a seguir para un correcto uso de la plantilla:

1. Indicar a la plantilla cual ha sido el condensador seleccionado en el paso anterior y cuáles son los fluidos con los que se está trabajando; refrigerante y fluido secundario.
2. Rellenar los datos de diseño obtenidos en la plantilla anterior:
  - Temperatura de entrada de diseño.
  - Temperatura de salida de diseño.
  - Temperatura de condensación de diseño.
  - Temperatura de descarga de diseño.
  - Caudal volumétrico de fluido en el condensador de diseño.
  - Subenfriamiento del líquido.
  - Coeficiente 'U\*A' de diseño.
3. Introducir ahora las nuevas condiciones de funcionamiento que queremos estudiar:
  - Temperatura de entrada.
  - Temperatura de condensación.
  - Caudal másico de fluido en el condensador.
  - Temperatura de descarga.
4. Antes de resolver la plantilla, debemos asegurarnos de introducir valores estimados en los datos de entrada de los análisis de sensibilidad (serán modificados posteriormente si es necesario).
5. Resolver la plantilla y observar los resultados. Es aconsejable guardar los resultados obtenidos cada vez que se ejecute el código con el fin de facilitar los cálculos (véase *Ilustración 17*).
6. Actualizar la tabla del diagrama de temperaturas (véase *Ilustración 18*).
7. Si queremos realizar un análisis de sensibilidad entonces ajustaremos los valores máximos y mínimos deseados de la variable de entrada a estudiar. Volveremos a resolver el código y a guardar los resultados.
8. Actualizaremos las tablas del análisis de sensibilidad (véase *Ilustración 18*).

Se recuerda que si existe alguna duda sobre que símbolo corresponde a cada variable puede consultarse el *Anexo I* y que se dispone de un código a modo de ejemplo con el que poder

comparar.

## 6.2.2 Resultados

Una vez resuelta la plantilla, el usuario podrá observar los resultados de una manera bastante práctica y visual haciendo uso de dos diagramas; uno en el cual se pueden apreciar valores relacionados con el ciclo de refrigeración en el que trabajaría el condensador (véase *Ilustración 29*), y otro en el cual se detallan características más específicas del evaporador utilizado (véase *Ilustración 30*).

Dichos resultados pueden ser comparados con los obtenidos en la plantilla de Selección de Condensador para ver cómo han variado al cambiar las condiciones de operación.

Además de los resultados mencionados anteriormente el usuario podrá observar en el diagrama de temperaturas (véase *Ilustración 32*) cómo varían las temperaturas de ambos fluidos a lo largo de su paso por el condensador, azul en este caso para el fluido y rojo para el refrigerante, en comparación con cómo variaban en las condiciones de diseño, celeste en este caso para el fluido y rosa para el refrigerante.

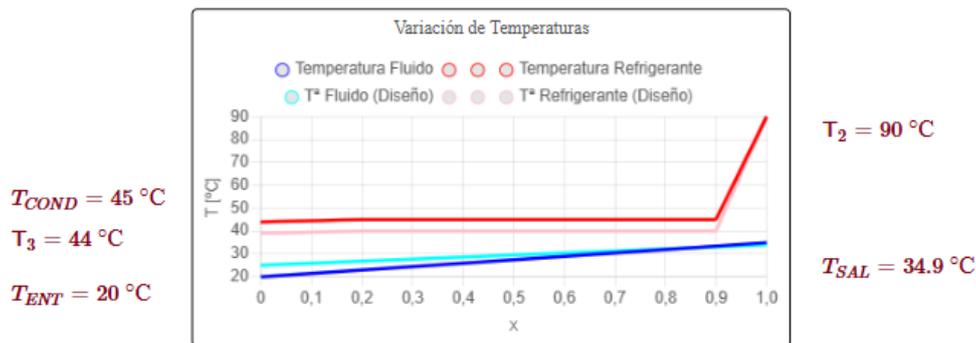


Ilustración 32 - Diagrama de Temperaturas (Funcionamiento de Condensador)

Por último, el usuario tiene a su disposición tres análisis de sensibilidad para ver cómo varían los resultados clave del código en función de la variación de tres datos de entrada, en este caso, temperatura de condensación, temperatura de entrada del fluido y caudal de fluido en el condensador, entre dos valores ajustables (mínimo y máximo), manteniendo el resto de las variables de entrada en sus condiciones de diseño inicial. Se recuerda que cada vez que se altere cualquier dato y se ejecute el programa, deben ser actualizadas las tablas para ver los resultados correspondientes (véase *Ilustración 18*).

Los resultados de cada análisis de sensibilidad se mostrarán en gráficas organizadas de manera que el eje 'x' muestre la variación de la variable de entrada modificada y los ejes 'y' las variaciones de los resultados obtenidos. A su vez, los resultados obtenidos con las condiciones de diseño iniciales aparecerán marcados por un rombo. (véase *Ilustración 24*)

# 7 DISEÑO DEL CICLO

---

En este apartado se detallan las instrucciones de uso de las plantillas relacionadas con el ciclo frigorífico completo. En primer lugar, se facilitan los 'Id' de cada una de ellas para que el usuario pueda emplearlas:

- Diseño Ideal de Ciclo: [ca9e99bc-b2f3-4c92-98d0-e13857c5555a](#)
- Ejemplo de Diseño Ideal de Ciclo: [ab158888-de3c-478d-a2e9-0f9265052d0a](#)
- Diseño Real de Ciclo: [4687c02c-cecd-453e-b801-32bbfcef4b45](#)
- Ejemplo de Diseño Real de Ciclo: [9794b3e2-3f86-4364-ba3d-20bb0021a75f](#)
- Funcionamiento de Ciclo: [ad133c70-48eb-4369-bd31-bc326935bd17](#)
- Ejemplo de Funcionamiento de Ciclo: [dead8391-f884-417c-835c-abca2b08ec59](#)

Para hacer uso de dichas plantillas, el usuario debe utilizar la función que ofrece pSolver de 'Copiar Problema con Id' (véase Ilustración 19) e introducir el 'Id' correspondiente.

La resolución de estos problemas se basa en balances de energía realizados en cada uno de los componentes del ciclo y calculados mediante la definición de propiedades del refrigerante y fluidos utilizados, así como de ecuaciones que definen las distintas especificaciones de cada uno de los componentes del ciclo.

La complicación de estas plantillas reside en que cada uno de los componentes debe trabajar a unas condiciones que sean compatibles con el resto de los equipos que completan el ciclo. Para ello se distinguen dos pasos distintos en el diseño del ciclo, el diseño ideal y el real.

En el diseño ideal se estimarán, a partir de unas condiciones lo más realistas posibles, cómo trabajarán cada uno de los componentes del ciclo. Mientras que en el diseño real y, con ayuda de las estimaciones obtenidas del diseño ideal, se utilizarán los códigos de selección de equipos para elegir el más adecuado posible y ver cómo evoluciona su funcionamiento cuando se conectan entre ellos.

## 7.1 Diseño Ideal del Ciclo

Como se ha mencionado anteriormente, en esta plantilla se debe hacer uso de estimaciones realistas para obtener unos primeros resultados del ciclo completo. Para asistir al usuario en esta misión se van a facilitar rangos de valores típicos de cada uno de los datos de entrada con el fin de que los resultados sean lo más realistas posible.

### 7.1.1 Instrucciones de Uso

Se enumeran a continuación los pasos a seguir para un correcto uso de la plantilla:

1. Elegir el refrigerante y los fluidos con los que van a trabajar el evaporador y condensador respectivamente, e introducirlo en la plantilla, se recuerda que los fluidos secundarios introducidos deben ser de carácter líquido.
2. Rellenar las condiciones de diseño ideal iniciales (es aconsejable, aunque no

obligatorio, tomar valores dentro de los rangos típicos, los que más se adapten a cada caso):

- Temperatura de entrada al evaporador (10, 15 °C).
  - Temperatura de salida del evaporador (4, 10 °C).
  - Temperatura de entrada al condensador (20, 25 °C).
  - Temperatura de salida del condensador (35, 50°C).
  - Caudal másico de fluido en el evaporador (depende de cada caso, recomendable alrededor de 5 kg/s).
  - Caudal másico de fluido en el condensador (depende de cada caso, recomendable alrededor de 5 kg/s).
  - Subenfriamiento del líquido (normalmente en torno a 5K).
  - Sobrecalentamiento del vapor (normalmente en torno a 5K).
  - Efectividad del evaporador (normalmente en torno al 65%).
  - Efectividad del condensador (normalmente en torno al 65%).
  - Rendimiento electromecánico del compresor (normalmente en torno al 97%).
  - Presión de los fluidos (normalmente estableceremos este valor en 200 kPa, no tiene una gran repercusión en los resultados)
3. Resolver la plantilla y observar los resultados. Es aconsejable guardar los resultados obtenidos cada vez que se ejecute el código con el fin de facilitar los cálculos (véase *Ilustración 17*).
  4. Asegurarse que los resultados obtenidos son realistas y pueden llegar a ejecutarse con equipos reales. Una limitación establecida por Bitzer es que la temperatura de descarga no puede ser excesivamente alta ( $T_2 > 90$  °C). En caso de superar dicha temperatura es aconsejable reducir el caudal de fluido en el condensador o la temperatura de entrada al condensador hasta cumplir la condición establecida por Bitzer. Se aconseja también que el valor de la potencia frigorífica no supere los 150 kW, si fuera necesario se reduciría el caudal de fluido en el evaporador.
  5. Se aconseja también que, si los resultados obtenidos son muy dispares a los esperados, se realicen cambios en los datos de entrada y analizar como afecta a los resultados, intentando llegar a unos más adecuados a cada caso.
  6. Actualizar las tablas de los diagramas de temperaturas (véase *Ilustración 18*).
  7. Se recuerda que los resultados obtenidos son estimaciones.

Se recuerda también que si existe alguna duda sobre que símbolo corresponde a cada variable puede consultarse el *Anexo I* y que se dispone de un código a modo de ejemplo con el que poder comparar.

## 7.1.2 Resultados

Una vez resuelta la plantilla, el usuario podrá observar los resultados de una manera bastante práctica y visual haciendo uso de cuatro diagramas; uno en el cual se pueden apreciar valores relacionados con el ciclo de refrigeración completo (véase *Ilustración 33*), y otros tres en los cuales se detallan características más específicas de cada componente utilizado; compresor (véase *Ilustración 21*), evaporador (véase *Ilustración 26*) y condensador (véase *Ilustración 30*).

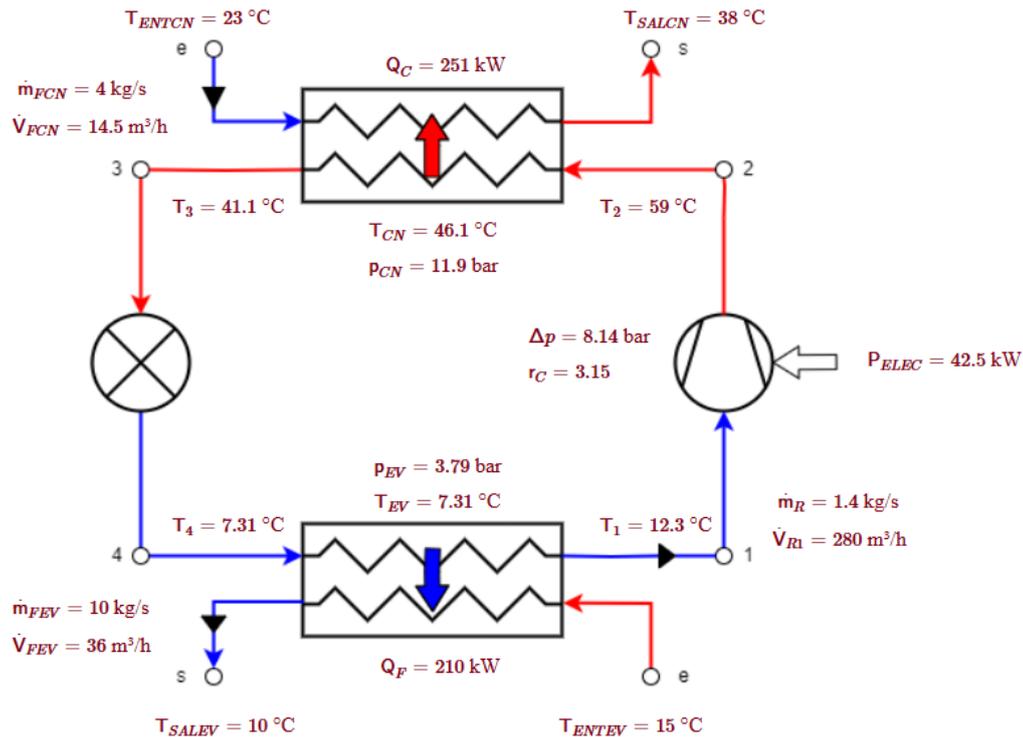


Ilustración 33 - Resultados Ciclo

Además de los resultados mencionados anteriormente el usuario podrá observar en los diagramas de temperaturas cómo varían las temperaturas de ambos fluidos a lo largo de su paso por el evaporador (véase *Ilustración 27*) y condensador (véase *Ilustración 31*).

## 7.2 Diseño Real del Ciclo

Como se ha mencionado anteriormente, en esta plantilla se hará en un primer lugar la selección de cada uno de los componentes del ciclo para posteriormente obtener las condiciones a las que trabajarán al conectarlos entre ellos.

### 7.2.1 Instrucciones de Uso

Se enumeran a continuación los pasos a seguir para un correcto uso de la plantilla:

1. Indicar el refrigerante y los fluidos con los que van a trabajar el evaporador y condensador respectivamente, introduciéndolos en la plantilla.
2. Rellenar las condiciones de diseño ideal iniciales obtenidas de la plantilla anterior:
  - Temperatura de evaporación de diseño.
  - Temperatura de condensación de diseño.
  - Potencia frigorífica de diseño.
  - Potencia calorífica de diseño.
  - Temperatura de descarga de diseño.
  - Temperatura de entrada al evaporador.
  - Temperatura de salida del evaporador de diseño.
  - Temperatura de entrada al condensador.
  - Presión de los fluidos (normalmente estableceremos este valor en 200 kPa,

- no tiene una gran repercusión en los resultados)
- Subenfriamiento del líquido (normalmente en torno a 5K).
  - Sobrecalentamiento del vapor (normalmente en torno a 5K).
3. A continuación, procederemos a usar la plantilla de Selección de Compresor. Seleccionaremos un compresor que se adapte a nuestras necesidades e introduciremos los siguientes datos:
    - Compresor (número del modelo de compresor elegido).
    - Potencia eléctrica de diseño (potencia absorbida en Bitzer).
    - Caudal másico de refrigerante de diseño (caudal másico en Bitzer).
    - Temperatura de descarga de diseño (temperatura gas de descarga no enfriado en Bitzer).
    - Volumen desplazado de diseño (aparece en el apartado de datos técnicos, tomar el valor a 50 Hz).
  4. Descargar el Excel facilitado por Bitzer (véase *Ilustración 22*), seleccionando la opción de polinomio y rellenar el apartado de curvas del compresor con los valores indicados en el Excel (véase *Ilustración 23*) (tened en cuenta que el separador decimal utilizado en pSolver es el punto).
  5. Utilizar ahora la plantilla de Selección de Evaporadores. Seleccionaremos un evaporador que se adapte a nuestras necesidades (desmarcar casilla de ‘solo productos con plazo de entrega corto’ al realizar la búsqueda en Bitzer), resolveremos esa plantilla y rellenaremos nuestra plantilla con los resultados obtenidos:
    - Modelo (número del modelo de evaporador elegido).
    - Caudal de fluido en el evaporador.
    - Coeficiente ‘U\*A’ del evaporador.
  6. Utilizar ahora la plantilla de Selección de Condensadores. Seleccionaremos un condensador que se adapte a nuestras necesidades, resolveremos esa plantilla y rellenaremos nuestra plantilla con los resultados obtenidos:
    - Modelo (número del modelo de condensador elegido).
    - Caudal de fluido en el condensador.
    - Coeficiente ‘U\*A’ del condensador.
  7. Una vez rellenos todos los datos de entrada; resolver la plantilla y observar los resultados. Es aconsejable guardar los resultados obtenidos cada vez que se ejecute el código con el fin de facilitar los cálculos (véase *Ilustración 17*).
  8. Pueden compararse los resultados obtenidos con los resultantes del diseño ideal con el fin de ver cuán realista habían sido las estimaciones realizadas.
  9. Actualizar las tablas de los diagramas de temperaturas (véase *Ilustración 18*).
  10. En el caso de producirse un error de iteración se aconseja introducir un nuevo salto de sección justo antes del apartado de la plantilla que dice ‘Propiedades’ (véase *Ilustración 34 e Ilustración 35*). Se resolvería entonces la sección 1 y se guardarían los resultados (véase *Ilustración 17*). Finalmente, se eliminaría el cambio de sección y se resolvería la plantilla completa.

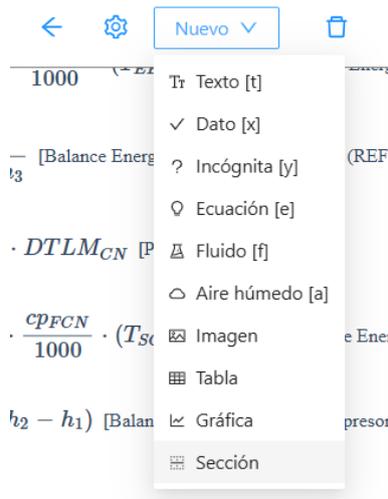


Ilustración 34 - Añadir Sección

$$\dot{m}_R = \frac{c_{m1} + c_{m2} \cdot T_{EV} + c_{m3} \cdot T_{CN} + c_{m4} \cdot T_{EV} + c_{m5} \cdot T_{EV} \cdot T_{CN} + c_{m6} \cdot T_{CN} + c_{m7} \cdot T_{EV} + c_{m8} \cdot T_{EV} \cdot T_{CN}}{3600}$$

$$P_{ELE} = (c_{P1} + c_{P2} \cdot T_{EV} + c_{P3} \cdot T_{CN} + c_{P4} \cdot T_{EV}^2 + c_{P5} \cdot T_{EV} \cdot T_{CN} + c_{P6} \cdot T_{CN}^2 + c_{P7} \cdot T_{EV}^3 + c_{P8} \cdot T_{EV}^2 \cdot T_{CN}) \cdot \dot{m}_R$$

$T_{EV} = 6.72 \text{ }^\circ\text{C}$

Fin sección: 1 \_\_\_\_\_

**PROPIEDADES**

$\rho_{FEV} = 1000 \text{ kg/m}^3$  [ $\rho$  (FLUIDO\_ev) p = p<sub>FEV</sub> kPa, T = (T<sub>EEV</sub>+T<sub>SEV</sub>)/2 °C]     $\rho_{FCN} = 996 \text{ kg/m}^3$  [ $\rho$  (FLUIDO\_cn) p = p<sub>FCN</sub> kPa, T = T<sub>FCN</sub> °C]

$s_1 = 1.74 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$  [s (REF) p = p<sub>EV</sub> kPa, T = T<sub>1</sub> °C]     $h_{2S} = 431 \text{ kJ/kg}$  [h (REF) p = p<sub>CN</sub> kPa, s = s<sub>1</sub> kJ/(kg·K)]

Ilustración 35 - Ejemplo Sección (Diseño Real de Ciclo)

Se recuerda también que si existe alguna duda sobre que símbolo corresponde a cada variable puede consultarse el *Anexo I* y que se dispone de un código a modo de ejemplo con el que poder comparar.

## 7.2.2 Resultados

Una vez resuelta la plantilla, el usuario podrá observar los resultados de una manera bastante práctica y visual haciendo uso de cuatro diagramas; uno en el cual se pueden apreciar valores relacionados con el ciclo de refrigeración completo (véase *Ilustración 33*), y otros tres en los cuales se detallan características más específicas de cada componente utilizado; compresor (véase *Ilustración 21*), evaporador (véase *Ilustración 26*) y condensador (véase *Ilustración 30*).

Además de los resultados mencionados anteriormente el usuario podrá observar en los diagramas de temperaturas cómo varían las temperaturas de ambos fluidos a lo largo de su paso por el evaporador (véase *Ilustración 27*) y condensador (véase *Ilustración 31*).

## 7.3 Funcionamiento del Ciclo

Para esta plantilla se recomienda usar como base la plantilla de ejemplo e ir modificando los datos uno a uno por los que se adapten a nuestro caso. Esto se debe a que, al haber un gran

número de datos de entrada, es posible que programa no sea capaz de procesar tanta información nueva en una única resolución. Por lo tanto, es recomendable que, a la hora de introducir los datos, se haga de poco en poco y resolviendo y guardando los resultados de vez en cuando para facilitar los cálculos y garantizar el funcionamiento del código.

### 7.3.1 Instrucciones de Uso

Se enumeran a continuación los pasos a seguir para un correcto uso de la plantilla:

1. Indicar a la plantilla cual ha sido el equipo seleccionado en el paso anterior y el cuales son los fluidos con los que se está trabajando; refrigerante y fluidos secundarios.
2. Rellenar los datos de diseño obtenidos en la plantilla anterior (se recomienda no cambiar todos los datos a la vez, sino primero unos cuantos, resolver el programa y guardar los resultados, y posteriormente seguir cambiando datos):
  - Temperatura de entrada al evaporador de diseño.
  - Temperatura de salida del evaporador de diseño.
  - Temperatura de entrada al condensador de diseño.
  - Temperatura de salida del condensador de diseño.
  - Temperatura de descarga de diseño.
  - Caudal másico de fluido en el evaporador de diseño.
  - Caudal másico de fluido en el condensador de diseño.
  - Coeficiente 'U\*A' del evaporador de diseño.
  - Coeficiente 'U\*A' del condensador de diseño.
  - Rendimiento electromecánico del compresor.
  - Temperatura de evaporación.
  - Temperatura de condensación.
  - Subenfriamiento del líquido.
  - Sobre calentamiento del vapor.
  - Volumen desplazado.
  - Presión de los fluidos (normalmente estableceremos este valor en 200 kPa, no tiene una gran repercusión en los resultados)
3. Introducir ahora las nuevas condiciones de funcionamiento que queremos estudiar (se recomienda no hacer cambios bruscos ya que podrían saturar el programa, y guardar los resultados cada vez que se resuelva el programa):
  - Temperatura de entrada al evaporador.
  - Temperatura de entrada al condensador.
  - Caudal másico de fluido en el evaporador.
  - Caudal másico de fluido en el condensador.
4. Antes de resolver la plantilla, debemos asegurarnos de introducir valores estimados en los datos de entrada de los análisis de sensibilidad (serán modificados posteriormente si es necesario).
5. Resolver la plantilla y observar los resultados. Es aconsejable guardar los resultados obtenidos cada vez que se ejecute el código con el fin de facilitar los cálculos (véase *Ilustración 17*).
6. Actualizar las tablas de los diagramas de temperatura (véase *Ilustración 18*).
7. Si queremos realizar un análisis de sensibilidad entonces ajustaremos los valores máximos y mínimos deseados de la variable de entrada a estudiar. Volveremos a resolver el código y a guardar los resultados.
8. Actualizaremos las tablas del análisis de sensibilidad (véase *Ilustración 18*).

Se recuerda que si existe alguna duda sobre que símbolo corresponde a cada variable puede consultarse el *Anexo I* y que se dispone de un código a modo de ejemplo con el que poder comparar.

### **7.3.2 Resultados**

Una vez resuelta la plantilla, el usuario podrá observar los resultados de una manera bastante práctica y visual haciendo uso de cuatro diagramas; uno en el cual se pueden apreciar valores relacionados con el ciclo de refrigeración completo (véase Ilustración 33), y otros tres en los cuales se detallan características más específicas de cada componente utilizado; compresor (véase Ilustración 21), evaporador (véase Ilustración 26) y condensador (véase Ilustración 30).

Además de los resultados mencionados anteriormente el usuario podrá observar en el diagrama de temperaturas cómo varían las temperaturas de ambos fluidos a lo largo de su paso por el evaporador (véase Ilustración 28) y condensador (véase Ilustración 32) en comparación con cómo variaban en las condiciones de diseño.

Por último, el usuario tiene a su disposición cuatro análisis de sensibilidad para ver como varían los resultados clave del código en función de la variación de cuatro datos de entrada, en este caso, temperatura de entrada del fluido al evaporador y condensador y caudal de fluido en el evaporador y condensador, entre dos valores ajustables (mínimo y máximo), manteniendo el resto de las variables de entrada en sus condiciones de diseño inicial. Se recuerda que cada vez que se altere cualquier dato y se ejecute el programa, deben ser actualizadas las tablas para ver los resultados correspondientes (véase Ilustración 18).

Los resultados de cada análisis de sensibilidad se mostrarán en gráficas organizadas de manera que el eje 'x' muestre la variación de la variable de entrada modificada y los ejes 'y' las variaciones de los resultados obtenidos. A su vez, los resultados obtenidos con las condiciones de diseño iniciales aparecerán marcados por un rombo. (véase Ilustración 24)

# ANEXO I - NOTACIÓN

| Símbolo         | Variable                                     | Unidades            |
|-----------------|--|---------------------|
| $\dot{V}_D$     | Volumen desplazado                           | [m <sup>3</sup> /h] |
| $\dot{V}_F$     | Caudal volumétrico de fluido                 | [m <sup>3</sup> /h] |
| $\dot{V}_R$     | Caudal volumétrico de refrigerante           | [m <sup>3</sup> /h] |
| $\dot{m}_F$     | Caudal másico de fluido                      | [kg/s], [kg/h]      |
| $\dot{m}_R$     | Caudal másico del refrigerante               | [kg/s], [kg/h]      |
| — $CN$          | Subíndice ‘en el condensador’                | [-]                 |
| — $D$           | Subíndice ‘de diseño’                        | [-]                 |
| — $EV$          | Subíndice ‘en el evaporador’                 | [-]                 |
| — $i$           | Subíndice ‘inicial’                          | [-]                 |
| — $max$         | Subíndice ‘máximo’                           | [-]                 |
| — $min$         | Subíndice ‘mínimo’                           | [-]                 |
| $\eta_{ELEMEC}$ | Rendimiento electromecánico                  | [%]                 |
| $\eta_S$        | Rendimiento isentrópico                      | [%]                 |
| $\eta_{TOTAL}$  | Rendimiento total                            | [%]                 |
| $\eta_V$        | Rendimiento volumétrico                      | [%]                 |
| $\Delta p$      | Variación de presión                         | [bar]               |
| $\Delta T_L$    | Subenfriamiento de líquido                   | [C]                 |
| $\Delta T_v$    | Sobrecalentamiento de vapor                  | [C]                 |
| <b>COP</b>      | Coficiente de eficiencia energética          | [-]                 |
| <b>DTLM</b>     | Diferencia de temperaturas logarítmica media | [K]                 |

|   |  |              |
|---|--|--------------|
| <b>NTU</b>                              | Número de unidades de transferencia                      | [-]          |
| <b>p<sub>CN</sub></b>                   | Presión de condensación                                  | [bar], [kPa] |
| <b>P<sub>ELE</sub></b>                  | Potencia eléctrica consumida por el compresor            | [kW]         |
| <b>p<sub>EV</sub></b>                   | Presión de evaporación                                   | [bar], [kPa] |
| <b>Q<sub>C</sub></b>                    | Potencia calorífica                                      | [kW]         |
| <b>Q<sub>F</sub></b>                    | Potencia frigorífica                                     | [kW]         |
| <b>r<sub>C</sub></b>                    | Relación de compresión                                   | [-]          |
| <b>T<sub>1</sub></b>                    | Temperatura de absorción                                 | [C]          |
| <b>T<sub>2</sub></b>                    | Temperatura de descarga                                  | [C]          |
| <b>T<sub>3</sub></b>                    | Temperatura del refrigerante a la salida del condensador | [C]          |
| <b>T<sub>4</sub></b>                    | Temperatura del refrigerante a la entrada del evaporador | [C]          |
| <b>T<sub>CN</sub>, T<sub>COND</sub></b> | Temperatura de Condensación                              | [C]          |
| <b>T<sub>E</sub>, T<sub>ENT</sub></b>   | Temperatura de entrada                                   | [C]          |
| <b>T<sub>EV</sub>, T<sub>EVAP</sub></b> | Temperatura de Evaporación                               | [C]          |
| <b>T<sub>S</sub>, T<sub>SAL</sub></b>   | Temperatura de salida                                    | [C]          |
| <b>UA</b>                               | Coficiente 'U*A'   | [kW/K]       |
| <b>W<sub>C</sub></b>                    | Trabajo del compresor                                    | [kW]         |
| <b>W<sub>CS</sub></b>                   | Trabajo isentrópico del compresor                        | [kW]         |
| <b>ε</b>                                | Efectividad  | [%]          |

## ANEXO 2 – CÓDIGOS ID

---

Selección de Compresores: [78b864a2-b47a-40cf-ae5c-ed4876081c12](#)

Ejemplo de Selección de Compresores: [db09f82e-8dc4-4cc3-8a34-e2b161126c09](#)

Funcionamiento de Compresores: [2f354c5e-579a-4fcd-9a22-d981ab65eff2](#)

Ejemplo de Funcionamiento de Compresores: [a672310b-a2ea-4267-952a-907deaf09888](#)

Selección de Evaporadores: [3fde5b07-8a88-48ba-b062-c7a9ea78585a](#)

Ejemplo de Selección de Evaporadores: [8e19db31-7ef5-4569-b480-e3dd99143054](#)

Funcionamiento de Evaporadores: [213789f7-7c64-4c9c-b86b-ecdf8223343c](#)

Ejemplo de Funcionamiento de Evaporadores: [2827a4a1-5f97-4c45-b0a4-99b4a9531756](#)

Selección de Condensadores: [fbe94819-90d7-4f16-ba3b-bc4a822d0437](#)

Ejemplo de Selección de Condensadores: [f201ba68-76d0-4bca-adc4-9a73a200153c](#)

Funcionamiento de Condensadores: [1aec67db-4dd7-485a-9c67-a1ac664e7935](#)

Ejemplo de Funcionamiento de Condensadores: [4a129f7f-1f4e-4091-b6e7-1f1c700eb5f8](#)

Diseño Ideal de Ciclo: [ca9e99bc-b2f3-4c92-98d0-e13857c5555a](#)

Ejemplo de Diseño Ideal de Ciclo: [ab158888-de3c-478d-a2e9-0f9265052d0a](#)

Diseño Real de Ciclo: [4687c02c-cecd-453e-b801-32bbfcef4b45](#)

Ejemplo de Diseño Real de Ciclo: [9794b3e2-3f86-4364-ba3d-20bb0021a75f](#)

Funcionamiento de Ciclo: [ad133c70-48eb-4369-bd31-bc326935bd17](#)

Ejemplo de Funcionamiento de Ciclo: [dead8391-f884-417c-835c-abca2b08ec59](#)

Códigos adicionales:

- Diseño de Intercambiadores de Flujo Contracorriente: [1bb2e11f-0ee3-4da0-a577-7e0daf9388bf](#)
- Ejemplo de Diseño de Intercambiadores de Flujo Contracorriente: [2354980e-8dd2-4c9f-ad8d-bf1f5b047ddb](#)
- Funcionamiento de Intercambiadores de Flujo Contracorriente: [38ddd633-e73d-4101-b121-56b5f82792f8](#)
- Ejemplo de Funcionamiento de Intercambiadores de Flujo Contracorriente: [1dae2507-8eb5-478a-989b-443b4bd5026d](#)