

Módulo 4

Refrigeración urbana

Parte del paquete educativo SHaKE sobre sistemas de calefacción y refrigeración urbanísticos

EJERCICIOS

Simulación de refrigeración y bombas de calor, comparación de refrigerantes y evaluación del impacto medioambiental con soluciones sugeridas

Institución desarrolladora: Universitat Jaume I de Castellón
Erasmus+ KA220-HED: Asociaciones de cooperación en la educación superior
Versión: 1.1
Fecha: mayo de 2026

<https://www.shakeproject-dhc.eu/>



EJERCICIOS

Los ejercicios se presentan en primer lugar, seguidos de las soluciones correspondientes al final de la sección. Solo se resuelven los problemas que requieren una respuesta cuantitativa o analítica.

Todos los ejercicios son obligatorios

1. Modo de refrigeración (simulación de enfriadores)

Relacionado con: Sección 4.2.1 (Enfriadoras de compresión), Sección 4.1 (Función de refrigeración en el SHC) y Sección 4.4 (Temperaturas de funcionamiento)

Utilizando el software de Bitzer, resuelve las siguientes tareas:

1. Seleccione un compresor alternativo semihermético
2. Selecciona el modo de refrigeración
3. Seleccione un compresor único y elija el último modelo.
4. En función del modelo de compresor seleccionado, elige dos refrigerantes:
R134a (HFC de referencia) (tabla 4.17)
R1234ze (alternativa de bajo potencial de calentamiento global) (tabla 4.18)
5. Simule temperaturas de evaporación de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ con incrementos de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$
6. y temperaturas de condensación de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ con incrementos de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$
7. Utilice un sobrecalentamiento útil de 10 K y un subenfriamiento de 2 K
8. Anote el EER en las tablas de cada refrigerante para cada combinación de temperaturas
9. Puede exportar o reproducir los datos generados y crear gráficos con cualquier software

Análisis:

1. Compara el EER entre los distintos refrigerantes y puntos de temperatura
2. Identifica tendencias: ¿cómo evoluciona el EER con las temperaturas del evaporador y del condensador?
3. ¿Qué efecto tiene el tipo de refrigerante sobre la eficiencia?
4. ¿Es posible trabajar en todas las condiciones reflejadas en la tabla? Justifica tu respuesta.

Tevap/Tcond	15	25	35	45	55
-20					
-10					
0					
10					
20					

Tabla 4.17. Resultados del EER para el R134a .

Tevap/Tcond	15	25	35	45	55
-20					
-10					
0					
10					
20					

Tabla 4.18. Resultados del EER para el R1234ze .



2. Modo de calefacción (simulación de bomba de calor)

Relacionado con: Sección 4.1 (Funcionamiento de la bomba de calor), Sección 4.4 (Integración de la calefacción en la red de calefacción central), Sección 4.3 (Rendimiento del refrigerante)

Utilizando el software de Bitzer, resuelva las siguientes tareas:

1. Cambie el software BITZER al modo de bomba de calor
2. Utiliza los mismos dos refrigerantes de la Parte 1 y el mismo modelo de compresor
3. Simule temperaturas de evaporación de $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y temperaturas de condensación de $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $75\text{ }^{\circ}\text{C}$, con incrementos de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$
4. Anote el COP en las tablas de cada refrigerante para cada combinación de temperaturas
5. Puede exportar o reproducir los datos generados y crear gráficos en cualquier programa

Análisis:

1. ¿Cómo varía el rendimiento en condiciones de fuente fría?
2. ¿Qué refrigerante ofrece un mejor rendimiento a bajas temperaturas de fuente?
3. ¿Podría utilizarse alguna de estas configuraciones en una red de calefacción de cuarta o quinta generación?
4. ¿Es posible trabajar en todas las condiciones reflejadas en la tabla? Justifica tu respuesta.

Tevap/Tcond	45	55	65	75
-25				
-15				
-5				
5				
15				
25				

Tabla 19. Resultados del COP para el R134a.

Tevap/Tcond	45	55	65	75
-25				
-15				
-5				
5				
15				
25				

Tabla 20. Resultados del COP para el R1234ze .

3. Adaptación climática y aplicación a la energía de distrito

Relacionado con: la sección 4.1 (SHC), la 4.4 (opciones de configuración) y los casos prácticos reales de la sección final de teoría

Utilizando el software de Bitzer, resuelva las siguientes tareas:

Seleccione una de las siguientes condiciones climáticas y proponga un diseño de bomba de calor adaptado utilizando sus datos de simulación:

1. Clima frío (p. ej., Helsinki): alta demanda de calefacción, posibilidad de SHC



2. Clima cálido/árido (p. ej., Riad): demanda de refrigeración predominante
3. Clima tropical (p. ej., Singapur): demanda de refrigeración equilibrada, posibilidad de SHC

Considere una bomba de calor aire-aire con un gradiente de 15 K entre la fuente de calor y el evaporador, y entre el sumidero de calor y el condensador

En cada caso:

1. Identifica los rangos de temperatura requeridos
2. Recomendar el refrigerante y el modo de funcionamiento
3. Analizar la variación estacional del COP y sus implicaciones para el diseño
4. Evalúe las posibles ventajas de la calefacción y refrigeración simultáneas (SHC).

4. Evaluación del impacto medioambiental

Relacionado con: Sección 4.3 (Refrigerantes, GWP, TEWI)

Resuelva las siguientes tareas:

Tarea:

Para cada refrigerante simulado:

1. Investiga el GWP (potencial de calentamiento global)
2. Calcula el TEWI (impacto total equivalente de calentamiento) utilizando los resultados energéticos y las hipótesis de fugas de refrigerante (utiliza los datos proporcionados por el instituto australiano (AIRAH)) para un ciclo de vida de 15 años en España, Francia y Hungría

Requisitos de entrega

Los estudiantes deben presentar:

1. Un informe breve (máx. 6 páginas) que incluya:
2. Parámetros de simulación
3. Tablas y gráficos de COP/EER
4. Comparación de refrigerantes
5. Respuestas a las preguntas de análisis
6. Capturas de pantalla de los resultados de BITZER
7. Referencias (fuentes web, bibliografía y declaración de herramientas de IA, en caso de que se hayan utilizado)



SOLUCIONES

1. Modo de refrigeración (simulación de enfriadores)

Relacionado con: Sección 4.2.1 (Enfriadoras de compresión), Sección 4.1 (Función de refrigeración en SHC) y Sección 4.4 (Temperaturas de funcionamiento)

Utilizando el software de Bitzer (<https://www.bitzer.de/gb/en/tools-archive/software/software/software-versions.jsp>), resuelve las siguientes tareas:

1. Seleccione un compresor alternativo semihermético
2. Selecciona el modo de refrigeración
3. Selecciona «compresor único» y elige el modelo 4EES-4Y.
4. En función del modelo de compresor seleccionado, elija dos refrigerantes:
R134a (HFC de referencia) (tabla 4.17)
R1234ze (alternativa de bajo potencial de calentamiento global) (tabla 4.18)

BITZER SOFTWARE

Reciprocating Compressors, Semi-Hermetic

Mode: Refrigeration and air conditioning
Refrigerant: R134a
Reference temperature: Dew point temp.
Compressor type: Single Compressor
Series: Standard
Motor version: all

Compressor selection:
☐ Cooling capacity
☒ Compressor model
4EES-4Y ☐ Incl. former types

Operating point:
Evaporating SST: -20 °C
Condensing SdT: 15 °C

Operating conditions:
Liq. subc. (in condenser): 2 K
Suct. gas superheat: 10 K
☒ Useful superheat: 10 K
Operating mode: Auto

Capacity control:
☒ without
☐ External FI: Auto
☐ VARISTEP: Auto
☐ Stepped: 100%

Power supply:
Supply frequency: 50Hz
Supply voltage: 400V-Y (40S)

Technical Data:

Compressor	4EES-4Y-40S
Capacity steps	100%
Cooling capacity	6,25 kW
Cooling capacity *	6,24 kW
Evaporator capacity	6,25 kW
Power input	1,63 kW
Current (400V)	4,02 A
Voltage range	380-420V
Condenser capacity	7,89 kW
COP/EER	3,83
COP/EER *	3,82
Mass flow	127,5 kg/h
Operating mode	Standard
Discharge gas temp. w/o cooling	49,6 °C

5. Realice la simulación para temperaturas de evaporación comprendidas entre -20 °C y $+20\text{ °C}$, con incrementos de 10 °C
6. y temperaturas de condensación de 15 °C a 55 °C con incrementos de 10 °C
7. Utilizar un sobrecalentamiento útil de 10 K y un subenfriamiento de 2 K
8. Anote el EER en las tablas de cada refrigerante para cada combinación de temperaturas
9. Puede exportar o reproducir los datos generados y crear gráficos en cualquier programa

Análisis:

5. Compara el EER entre los distintos refrigerantes y puntos de temperatura

Cuanto mayor sea la relación de presión (mayor diferencia entre T_{evap} y T_{cond}), menor será el EER, ya que el consumo de potencia del compresor aumenta para alcanzar una temperatura más alta. En cuanto a los refrigerantes, el R134a presenta un EER ligeramente



superior a bajas temperaturas y en un amplio rango de temperaturas de funcionamiento; sin embargo, el R1234ze presenta un EER superior a altas temperaturas, pero tiene un rango de temperaturas limitado en modo refrigeración. Este fenómeno se debe a dos propiedades: la densidad de succión del R1234ze es inferior a la del R134a, por lo que para alcanzar la misma capacidad se requiere un mayor volumen del compresor, y las propiedades de saturación (relación temperatura-presión)

6. Identificar tendencias: ¿cómo evoluciona el EER con las temperaturas del evaporador y del condensador?

Disminuye cuando aumenta la diferencia de temperatura

7. ¿Qué efecto tiene el tipo de refrigerante sobre la eficiencia?

Puede aumentar o disminuir la eficiencia en función del rango de temperaturas y de las propiedades termodinámicas, lo que refleja que no hay un refrigerante mejor o peor, sino que cada uno es adecuado para un rango de temperaturas determinado, en términos termodinámicos.

8. ¿Es posible trabajar en todas las condiciones reflejadas en la tabla? Justifica tu respuesta.

No, hay dos factores que limitan las posibles condiciones de funcionamiento: el límite del compresor definido por el fabricante para garantizar una larga vida útil, la eficiencia y su correcto funcionamiento, y el tipo de refrigerante, debido a la presión de saturación de cada uno.

Tevap/Tcond	15	25	35	45	55
-20	3,83	2,93	2,28	1,78	1,36
-10	5,65	4,09	3,10	2,38	1,84
0	-	5,87	4,22	3,15	2,40
10	-	8,81	5,87	4,20	3,12
20	-	-	-	-	-

Tabla 4.17. Resultados del EER para el R134a.

Tevap/Tcond	15	25	35	45	55
-20	-	-	-	-	-
-10	-	4,02	3,04	2,34	1,80
0	-	5,89	4,24	3,16	2,40
10	-	-	6,03	4,30	3,19
20	-	-	-	5,97	4,27

Tabla 4.18. Resultados del EER para el R1234ze.

2. Modo de calefacción (simulación de bomba de calor)

Relacionado con: Sección 4.1 (Funcionamiento de la bomba de calor), Sección 4.4 (Integración de la calefacción en la red de calefacción urbana), Sección 4.3 (Rendimiento del refrigerante)

Utilizando el software de Bitzer, resuelva las siguientes tareas:

6. Cambie el software BITZER al modo de bomba de calor
7. Utilice los mismos dos refrigerantes de la Parte 1 y el mismo modelo de compresor



8. Simule temperaturas de evaporación de -25°C a $+25^{\circ}\text{C}$ y temperaturas de condensación de 45°C a 75°C , con incrementos de 10°C
9. Anote el COP en las tablas de cada refrigerante para cada combinación de temperaturas
10. Puede exportar o reproducir los datos generados y crear gráficos en cualquier programa

Análisis:

5. ¿Cómo varía el rendimiento en condiciones de fuente fría?

El tema principal de esta sección es la calefacción, por lo que cuanto más baja sea la temperatura de la fuente de calor (temperatura de evaporación), menor será el COP

6. ¿Qué refrigerante ofrece un mejor rendimiento a bajas temperaturas de la fuente?

Como se ha indicado anteriormente, el R134a es más adecuado para bajas temperaturas; sin embargo, cuando la temperatura de la fuente de calor aumenta, el R1234ze resulta más adecuado, en este caso a partir de -15°C Tevap.

7. ¿Podría utilizarse cualquiera de estas configuraciones en una red de calefacción distribuida (DHN) de 4.ª o 5.ª generación?

Sí, las condiciones comprendidas entre 5 y 25 Tevap pueden adaptarse a una red de calefacción distribuida (DHN) de 5.ª generación como bomba de calor local, mientras que el resto puede funcionar en una red de calefacción distribuida (DHN) de 4.ª generación como bomba de calor central.

8. ¿Es posible funcionar en todas las condiciones reflejadas en la tabla? Justifica tu respuesta.

No, el R134a cubre las condiciones de temperatura más bajas, y el R1234ze cubre las condiciones de temperatura más altas debido a la presión de saturación de cada refrigerante.

Tevap/Tcond	45	55	65	75
-25	2,51	2,14	1,82	-
-15	3,07	2,59	2,20	-
-5	3,74	3,10	2,60	-
5	4,63	3,74	3,07	-
15	-	-	-	-
25	-	-	-	-

Tabla 19. Resultados del COP para el R134a.

Tevap/Tcond	45	55	65	75
-25	-	-	-	-
-15	3	2,54	2,16	1,83
-5	3,74	3,09	2,59	2,18
5	4,68	3,77	3,10	2,57
15	6,05	4,68	3,75	3,05
25	8,09	5,96	4,62	3,68

NOTA: Bitzer no solo calcula el COP y el EER, sino también el consumo eléctrico del compresor, la potencia calorífica y la potencia frigorífica.