GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DOMINICANA
MEDIO AMBIENTE

Ministerio de las Fuerzas Armadas

GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DOMINICANA
EDUCACIÓN

SELECCIÓN DE LOS PRINCIPALES ELEMETOS DE UN CICLO DE REFRIGERACIÓN USANDO CO_2 COMO REFRIGERANTE

Presentado por

Víctor Francisco Sena Cuevas

Universidad Autónoma de Santo Domingo
PRIMADA DE AMERICA / Fundada el 28 de octubre de 1538

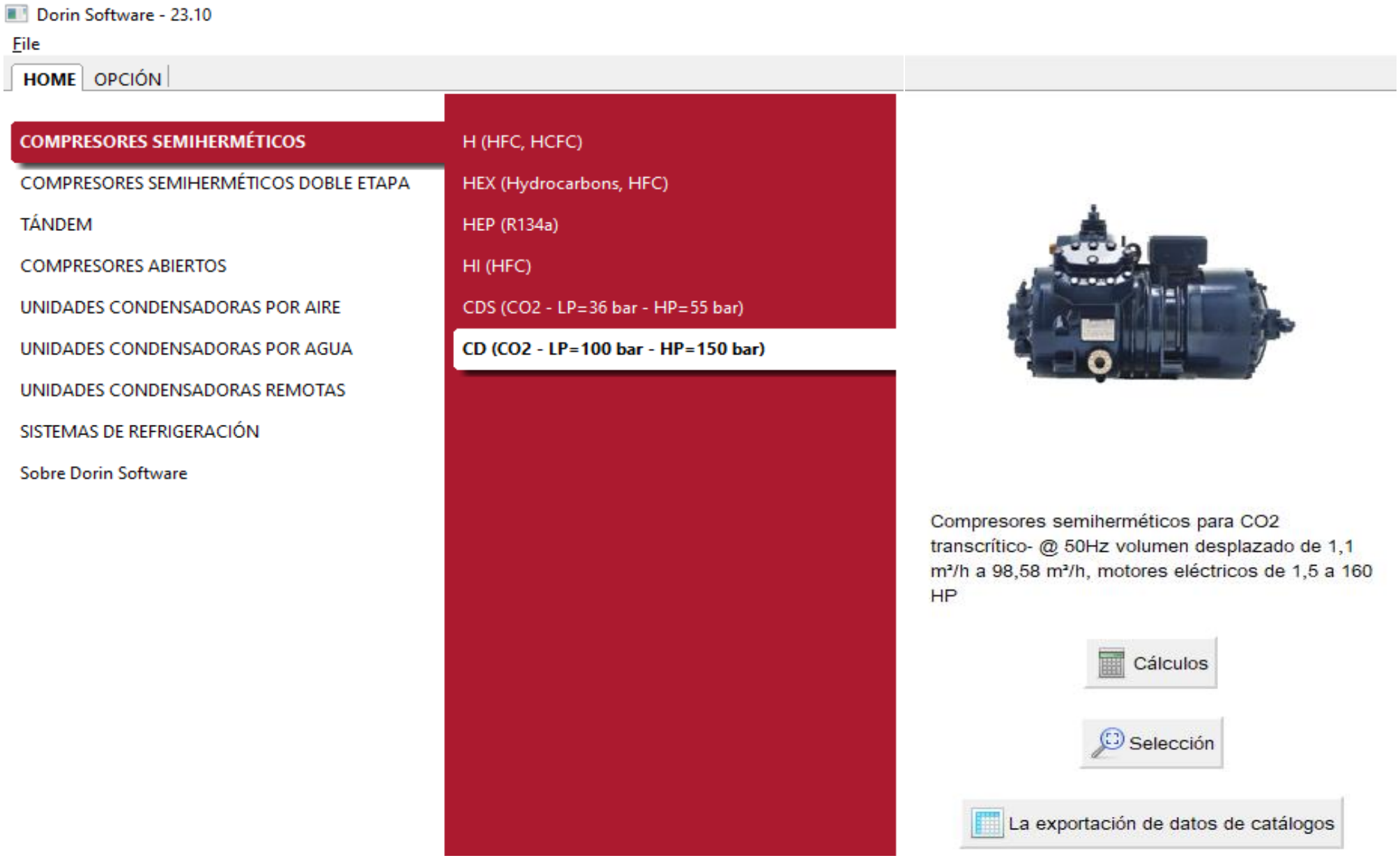
14 de Agosto, 2024

IIBI
INSTITUTO DE INNOVACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA E INDUSTRIA

0. Condiciones iniciales

1. Capacidad frigorífica deseada = 5 kW=17,061 BTU/h
2. Temperatura de evaporación = 3 ºC
3. Recalentamiento (SH) = 5K
4. Recalentamiento total (SH) = 5K
5. Temperatura a la salida del condensador o gas cooler = 32 ºC

1. Selección del compresor en Dorin



1. Selección del compresor

Dorin Software - 23.10

File

HOME | OPCIÓN | **Selección - CD**

Refrigerante	R744_CO2	
Tensión / fases / frecuencia	208-230 V / 3 / 60 Hz	
Modalidad operativa	Transcrítico	
Condiciones estándar	☐	
Temperatura evaporación	3	°C
Temperatura condensación		°C (45.0 bar)
Presión gas cooler	90	bar
Recalentamiento	5	K
Recalentamiento evaporador	5	K
Temperatura salida gas cooler	32	°C
Subenfriamiento Líquido		K
Potencia necesaria (evaporador)	5	kW
Tolerancia de capacidad	20	%

Calcular

Cálculo en tabla

Dimensiones totales [mm]

Configuración: Estándar \ Opcional

Descarga documentación

Imprimir

Exporta coeficientes

DORIN INNOVATION

- CD 180H - QE = 4220 W (-15.78 %)
- CD 300H - QE = 5720 W (+14.31 %)
  - Al evaporador
    - Potencia frigorífica = 5720 W
    - Potencia absorbida = 2.23 kW
    - Potencia gas cooler = 7.95 kW
    - COP = 2.56
    - Caudal = 133.7 kg/h
    - Intensidad absorbida = 7.6 A
    - Temperatura de descarga = 86.6 °C
    - Intensidad máx. de funcionamiento = 12.5 A
    - Intensidad rotor bloqueado = 50.9 A
  - Al compresor

DORIN ME PIDE QUE LE INDIQUE LA PRESIÓN. PERO YO NO SÉ QUÉ PRESIÓN LLEVARÁ EL CICLO EN ESAS CONDICIONES DESEADAS

Nº Cilindros	2	
Diámetro	22	[mm]
Carrera	22	[mm]
Desplazamiento @ 50 Hz	1,46	[m^3/h]
Desplazamiento @ 60 Hz	1,75	[m^3/h]
Válvula aspiración	10	[mm]
Válvula aspiración	14	[mm]
Válvula descarga	10	[mm]
Válvula descarga	14	[mm]
Carga aceite	1,3	[L]
Peso neto	73	[kg]

1. Selección del compresor

BITZER Software

BITZER SOFTWARE

Calculate

g Compressors, Semi-Hermetic

Mode	Refrigeration and air conditioning
Refrigerant	R744 (CO2)
Reference temperature	Dew point temp.
Compressor type	Transcritical
Series	Standard
Operating mode	Transcritical
Motor version	all

Compressor selection

- Cooling capacity 5 kW
- Compressor model
- Incl. former types

Operating point

- Evaporating SST 3 °C
- discharge pressure Auto

Operating conditions

- Gas cooler outlet 32 °C
- Suct. gas superheat 5 K
- Useful superheat 100 %

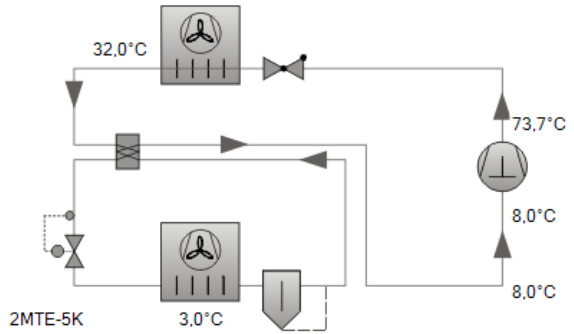
Capacity control

- without
- External FI Auto
- Stepped 100%

Power supply

Supply frequency

Result | Limits | Technical Data | Dimensions | Accessories | Information



Compressor	2MTE-5K-40S
Capacity steps	100%
Cooling capacity	13,36 kW
Cooling capacity *	13,40 kW
Evaporator capacity	13,36 kW
Power input	4,25 kW
Current (460V)	6,98 A
Voltage range	440-480V
Gas cooler capacity	17,61 kW
COP/EER	3,14
Mass flow	343 kg/h
Discharge gas temp. w/o cooling	73,7 °C
optimal high pressure	79,2 bar(a)

BITZER Software v7.0.2.2 Imprint Privacy Policy Disclaimer Version history Trainings Documentation Quick Links

Presión optima según ecuación de presión optima propuesta por (Liao et al. 2000)

$$P_{opt}\,(bar) = (2.778 - 0.0157 \cdot T_e) \cdot T_c + 0.381 \cdot T_e - 9.34.$$

$$P_{opt} = ((2.778 - 0.0157 \cdot 3) \cdot 32) + ((0.381 \cdot 3) - 9.34)$$

$$\boldsymbol{P_{opt} = 79.2\ bar}$$

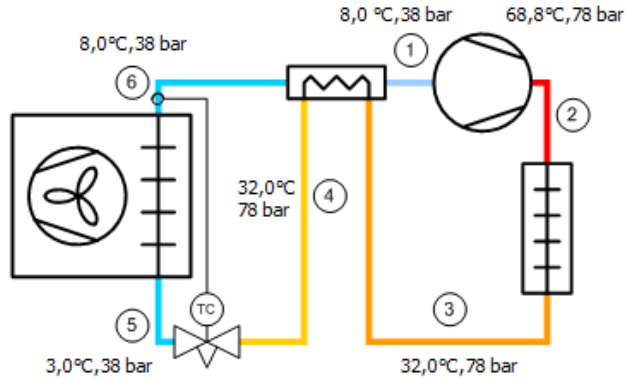
Validación de la presión óptima

Simple CO2 one stage plant. Version 3.0.0

File Edit Show Help

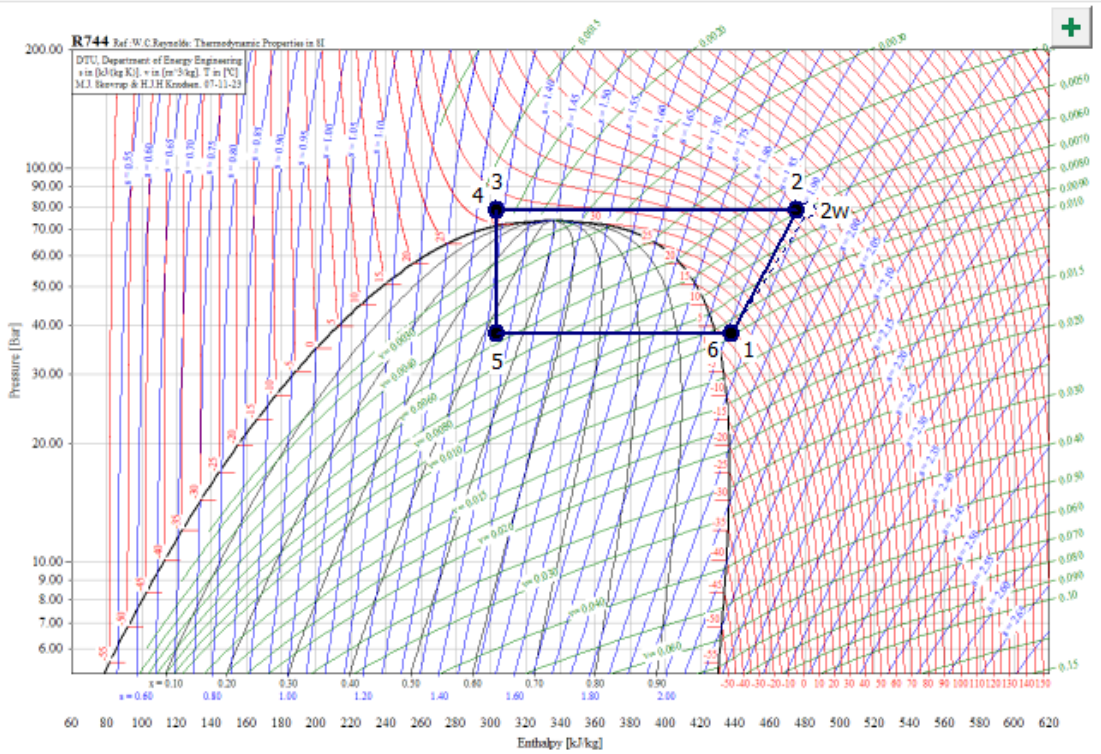
One stage | One stage gas bypass | One stage ejector

Simple CO2 one stage plant



Qe = 134,48 kJ/kg
W = 44,15 kJ/kg
Qc = 172,01 kJ/kg

COP_c = 3,05 COP_h = 3,90



Evaporation temperature: 3 °C
-50 -45 -40 -35 -30 -25 -20 -15 -10 -5 0 5 10 15°C

Outlet from evaporator. Superheat: 5 K
70% 75% 80% 85% 90% 95% 0 5 10 15 K

Efficiency of internal heat exchanger: 0 %
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100%

High pressure: 78 bar Controlled
50 100 150 200

Outlet temperature from gas cooler: 32 °C
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50°C

Isentropic efficiency: 67 %
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100%

Heat loss factor: 15 %
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100%

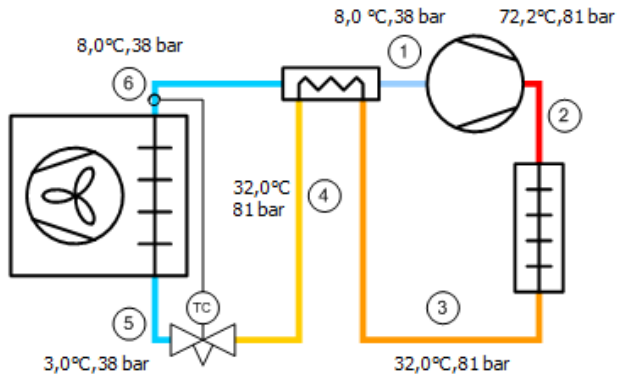
Validación de la presión óptima

Simple CO2 one stage plant. Version 3.0.0

File Edit Show Help

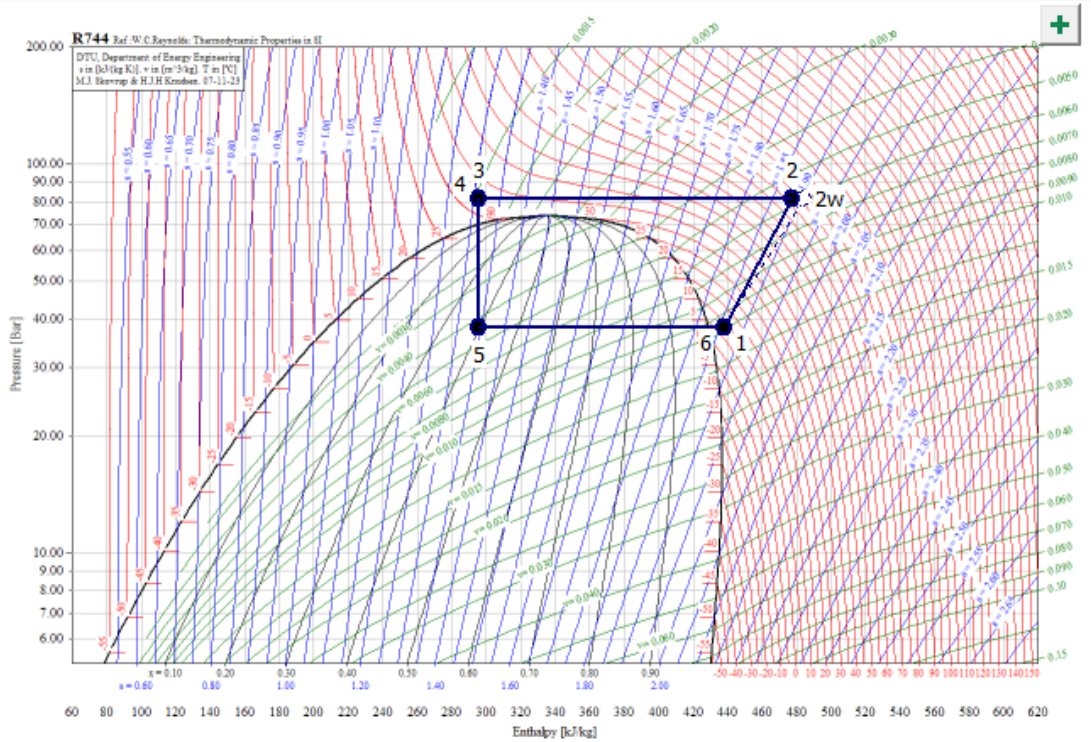
One stage | One stage gas bypass | One stage ejector

Simple CO2 one stage plant



Qe = 142,66 kJ/kg
W = 46,66 kJ/kg
Qc = 182,32 kJ/kg

COP_c = 3,06 COP_h = 3,91



Evaporation temperature: 3 °C
-50 -45 -40 -35 -30 -25 -20 -15 -10 -5 0 5 10 15°C

Outlet from evaporator. Superheat: 5 K
70% 75% 80% 85% 90% 95% 0 5 10 15 K

Efficiency of internal heat exchanger: 0 %
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100%

High pressure: 81 bar Controlled
50 100 150 200

Outlet temperature from gas cooler: 32 °C
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50°C

Isentropic efficiency: 67 %
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100%

Heat loss factor: 15 %
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100%

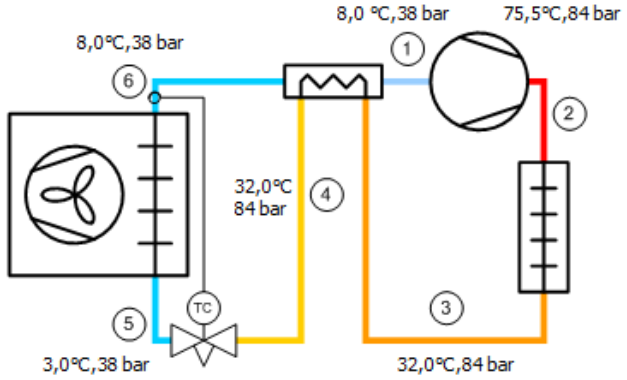
Validación de la presión óptima

Simple CO2 one stage plant. Version 3.0.0

File Edit Show Help

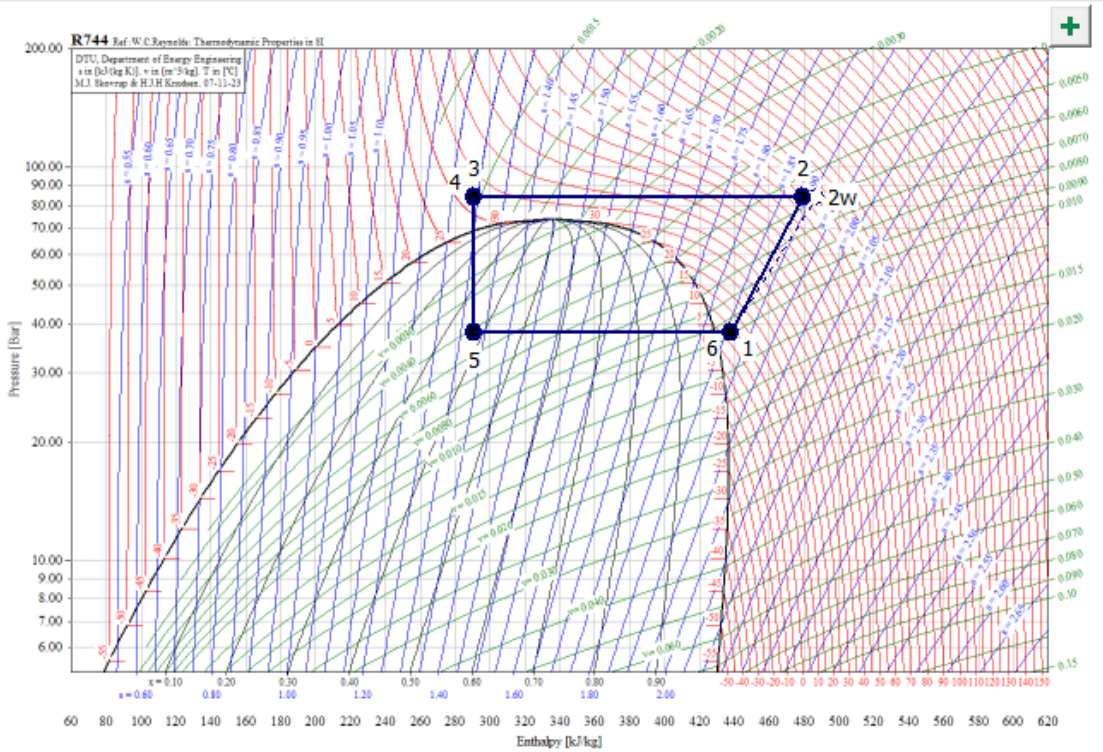
One stage | One stage gas bypass | One stage ejector

Simple CO2 one stage plant



Qe = 147,44 kJ/kg
W = 49,10 kJ/kg
Qc = 189,17 kJ/kg

COP_c = 3,00 COP_h = 3,85



Evaporation temperature: 3 °C
-50 -45 -40 -35 -30 -25 -20 -15 -10 -5 0 5 10 15°C

Outlet from evaporator. Superheat: 5 K
70% 75% 80% 85% 90% 95% 0 5 10 15 K

Efficiency of internal heat exchanger: 0 %
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100%

High pressure: 84 bar Controlled
50 100 150 200

Outlet temperature from gas cooler: 32 °C
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50°C

Isentropic efficiency: 67 %
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100%

Heat loss factor: 15 %
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100%

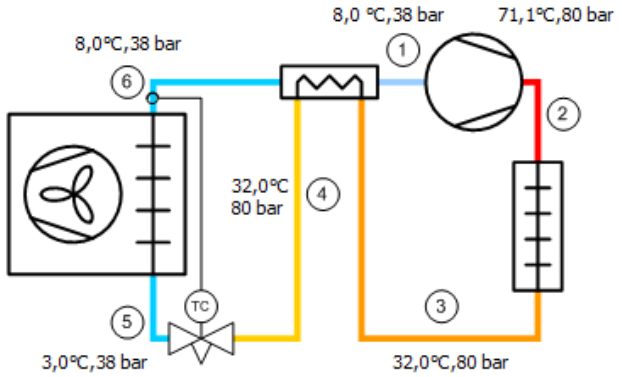
Validación de la presión óptima

Simple CO2 one stage plant. Version 3.0.0

File Edit Show Help

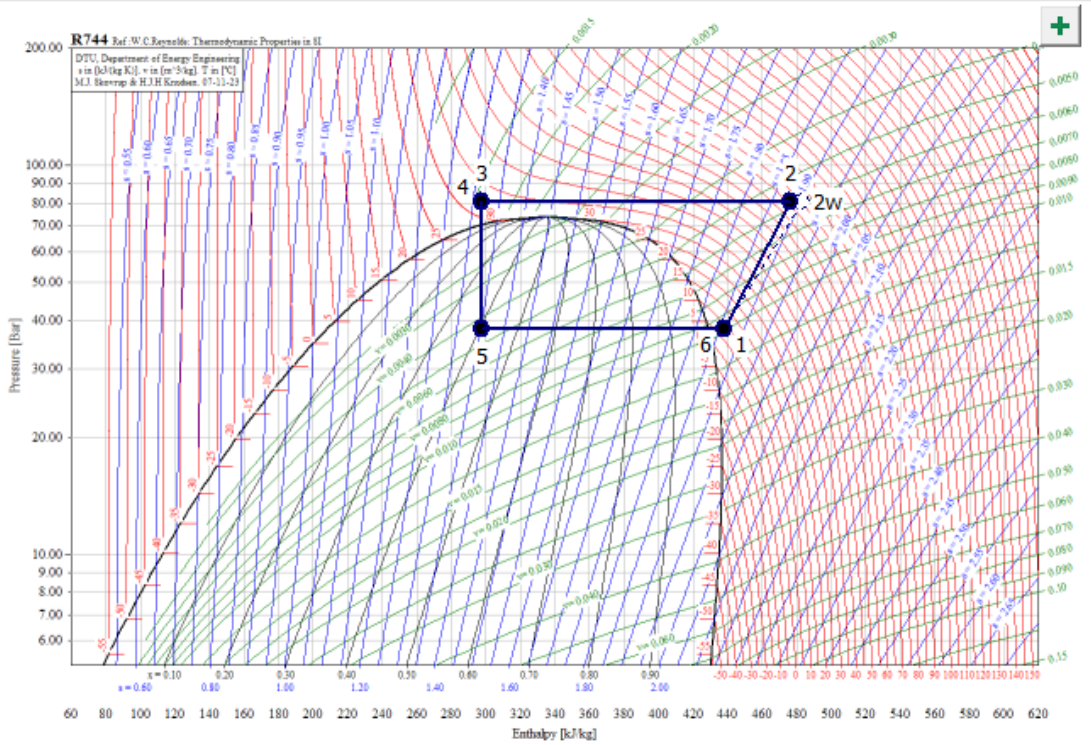
One stage | One stage gas bypass | One stage ejector

Simple CO2 one stage plant



Qe = 140,52 kJ/kg
W = 45,83 kJ/kg
Qc = 179,48 kJ/kg

COP_c = 3,07 COP_h = 3,92



Evaporation temperature: 3 °C
-50 -45 -40 -35 -30 -25 -20 -15 -10 -5 0 5 10 15°C

Outlet from evaporator. Superheat: 5 K
70% 75% 80% 85% 90% 95% 0 5 10 15 K

Efficiency of internal heat exchanger: 0 %
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100%

High pressure: 80 bar Controlled
50 100 150 200

Outlet temperature from gas cooler: 32 °C
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50°C

Isentropic efficiency: 67 %
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100%

Heat loss factor: 15 %
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100%

Comportamiento esperado del ciclo

EES Distributable C:\program files (x86)\coolpack\eescooltools\pack_3.exe 1. Tool_C7 - [Cycle Specification]

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help

CYCLE SPECIFICATION

EVAPORATOR

T_E [°C] : 3,0 ΔT_{SH} [K] : 5,0

SUCTION GAS HEAT EXCHANGER (SGHX)

No SGHX 0,30

SUCTION LINE PRESSURE LOSS

Δp_{SL} [K] : 0,2

GAS COOLER (GC)

Pressure [bar] : 79,2 Outlet temperature (T_4) [°C] : 32,0

For CO_2 the critical pressure (p_{CRIT}) is 7.377 MPa = 73.77 bar = 7377 kPa, and the critical temperature (T_{CRIT}) is 30.98 °C.

CYCLE CAPACITY

Cooling capacity $\dot{Q}_E$ [kW] 5 $\dot{Q}_E$: 5,000 [kW] $\dot{Q}_{GC}$: 6,471 [kW] $\dot{m}$: 0,0356 [kg/s] $\dot{V}_S$: 1,281 [m^3/h]

COMPRESSOR PERFORMANCE

Isentropic efficiency η_{IS} [-] 0,67 η_{IS} : 0,670 [-] $\dot{W}$: 1,618 [kW]

COMPRESSOR HEAT LOSS

Heat loss factor f_Q [%] 10 f_Q : 10,00 [%] T_2 : 71,7 [°C] $\dot{Q}_{LOSS}$: 0,162 [kW]

SUCTION LINE HEATING

Unuseful superheat $\Delta T_{SH,SL}$ [K] 0,0 $\dot{Q}_{SL}$: 16 [W] T_{OUT} : 8,0 [°C] $\Delta T_{SH,SL}$: 0,0 [K]

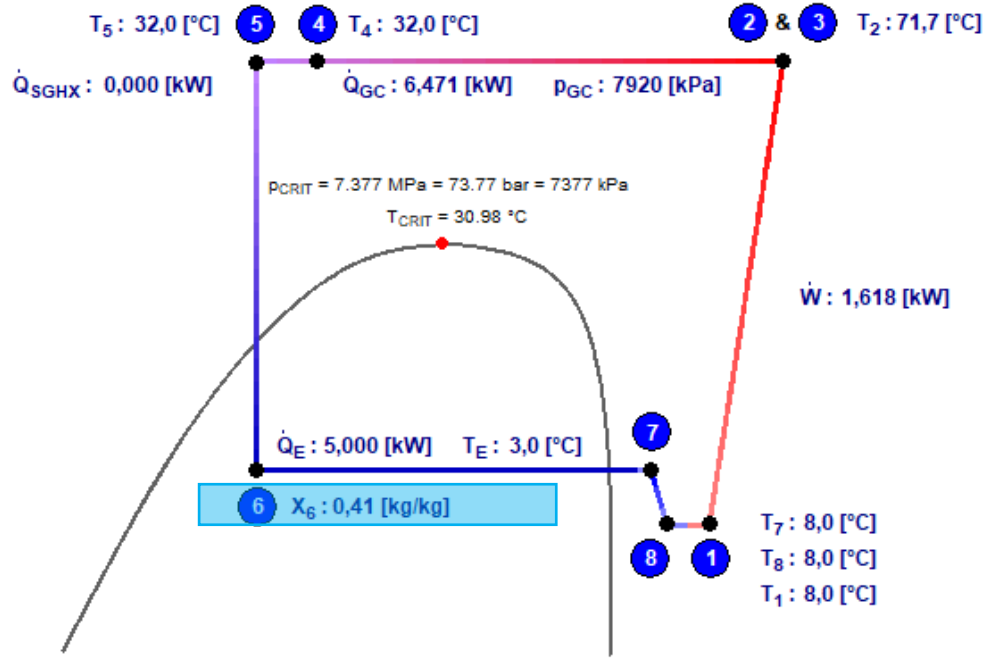
Calculate | Print | Help | Home | Auxiliary | State Points | COP : 3,091 COP* : 3,101

PIPE DIMENSIONS

PIPE SECTION	VELOCITY [m/s]	PIPE DIAMETER (Internal) [mm]	Refrigerant condition corresponds to
Suction line	10,0	6,7	State Point #1
Discharge line	12,0	4,7	State Point #2
Liquid line	5,0	3,7	State Point #5

STATE POINTS

STATE POINT	TEMPERATURE [°C]	PRESSURE [kPa]	ENTHALPY [kJ/kg]	DENSITY [kg/m^3]
1	8,0	3751	-68,1	99,9
2	71,7	7920	-27,1	168,6
3	71,7	7920	-27,1	168,6
4	32,0	7920	-209,1	645,7
5	32,0	7920	-209,1	645,7
6	3,0	3770	-209,1	-
7	8,0	3770	-68,5	100,7
8	8,0	3751	-68,1	99,9



Selección final del compresor

Dorin Software - 23.10

File

HOME | OPCIÓN | **Selección - CD**

Refrigerante	R744_CO2	
Tensión / fases / frecuencia	208-230 V / 3 / 60 Hz	
Modalidad operativa	Transcrítico	
Condiciones estándar	☐	
Temperatura evaporación	3	°C
Temperatura condensación		°C (45.0 bar)
Presión gas cooler	79.2	bar
Recalentamiento	5	K
Recalentamiento evaporador	5	K
Temperatura salida gas cooler	32	°C
Subenfriamiento Líquido		K
Potencia necesaria (evaporador)	5	kW
Tolerancia de capacidad	20	%

Calcular

Cálculo en tabla

Dimensiones totales [mm]

Configuración: Estándar \ Opcional

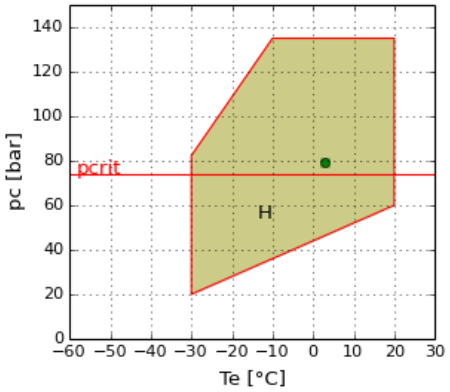
Descarga documentación

Imprimir

Exporta coeficientes

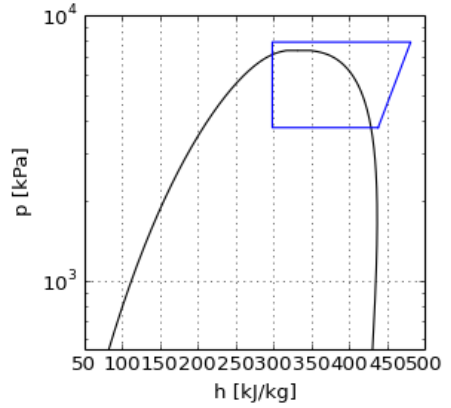
DORIN INNOVATION

- CD 300H - QE = 5400 W (+7.87 %)
  - Al evaporador
    - Potencia frigorífica = 5400 W
    - Potencia absorbida = 1.97 kW
    - Potencia gas cooler = 7.36 kW
    - COP = 2.74
    - Caudal = 139.0 kg/h
    - Intensidad absorbida = 7.1 A
    - Temperatura de descarga = 74.5 °C
    - Intensidad máx. de funcionamiento = 12.5 A
    - Intensidad rotor bloqueado = 50.9 A
  - Al compresor

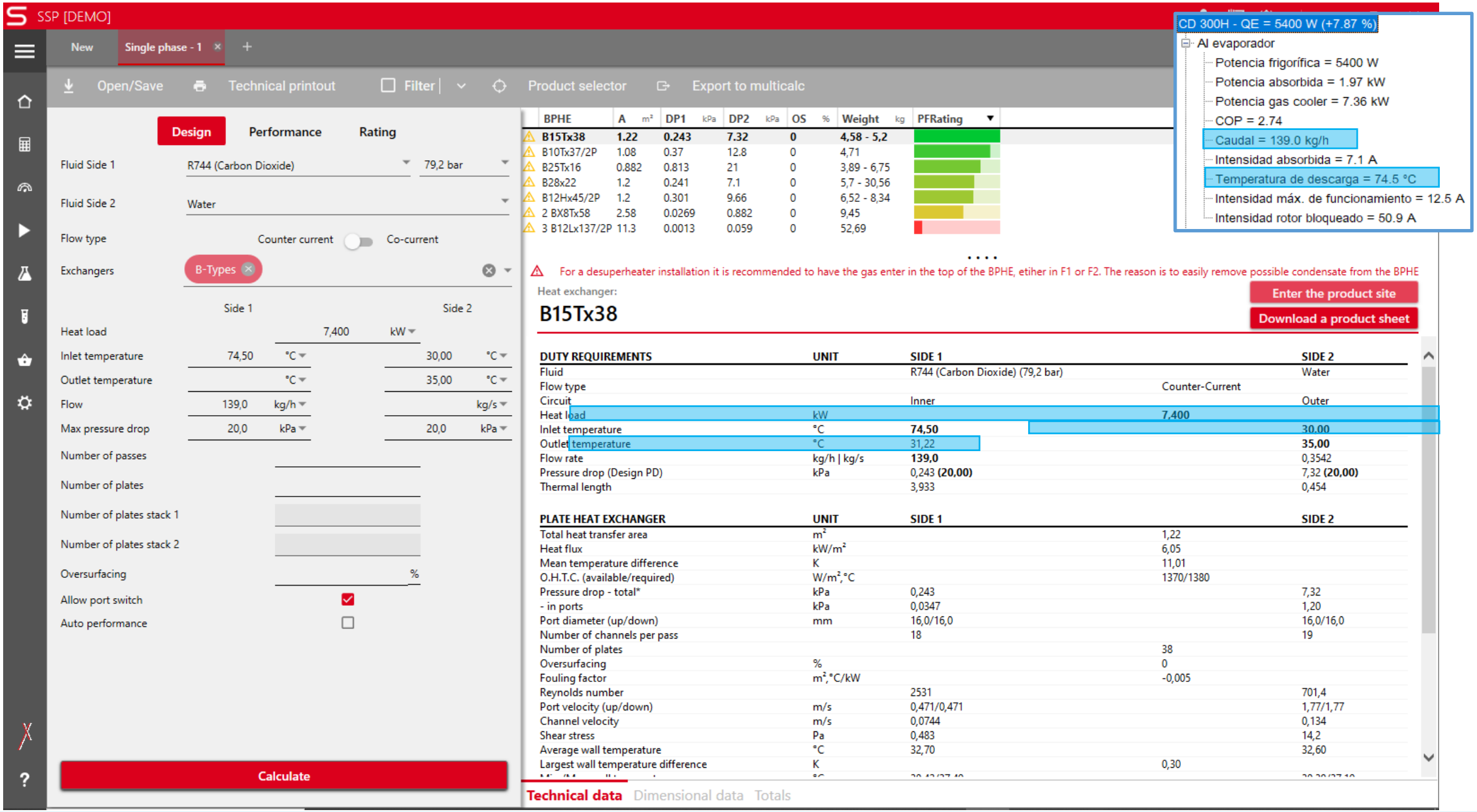


H = Aplicación estándar
Te > 10°C --> PAG68

Nº Cilindros	2	
Diámetro	22	[mm]
Carrera	22	[mm]
Desplazamiento @ 50 Hz	1,46	[m³/h]
Desplazamiento @ 60 Hz	1,75	[m³/h]
Válvula aspiración	10	[mm]
Válvula aspiración	14	[mm]
Válvula descarga	10	[mm]
Válvula descarga	14	[mm]
Carga aceite	1,3	[L]
Peso neto	73	[kg]



2. Condensador refrigerante-agua



SWEP
A DOVER COMPANY

SWEP International AB
Box 105, Hjalmar Brantings väg 5
SE-261 22 Landskrona, Sweden
www.swep.net

EVAPORADOR - DISEÑO
INTERCAMBIADOR: BX4TMx26/1P

SWEP DThermX
Fecha: 28/02/2023

SSP alias: BX4TM

REQUERIMIENTOS		CIRC. 1		CIRC. 2
Fluido		R744 (Carbon Dioxide)		Agua
Tipo de flujo		Contracorriente		
Circuito		Interior		Exterior
Potencia	kW		5.400	
Temp. del líq. subenfriado				
Calidad de vapor de entrada		0.410		
Calidad de vapor de salida		1.000		
Temperatura de entrada	°C	3.03		12.00
Temperatura de evaporación (rocío)	°C	3.00		
Sobrecalentamiento	K	5.00		
Temperatura de salida	°C	8.00		7.00
Caudal	kg/s	0.03858		0.2575
• vapor de entrada	kg/s	0.01582		
Fluido evaporado	kg/s	0.02276		
Caída de presión (CdeP de diseño)	kPa	2.88 (50.00)		14.5 (50.00)

INTERCAMBIADOR A PLACAS		CIRC. 1		CIRC. 2
Area de transferencia de calor	m²		0.288	
Flujo de calor	kW/m²		18.7	
Diferencia de temperatura media	K		6.52	
Coef. de transfer. de calor (dispon./requer.)	W/m²,°C		2870/2870	
Pérdida de carga - total*	kPa	2.88		14.5
- en puertos (Entrada/Salida)	kPa	-0.0382/0.177		0.648
Pérdida de carga en distribución fluida	kPa	0.000 - 0.000		
Presión de operación - salida	kPa	3770		
Número de canales por paso		12		13
Numero de platos			26	
Sobredimensionamiento	%		0	
Factor ensuciamiento	m²,°C/kW		-0.000	
Diámetro de las conexiones (arriba/abajo)	mm	17.5/17.5		17.5/17.5
Diámetro de la conexión de entrada recomendado	mm	2.96 - 4.68		
Diámetro de la conexión de salida recomendado	mm	4.28 - 9.56		
Número de Reynolds				424.8
Velocidad en conexiones – outlet	m/s	1.49		1.07
Velocidad en canal	m/s	0.534		0.354
Tensión de corte	kPa			0.0289
La mayor diferencia de temperatura de la pared	K		0.66	
Min./Máx. temperatura de pared	°C	4.90/10.62		5.19/10.77

** Excluyendo caída de presión en las conexiones.*

PROPIEDADES FÍSICAS		CIRC. 1	CIRC. 2
Temperatura de referencia	°C	3.02	9.33
Líquido • Viscosidad	cP	0.0942	1.33
• Densidad	kg/m³	908.9	999.7
• Calor específico	kJ/kg,°C	2.645	4.194
• Conductividad térmica	W/m,°C	0.1068	0.5787
Vapor • Viscosidad	cP	0.0151	

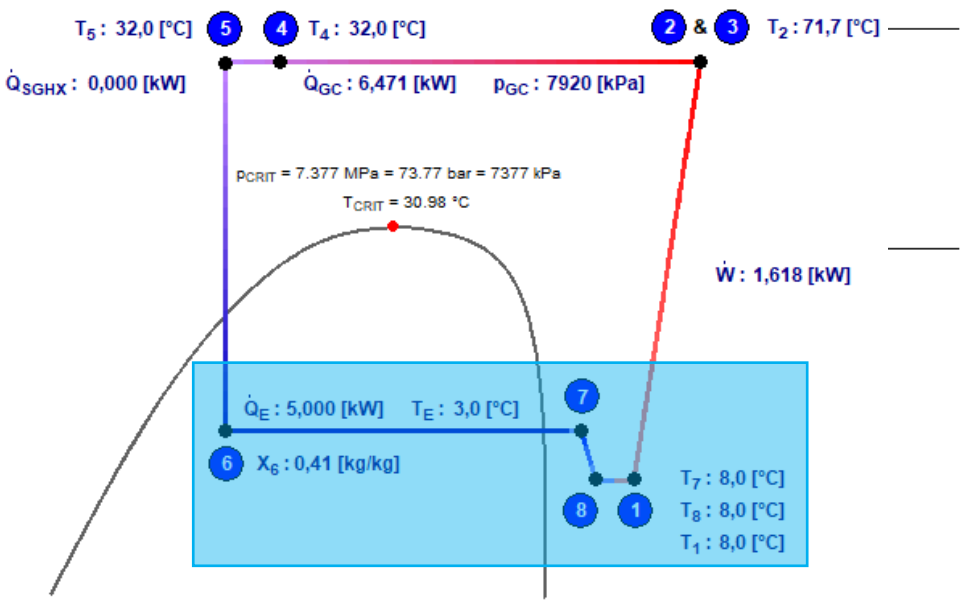
www.swep.net

f1fdd51e-1503-486d-9cf8-69774d38ed12 Fecha: 28/02/2023 Página: 1/2

SWEP
A DOVER COMPANY

SWEP International AB
Box 105, Hjalmar Brantings väg 5
SE-261 22 Landskrona, Sweden
www.swep.net

PROPIEDADES FÍSICAS		CIRC. 1	CIRC. 2
• Densidad	kg/m³	107.5	
• Calor específico	kJ/kg,°C	2.021	
• Conductividad térmica	W/m,°C	0.02077	
• Calor latente	kJ/kg	221.5	
Coeficiente del film	W/m²,°C	12700	10400



4. Válvula de expansión

ELECTRONIC EXPANSION VALVES: High Efficiency Products

CAREL

					Performance						Fittings				Leakage rate			Refrigerants[7]	
		Valve Type1	Key words	Drive type	Capacity2 [kW] [Tons]	KV [m3/h] [GPM]	MWP3 [barg] [PSIg]	MOPD4 [bar] [PSI]	Refrige-rant Tem-perature [°C] [°F]	Environment Temperature [°C] [°F]	Material	Ø	Connection	Mechanical Strainer	Internal5 Direct Flow [cm3/min]	Internal5 Reverse Flow [cm3/min]	External6 [gr/year]	PED Group 2	PED Group 1
CO_2	E2V - C	H	Hermetic All SS HighPressures TwoFittingsTypes	Unipolar or Bipolar	0.08÷27 0.02÷7.7	0.004÷0.15 0.005÷0.29	140 (UL) - 140 (PED) 2030 (UL) - 2030 (PED)	120 1740	-40÷70 -40÷158	-30÷70 -22÷158	AISI 316	10mm 12mm 13.1mm IDF 3/8"	TIG Swagelok Brazing	Optional	< 50	< 50	< 2	R22 R134a R404A R407CR410A R744 RS07A R417A R407H R407A R407E R407F	n.a
	E2V-ZC	D	Demountable Filter included High Pressures All S	Unipolar or Bipolar	0.2÷34.7 0.057÷9.87	0.01÷0.22 0.01÷0.25	140 (PED) 2030 (PED)	120 1740	-40÷70 -40÷158	-30÷70 -22÷158	AISI 304	10-12mm	TIG Brazing	AISI 304 150µm	< 50	< 50	< 2	R744	n.a
	E3V - C	D	Demountable Filter included HighPressures All SS	Bipolar	7÷196 2÷56	0.37÷1.10 0.43÷1.26	120 (UL) - 140 (PED) 1740 (UL) - 2030 (PED)	90 1305	-40÷65 -40÷149	-30÷50 -22÷122	AISI 304	5/8" 7/8"	TIG	AISI 304 200µm	< 150	n.a	< 2	R744	n.a
	E5V-C	D	Demountable Filter included HighPressures All SS	Bipolar	29÷760 8÷216	1.60÷4.20 1.85÷4.89	120 (UL) - 140 (PED) 1740 (UL) - 2030 (PED)	90 1305	-40÷70 -40÷158	-30÷70 -22÷158	AISI 304 Copper	7/8" 1.1/8"	TIG Brazing	AISI 304 200µm	<150	n.a	< 2	R744	n.a

		Valve Type1	Key words	Drive type	Capacity2 [kW] [Tons]
CO_2	E2V - C	H	Hermetic All SS HighPressures TwoFittingsTypes	Unipolar or Bipolar	0.08÷27 0.02÷7.7
	E2V-ZC	D	Demountable Filter included High Pressures All S	Unipolar or Bipolar	0.2÷34.7 0.057÷9.87
	E3V - C	D	Demountable Filter included HighPressures All SS	Bipolar	7÷196 2÷56
	E5V-C	D	Demountable Filter included HighPressures All SS	Bipolar	29÷760 8÷216

Las válvulas de expansión electrónicas llegan a cubrir un rango de capacidades frigoríficas desde 2 kW hasta 2000 kW

La misma válvula y control pueden operar en equipos de refrigeración a bajas temperaturas y son compatibles con la mayoría de los refrigerantes R22, R134, R404, R407, CO2, etc.

Element	Manufacturer	Model	Specifications
Evaporator	Swep	BX4TMx26/1P	Heat transfer area (A_{ht}) 0.288 m^2
Compressor	Dorin	CD300H	Displacement volume 1.75 m^3/h
Gas cooler	Swep PHE	B15Tx38	A_{ht} = 1.22 m^2
Thermostatic expansion valve	Carel	E2V-C	Varias

GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DOMINICANA
MEDIO AMBIENTE

Ministerio de las Fuerzas Armadas

GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DOMINICANA
EDUCACIÓN

SELECCIÓN DE LOS PRINCIPALES ELEMETOS DE UN CICLO DE REFRIGERACIÓN USANDO CO_2 COMO REFRIGERANTE

Presentado por

Víctor Francisco Sena Cuevas

Universidad Autónoma de Santo Domingo
PRIMADA DE AMERICA / Fundada el 28 de octubre de 1538

14 de Agosto, 2024

IIBI
INSTITUTO DE INNOVACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA E INDUSTRIA