

Proyecto de Mejora del Aprendizaje del Alumnado (Convocatoria PROMECE 2014)

REFCO2: Aplicación del CO₂ transcrito en los Centros Educativos

CENTRO COORDINADOR: IES LLOMBAI (Burriana, Castellón)

CENTROS PARTICIPANTES: IES LLOMBAI (Burriana, Castellón)
IES SALVADOR VICTORIA (Monreal del Campo, Teruel)
IES XEBIC (Ondara, Alicante)
CIPFP CATARROJA (Catarroja, Valencia)

COORDINADOR: Juan Ignacio Fandos Monfort (IES LLOMBAI)

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción

El presente proyecto se desarrolla en el marco de ayudas prestadas por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, en la convocatoria PROMECE2014 publicada en BOE nº 240 del 3 de Octubre de 2014. El objetivo fundamental de esta convocatoria, es el diseño y aplicación de proyectos de mejora de aprendizaje del alumnado a través de agrupaciones de colaboración profesional entre unidades educativas o centros sostenidos con fondos públicos. Con ello se pretende cumplir con los requisitos de la Estrategia Europa 2020, con los que España se ha comprometido a incrementar la tasa de éxito del alumnado que cursa educación obligatoria hasta un 85%, y del alumnado que concluyen sus estudios postobligatorios.

1.2 Objetivos

Teniendo en cuenta el objetivo general de esta convocatoria, el proyecto solicitado se desarrolla con una doble finalidad. Por una parte cumplir con los requisitos educativos establecidos en la Estrategia Europa 2020 y que son objeto de la presente convocatoria. Por otro lado, contribuir al Reto de Acción Climática establecido en el Horizonte 2020 por la Comisión Europea, cuyo objetivo (entre otros) es la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, entre los cuales se incluyen los gases fluorados empleados en climatización y refrigeración.

Así pues, los objetivos que se persiguen en el proyecto solicitado son:

- Dar a conocer a los alumnos alternativas naturales a los gases fluorados de efecto invernadero, en equipos de refrigeración y climatización. En este aspecto se hará especial importancia en el uso del CO₂ como refrigerante.
- Ofrecer a los centros docentes una formación sobre el uso, manejo y montaje de instalaciones frigoríficas empleando CO₂ como refrigerante, destinada tanto a docentes como a profesores.
- Dotar a los centros docentes, con el material didáctico necesario para poder formar los alumnos. En este aspecto se elaborarán una serie de bancos experimentales de ensayo, donde el alumno pueda trabajar y desarrollar sus destrezas, a fin de adquirir las competencias necesarias que le permitan formarse como profesional capaz de hacer frente al cambio tecnológico del sector.
- Desarrollar y poner en marcha una página web y blog, que sirva como base de datos de los conocimientos y materiales didácticos desarrollados, orientada a profesores y alumnos, así como a personas ajenas al proyecto dedicadas a la enseñanza de la producción del frío o profesionales del sector.
- Plasmar los resultados obtenidos y el material didáctico elaborado, en publicaciones docentes nacionales e internacionales, como pueden ser congresos, artículos en revistas...etc.
- Conseguir marco común de actuación y desarrollo del conocimiento que aglutine a todos los implicados en el presente proyecto, con el objetivo de conseguir mejores profesionales e implicar a todos ellos en la sociedad del conocimiento y formación a lo largo de toda la etapa profesional.

1.3 Participantes

Los centros participantes en el proyecto corresponden a los Institutos de Enseñanza Secundaria IES Llombai de Burriana (Castellón), IES Salvador Victoria de Monreal del Campo (Teruel), IES Xebic de Ondara (Alicante), y el Centro Integrado Público de Formación Profesional CIPFP Catarroja (Valencia). El centro coordinador del proyecto es el IES Llombai siendo Juan Ignacio Fandos Monfort el coordinador del proyecto.

1.4 Presupuesto

El presupuesto que se dispone por cada centro para la elaboración de los equipos didácticos indicados en el Apartado 1.2, es el siguiente:

Desarrollo de equipos didácticos	
IES Llombai de Burriana (Castellón)	24.000 €
IES Salvador Victoria de Monreal del Campo (Teruel)	9.100 €
IES Xebic de Ondara (Alicante)	11.500€
CIPFP Catarroja (Valencia)	24.000€
Total: 68.600 €	

2. EQUIPO DIDÁCTICO

2.1 Descripción y requisitos

El equipo didáctico que se desea elaborar es una unidad frigorífica de ciclo de compresión simple de vapor, que utiliza CO₂ como refrigerante. Dada la finalidad de este equipo y el fluido de trabajo empleado, los requisitos que se precisan para el mismo son los siguientes:

- Tensión de alimentación: 380 VAC 50 Hz
- Rango de temperaturas ambiente: [15 ÷ 35]°C
- Posibilidad de trabajar en transcrito / subcrítico.
- Presión máxima en la zona de disipación de calor: 110 bar
- Presión máxima en la zona de baja presión: 60 bar
- Temperatura máxima de descarga: inferior a 140°C
- Rango de temperaturas de evaporación en subcrítico [-30 ÷ -40]°C
- Rango de temperaturas de evaporación en transcrito [-10 ÷ -25]°C
- Rango de temperaturas de disipación: [20 ÷ 45]°C
- Instalación completamente monitorizada en temperaturas, presiones, caudales y potencias eléctricas.
- Evaporador colocado en el interior de un recinto aislado montado sobre la propia bancada del equipo. Dicho recinto dispondrá en el interior de una resistencia regulada que le permita al usuario regular la carga térmica interior.
- Las dimensiones totales de la bancada donde tiene que ir montada la instalación, son: 800 mm (ancho) x 1900 mm (alto) x 1900 mm (largo). Dicha bancada dispondrá de ruedas para poder ser fácilmente transportable.

2.2 Esquema instalación

El esquema de la instalación presentado en la Figura 1, dispone de un compresor semihermético (1) unido a un separador de aceite (2); un gas-cooler/condensador de tiro forzado (3) dotado con un by-pass para poder aislarlo del circuito si se desea; un segundo intercambiador de enfriamiento (4) unido a un segundo frigorífico de propano (R290) para conseguir enfriar el CO₂ hasta condiciones de ciclo subcrítico; un primer sistema de expansión presostático (5) para poder controlar la presión de disipación de calor en ciclo transcrito; dos depósitos de acumulación conectados en paralelo mediante válvulas solenoide (6) para almacenar la masa de CO₂ en la instalación, y evitar en las paradas un aumento excesivo de la presión interior; un filtro deshidratador (7) para eliminar humedad del circuito en el caso de que hubiese; un segundo sistema de expansión termostático (8) para controlar la presión y el recalentamiento útil en el evaporador; un evaporador de tiro forzado (9) colocado en el interior de un recinto aislado con una resistencia regulable para poder regular la carga térmica del evaporador; finalmente, un tercer sistema de expansión (10) encargado de extraer vapor del depósito de acumulación (6) para posteriormente inyectarlo en diferentes puntos del circuito según se elija.

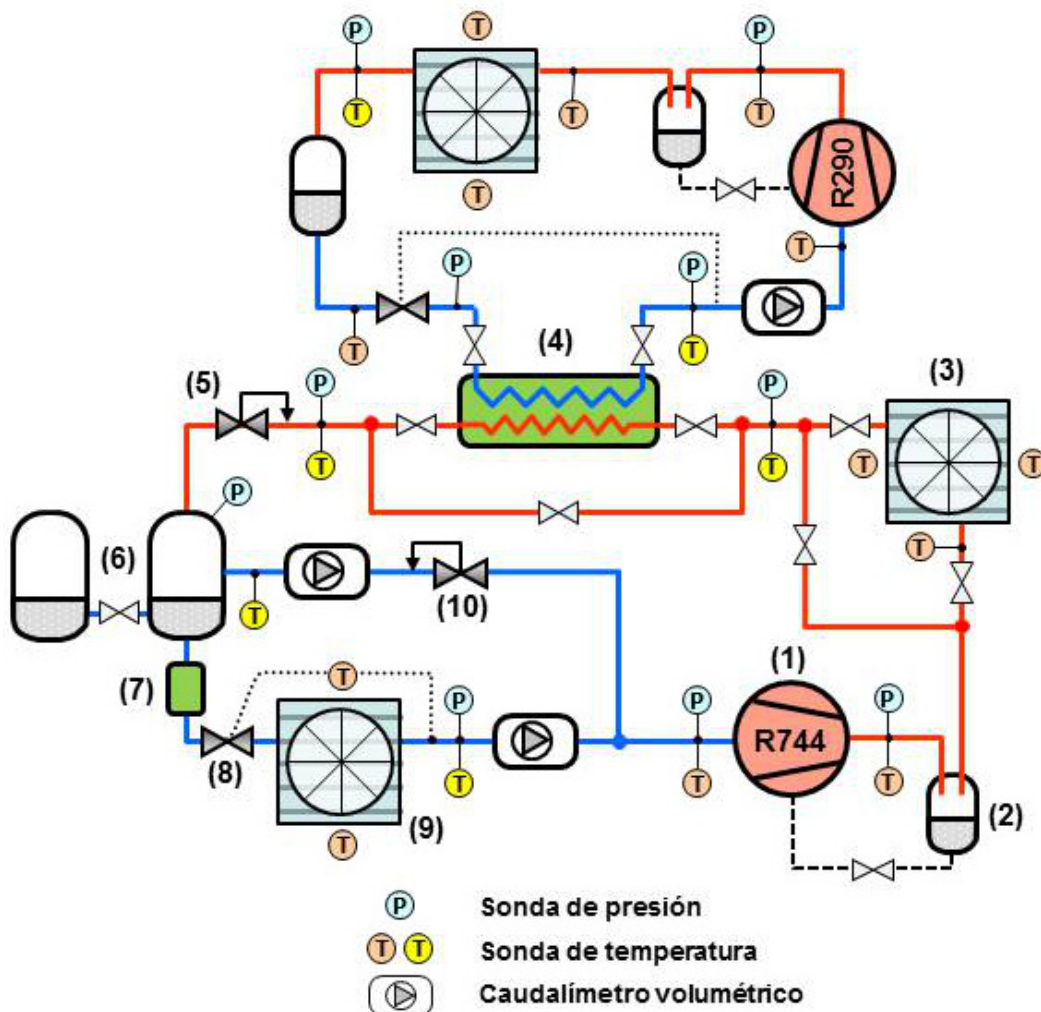


Figura 1 – Esquema de la instalación frigorífica

Mediante este esquema se permiten alcanzar las siguientes configuraciones en el ciclo:

- Ciclo simple en régimen transcrito intercambiando calor con el ambiente mediante gas-cooler (3). Inyección de la extracción de vapor mediante (10), justo a la salida del evaporador.
- Ciclo simple en régimen transcrito con subenfriamiento mecánico mediante (4) a la salida del gas-cooler (3).
- Ciclo simple en régimen subcrito intercambiando calor con el ambiente mediante condensador (3).
- Ciclo en cascada utilizando (4) como ciclo de alta.

2.3 Componentes principales

2.3.1 Compresor (1)

Por las dimensiones que se pretende que tenga el equipo, el compresor elegido tiene que ser relativamente pequeño siendo el modelo CD150M del fabricante italiano DORIN el que mejor se adapta por su cilindrada.

COMPRESOR DORIN	
Modelo:	CD150M
Cilindrada:	1.12 m ³ /h (2 pistones)
Velocidad:	1450 rpm (50 Hz)
Potencia:	1.5 HP (nominal)
Rango de Evaporación:	[-40 ÷ 0] °C
Presión máxima:	150 bar
Conexionado asp/des:	10 mm
Aceite / Carga:	POE / 1.3 kg
Consumo (Y):	3.4 A




Tabla 1 – Características del compresor semihermético DORIN

Modello Model Modèle Typ	Condizioni operative Operating conditions Conditions d'utilisation Betriebsbedingungen			Q [W]	Capacità frigorifera Refrigerating capacity Puissance frigorifique Kälteleistung					P [kW]	Potenza assorbita Power input Puissance absorbée Leistungsaufnahme				
	Tc	Tgcout	pc		Temperatura evaporazione / Evaporating temperature Température d'évaporation / Verdampfungstemperatur [°C]										
	[°C]	[°C]	[bar]	+10	+5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	
	CD150M	0	--	(34,9)	Q						3720	3050	2480	2000	1600
				P						0,47	0,52	0,54	0,56	0,56	0,55
5		--	(39,7)	Q					4110	3410	2800	2260	1810	1440	1170
				P						0,52	0,58	0,61	0,62	0,63	0,60
10		--	(45,0)	Q			5270	4480	3760	3110	2540	2040	1620	1290	1040
				P			0,50	0,58	0,64	0,68	0,70	0,70	0,69	0,67	0,65
15		--	(50,9)	Q			4790	4070	3400	2800	2270	1820	1440	1140	905
				P			0,66	0,72	0,76	0,78	0,78	0,77	0,75	0,73	0,69
20		--	(57,3)	Q			4290	3630	3030	2480	2000	1590	1250	980	
				P			0,81	0,85	0,87	0,88	0,86	0,84	0,81	0,77	
25		--	(64,3)	Q			3740	3160	2620	2140	1720	1360	1060	825	
				P			0,95	0,97	0,97	0,96	0,94	0,90	0,86	0,81	
--		30	75	Q			3220	2710	2240	1820	1450	1140	880		
				P			1,13	1,12	1,10	1,07	1,02	0,97	0,92		
--		35	90	Q			2880	2410	1980	1600	1260	980			
				P			1,33	1,29	1,24	1,18	1,11	1,05			
--		40	100	Q			2510	2090	1720	1380	1090				
				P			1,45	1,39	1,32	1,25	1,17				
--		45	110	Q			2200	1830	1500	1200	950				
				P			1,55	1,48	1,40	1,32	1,24				

Tabla 2 – Potencias frigorífica y eléctrica para el compresor semihermético DORIN CD150M

Basándonos en los datos proporcionados por el fabricante en la Tabla 2, y a partir de las restricciones indicadas en el Apartado 2.1, se han calculado diferentes parámetros

de funcionamiento según un ciclo simple en condiciones transcricas o subcricas (Tabla 3) o según un ciclo en cascada (Tabla 4). En base a estas condiciones se elegirán los intercambiadores necesarios en la instalación frigorífica.

T _{amb} (°C)	ΔT (K)	T _{Cond} o T _{GC} (°C)	T _{eva} (°C)	T _{des} (°C)	Q _{eva} (kW)	Q _{Cond} o Q _{GC} (kW)	P _{comp} (kW)	COP (-)	m _{ref} (kg/h)	V _{ref} ^(*) (m ³ /h)
15	5	20	-30	131.26	1.25	2.06	0.81	1.54	23.44	0.0281
20	5	25	-30	148.75	1.06	1.92	0.86	1.23	22.05	0.0277
25	5	30	-25	148.11	1.14	2.11	0.97	1.18	26.14	0.0265
30	5	35	-15	136.31	1.60	2.78	1.18	1.36	38.34	0.0386
35	5	40	-10	135.51	1.72	3.04	1.32	1.30	45.52	0.0456

Tabla 3 – Datos de funcionamiento en ciclo subcrico / transcrico (Ciclo simple)

T _{Cond} (°C)	T _{eva} (°C)	T _{des} (°C)	Q _{eva} (kW)	Q _{Cond} (kW)	P _{comp} (kW)	COP (-)	m _{ref} (kg/h)	V _{ref} ^(*) (m ³ /h)
0	-35	82.50	1.60	2.16	0.56	2.86	23.34	0.0243
5	-35	99.21	1.44	2.06	0.62	2.32	22.13	0.0237
10	-35	115.22	1.29	1.96	0.67	1.93	21.01	0.0233

Tabla 4 – Datos de funcionamiento en ciclo subcrico (Ciclo en cascada)

(*) Calculado suponiendo subenfriamiento de 5K sobre el valor en saturación (subcrico) y 5K de enfriamiento en el caso del ciclo transcrico.

2.3.2 Separador aceite (2)

Debe de ser capaz de soportar hasta 110 bar de presión con un volumen relativamente reducido. Los filtros ESK consultados tienen volúmenes elevados. Una posible solución puede ser colocar un filtro coalescente de la marca CLASSIC FLITERS modelo SS216.421.T que soporta hasta 200 bar con un volumen de 120 ml. El único problema son las juntas de estanqueidad que deberían de ser cambiadas por unas compatibles con CO₂ (por defecto las que lleva son de Viton).

SEPARADOR DE ACEITE	
Modelo:	SS216.421.T
Volumen:	120 ml
Máxima presión:	200 bar
Máxima Temperatura:	200 °C
Conexión línea:	½" NPT
Conexión drenaje:	¼" NPT
Material:	316L SS
Junta estanqueidad:	PTFE
Elemento filtrante:	25.64.5CK

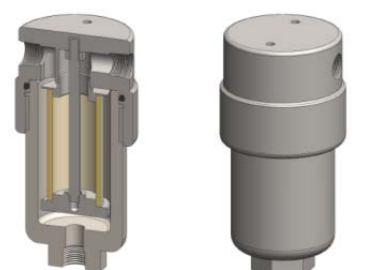


Tabla 5 – Características del filtro separador de aceite CLASSIC FILTERS

2.3.3 Gas-cooler / Condensador (3)

Se desea un intercambiador de flujo cruzado con aire como fluido secundario capaz de soportar presiones de hasta 110 bar. Las dimensiones de las tuberías se recomiendan de 3/8" o 5/16" como posteriormente se justificará en el punto 2.3.9. Dado que este intercambiador es para poder trabajar en ciclo simple transcrico / subcrico, se emplearan los datos de la Tabla 3.

En condiciones subcríticas (condensando) la eficiencia del intercambiador es menor que en condiciones transcíticas (trabajando como gas-cooler), por lo que el tamaño del intercambiador vendrá condicionado por el ciclo subcrítico. En estas condiciones la potencia estimada a disipar es de como mínimo 2.11 kW. Tomando como referencia el catálogo de Pecomark con los valores de potencia estimados para R404A, se ha elegido el modelo AT-48 N/VR con potencia intercambiada de 2.47 kW.

2.3.4 Equipo de disipación auxiliar (4)

Con el equipo de disipación auxiliar se desea conseguir enfriar el ciclo de CO₂ para hacerlo trabajar en ciclo subcrítico como si de una configuración en cascada se tratara, o bien actuar como un sistema de enfriamiento adicional trabajando en transcrito.

Tomado como referencia los datos de la Tabla 4, el intercambiador de placas conectado a circuito debe de ser capaz de soportar presiones de hasta 110 bar con una potencia a disipar de 2.16 kW para trabajar a un nivel de condensación de 0°C y -35°C de evaporación. El ciclo auxiliar conectado a este disipador será de ciclo de compresión simple trabajando con propano (R290) como fluido de trabajo condensado por aire.

El compresor estimado sería el modelo NT6224U de EMBRACO.

El condensador de la unidad auxiliar se tendrá una potencia aproximada igual a la suma del compresor + evaporador. En total: 2.89 kW

2.3.5 Sistemas de expansión (5) (8) (10)

Todos los sistemas de expansión serán electrónicos para poder ser controlados mediante el sistema de adquisición. El sistema de expansión (5) debe de soportar presiones de hasta 110 bar. El resto de sistemas (8) y (10) deberán soportar presiones de hasta 50 bar. Teniendo en cuenta los caudales indicados en las Tablas 3 y 4, las válvulas elegidas son de la marca SAGINOMIYA modelo UKV-J14D04.

VÁLVULA DE EXPANSIÓN ELECTRÓNICA	
Modelo:	UKV-J14D04
Modelo Bobina 12 VDC:	UKV-A111
Máxima presión:	150 bar
Máxima presión dif.:	100 bar
Kv:	0.056 m ³ /h
Cv:	0.066 gal/min
Conexión línea:	¼" Soldar
Potencia máxima:	8.1 kW
Rango de Temperatura:	-30 ÷ 70 °C




Tabla 6 – Características de la válvula de expansión SAGINOMIYA

Todas las válvulas están controladas mediante un convertidor de pulsos de la marca SAGINOMIYA modelo LNE-ZN10-010 con señal de entrada de 4 – 20 mA alimentado a 24 VDC.

2.3.6 Depósitos de acumulación (6)

Para los depósitos de acumulación se estima un volumen para cada uno de aproximadamente 5 litros. Deben de ser capaces de soportar presiones hasta 50 bar cuando la instalación se encuentre parada e irán equipados con válvula de seguridad.

2.3.7 Solenoides

Las válvulas solenoides para el conexionado de los depósitos de acumulación deben de soportar hasta 50 bar cuando la instalación se encuentre parada. El modelo elegido es el HPV-122D de la marca SAGINOMIYA capaces de soportar hasta 138 bar con Kv de 0.032 m³/h, conexión soldada de ¼" y presión diferencial máxima de 100 bar.

2.3.8 Evaporador (9)

Al igual que en los depósitos y en las válvulas solenoide, debe de ser capaz de soportar hasta 50 bar de presión cuando se encuentre parado. La potencia a intercambiar viene dada por las Tablas 3 y 4, donde se estima una potencia máxima de 1.72 kW a -10°C en ciclo supercrítico con temperatura de 40°C, y de 1.6 kW a -35°C con temperatura de condensación a 0°C.

Tomando como referencia el catálogo de Pecomark con los valores de potencia estimados para R404A, se ha elegido el modelo EP-300 con superficie de intercambio de 11.65 m².

2.3.9 Tuberías

Según el RD 138/2011, el espesor de las tuberías empleadas en los circuitos de CO₂ debe de ser de como mínimo 0.7 mm. Tomando la norma ASME B31.5-2001 y calculando las presiones máximas soportadas por los diferentes diámetros de tuberías comerciales de cobre, se determina la Tabla 7 donde se muestra la presión máxima soportada por las tuberías sin sufrir deformaciones.

Diámetro (Pulgadas)	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Presión máxima (bar)			Factor de seguridad (P _{MAX} /120)		
			37.8 °C	93.3 °C	148.9°C	37.8 °C	93.3 °C	148.9°C
1/4	6.35	0.8	241.33	235.54	223.96	2.01	1.96	1.87
5/16	7.94	0.8	188.83	184.30	175.24	1.57	1.54	1.46
3/8	9.53	0.8	155.09	151.37	143.93	1.29	1.26	1.20
1/2	12.70	1	144.75	141.27	134.33	1.21	1.18	1.12
5/8	15.88	1	114.26	111.52	106.04	0.95	0.93	0.88
3/4	19.05	1.25	119.29	116.42	110.70	0.99	0.97	0.92
7/8	22.23	1.25	101.44	99.01	94.14	0.85	0.83	0.78
1	25.40	1.25	88.24	86.13	81.89	0.74	0.72	0.68

Tabla 7 – Presiones máximas soportadas por los diferentes tipos de tuberías comerciales

De acuerdo con la Tabla 7, no existe ningún tipo de problema en emplear en la instalación tubería de 3/8" de diámetro exterior o inferior, ya que soporta perfectamente los valores máximos con los que se desea trabajar (110 bar).

2.3.10 Válvulas de seccionamiento

Las válvulas de seccionamiento serán válvulas de bola capaces de aislar los elementos principales de la instalación en caso de parada o de cambio de configuración. Se definen dos rangos de funcionamiento: presiones > 100 bar y presiones hasta 50 bar. Para el primer caso se tienen un total de 8 válvulas, mientras que para el segundo caso un total de 9 válvulas. Las válvulas elegidas son de la compañía REFRIGERA con presiones máximas de 120 bar para el caso de ciclo transcrito y de 52 bar para el caso de ciclo subcrítico.

2.3.11 Visores

En el caso de los visores, el criterio seguido para poder seleccionarlos es el mismo que se ha tomado en el caso de las Válvulas de seccionamiento (2.3.10). De nuevo, los modelos elegidos corresponden a la compañía REFRIGERA con un total de 1 visor para presiones máximas de 120 bar y 4 visores para presiones máximas de 52 bar.

2.4 Elementos de medida y adquisición

La unidad didáctica desarrollada contará con una serie de elementos de medida que le permitan registrar las principales variables termodinámicas y energéticas que definen la instalación. Así se colocaran sensores de temperatura, presión y caudal en los puntos indicados en la Figura 1. Además, cada uno de los compresores dispondrá de un vatímetro digital para poder medir la potencia eléctrica consumida.

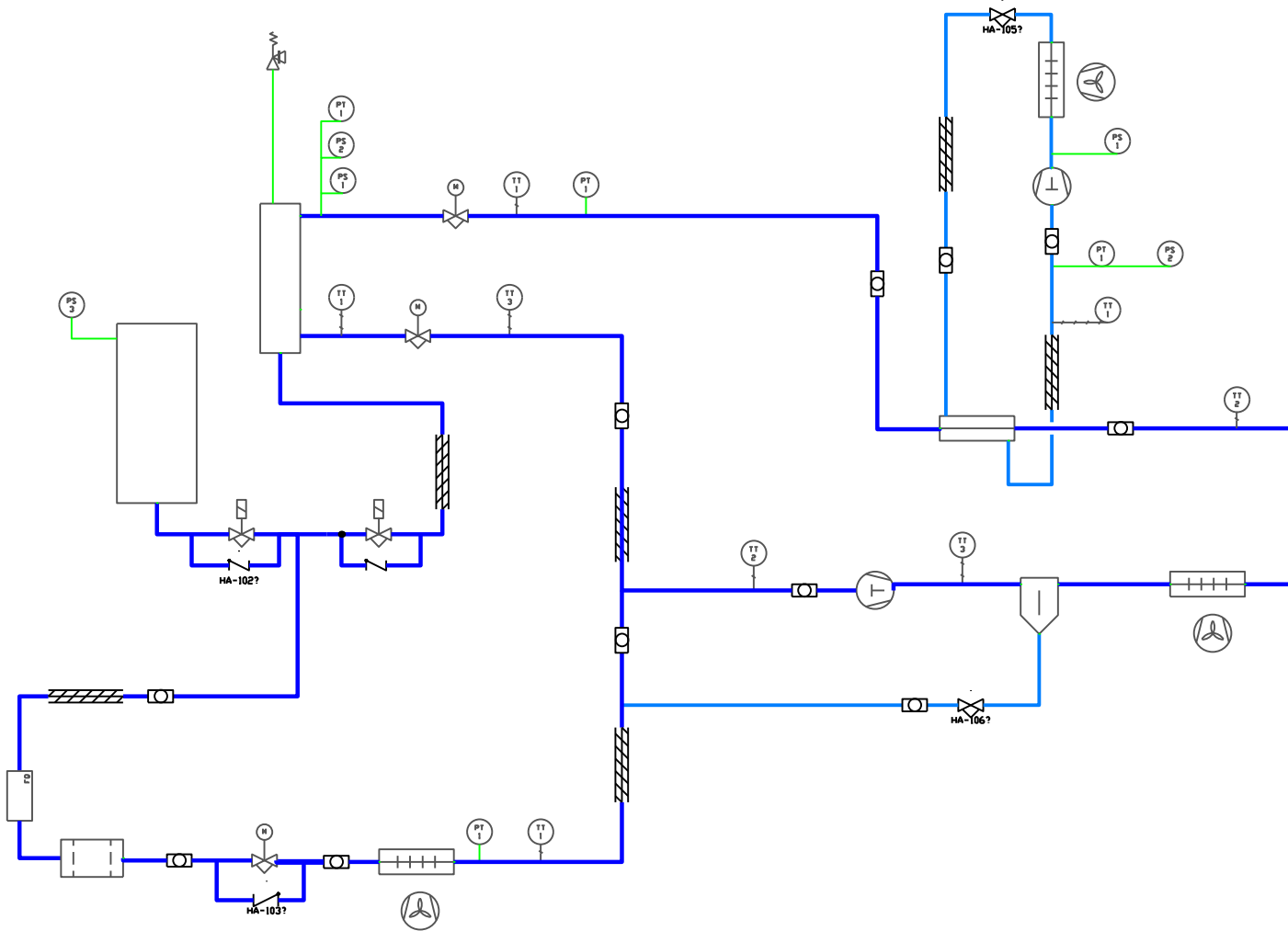
La Tabla 8 y 9 muestran el número de elementos de medida empleados en los ciclos de CO₂ y propano (R290), respectivamente, así como el rango y la precisión de éstos.

Número	Variable medida	Elemento de medida	Rango estimado	Fabricante y Modelo	Precisión
7	Temperatura (superficie)	Termopar tipo T	-40 a 150 °C	TC Direct	± 0.5 K
4	Temperatura (inmersión)	Termopar tipo T	-40 a 150 °C	TC Direct	± 0.5 K
3	Presión	Pressure gauge	0 a 50 bar	Johnson & Controls	± 1 % sobre el fondo de escala
3	Presión	Pressure gauge	0 a 160 bar	SICK	± 1 % sobre el fondo de escala
1	Caudal volumétrico de refrigerante	Caudalímetro turbina	2 a 40 l/min (agua)	KOBOLD	± 1.5 % sobre el fondo de escala
1	Potencia Eléctrica	Vatímetro Digital	0 a 2000W	GOSSEN METRAWATT	± 0.5 % sobre el fondo de escala

Tabla 8 – Elementos de medida empleados en la instalación de R744 (CO₂)

Número	Variable medida	Elemento de medida	Rango estimado	Fabricante y Modelo	Precisión
6	Temperatura (superficie)	Termopar tipo T	-40 a 150 °C	TC Direct	± 0.5 K
2	Temperatura (inmersión)	Termopar tipo T	-40 a 150 °C	TC Direct	± 0.5 K
2	Presión	Pressure gauge	-1 a 15 bar	Johnson & Controls	± 1 % sobre el fondo de escala
2	Presión	Pressure gauge	-1 a 8 bar	Johnson & Controls	± 1 % sobre el fondo de escala
1	Caudal volumétrico de refrigerante	Caudalímetro turbina	2 a 40 l/min (agua)	KOBOLD	± 1.5 % sobre el fondo de escala
1	Potencia Eléctrica	Vatímetro Digital	0 a 1250 W	SENECA	± 0.5 % sobre el fondo de escala

Tabla 9 – Elementos de medida empleados en la instalación de R290 (Propano)



General Notes

No.	Revision/Issue	Date
2		18/12/14
1		08/12/14

Drawing Name

Esquema de principio

Project Name and Address

Aplicación CO₂ Transcrítico
 BOE A 2014 10031
 Avda. Cardenal Tarrancón 7
 Borriana

Area
 IES LLOMBAI

Drawing Number
 2014_002

Author
 Nacho

Stamp

