



UNIVERSITAT
JAUME•I

UNIVERSITAT JAUME I

ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA I CIÈNCIES EXPERIMENTALS
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

*DISEÑO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN EN
ANILLO PARA LA CONDENSACIÓN DE MUEBLES
FRIGORÍFICOS DE UNA SALA DE ENSAYOS*

TRABAJO FIN DE GRADO

AUTOR

Jose Díaz Suárez

DIRECTORES

Javier Blanco Castro

Rodrigo Llopis Doménech

Castellón, Septiembre de 2015

Agradecimientos

En primer lugar, mi más sincero agradecimiento a mi supervisor Javier Blanco, por haberme dirigido este proyecto de fin de carrera. Por todas las atenciones, por el tiempo que ha perdido conmigo, y sobre todo por su apoyo.

Quedo especialmente agradecido con Jorge Patiño Pérez, sufridor constante de mis preguntas sobre las distintas dudas que iban surgiendo en la realización del trabajo fin de grado. Le agradezco sinceramente su confianza y todo el apoyo, consejos y ayuda recibida.

Agradezco también la atención recibida por Rodrigo Llopis Doménech, tutor de mi trabajo fin de grado. Agradecerle los comentarios, sugerencias y correcciones con las que he podido elaborar una adecuada memoria de todo el trabajo.

Por otra parte, agradecer a la empresa Frost-trol la oportunidad de la realización de las prácticas externas en sus instalaciones y poder utilizar parte del trabajo realizado en ellas para la realización del trabajo fin de grado.

Tengo que agradecer también a Jose, trabajador de Frost-Trol, que gracias a los conocimientos que me ha transmitido, ha sido posible la realización del montaje de toda la instalación. Del mismo modo, me gustaría agradecer la colaboración de Jessica Guillem, en la realización del diseño de la estructura envolvente.

Asimismo, me gustaría agradecer la buena disposición de los trabajadores de la sección de Oficina Técnica y S.A.T., quienes me aconsejaron con muy buena actitud cuando lo necesitaba.

Por último, pero no menos importante, me gustaría agradecer este trabajo a mi familia y amigos, especialmente a mis padres y hermana, que me han apoyado en todas las decisiones tomas.

INDICE GENERAL

DOCUMENTO I: MEMORIA

INDICE DE CONTENIDO

1. Objeto	5
2. Alcance	5
3. Antecedentes	6
3.1. Historia de la refrigeración	6
3.2. Ciclo frigorífico	6
3.3. Funcionamiento del condensador	8
3.4. Tipos de condensadores	8
3.4.1. Condensadores de Aire	9
3.4.2. Condensadores por Agua	9
3.4.3. Condensadores mixtos Aire + Agua	11
3.5. Fluidos secundarios	12
3.6. Sistemas directos e indirectos de refrigeración	13
4. Normas y referencias	14
4.1. Disposición legal y normas aplicadas	14
4.2. Bibliografía	14
4.2.1. Libros	14
4.2.2. Artículos técnicos	15
4.3. Programas de cálculo	15
5. Definiciones y abreviaturas	15
6. Requisitos de diseño	17
6.1. Emplazamiento de la instalación	17
6.2. Uso de la instalación	18

6.3.	Requisitos de diseño establecidos por la empresa	18
6.4.	Requisitos de diseño del mueble	18
7.	Análisis de soluciones	18
8.	Resultados finales	19
8.1.	Descripción de la instalación	19
8.2.	Componentes de la instalación	19
8.2.1.	Unidad condensadora comercial (Chiller).	20
8.2.2.	Grupo hidrónico	21
8.2.3.	Control de la distribución del agua	26
8.2.4.	Costes de la instalación	26
9.	Justificación de la viabilidad técnica económica y legal	27
10.	Desarrollos futuros	30

INDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Ciclo de refrigeración.	7
Figura 2:	Ciclo de refrigeración representado sobre el diagrama de Mollier.	7
Figura 3:	Proceso de condensación.	8
Figura 4:	Condensador convección natural	9
Figura 5:	Condensador convección forzada.	9
Figura 6:	Condensador de doble tubo.	10
Figura 7:	Condensador tipo calandra.	10
Figura 8:	Condensador carcasa/tubos.	10
Figura 9:	Condensador de placas.	11
Figura 10:	Funcionamiento de la torre de enfriamiento.	11
Figura 11:	Funcionamiento condensador evaporativos.	12
Figura 12:	Esquema de sistema de refrigeración directo e indirecto	13
Figura 13:	Situación geográfica de la instalación.	17
Figura 14:	Emplazamiento de la instalación.	18
Figura 15:	Intercambiador de placas.	20
Figura 16:	Válvula de expansión.	20

Figura 17: Depósito de inercia.	21
Figura 18: Vaso de expansión	22
Figura 19: Bomba de recirculación.	22
Figura 20: Curva característica de la bomba Baxiroca.	23
Figura 21: Curva característica de las bombas DAB.	23
Figura 22: Flusostato.	24
Figura 23: Válvula de servicio.	24
Figura 24: Válvula de seguridad con manómetro.	25
Figura 25: Tubo de cobre aislado térmicamente.	25
Figura 26: Componentes de control.	26

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen presupuesto.	26
-------------------------------	----

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Temperatura del ciclo de la unidad condensadora (chiller).	27
Gráfica 2: Temperaturas del suministro de agua y retorno.	28
Gráfica 3: Control de la temperatura de condensación en la unidad condensadora de la sala.	28
Gráfica 4: Clase climática de la sala de ensayos.	29
Gráfica 5: Temperaturas del mueble frigorífico.	29
Gráfica 6: Evolución de la temperatura de los paquetes.	30

ANEXO I: Cálculo de la unidad condensadora comercial (Chiller)

INDICE DE CONTENIDO:

1. Introducción	37
2. Ciclo de la instalación	37
2.1. Generalidades	37

2.2.	Datos de partida	39
2.3.	Cálculo del ciclo	40
2.3.1.	Aspectos generales	40
2.3.2.	Cálculo	41
3.	Componentes	43
3.1.	Compresor	43
3.2.	Condensador	44
3.3.	Ventiladores	45
3.4.	Deposito líquido	45
3.5.	Filtro ADK-305S	46
3.6.	Válvula de expansión	46
3.6.1.	Aspectos generales	46
3.6.2.	Válvula electrónica	46
3.6.3.	Selección	48
3.7.	Intercambiador de placas - Evaporador	49
3.7.1.	Aspectos generales	49
3.7.2.	Selección	50
3.7.3.	Fluido secundario	50
3.8.	Otros elementos	51
4.	Puesta a punto	51
4.1.	Montaje	51
4.2.	Tuberías	51
4.3.	Tipo de refrigerante	52
4.4.	Carga de refrigerante	52
4.4.1.	Grado de llenado del tendido de tuberías	52
4.4.2.	Grado de llenado en el condensador	53
4.4.3.	Grado de llenado del evaporador	53
4.4.4.	Grado de llenado del depósito de líquido	53
4.4.5.	Cálculo	54
5.	Resultados experimentales	54

5.1.	Carga de refrigerante real	54
5.1.1.	Procedimiento	54
5.1.2.	Carga introducida	55
5.2.	Ciclo	55
5.2.1.	Ciclo refrigerante	55
5.2.2.	Intercambiador	56
5.2.3.	Aplicación del agua como fluido secundario	58

INDICE DE FIGURAS:

Figura 1:	Ciclo frigorífico.	38
Figura 3:	Temperaturas anuales Castellón, Comunidad Valenciana, España.	39
Figura 4:	Ciclo de refrigeración.	42
Figura 5:	Esquema de funcionamiento de un ciclo de compresión simple.	43
Figura 6:	Rango de funcionamiento del compresor ZS56K4E-TWD-551	44
Figura 7:	Compresor Copeland.	44
Figura 8:	Condensador de tubo aleteado.	45
Figura 9:	Ventilador CMB 320/320-N-550W.	45
Figura 10:	Filtro ADK.	46
Figura 11:	Válvula electrónica Carel E ² V.	47
Figura 12:	Contenido de los componentes.	47
Figura 13:	Control de la válvula electrónica.	48
Figura 14:	Esquema del circuito para seleccionar la válvula de expansión.	48
Figura 15:	Punto de funcionamiento de la válvula electrónica.	49
Figura 16:	Intercambiador de placas.	50

INDICE DE TABLAS:

Tabla 1:	Resumen de los datos de partida.	39
Tabla 2:	Descripción del ciclo por punto.	41
Tabla 3:	Calculo de los parámetros energéticos	42
Tabla 4:	Parámetros de funcionamiento.	48
Tabla 5:	Características del intercambiador de placas.	50

Tabla 6: Propiedades del fluido secundario. _____	51
Tabla 7: Propiedades físicas del refrigerante R404A _____	52
Tabla 8: Datos para el cálculo de refrigerante. _____	54
Tabla 9: Masa de refrigerante. _____	54
Tabla 10: Ubicación de los sensores de temperatura. _____	55
Tabla 11: Temperaturas del ciclo real. _____	56
Tabla 12: Salto de temperaturas. _____	58

INDICE DE GRÁFICAS:

Grafica 1: Temperaturas del ciclo de la unidad condensadora (chiller). _____	56
Gráfica 2: Temperaturas del intercambiador de placas. _____	57
Gráfica 3: Transferencia de calor en el intercambiador. _____	57
Grafica 4: Temperatura de la instalación de la sala de ensayos. _____	58

ANEXO II: Cálculo del grupo hidrónico

INDICE DE CONTENIDO:

1. Introducción _____	63
2. Selección de los componentes _____	64
2.1. Intercambiador de placas _____	64
2.2. Depósito de inercia _____	65
2.2.1. Dimensionamiento _____	65
2.3. Vaso de expansión _____	67
2.3.1. Aspectos generales _____	67
2.3.2. Dimensionado _____	67
2.4. Bomba de recirculación _____	69
2.4.1. Introducción _____	69
2.4.2. Dimensionado de la bomba. _____	70
2.4.3. Selección _____	70
3. Accesorios _____	72
3.1. Válvula de corte y servicio _____	72

3.2.	Flusostato	72
3.3.	Purgador automático	73
3.4.	Válvula de seguridad	73
4.	Cuadro eléctrico	74
4.1.	Componentes	75
4.1.1.	Diferencial	75
4.1.2.	Magnetotérmico	75
4.1.3.	Temporizador	76
4.1.4.	Contactador	76
5.	Tuberías	76
5.1.	Introducción	76
5.2.	Dimensionamiento	77
5.2.1.	Tubería PPR	77
5.2.2.	Tubería de cobre	82
6.	Diseño de la caja exterior	84
6.1.	Componentes	84
6.2.	Ensamblaje	86

INDICE DE FIGURAS:

Figura 1:	Grupo hidrónico.	63
Figura 2:	Esquema hidráulico del grupo hidrónico.	64
Figura 3:	Depósito acumulador.	66
Figura 4:	Características depósito inercia.	66
Figura 5:	Vaso de expansión cerrado	67
Figura 6:	Bomba de recirculación	69
Figura 7:	Curva característica de la bomba PC-1025	71
Figura 8:	Curva característica de la bomba VA35-VS35.	71
Figura 9:	Válvula de servicio.	72
Figura 10:	Filtro de asiento inclinado.	72
Figura 11:	Flusostato	73

Figura 12: Purgador automático. _____	73
Figura 13: Válvula de seguridad. _____	74
Figura 14: Cuadro eléctrico. _____	74
Figura 15: Valores k_0 de diferentes elementos. _____	80
Figura 16: Coeficiente de los accesorios de cobre. _____	82
Figura 17: Distribución de los elementos. _____	84
Figura 18: Conjunto intercambiador y vaso de expansión. _____	85

INDICE DE TABLAS:

Tabla 1: Número de parcializaciones del compresor. _____	65
Tabla 2: Coeficientes de dilatación. _____	68
Tabla 3: Cálculo del vaso de expansión. _____	68
Tabla 4: Características del temporizador. _____	76
Tabla 5: Comportamiento del agua en tuberías de PPR. _____	77
Tabla 6: Series de los tubos PPR. _____	78
Tabla 7: Tipos de diámetros de PPR. _____	78
Tabla 8: Datos de la instalación. _____	81
Tabla 9: Pérdida de carga en la tubería. _____	81
Tabla 10: Pérdida de carga en los accesorios. _____	81
Tabla 11: Datos de la instalación. _____	83
Tabla 12: Pérdida de carga en la tubería. _____	83
Tabla 13: Pérdida de carga en los accesorios. _____	83

ANEXO III. Cálculo de la unidad condensadora de la sala de ensayos

INDICE DE CONTENIDO:

1. Introducción _____	90
2. Ensayo experimental de un mueble vertical _____	90
2.1. Preparación de la sala de ensayos _____	90
2.2. Preparación del mueble de ensayo _____	90

2.2.1.	Posicionamiento	90
2.2.2.	Carga del mueble	91
2.3.	Preparación de la unidad condensadora	93
2.4.	Ensayos	93
3.	Características del mueble vertical	94
3.1.	Introducción	94
3.2.	Componentes	95
3.2.1.	Elementos frigoríficos	95
3.3.	Funcionamiento	96
4.	Características de la unidad condensadora	96
4.1.	Compresor	97
4.2.	Condensador	97
4.3.	Otros elementos	98
4.4.	Esquema frigorífico	98
5.	Ciclo frigorífico	99
5.1.	Generalidades	99
5.2.	Cálculos	99
5.3.	Sistema de control	101
5.3.1.	Componentes	101
6.	Resultados experimentales	102

INDICE DE FIGURAS:

Figura 1:	Punto de medición de un mueble vertical.	90
Figura 2:	Posicionamiento del mueble en la sala de ensayos.	91
Figura 3:	Posición de los paquetes de ensayo.	92
Figura 4:	Disposición de la sonda de temperatura dentro de un paquete-M.	93
Figura 5:	Mueble vertical.	94
Figura 6:	Ficha técnica.	95
Figura 7:	Unidad condensadora Zanotti.	96

Figura 8: Intercambiador de calor.	97
Figura 9: Esquema de la unidad condensadora.	98
Figura 10: Diagrama de Mollier.	100
Figura 11: Esquema de funcionamiento del sistema de control.	101
Figura 12: Termostato mecánico.	101
Figura 13: Componentes de una solenoide.	102
Figura 14: Condiciones de la sala de ensayos.	104
Figura 15: Temperatura del mueble frigorífico (sondas de temperatura).	105
Figura 16: Temperaturas del mueble frigorífico (sondas de presión).	105
Figura 17: Ensayo de temperaturas.	106

INDICE DE TABLAS:

Tabla 1: Rango de temperaturas y clases.	96
Tabla 2: Características de la unidad condensadora.	97
Tabla 3: Parámetros establecidos.	99
Tabla 4: Descripción del ciclo por punto.	99
Tabla 5: Calculo de los parámetros energéticos.	100
Tabla 6: Propiedades del fluido secundario.	¡Error! Marcador no definido. 100
Tabla 7: Ubicación de los sensores en la unidad condensadora de la sala.	102

INDICE DE GRÁFICAS:

Gráfica 1: Temperaturas en el intercambiador de la unidad condensadora de la sala.	103
Gráfica 2: Transferencia de calor en el intercambiador.	104

DOCUMENTO III: Planos

INDICE DE CONTENIDO:

1. Planos generales de la instalación	109
1.1. Principio de funcionamiento del sistema	
1.2. Circuito de distribución del fluido secundario	
1.3. Circuito del sistema de control	
2. Planos del grupo hidráulico	113
2.1. Conjunto Grupo hidráulico	

2.2.	Base	
2.3.	Pilares	
2.4.	Tapa superior	
2.5.	Tapa superior ángulo (refuerzo)	
2.6.	Tapa lateral	
2.7.	Tapa lateral manómetro	
2.8.	Tapa eléctrica 1	
2.9.	Tapa eléctrica 2	
2.10.	Tapa eléctrica 3	
2.11.	Soporte intercambiador 1	
2.12.	Soporte intercambiador 2	
2.13.	Soporte vaso de expansión	
2.14.	Soporte eléctrico	
3.	Planos eléctricos	128
3.1.	Plano eléctrico 1	
3.2.	Plano eléctrico 2	

DOCUMENTO IV: Pliego de condiciones

INDICE DE CONTENIDO

1.	Descripción de la obras	133
2.	Condiciones técnicas generales	133
2.1.	Interpretación del pliego	133
2.2.	Condiciones de ejecución y características de los materiales y equipos a emplear	133
3.	Prescripciones técnicas correspondientes a tuberías	135
3.1.	Generalidades	135
3.2.	Materiales y aplicaciones	135
3.3.	Instalación	135
3.4.	Pruebas hidrostáticas	136
3.4.1.	Generalidades	136
3.4.2.	Pruebas de estanquidad	136

3.4.3.	Pruebas de presión	137
3.4.4.	Comprobación de especificaciones	137
4.	Prescripciones técnicas correspondientes a la instalación frigorífica	137
4.1.	Equipos de producción de frío	137
4.1.1.	Condiciones generales	137
4.1.2.	Placas de identificación	137
5.	Prescripciones técnicas correspondientes a la instalación eléctrica	137
5.1.	Instalación eléctrica	137
5.2.	Armario eléctrico de maniobra	138
6.	Condiciones generales finales	138

DOCUMENTO V: Presupuesto

INDICE DE CONTENIDO:

1.	Presupuesto unidad condensadora (Chiller)	141
2.	Presupuesto grupo hidrónico	141
3.	Presupuesto del sistema de control	143
4.	Presupuesto de ingeniería	143
5.	Coste total del proyecto	143

INDICE DE TABLAS:

Tabla 1:	Coste de los componentes de la unidad condensadora.	141
Tabla 2:	Componentes principales del grupo hidrónico.	141
Tabla 3:	Componentes secundarios cobre del grupo hidrónico.	142
Tabla 4:	Componentes secundarios PP-R del grupo hidrónico.	142
Tabla 5:	Costes sistema de control unidad condensadora sala de ensayos.	143
Tabla 6:	Costes de mano de obra e ingeniería.	143
Tabla 8:	Gastos por administración.	143

MEMORIA

DOCUMENTO I: MEMORIA

INDICE DE CONTENIDO

1. Objeto	5
2. Alcance	5
3. Antecedentes	6
3.1. Historia de la refrigeración	6
3.2. Ciclo frigorífico	6
3.3. Funcionamiento del condensador	8
3.4. Tipos de condensadores	8
3.4.1. Condensadores de Aire	9
3.4.2. Condensadores por Agua	9
3.4.3. Condensadores mixtos Aire + Agua	11
3.5. Fluidos secundarios	12
3.6. Sistemas directos e indirectos de refrigeración	13
4. Normas y referencias	14
4.1. Disposición legal y normas aplicadas	14
4.2. Bibliografía	14
4.2.1. Libros	14
4.2.2. Artículos técnicos	15
4.3. Programas de cálculo	15
5. Definiciones y abreviaturas	15
6. Requisitos de diseño	17
6.1. Emplazamiento de la instalación	17
6.2. Uso de la instalación	18
6.3. Requisitos de diseño establecidos por la empresa	18
6.4. Requisitos de diseño del mueble	18
7. Análisis de soluciones	18

8.	Resultados finales	19
8.1.	Descripción de la instalación	19
8.2.	Componentes de la instalación	19
8.2.1.	Unidad condensadora comercial (Chiller).	20
8.2.2.	Grupo hidrónico	21
8.2.3.	Control de la distribución del agua	26
8.2.4.	Costes de la instalación	26
9.	Justificación de la viabilidad técnica económica y legal	27
10.	Desarrollos futuros	30

INDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Ciclo de refrigeración.	7
Figura 2:	Ciclo de refrigeración representado sobre el diagrama de Mollier.	7
Figura 3:	Proceso de condensación.	8
Figura 4:	Condensador convección natural	9
Figura 5:	Condensador convección forzada.	9
Figura 6:	Condensador de doble tubo.	10
Figura 7:	Condensador tipo calandra.	10
Figura 8:	Condensador carcasa/tubos.	10
Figura 9:	Condensador de placas.	11
Figura 10:	Funcionamiento de la torre de enfriamiento.	11
Figura 11:	Funcionamiento condensador evaporativos.	12
Figura 12:	Esquema de sistema de refrigeración directo e indirecto	13
Figura 13:	Situación geográfica de la instalación.	17
Figura 14:	Emplazamiento de la instalación.	18
Figura 15:	Intercambiador de placas.	20
Figura 16:	Válvula de expansión.	20
Figura 17:	Depósito de inercia.	21
Figura 18:	Vaso de expansión	22
Figura 19:	Bomba de recirculación.	22
Figura 20:	Curva característica de la bomba Baxiroca.	23

Figura 21: Curva característica de las bombas DAB. _____	23
Figura 22: Flusostato. _____	24
Figura 23: Válvula de servicio. _____	24
Figura 24: Válvula de seguridad con manómetro. _____	25
Figura 25: Tubo de cobre aislado térmicamente. _____	25
Figura 26: Componentes de control. _____	26

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen presupuesto. _____	26
-------------------------------------	----

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Temperatura del ciclo de la unidad condensadora (chiller). _____	27
Gráfica 2: Temperaturas del suministro de agua y retorno. _____	28
Gráfica 3: Control de la temperatura de condensación en la unidad condensadora de la sala. _____	28
Gráfica 4: Clase climática de la sala de ensayos. _____	29
Gráfica 5: Temperaturas del mueble frigorífico. _____	29
Gráfica 6: Evolución de la temperatura de los paquetes. _____	30

1. Objeto

En los últimos años, dada la tendencia en el desarrollo de los expositores comerciales, se requiere una mayor aplicación de nuevas tecnologías para mejorar su rendimiento. La complejidad en el diseño de los muebles refrigerados hace necesario el estudio y la revisión de los métodos de cálculos utilizados, buscando siempre como resultado una aproximación lo más fiable posible al funcionamiento real. Para ello, estos equipos deben equiparse con dispositivos que garanticen la máxima estabilidad en las variables que se miden. En este sentido, la temperatura de condensación es uno de los parámetros termodinámicos del ciclo de los cuales se precisa un control muy estricto. Este puede variar mucho a lo largo del día y sobre todo del año si no se controla.

Hasta fechas recientes el aspecto del consumo energético de las instalaciones no tenía la necesaria consideración ni en su diseño, ni en la ejecución y mucho menos en su uso y mantenimiento.

Sin embargo, los incrementos de los precios de la electricidad y los continuos ajustes en los precios de los productos que se llevan al mercado, están provocando un cambio radical en la manera de enfocar este aspecto por parte de los responsables de estas industrias. Según diversos estudios, el consumo de los sistemas de refrigeración puede suponer más del 15% de la energía total eléctrica consumida [16]. El sistema de condensación por aire o por agua tiene gran importancia, pues por cada grado que se reduzca la temperatura de condensación se aumenta la eficiencia del orden de un 3 % [1].

Es por ello que este proyecto tiene como objeto mejorar el sistema de recuperación de calor de las unidades de condensación de las salas de ensayo. Estas están ubicadas en Frost-Trol S.A. (Castellón), una empresa especializada en el diseño, fabricación y comercialización de muebles frigoríficos para la venta de alimentos perecederos. Actualmente, este proceso se realiza utilizando aire mediante el uso de un ventilador. Se plantea diseñar un sistema de recirculación de agua fría que extraiga el calor procedente de la condensación del refrigerante para mantener una temperatura de servicio.

Además, se evaluará el resultado obtenido de la solución planteada sobre el conjunto del sistema, donde la unidad condensadora estará conectada a un expositor vertical abierto de temperaturas positivas.

2. Alcance

Quedan dentro del alcance del presente proyecto el diseño, cálculo y definición de los diferentes elementos que componen la instalación frigorífica así como la especificación de materiales, componentes, equipos y condiciones de montaje.

Tras comprobar la importancia que tiene el estudio de la temperatura de condensación, se plantea un sistema de control más estable que el actual. Para ello se plantea la construcción de un chiller para el enfriamiento del agua a partir de una unidad condensadora comercial. En función de las características del compresor se seleccionará un intercambiador de placas, realizando el papel de evaporador.

Paralelamente, se diseñará el circuito de agua para garantizar la demanda de agua necesaria. Se requerirá poner a punto el lazo de regulación y control del sistema de enfriamiento.

Finalmente se presentarán los datos obtenidos de un ensayo experimental, donde se cuantificará el efecto que tiene sobre el rendimiento del ciclo las condiciones ambientales.

3. Antecedentes

3.1. Historia de la refrigeración

El desarrollo de la industria frigorífica se puede explicar basándonos en el criterio utilizado para el diseño en la producción de frío, tales como el tipo de refrigerante, componentes o ahorro energético entre otros.

Las fases descritas son:

- Primera fase: Durante los primeros años de desarrollo de esta industria (desde finales del siglo XIX hasta 1930) las máquinas se diseñan atendiendo a su viabilidad (durante las fases de diseño y construcción) y a su fiabilidad, con vistas a su comercialización.
- Segunda fase: El descubrimiento de los hidrocarburos halogenados relanza a partir de los años 30 la industria del frío, abarata sus productos, los hace más seguros, abre el mercado al sector doméstico y se hace imprescindible en la cadena de frío alimentaria. Como consecuencia la industria del frío se hace muy próspera, y las máquinas se diseñan y se anuncian bajo criterios económicos y de seguridad.
- Tercera fase: La crisis del petróleo en los años 70, despierta la conciencia del ahorro energético y la industria empieza a preocuparse por la eficiencia y el consumo energético. Al mismo tiempo, ganan importancia los requerimientos de los usuarios, como son la estética (se estilizan los frigoríficos domésticos), el ruido generado y el volumen que ocupan los equipos.
- Cuarta fase: Desde el descubrimiento y difusión mediática del efecto de los hidrocarburos halogenados sobre la capa de ozono, y con el calendario de prohibiciones de uso de ciertos refrigerantes iniciado con el Protocolo de Montreal (1995), los equipos de frío empiezan a rediseñarse para trabajar con nuevos refrigerantes, y en la publicidad de los mismos comienza a valorarse el respeto medioambiental de los equipos de refrigeración.
- Quinta fase: La buena reacción de la administración y la respuesta de las empresas en la lucha contra la destrucción de la capa de ozono y el efecto invernadero, han hecho que vuelva a adquirir importancia la producción de máquinas frigoríficas. Esta fase se basa en la sustitución de los actuales refrigerantes, clasificados como gases fluorados y en el ahorro energético de las máquinas. Actualmente nos encontramos en esta fase.

3.2. Ciclo frigorífico

Para saber cómo funciona el ciclo de refrigeración antes tenemos que saber los componentes básicos y principales de los que está compuesto, y son los siguientes:

- Compresor: aspirar el vapor del evaporador y lo comprime introduciéndolo al condensador.
- Condensador: extraerle el calor al refrigerante.
- Válvula de expansión: proporcionar la diferencia de presión establecida entre los lados de alta y de baja presión.

- Evaporador: absorbe calor del medio en el que se encuentra, con lo cual lo enfría.

Estos son los cuatro elementos principales que componen el ciclo de refrigeración, sin alguno de ellos el ciclo es imposible que se lleve a cabo, *figura 1*.

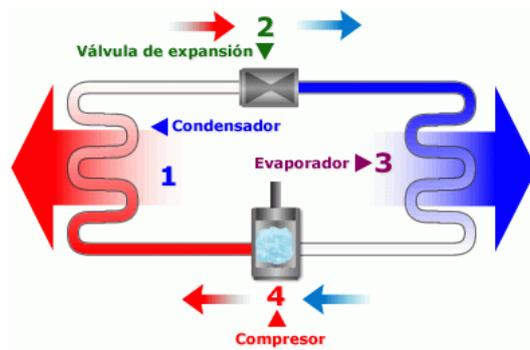


Figura 1: Ciclo de refrigeración.

La *figura 2* muestra el proceso fundamental que describe el ciclo de refrigeración.

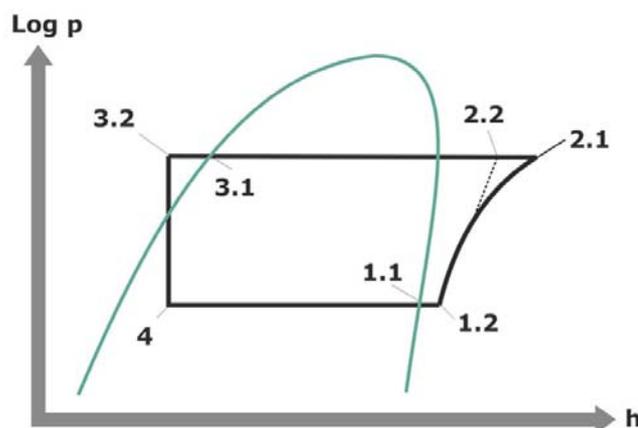


Figura 2: Ciclo de refrigeración representado sobre el diagrama de Mollier.

El proceso fundamental puede dividirse en las cuatro partes se describen a continuación:

(1.2-2.1): El refrigerante en comprimido aumentado su presión y temperatura aplicando el rendimiento interno del compresor. El punto (2.2) es la compresión ideal llevada a cabo a entropía constante.

(2.1-3.2): La condensación se lleva a cabo a presión constante y por lo tanto sigue las isobaras. A la salida del condensador el refrigerante se encuentra en estado líquido. Los puntos (3.1-3.2) hacen referencia al sub-enfriamiento que se produce disminuyendo su temperatura por debajo de la temperatura de saturación correspondiente a la presión del condensador.

(3.2-4): La disminución de la presión se realiza a entalpía constante a través de la válvula de expansión.

(4-1.2): La evaporación se realiza a una presión constante y por lo tanto sigue las isobaras, es decir, la presión en los estados 1 y 4 es igual a la presión del evaporador (temperatura).

(1.1-1.2): El sobrecalentamiento es la diferencia entre estos puntos y se crea en el extremo del evaporador. Es una necesidad práctica para evitar el arrastre de líquido hacia el compresor, donde puede causar graves daños debido a su incompresibilidad, además de contaminar los lubricantes. El nivel de sobrecalentamiento se debe mantener a un mínimo para reducir el trabajo a realizar por el compresor y la superficie de transferencia de calor necesario en el evaporador.

3.3. Funcionamiento del condensador

El refrigerante entra en el condensador como gas sobrecalentado, es decir, a una temperatura superior a la temperatura de saturación. La primera parte del condensador enfría el gas a la temperatura de saturación. Este enfriamiento representa 15-25% de la extracción de calor total donde la temperatura del gas refrigerante disminuye típicamente por 20-50K, dependiendo del sistema y el refrigerante.

Cuando el refrigerante alcanza su temperatura de saturación, el calor latente es extraído y se forma una película líquida sobre la superficie de transferencia de calor. El proceso de condensación representa a la mayoría (70-80%) del total de calor.

Por último, el refrigerante completamente condensado es sub-enfriado unos pocos grados para asegurar que el líquido puro entra en la válvula de expansión. Esta es una operación de transferencia de calor de una sola fase, que representa aproximadamente el 2-5% del calor total extraído.

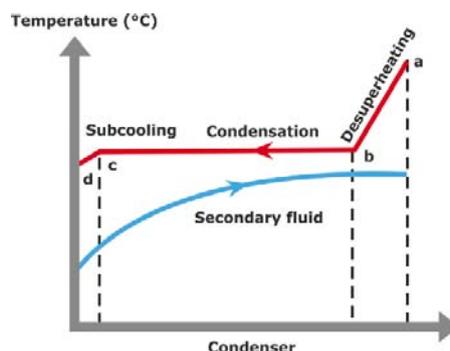


Figura 3: Proceso de condensación.

El gas caliente entra (a) y se enfría durante el des-recalentamiento hasta el punto de saturación (b). Durante la condensación (b-c), la temperatura es constante a la temperatura de saturación. En el punto de burbuja (c), todo el gas refrigerante ha condensado y la temperatura volverá a disminuir durante el sub-enfriamiento (cd).

3.4. Tipos de condensadores

El condensador es un intercambiador donde se transmite al medio secundario (agua o aire) el calor de los vapores de refrigerante que proviene del compresor, allí el refrigerante se licua, durante este paso se produce un cambio de estado (vapor a líquido) este proceso se denomina disminución de calor latente, una vez que hemos finalizado el cambio de estado, estaremos aún dentro del condensador y como el refrigerante será líquido 100% sufriremos un variación de calor sensible donde obtendremos un sub-enfriamiento. El sub-enfriamiento ideal será entre 5°C y 12°C he irá en función de forma inversamente proporcional al recalentamiento del evaporador.

Los condensadores utilizados en máquinas de compresión pueden ser de diferentes configuraciones, por lo que su clasificación presenta alguna dificultad ya que existen múltiples combinaciones. No obstante los dividiremos en cuatro grupos:

3.4.1. Condensadores de Aire

Los condensadores de aire son universalmente utilizados tanto en aplicaciones domesticas como en industriales.

- Convección natural:

Este tipo de condensadores no se caracteriza por buscar grandes eficiencias de funcionamiento, sino por la facilidad de fabricación e instalación.



Figura 4: Condensador convección natural

- Convección forzada:

La configuración es la de un haz de tubos provistos de aletas, constituyendo un intercambiador de flujo cruzado. Se le acopla un ventilador helicoidal, con circulación del aire de abajo a arriba para disminuir el problema de ruido.



Figura 5. Condensador convención forzada.

3.4.2. Condensadores por Agua

Por lo que respecta a los condensadores, que se utiliza una corriente de un fluido secundario (agua, salmueras) como condensante, se pueden dividir en:

- Condensador de doble tubo:

Este condensador consiste de dos tubos, uno dentro del otro. Por el tubo interno circula agua en una dirección y por el tubo externo circula el refrigerante en dirección opuesta. Este contra flujo se hace para lograr una mejor transferencia de calor.



Figura 6: Condensador de doble tubo.

Este dispositivo exige la presencia de un acumulador de refrigerante, ya que no puede transportar el líquido generado en la parte baja del condensador a grandes velocidades. Esta superficie quedaría anegada y no resultaría útil.

- Disposición en calandra

Es un configuración intermedia entre doble tubo y carcasa/tubo. El fluido secundario circula por los tubos interiores y el refrigerante se condensa entre estos y la envuelta exterior.



Figura 7: Condensador tipo calandra.

- Disposición carcasa/tubos

Los condensadores carcasa/tubos son intercambiadores de calor montados por una cubierta de acero por la cual corren tubos de cobre rectos. Por los tubos circula agua y por la parte superior de la cubierta entra el refrigerante gaseoso. El refrigerante se pone en contacto con los tubos y le cede su calor al agua que circula por ellos, condensándose. Esta disposición es la más utilizada para grandes y medias potencias de condensación.



Figura 8: Condensador carcasa/tubos.

- Condensadores de placas

La ventaja principal de los intercambiadores de placas radica en su compacidad, ya que la distancia entre placas es muy inferior al diámetro de los tubos utilizados en otro tipo de condensadores.



Figura 9: Condensador de placas.

3.4.3. Condensadores mixtos Aire + Agua

- Torres de enfriamiento

Las torres de enfriamiento tienen como finalidad enfriar una corriente de agua por vaporización parcial de esta con el consiguiente intercambio de calor sensible y latente de una corriente de aire seco y frío que circula por el mismo aparato, tal y como se representa en la figura X.

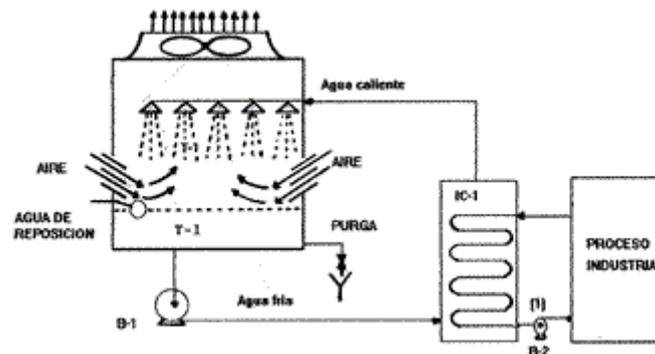


Figura 10: Funcionamiento de la torre de enfriamiento.

- Condensadores evaporativos

Este tipo de condensador es una combinación de condensador y torre de enfriamiento. En él se emplea tanto aire como agua, la cual el agua sale por la parte superior a través de unas boquillas de atomización situadas en la parte superior del condensador.

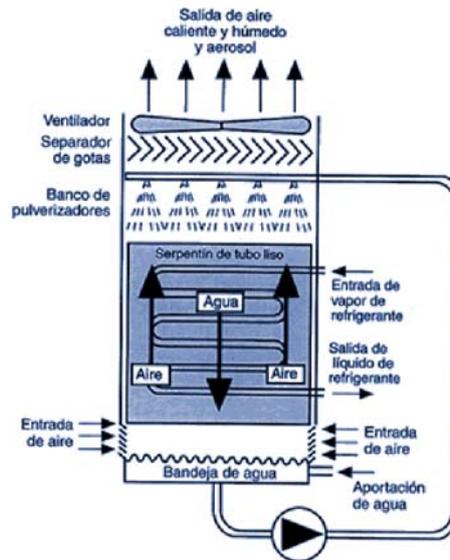


Figura 11: Funcionamiento condensador evaporativos.

El agua al salir de las boquillas cae sobre el condensador y le extrae el calor a los tubos por donde circula el refrigerante condensándolo. Parte de esa agua se evapora y es removido por grandes cantidades de aire que son impulsadas por uno o más ventiladores que le extraen el calor al vapor de agua el cual se condensa y cae sobre el depósito para volver a ser utilizada.

Tanto en sistemas evaporativos como torres de enfriamiento el mantenimiento de la instalación debe de ser contante ya que existe la posibilidad de que la legionela pueda reproducirse.

3.5. Fluidos secundarios

Las salmueras originalmente estaban compuestas por agua con una elevada cantidad de sal disuelta, aunque actualmente existen fluidos frigoríferos orgánicos basados en glicoles y en otros compuestos. Se utilizan en sistemas frigoríficos como medio de transmisión de calor en el circuito secundario debido a su bajo punto de congelación (solidificación). El mayor inconveniente que presentan es la dificultad de obtener bajas temperaturas a bajo coste.

Tipos de salmueras

- Agua. Adecuada para temperaturas mínimas de + 4º C.
- Soluciones acuosas de sales inorgánicas:
 - Agua + Cloruro de sodio (sal común): $H_2O+NaCl$.
 - Agua + Cloruro de Calcio: $H_2O+CaCl$. (Sales en escamas).
- Soluciones acuosas de sustancias orgánicas. Alcoholes o Glicoles
 - Agua + Etanol (alcohol común).
 - Agua + Metanol (alcohol de quemar).
 - Agua + Etilenglicol.
 - Agua + Propilenglicol.

3.6. Sistemas directos e indirectos de refrigeración

La instalación objeto del proyecto basa su sistema de control de la temperatura de condensación en un sistema de refrigeración indirecto. Formado por una enfriador (chiller), la cual su evaporador está conectada al sistema secundario para enfriar el agua. El agua servirá como fluido secundario para la condensación del refrigerante en la unidad condensadora de la sala.

Para entender la diferencia entre un sistema de refrigeración directo y otro indirecto, se puede analizar la figura siguiente, donde se observa la diferencia entre ambas instalaciones. En la instalación directa el evaporador está en el interior del punto de demanda, mientras que en la instalación indirecta se utiliza un fluido secundario para efectuar la refrigeración en dicho punto, este fluido suele ser una mezcla anticongelante como por ejemplo glicol o salmueras.

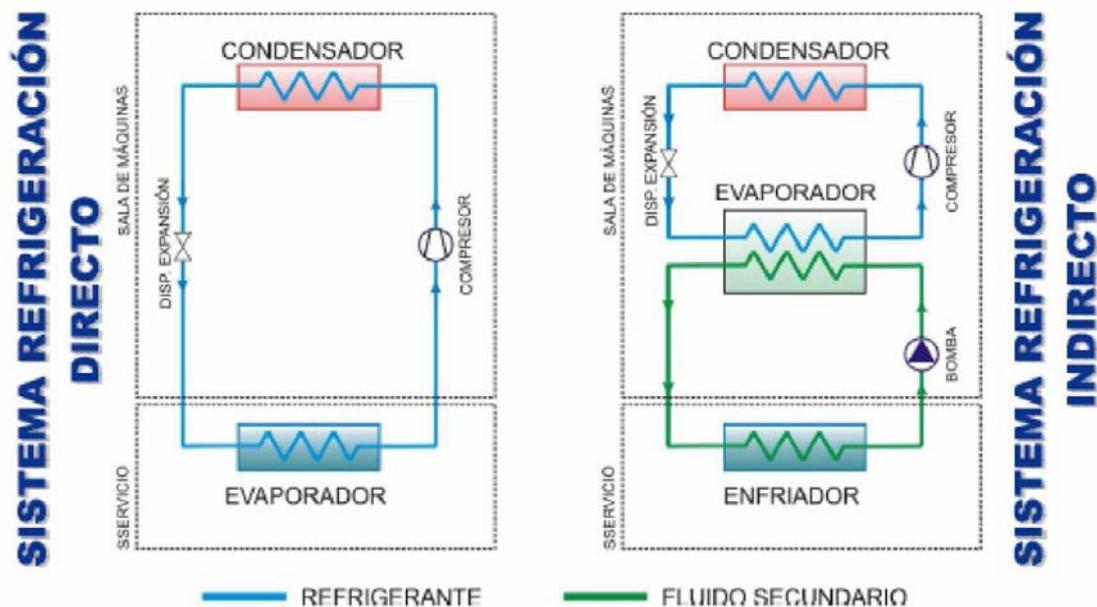


Figura 12: Esquema de sistema de refrigeración directo e indirecto

El sistema de refrigeración indirecto consta de dos circuitos de fluidos distintos:

- Circuito Primario. Circula refrigerante y es donde se produce el frío.
- Circuito Secundario. Circula un fluido portador del frío.

Las principales ventajas de los circuitos indirectos son:

- permiten regulación más sencilla en plantas que tienen muchos puntos de consumo frío distintos.
- evitan el uso de refrigerante en espacios confinados, con lo que se reduce el riesgo de asfixia.
- utilización refrigerantes menos seguros confinándolos en un espacio controlado.
- en sistemas con tendidos de tubería largos, permite evitar los problemas ocasionados por la pérdida de presión del refrigerante en las tuberías.
- tenemos una carga de refrigerante menor
- las fugas son menos probables y más fáciles de detectar.
- la contaminación con salmuera de productos alimenticios, si la salmuera es la adecuada, es menos peligrosa.
- Posibilidad de acumular frío en horas valle.

Por consiguiente, los inconvenientes de estos circuitos son:

- La eficiencia energética disminuye
- El coste de la instalación es mayor.

4. Normas y referencias

4.1. Disposición legal y normas aplicadas

Las disposiciones legales y normas aplicables a este proyecto son las siguientes:

- UNE-EN ISO 23953-1. Muebles frigoríficos comerciales. Parte 1: Vocabulario
- UNE-EN ISO 23953-2. Muebles frigoríficos comerciales. Parte 2: Clasificación, requisitos y condiciones de ensayo.
- UNE-EN 1861. Sistemas frigoríficos y bombas de calores, esquemas sinópticos para sistemas ,tuberías e instrumentación,
- UNE-EN ISO 12900:2013. Compresores para refrigerantes. Condiciones de evaluación, tolerancias y presentación de los resultados por el fabricante.
- UNE-EN ISO 378:-4:2008. Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales.
- UNE-EN ISO 15874-1:2013. Sistemas de canalización en materiales plásticos para instalaciones de agua caliente y fría.
- UNE-EN ISO 5457:2000. Documentación técnica de productos. Formatos y presentaciones de los elementos gráficos.
- Directiva de máquinas 98/37CEE
- Directiva de baja tensión 73/23/CEE
- Directiva de equipos a presión 97/23/CEE
- “Normas Básicas para las instalaciones interiores de suministro de agua” 0.9-12-1.979. B.O.E. 13-1-1.976 y complementaria por Resolución 14-2-1.980 para tubos de cobre, B.O.E. 6 y 7 de Mayo 1.980.
- Reglamento (CE) 517/2014 sobre los gases Fluorados de efecto invernadero.
- Reglamento (CE) 1005/2009 sobre las sustancias que agostan la capa de ozono.
- Real Decreto 1644/2008, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.

4.2. Bibliografía

4.2.1. Libros

- [1] TORRELLA E., *La producción de frio*. Servicio de publicaciones Universidad Politécnica de Valencia, 1996.
- [2] GOSNEY W.B., *Principles of Refrigeration*. Cambridge University Press, 1982.
- [3] GRANRYD E., EKROTH I., et al. *Refrigerating Engineering*. Department of Energy Technology, Royal Institute of Technology, KTH. 2009.
- [4] DINÇER I., *Refrigeration Systems and Applications*. John Wiley and Sons, Ltd 2003.
- [5] ALARCÓN J., *Tratado práctico de refrigeración automática*. Marcombo Boizareu Barcelona, 1998.
- [6] SANZ DEL CASTILLO F., *Control de refrigeración*. Universidad Nacional de Educación a Distancia de Madrid, 2014.

[7] LLOPIS R., CABELLO R., SANCHEZ., TORRELLA E., *Problemas resueltos de producción de frío y sicrometría: tablas y diagramas*. A. Madrid Vicente, 2010

[8] BALBOA J., *Manual de instalaciones frigorías*. Ceysa, 2013

4.2.2. Artículos técnicos

[9] SHAN K., *Handbook of air conditioning and refrigeration*. McGraw-Hill 2010, chapters 7,9,10

[10] GIMÉNEZ R., GARCÍA F., *Guía para la mejora de la eficiencia energética de las instalaciones frigoríficas*. Asociación de Empresas de Frio y sus Tecnologías, 2014.

[11] POTTKER G., HRNJAK P., *Effect of the condenser subcooling on the performance of vapor compression systems*. En: Int.J. Of Refrigeration, vol. 50(4), pág. 156-164, 2015.

[12] Guía técnica. *Procedimientos para la determinación del rendimiento energético de plantas enfriadoras de agua y equipos autónomos de tratamientos de aire*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2007

[13] BLANCO J., SOLSONA R., *Influencia de las condiciones ambientales sobre el comportamiento energético de un expositor vertical abierto*

[14] CHI CHUAN W, YU-JUEI C., YI-CHUNG H., YUR-TSAI L., *Sensible heat and friction characteristics of plate fin-and-tube heat exchangers having plate fins*. En: Int.J. Of Refrigeration, vol. 19(4), pág. 223-230, 1996.

[16] *Refrigeration Drives Sustainable Development*, Int. Inst. of Refrigeration, 2007.

4.3. Programas de cálculo

[16] Engineering Equation Solver, version 9.728-3D, S.A. Klein.

[17] Select Software, versión 7.1, Copeland.

[18] E²V Selection Software, versión 6.19, Carel

[19] Bitzer Software, versión 6.4.3, Bitzer Compressor

[20] HySelect, version 5.3, IMI Hydronic engineering

[21] AutoCAD, versión 2014, Autodesk Company

5. Definiciones y abreviaturas

- *Alta presión*: Zona del ciclo donde el refrigerante se encuentra a alta presión y temperatura. Desde la descarga del compresor a la entrada de la válvula de expansión.

- *Baja presión*: Zona del ciclo donde el refrigerante se encuentra a baja presión y temperatura. Desde la salida de la válvula de expansión hasta la aspiración del compresor.

- *Ciclo frigorífico*: Instalaciones mecánicas las cuales utilizan las propiedades termodinámicas de los refrigerantes para trasladar energía térmica en forma de calor entre dos o más focos.

- *Condensador*: Intercambiador de calor en el que refrigerante en fase de vapor se licúa por cesión de calor.

- *Consumo eléctrico*: Cantidad de energía por unidad de tiempo a aportar al compresor para realizar el ciclo.

- *COP*: Relación entre la potencia frigorífica y el consumo eléctrico del compresor para producir una determinada potencia frigorífica.
- *Data logger*: Dispositivo electrónico que registra datos en un tiempo establecido.
- *Evaporador*: Intercambiador de calor en el cual el refrigerante líquido se vaporiza por absorción de calor del medio a enfriar.
- *Fluido secundario*: Fluidos como salmuera, agua o aire para la transmisión de calor sin cambio de fase.
- *Fraccionamiento*: Cambio en la composición de la mezcla del refrigerante; por ejemplo: evaporación de los componentes más volátiles o condensación de los menos volátiles.
- *Lateral*: Panel que cierra un mueble, una línea o el lado de una línea.
- *Material aislante*: material de bajo coeficiente de conductividad térmica cuyo empleo tiene por objeto reducir las pérdidas de calor en el sistema.
- *Motocompresor semihermético*: Combinación compuesta por un compresor y un motor eléctrico, ambos encerrados en una misma carcasa, con tapas desmontables para permitir el acceso, pero sin eje ni sello mecánicos externos, con el motor eléctrico funcionando en presencia de una mezcla de aceite y vapor refrigerante.
- *Mueble frigorífico comercial*: Mueble refrigerado mediante un sistema de refrigeración que permite el mantenimiento, dentro de unos límites establecidos de temperatura, de los diferentes productos refrigerados o congelados, colocados en su interior.
- *Mural*: Mueble diseñado para colocarse con su parte trasera contra la pared o contra la parte trasera de otro.
- *Potencia calorífica*: Cantidad de energía por unidad de tiempo a extraer del condensador en las condiciones de funcionamiento específicas.
- *Potencia frigorífica*: Cantidad de energía por unidad de tiempo a extraer del evaporador en las condiciones de funcionamiento específicas.
- *Presión de diseño*: Presión elegida para determinar la presión de cálculo de cada componente.
- *Recalentamiento (RU)*: Diferencia entre la temperatura del vapor a la salida del evaporador y la temperatura de gas saturado del refrigerante obtenida en función de la presión de saturación del refrigerante.
- *Recalentamiento menos útil (MRU)*: Diferencia de temperaturas del refrigerante a la salida del evaporador y la aspiración del compresor.
- *Refrigerante*: Fluido usado para transferencia de calor en un sistema de refrigeración que absorbe calor a temperatura y presión bajas y lo cede a temperatura y presión elevadas, lo que normalmente conlleva cambios de fase del fluido.
- *Sala de ensayos*: Instalaciones preparadas para la prueba de máquinas frigoríficas.
- *Sistema cerrado*: Sistema de refrigeración en el que todas las partes por las que circula el refrigerante están conectadas herméticamente mediante bridas, uniones roscadas o conexiones similares.

- *Sistema secundario*: Sistema que emplea un fluido para transferir calor de los productos o espacios a enfriar o calentar, o de otro sistema de enfriamiento o calefacción, al sistema de refrigeración.

- *Sub-enfriamiento (SC)*: Diferencia entre la temperatura del líquido a la salida del condensador y la temperatura de líquido saturado del refrigerante obtenida en función de la presión de saturación del refrigerante.

- *Unidad condensadora*: Combinación de uno o más compresores, condensadores o recipientes de líquido (si proceden), así como los accesorios frigoríficos necesarios para el funcionamiento y regulación del sistema.

6. Requisitos de diseño

6.1. Emplazamiento de la instalación

La instalación objeto de este proyecto está situada en la empresa Frost-Trol S.A. en la ciudad de Castellón (Comunidad Valenciana), tal y como se muestra en la *figura X*. Castellón es una ciudad portuaria, capital de provincia de la comunidad autónoma de Valenciana situada en la costa este de España, con 173.841 habitantes.



Figura 13: Situación geográfica de la instalación.

Dentro de la empresa, la unidad condensadora comercial (chiller) y el grupo hidráulico se situarán debajo de un porche protegidos de la acción del sol y de la lluvia.



Figura 14: Emplazamiento de la instalación.

6.2. Uso de la instalación

El uso al que va a ser destinada la instalación objeto del presente proyecto es el de enfriar agua mediante una unidad condensadora comercial (chiller), la cual será distribuida para extraer el calor procedente de la condensación de una unidad condensadora de la sala de ensayos.

6.3. Requisitos de diseño establecidos por la empresa

- La distribución del fluido secundario (agua) destinada para las unidades condensadoras de las salas de ensayos, se realizará en circuitos independientes, es decir, cada unidad tendrá su propia tubería de ida y retorno del depósito.
- Las tuberías de distribución del fluido secundario se diseñarán con Polipropileno.
- La temperatura de condensación de las unidades condensadoras de las salas de ensayos debe mantenerse lo más estable posible ($T_{\text{referencia}} = 35^{\circ}\text{C}$).
- La ubicación del grupo hidráulico y la unidad condensadora comercial (chiller) se ubicarán fuera del área de trabajo.

6.4. Requisitos de diseño del mueble

La selección de los componentes que forman el ciclo frigorífico y el ciclo de distribución de agua a estudiar, se han llevado a cabo bajo las directrices de las disposiciones legales y las normas aplicables según la tipología del diseño de cada elemento, según se recoge en el apartado 4.1 de este documento.

7. Análisis de soluciones

Las salas de ensayos de Frost-Trol S.A. están equipadas con unidades condensadoras que efectúan la condensación del refrigerante mediante aire. Para mantener una temperatura de

condensación adecuada se requiere un equipo de regulación de frecuencia para reducir la velocidad del ventilador y poderlo modular. Además se le añade que deben de estar ubicadas donde la renovación del aire sea efectiva, siendo la ubicación de estas dentro del área de trabajo produciendo incomodidades tales como ruido, aumento de temperatura interior y corrientes de aire.

La alternativa directa existente en el mercado a la hora de mantener la condensación en un sistema de refrigeración es la condensación por agua. La adopción de este sistema alternativo está condicionado por un mayor coste inicial, por lo que es fundamental determinar su impacto sobre el balance global de la instalación, así como, el plazo de amortización.

Para ello se requiere la implantación de un sistema de refrigeración en anillo. Este sistema dispone de una unidad condensadora comercial (chiller) conformando el circuito primario, el cual usa como evaporador un intercambiador de placas. La producción de frío es permanente para mantener el fluido secundario a una temperatura inferior que el medio que se desea enfriar.

Se dispone de un circuito secundario cerrado por donde circula el fluido secundario (agua), que transfiere el frío producido en el circuito primario a un medio a enfriar.

El medio a enfriar, una unidad condensadora acoplada a un mueble vertical, comprende un intercambiador de calor donde el agua capta el calor producido por el refrigerante.

El sistema diseñado es capaz de regular la temperatura de condensación manteniéndola lo más estable posible, además aporta una reducción del consumo energético global de la unidad de la sala.

8. Resultados finales

8.1. Descripción de la instalación

El sistema de recuperación de calor diseñado permite la extracción de energía térmica producida por el fluido frigorífero durante su proceso de enfriamiento o condensación, con el fin de lograr una temperatura de condensación lo más constante posible.

La instalación diseñada está formada básicamente por: una unidad enfriadora (chiller) y una unidad para la distribución del fluido secundario (grupo hidrónico). Donde el grupo hidrónico, a su vez, está conectado con la unidad condensadora de la sala de ensayos. El esquema de interconexión de las instalaciones se puede consultar en el *Plano general 1.1*.

La unidad enfriadora dispone de un intercambiador de placas (SWEP), alojado en el grupo hidrónico para transmitir la energía térmica del refrigerante al agua. La recirculación de dicho fluido secundario se lleva a cabo empleando una bomba de recirculación interconectada con un depósito aislado. La conexión de este sistema se puede consultar en el *Plano general 1.2*.

La distribución del fluido secundario se realiza a través del grupo hidrónico, el cual dispone de bombas de recirculación para transportarlo a la unidad condensadora de la sala de ensayos. De esta forma, el refrigerante es condensado por agua. Para mantener un control exhaustivo se han conectado diferentes elementos de control, véase en el *plano general 1.3*.

8.2. Componentes de la instalación

La instalación objeto de este proyecto está formada por:

- Una unidad condensadora comercial (Chiller);
- Un grupo compacto denominado “Grupo hidráulico” modelo GHFR 600L;
- Un sistema de regulación de la temperatura de condensación de la unidad condensadora de la sala de ensayos.

A continuación se describen las características de cada uno de los elementos seleccionados.

8.2.1. Unidad condensadora comercial (Chiller).

La unidad condensadora que disponemos contiene todos elementos aguas arriba del compresor, es decir, en la zona de alta presión. Se han seleccionado los siguientes elementos para cerrar el ciclo frigorífico. En el *anexo I* del documento de *Cálculos* se indica cómo se han calculado.

- Evaporador

Se ha elegido un intercambiador de placas, el cual realizara la función de evaporador. Está formado por placas de acero inoxidable onduladas unidas entre sí, mediante soldaduras al vacío con cobre. El modelo elegido es B80x30 de la marca SWAP con una potencia de 22,5 kW cuando está dispuesto como evaporador, seleccionado del catálogo de GSF.



Figura 15: Intercambiador de placas.

- Válvula de expansión

La válvula de expansión será electrónica, de este modo se regulara automáticamente dependiendo de la demanda. El modelos seleccionado es una E²V-35 de la marca carel.



Figura 16: Válvula de expansión.

8.2.2. Grupo hidrónico

El grupo hidrónico es un conjunto compacto que incluye todos los elementos básicos necesarios para la correcta recuperación del calor latente, cedido por el fluido frigorífero a su paso a través del recuperador del calor durante el intercambio térmico con un fluido secundario, en este caso agua de red o desmineralizada.

El sistema de regulación está compuesto por un controlador universal tipo PID, el cual recibe el nombre de MPXPRO. Este tipo de controlador se suele utilizar para controlar los muebles frigoríficos ya que dispone de 7 entradas analógicas para las sondas y 5 entradas digitales configurables por parámetros. Las sondas que se han utilizado en el grupo hidrónico son: la sonda de presión de saturación de evaporación y de temperatura de gas sobrecalentado, necesarias para el controlador del sobrecalentamiento; la sonda de impulsión después del intercambiador y la sonda de aspiración justo antes del flujoestato. Con estas sondas se puede controlar la obertura de la válvula de expansión electrónica y el funcionamiento del compresor.

Todas las conexiones eléctricas se encuentran localizadas en un cuadro eléctrico. En él se encuentran los arrancadores de las bombas de recirculación, el controlador universal y todos elementos necesarios para la protección de la instalación.

Todos estos elementos se encuentran alojados en una envolvente caja metálica formada por paneles de chapa galvanizada desmontables, que permite el acceso a los componentes internos del grupo hidrónico. Para asegurar la protección de toda su superficie, estas chapas han sido tratadas con tratamientos anticorrosivos y pintadas posteriormente. Se ha aplicado pintura blanca con esmalte de polvo epoxi-poliéster sobre una base de zinc, aproximadamente 90 micras de espesor.

A continuación se presentan las características de cada uno de los elementos seleccionados, todos ellos siguiendo la metodología mostrada en el *Anexo II* del documento de *Cálculos*.

- Depósito de inercia

Se ha seleccionado un depósito de la marca Lapesa son una capacidad de 600 litros, diseñado para proporcionar inercia térmica en la instalación. Con el fin de garantizar un aislamiento térmico, está aislado con espuma rígida de poliuretano cubierta con un forro acolchado desmontable. La *figura 17* corresponde al modelo seleccionado



Figura 17: Depósito de inercia.

- Un vaso de expansión

Las variaciones de temperatura provocan el aumento o descenso de volumen derivando presiones no deseadas. El vaso de expansión está diseñado para absorber estas fluctuaciones siendo de una capacidad de 8 litros. Este está fabricado en chapa de acero y provisto de una membrana elástica fija en goma SBR que separa la cámara de agua de la de gas.



Figura 18: Vaso de expansión

- Bombas de recirculación

Las bombas de recirculación se encargan de suministrar presión al fluido secundario con tal de provocar su movimiento a través de la instalación. Para ello se han instalado tres bombas de recirculación, un de ellas alimenta el circuito diseñado para enfriar el fluido secundario y las otras dos para la distribución a las unidades condensadoras de las salas de ensayos.

En el departamento de I+D de Frost-Trol S.A. cuenta con la existencia de varios modelos de bombas recirculadoras que en estos momentos se encuentran en desuso. Se pretende reutilizar estos modelos de bombas, para ello se han seleccionado comprobando si el punto de funcionamiento de nuestra instalación se encontraba dentro de la curva característica de las bombas.



Figura 19: Bomba de recirculación.

La bomba que suministra el circuito diseñado para enfriar agua es de la marca Baxiroca, concretamente el modelo PC-1025. La figura 20 muestra la curva de característica de la bomba y el punto de funcionamiento de nuestra instalación.

PC-1025

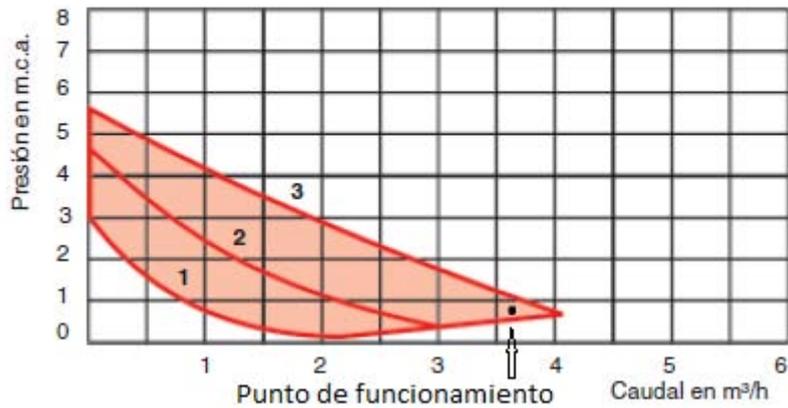


Figura 20: Curva característica de la bomba Baxiroca.

Para el circuito de distribución del fluido se han seleccionado dos bombas recirculadoras de la marca DAB (VS 35/150 y VA 35/180). Tiene las mismas características de funcionamiento existiendo una pequeña diferencia, una está recomendada para el uso de agua fría y otra de agua caliente. El fabricante indica que la curva característica puede verse afectada disminuyendo su rendimiento. En este caso, al ser agua a 10°C no modifica las características de funcionamiento.

VA 35 - VS 35

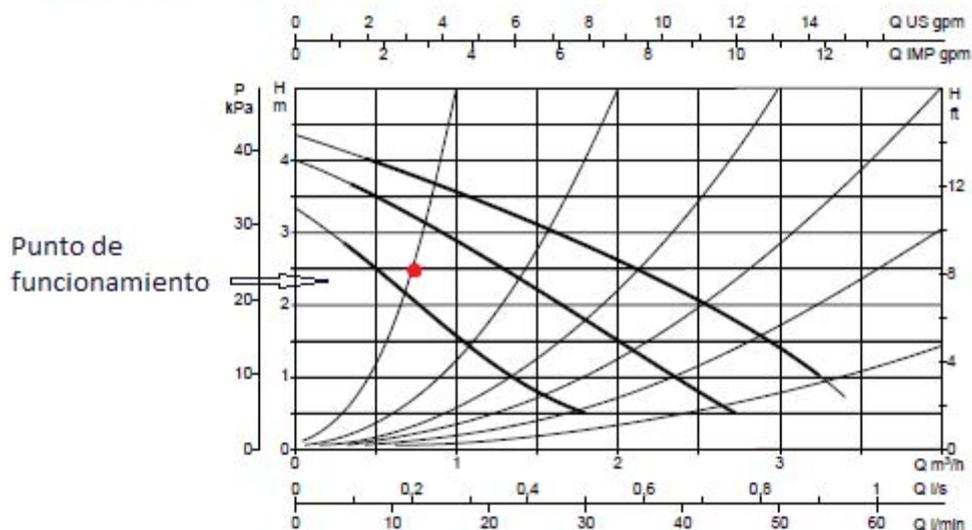


Figura 21: Curva característica de las bombas DAB.

Estas bombas se conectan a la red mediante una alimentación monofásica a 230-1-50. No necesitan ninguna protección contra sobrecargas ya que están equipadas internamente contra ellas.

- Un control de caudal diferencial:

Este elemento de seguridad no permite el funcionamiento de la bomba circuladora si no hay un caudal de agua suficiente circulando a través del circuito. Si el intercambiador de placas sufre congelación del fluido secundario, este parará la instalación.



Figura 22: Flusostato.

- Válvulas de corte y servicio:

Se han seleccionado válvulas de bola o esfera para el aislamiento de los elementos principales de la instalación, con el fin de realizar labores de reparación y/o mantenimiento.



Figura 23: Válvula de servicio.

La lleva de vaciado se sitúa en la parte inferior del depósito para facilitar su drenaje. La válvula de llenado, es una válvula automática que está diseñada para garantizar el llenado automático del agua en el circuito mediante su conexión directa a la red.

- Un purgador de aire:

Disponemos de varios purgadores de aire situados en las zonas más altas de nuestro circuito con el propósito de expulsar el aire procedente de la instalación.

- Una válvula de seguridad con manómetro indicador de la presión del circuito:

La válvula de seguridad elegida garantizará la descarga de la presión en el interior del depósito a una presión de 3 bar, y servirá de protección para el circuito hidráulico. Fabricadas en latón, estará dorada de dos conexiones roscadas: una para la toma de presión y otra para el drenaje del agua expulsada. Está dotada con un manómetro para la comprobación visual de la presión del depósito.



Figura 24: Válvula de seguridad con manómetro.

- Cuadro eléctrico:

El cuadro eléctrico de distribución de cableado eléctrico de la instalación se sitúa en el interior de la caja envolvente del grupo hidrónico. Está compuesto por un diferencial, un magnetotérmico de maniobra, un contactor, dos temporizadores y el control MPX-PRO, además cuenta con un display y dos pilotos de marcha visibles desde el exterior. Todo esto está fijado mediante un carril DIN adecuado a la normativa vigente.

- Tuberías:

El grupo hidrónico está formado por tuberías y accesorios de cobre soldados o embridados entre sí. Teniendo en cuenta que, las temperaturas de trabajo oscilarán entre los 5°C y 25°C, las tuberías deberán estar aisladas térmicamente con banda de coquilla de espuma, a fin de reducir posibles condensaciones de agua en su superficie.



Figura 25: Tubo de cobre aislado térmicamente.

- Circuito de distribución del fluido secundario:

Cada bomba de circulación dispone de un circuito de ida y vuelta dispuesto desde la ubicación del grupo hidrónico hasta las proximidades de la unidad condensadora de la sala de ensayos. Cada circuito estará formado por tuberías de polipropileno random (PPR) de PN16 con un diámetro interior de 23,2 mm y de un diámetro exterior de 32 mm.

La distancia recorrida del fluido secundario es de 40 metros ida y vuelta. La selección de este diámetro nos proporciona el correcto funcionamiento de la instalación proporcionando una pérdida de carga menor si se hubiese elegido un diámetro inferior.

8.2.3. Control de la distribución del agua

El control de la temperatura de condensación se ha efectuado a través de un sistema mecánico, el cual está regulado por un termostato mecánico. Para efectuar correctamente el control se ha seleccionado los siguientes componentes.

- Termostato mecánico, el cual regula la temperatura de servicio abriendo o cerrando los solenoides según la temperatura del bulbo.
- Dos solenoides, las cuales abren o cierran el paso del fluido



Figura 26: Componentes de control.

Los solenoides nos permite el paso del agua al intercambiador de placas, produciendo la condensación del refrigerante. Cuando la temperatura de salida es inferior a 32°C, controlado por el bulbo del termostato, el agua realiza un by-pass y retorna al depósito.

La instalación se ha realizado mediante el *plano general 1.3*, con los siguientes elementos:

8.2.4. Costes de la instalación

Se muestra de forma resumida los costes que conlleva la implantación de un sistema de enfriamiento de agua y el control de la temperatura de condensación. En el documento *Presupuesto* se ha detallado todos los costes.

Resumen de costes	Precio
Unidad condensadora comercial (chiller)	2.959,82 €
Grupo hidrónico	1.626,73 €
Sistema de control de la unidad condensadora (sala de ensayos)	42,53 €
Coste de la instalación	4.629,07 €
Total precio ingeniería	545,16 €
Total instalación	5.174,23 €
Beneficio industrial (12%)	620,91 €
Gastos generales (6%)	310,45 €
COSTE TOTAL PROYECTO	6.105,59 €

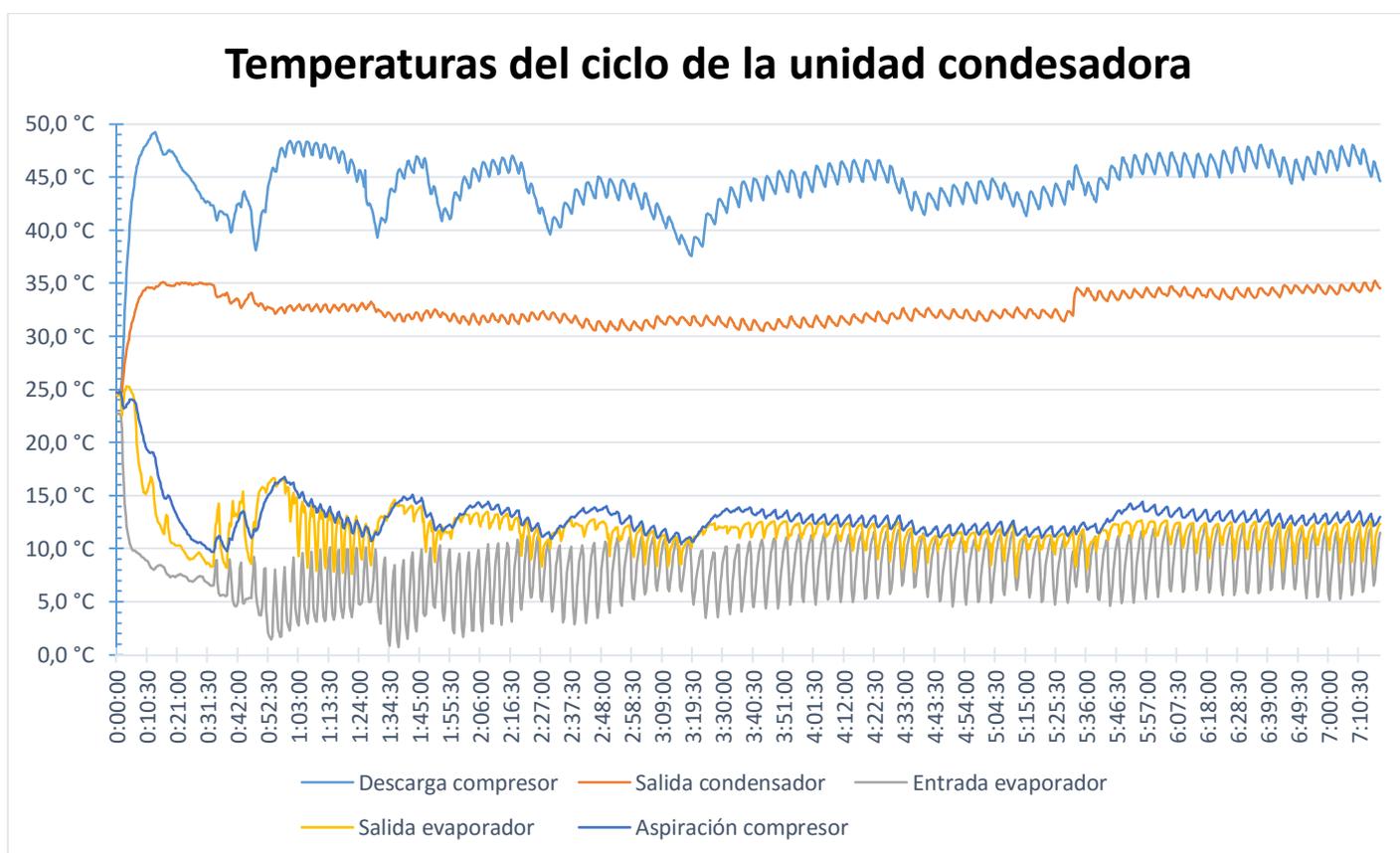
Tabla 1: Resumen presupuesto.

9. Justificación de la viabilidad técnica económica y legal

Tras la puesta en marcha de la instalación, se han realizado una serie de ensayos donde se ha evaluado el resultado obtenido de la solución planteada sobre el conjunto del sistema, donde la unidad condensadora está conectada a un expositor vertical abierto de temperaturas positivas.

En la *gráfica 1*, se muestra el comportamiento de las temperaturas del ciclo frigorífico de la unidad condensadora comercial (chiller). Al inicio de la grabación la unidad se encontraba desconectada, es por ello que todas las temperaturas se encuentran a temperatura ambiente.

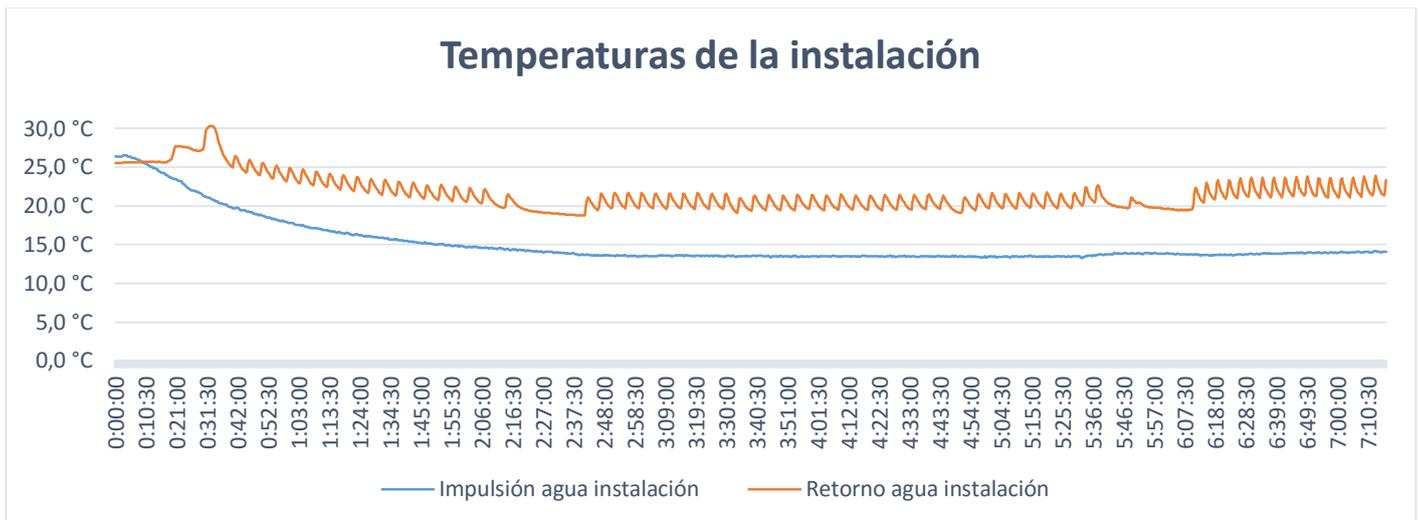
El tiempo que tarda el ciclo en estabilizarse es de 46 minutos, esto se debe a que el agua del circuito secundario ha descendido a una temperatura de 14°C y está cerca del punto de funcionamiento óptimo. En la *gráfica 2* se muestra la evolución de las temperaturas del circuito de agua corresponde a la ida y vuelta de la unidad condensadora de la sala.



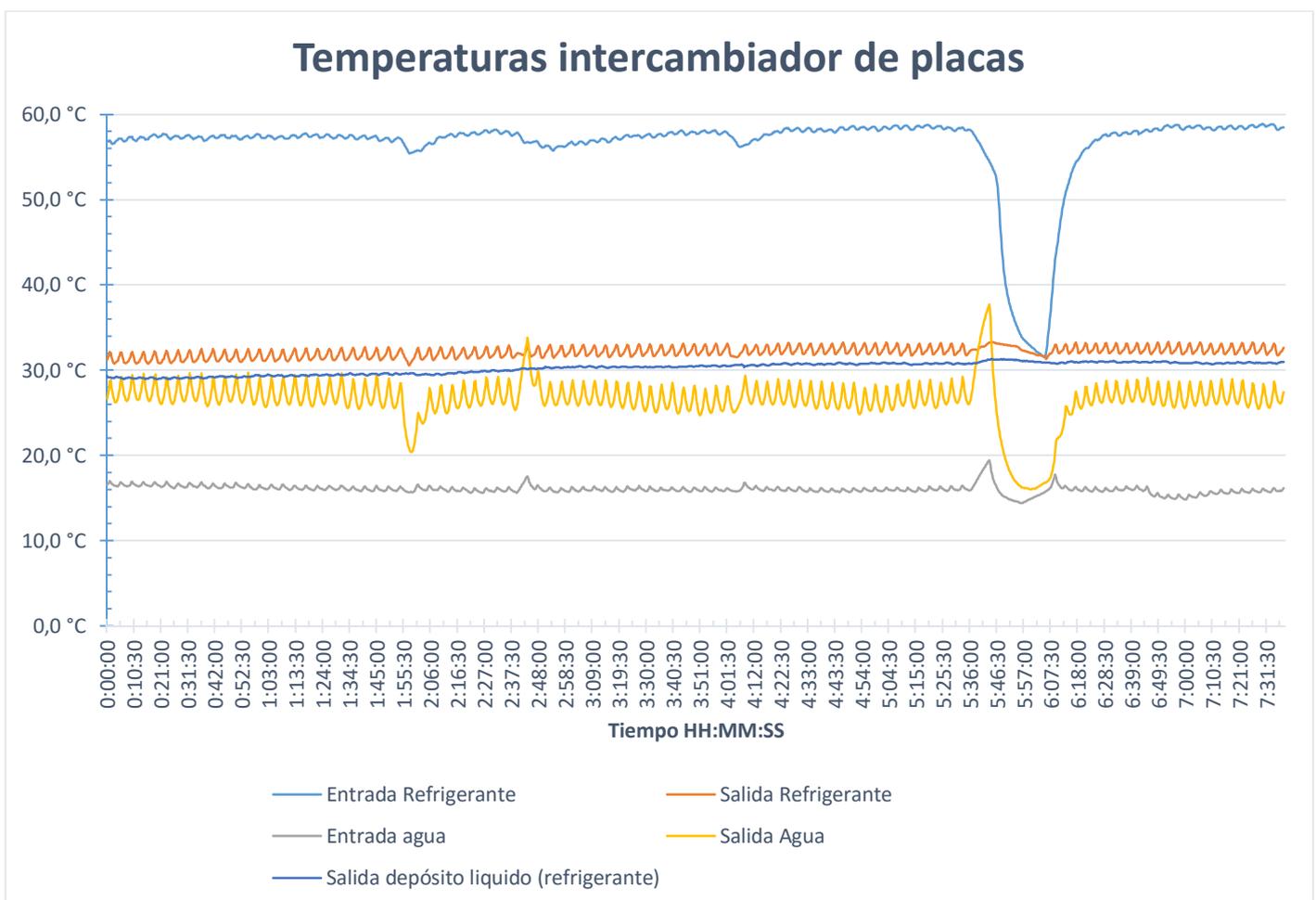
Gráfica 1: Temperatura del ciclo de la unidad condensadora (chiller).

Se observa que el ciclo es estable aunque se producen algunas variaciones en la temperatura de descarga y a la entrada del evaporador. La respuesta a estas variaciones es que la carga térmica aportada al agua es pequeña en comparación con la potencia frigorífica que produce el chiller ya que el solo está conectado un mueble frigorífico a la unidad condensadora de la sala. Por lo que el compresor del chiller no funciona un periodo largo de tiempo.

El aumento de temperaturas que se produce a las 5:36:00 horas se debe al aumento de la temperatura ambiente, ya que los datos se tomaron a mediados de Agosto.



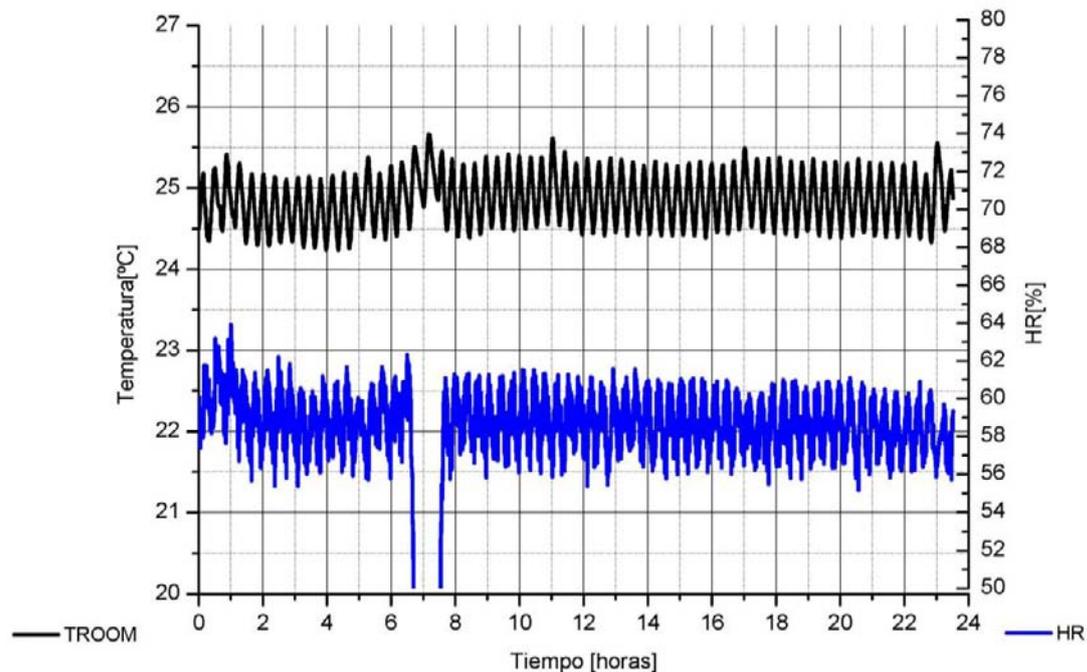
Gráfica 2: Temperaturas del suministro de agua y retorno.



Gráfica 3: Control de la temperatura de condensación en la unidad condensadora de la sala.

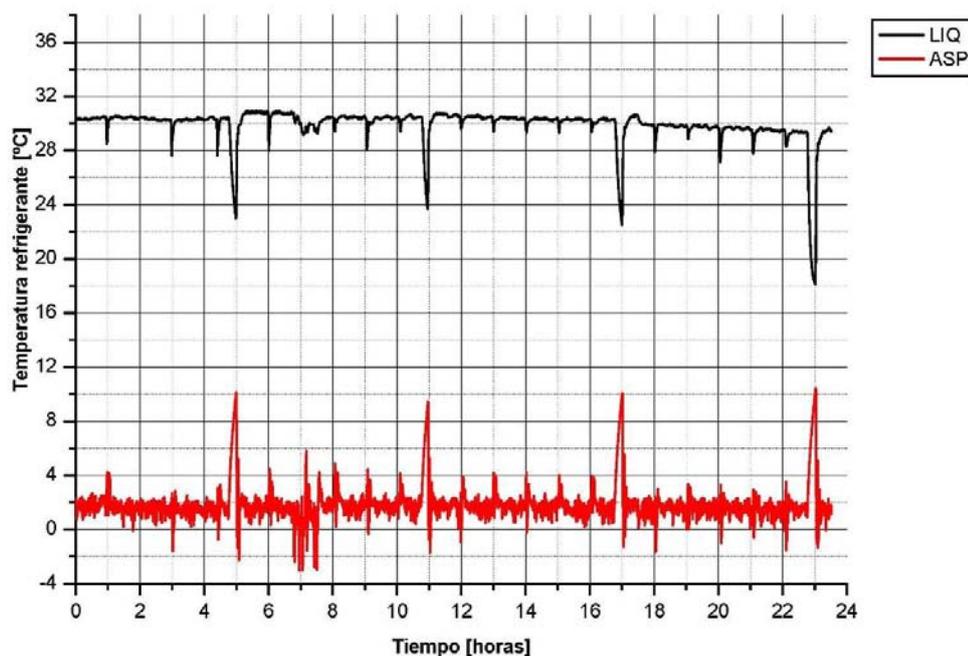
Como puede observarse en la *gráfica 3*, la temperatura a la salida del intercambiador de placas de la unidad condensadora oscila alrededor de los 31,7°C; mientras que la temperatura de servicio, una vez el refrigerante ha salido del depósito de líquido, se encuentra en torno a 30,5°C. Por consiguiente, el sistema de control mecánico nos garantiza que la condensación se realiza perfectamente a la temperatura establecida ($T_{servicio}=32^{\circ}\text{C}$). La diferencia de la temperatura de

servicio y la temperatura real obtenida se debe a las pérdidas de calor que se producen en la tubería con el ambiente.

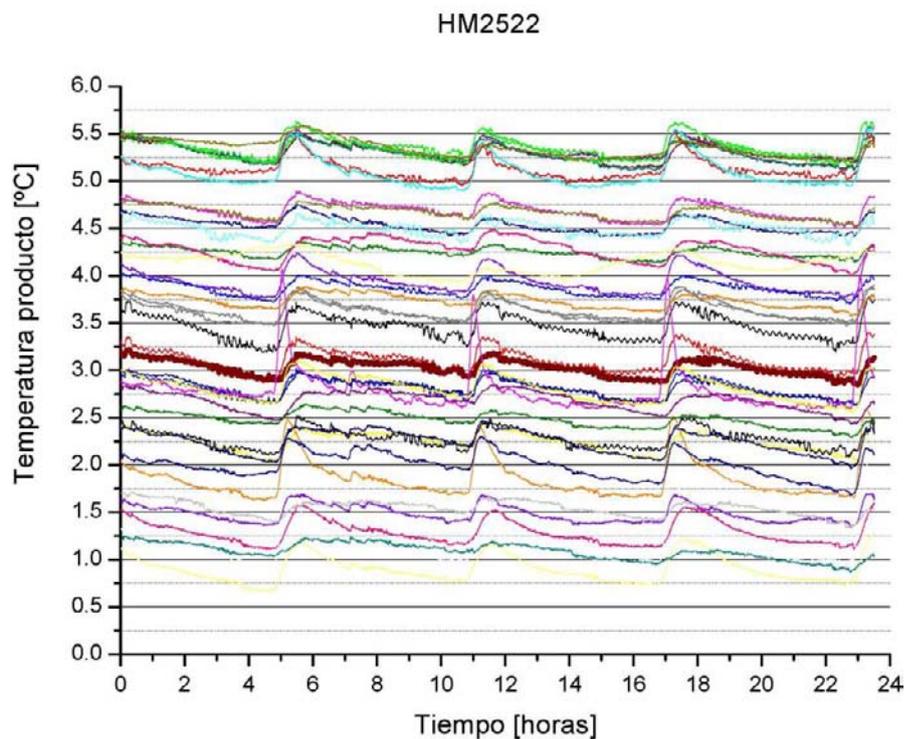


Gráfica 4: Clase climática de la sala de ensayos.

Tomando como referencia la condición de clase climática III (25°C y 60%HR) y observando que el funcionamiento del mueble frigorífico se mantiene estable (gráfica 5), se consigue que los ensayos de temperaturas realizados sobre los paquetes-M se mantengan a una temperatura dentro de lo que marca la norma de Eurovent, UNE-EN ISO 23953-2. La gráfica 6 muestra la evolución de la temperatura de los paquetes-M.



Gráfica 5: Temperaturas del mueble frigorífico.



Grafica 6: Evolución de la temperatura de los paquetes.

Así pues, vistos los resultados del test “Control de la temperatura de condensación en la unidad condensadora de la sala” y el rango de temperaturas establecido en los paquetes de ensayos, queda justificada la viabilidad técnica del sistema de refrigeración propuesto y el cumplimiento del objetivo definido.

10. Desarrollos futuros

Vista la necesidad de encontrar sistemas de control alternativos a los actuales, que resulten más precisos, se ha planteado distintas alternativas basadas en el uso de PID.

Se ha propuesto que el sistema de control de la unidad condensadora de la sala controlado por un termostato mecánico, sea sustituido por un controlador tipo PID. El cual pueda regular el caudal necesario para mantener una temperatura de condensación lo más precisa posible. De esta manera, siempre hay flujo de agua por el intercambiador favoreciendo al control de la temperatura de condensación.

Visto los resultados obtenidos en la unidad condensadora comercial (chiller) se ha propuesto la incorporación de un sistema escalonado, es decir, la incorporación de otro compresor de menor potencia. Este compresor entrara en uso cuando el circuito secundario se encuentre en un régimen estable y. Al mismo tiempo, el compresor que actualmente está en marcha dejara de funcionar. Lo que se pretende es ajustar la curva de producción frigorífica a la demanda frigorífica. De esta forma, la instalación gana en robustez porque se reducen los tiempos de arranque/paro y eficiencia energética.

Para mantener una temperatura de consigna en el circuito secundario (agua) se ha propuesto la colocación de una resistencia eléctrica para regular la temperatura de impulsión hacia las unidades condensadoras de las salas. Se controlaría mediante el uso de un PID el cual activaría

la resistencia cuando fueses necesario. Además, el depósito seleccionado cuenta con las aberturas necesarias para su instalación.

Se ha planteado la instalación de varios fan-coils para climatizar de una sala donde se realizan algunos de los ensayos con máquinas frigoríficas. Para ello se utilizará nuestro fluido secundario alimentado una batería de tuberías, cuya misión será enfriar el aire del ocal aspirado mediante un ventilador.

CÁLCULOS

ANEXO I: Cálculo de la unidad condensadora comercial (Chiller)

ANEXO I: Cálculo de la unidad condensadora comercial (Chiller)

INDICE DE CONTENIDO:

1.	Introducción	37
2.	Ciclo de la instalación	37
2.1.	Generalidades	37
2.2.	Datos de partida	39
2.3.	Cálculo del ciclo	40
2.3.1.	Aspectos generales	40
2.3.2.	Cálculo	41
3.	Componentes	43
3.1.	Compresor	43
3.2.	Condensador	44
3.3.	Ventiladores	45
3.4.	Deposito líquido	45
3.5.	Filtro ADK-305S	46
3.6.	Válvula de expansión	46
3.6.1.	Aspectos generales	46
3.6.2.	Válvula electrónica	46
3.6.3.	Selección	48
3.7.	Intercambiador de placas - Evaporador	49
3.7.1.	Aspectos generales	49
3.7.2.	Selección	50
3.7.3.	Fluido secundario	50
3.8.	Otros elementos	51
4.	Puesta a punto	51
4.1.	Montaje	51

4.2.	Tuberías	51
4.3.	Tipo de refrigerante	52
4.4.	Carga de refrigerante	52
4.4.1.	Grado de llenado del tendido de tuberías	52
4.4.2.	Grado de llenado en el condensador	53
4.4.3.	Grado de llenado del evaporador	53
4.4.4.	Grado de llenado del depósito de líquido	53
4.4.5.	Cálculo	54
5.	Resultados experimentales	54
5.1.	Carga de refrigerante real	54
5.1.1.	Procedimiento	54
5.1.2.	Carga introducida	55
5.2.	Ciclo	55
5.2.1.	Ciclo refrigerante	55
5.2.2.	Intercambiador	56
5.2.3.	Aplicación del agua como fluido secundario	58

INDICE DE FIGURAS:

Figura 1:	Ciclo frigorífico.	38
Figura 3:	Temperaturas anuales Castellón, Comunidad Valenciana, España.	39
Figura 4:	Ciclo de refrigeración.	42
Figura 5:	Esquema de funcionamiento de un ciclo de compresión simple.	43
Figura 6:	Rango de funcionamiento del compresor ZS56K4E-TWD-551	44
Figura 7:	Compresor Copeland.	44
Figura 8:	Condensador de tubo aleteado.	45
Figura 9:	Ventilador CMB 320/320-N-550W.	45
Figura 10:	Filtro ADK.	46
Figura 11:	Válvula electrónica Carel E ² V.	47
Figura 12:	Contenido de los componentes.	47
Figura 13:	Control de la válvula electrónica.	48
Figura 14:	Esquema del circuito para seleccionar la válvula de expansión.	48

Figura 15: Punto de funcionamiento de la válvula electrónica.	49
Figura 16: Intercambiador de placas.	50

INDICE DE TABLAS:

Tabla 1: Resumen de los datos de partida.	39
Tabla 2: Descripción del ciclo por punto.	41
Tabla 3: Calculo de los parámetros energéticos	42
Tabla 4: Parámetros de funcionamiento.	48
Tabla 5: Características del intercambiador de placas.	50
Tabla 6: Propiedades del fluido secundario.	51
Tabla 7: Propiedades físicas del refrigerante R404A	52
Tabla 8: Datos para el cálculo de refrigerante.	54
Tabla 9: Masa de refrigerante.	54
Tabla 10: Ubicación de los sensores de temperatura.	55
Tabla 11: Temperaturas del ciclo real.	56
Tabla 12: Salto de temperaturas.	58

INDICE DE GRÁFICAS:

Grafica 1: Temperaturas del ciclo de la unidad condensadora (chiller).	56
Gráfica 2: Temperaturas del intercambiador de placas.	57
Gráfica 3: Transferencia de calor en el intercambiador.	57
Grafica 4: Temperatura de la instalación de la sala de ensayos.	58

1. Introducción

El presente anexo contiene toda la información sobre la unidad condensadora que se va a utilizar para generar frío, con el fin de determinar los elementos adecuados. Antiguamente, este dispositivo estaba siendo utilizado para refrigerar las salas de ensayos y mantener una temperatura adecuada. Con el paso del tiempo fue sustituida por otro grupo más actual, de este modo se tiene un control exhaustivo de la temperatura y humedad.

Actualmente muchos fabricantes de componentes de refrigeración ya comercializan con este tipo de unidades, ya que son comunes en grandes establecimientos e industria. La marca registrada Emerson Electric Company diseña unidades condensadoras equipadas con la última generación de compresores de refrigeración conformando la gama más amplia en su categoría. Suelen estar equipados con compresores optimizados tanto para aplicaciones de media como de baja temperatura, una característica que las hace especialmente adecuadas para refrigeración. Así mismo, disponen de una gran variedad de baterías de condensadores con la posibilidad de controlar la velocidad de aire del ventilador.

2. Ciclo de la instalación

2.1. Generalidades

El refrigerante circula por el sistema y pasa por diversos cambios de estado y condición; cada uno de esos cambios se denomina un proceso. Comienza en un estado o condición inicial, pasa por una serie de procesos según una secuencia definida, y vuelve a su condición inicial. Esta serie de procesos se denomina ciclo de refrigeración. El ciclo de refrigeración simple se compone de cuatro procesos fundamentales:

1. Compresión

El compresor comprime el gas elevando su presión desde la presión de baja presión de evaporación hasta la presión de alta. La temperatura del gas también aumenta.

2. Condensación

En el condensador el refrigerante en estado vapor se enfría, se condensa pasando a estado líquido y se sub-enfría.

3. Expansión

El refrigerante en estado líquido se expande, bajando su presión desde la alta presión a la baja presión, disminuyendo la temperatura. Una parte del líquido se transforma en vapor.

4. Evaporación

El refrigerante se evapora completamente, absorbiendo el calor del medio a enfriar.

Si dividimos el ciclo frigorífico representado en la *figura 1* mediante una línea horizontal, tendremos dos zonas en función del estado del refrigerante, en la zona superior alta presión y alta temperatura, y en la zona inferior baja presión y baja temperatura.

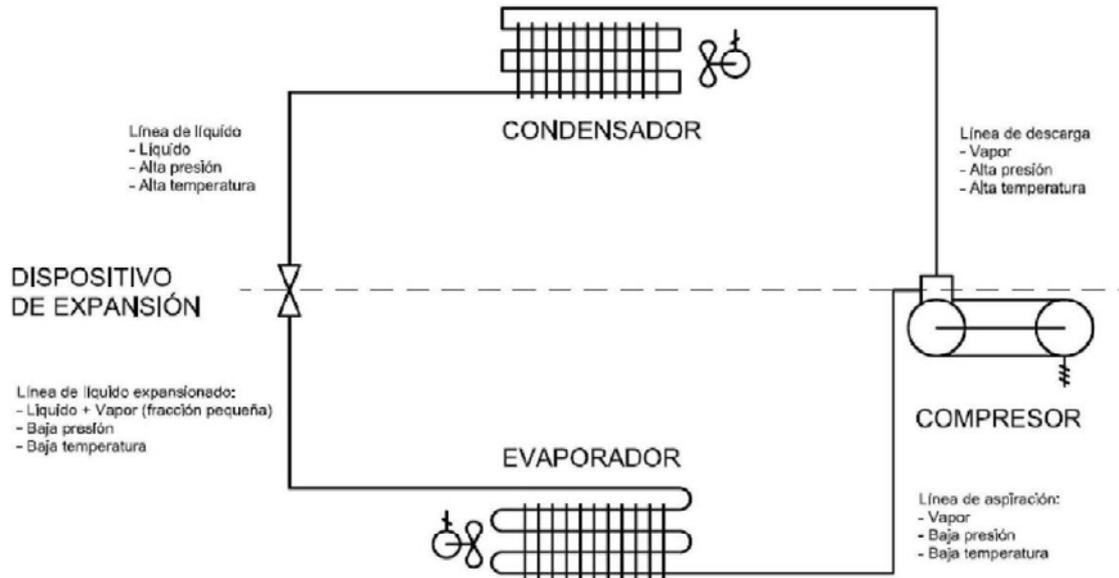


Figura 1: Ciclo frigorífico.

Para una representación gráfica de las propiedades del refrigerante se utiliza el diagrama de Mollier. En él se representan magnitudes como la presión, la entalpía la temperatura o el volumen específico, y permite conocer el estado del refrigerante (líquido, vapor o mezcla de ambos) en función de las citadas magnitudes.

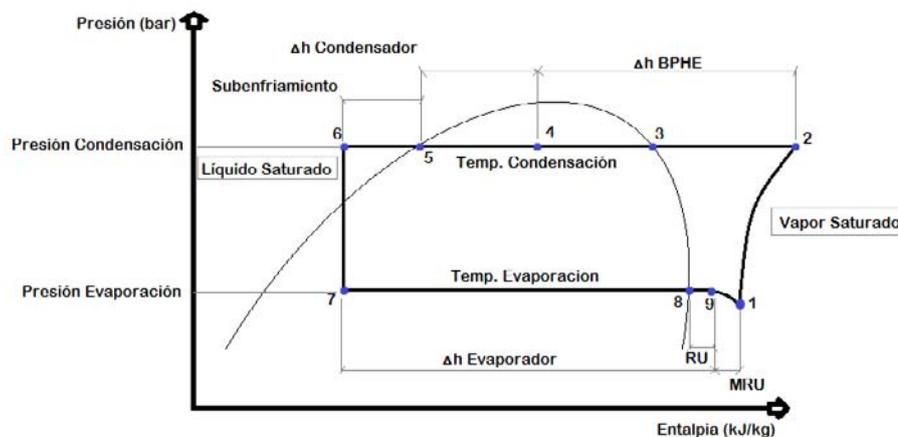


Figura 2: Ciclo real sobre el diagrama Mollier.

Entre los puntos 1 y 2 el refrigerante describe un proceso de compresión aumentado su presión y temperatura, siendo el punto 2' el valor a entropía constante. Desde el punto 2 al punto 5 se produce la condensación del refrigerante donde el tramo (2-3) cede calor sensible hasta alcanzar el punto de vapor saturado; el tramo (3-5) cede su calor volviéndose líquido hasta alcanzar el punto de líquido saturado. El tramo (5-6) se denomina sub-enfriamiento cediendo calor sensible. Este proceso favorece el rendimiento del ciclo ya que garantiza una mayor producción frigorífica y aumenta la proporción de líquido a la salida del condensador. La expansión adiabática se produce entre los puntos 6 y 7 hasta alcanzar la presión de evaporación. El proceso de evaporación se produce entre los puntos 7 y 9 donde en el tramo (7-8) se vaporiza el líquido y en el tramo (8-9) sufre un recalentamiento. Este último tramo favorece en el rendimiento del compresor y del condensador. Finalmente se cierra el ciclo sobrecalentando el refrigerante hasta la entrada del compresor.

2.2. Datos de partida

Para llevar a cabo el diseño de la instalación frigorífica se han definido una serie de parámetros iniciales resumidos en la *tabla 1*. Además, se desperdiciarán los intercambios con el ambiente de las líneas de aspiración y de líquido, así como, el efecto de las pérdidas mecánicas en compresor, suponiendo que van en su totalidad al ambiente externo y no al fluido refrigerante.

Condiciones del ciclo	Parámetros fijados
Tipo de refrigerante	R-404A
Temperatura de evaporación	2°C
Temperatura de condensación	35°C
Temperatura de aspiración	12°C
Sub-Enfriamiento	4 K
Recalentamiento	5 K
Rendimiento interno compresor	58%
Caudal másico refrigerante	0,1684 kg/s

Tabla 1: Resumen de los datos de partida.

En condiciones normales de funcionamiento, se debe garantizar que la temperatura de evaporación no descienda de los 0°C ya que nuestro fluido secundario, agua, se congelaría y bloquearía el intercambiador de placas. Es por ello que realizaremos los cálculos con una temperatura de evaporación de 2°C.

Para definir la temperatura de condensación hacemos referencia a la distribución de temperatura ambiental en la zona donde se ubica la empresa, Castellón. Como se puede observar en la *figura 3*, los valores máximos de temperatura ambiente se registran en los meses Junio-Octubre, con valores máximos de 30°C. Como la unidad condensadora está situada debajo de un porche definimos la temperatura de condensación sobre 35°C.

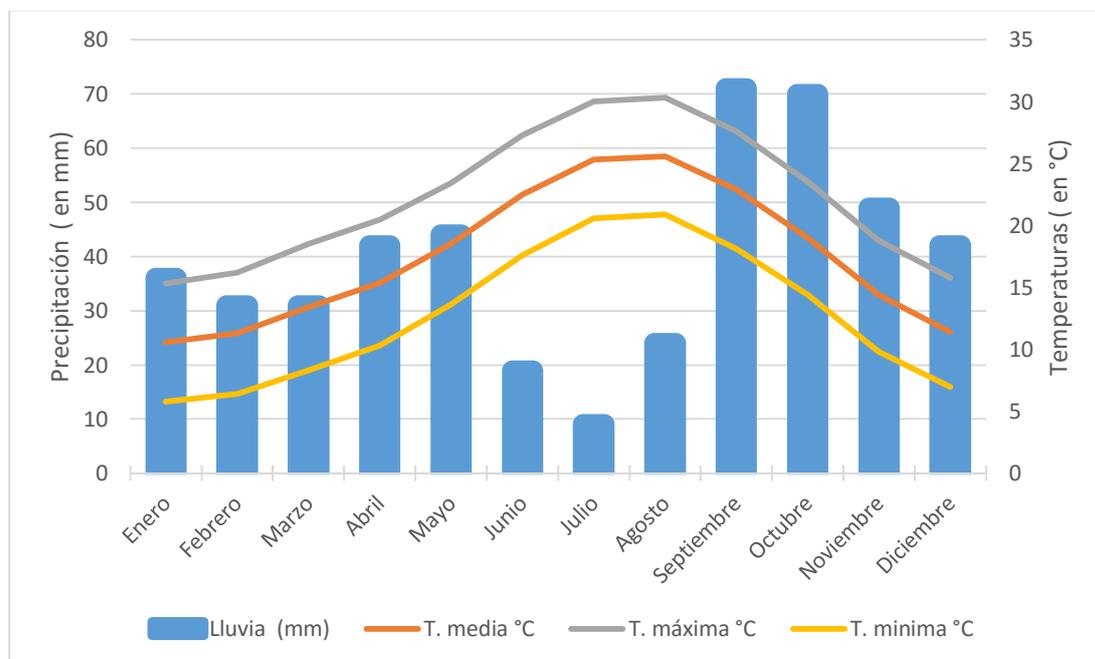


Figura 3: Temperaturas anuales Castellón, Comunidad Valenciana, España.

(fuente: Instituto Nacional de Meteorología, 2014)

Los siguientes parámetros viene definidos por la norma UNE-EN-12900, la cual nos apunta las condiciones de evaluación de compresores para refrigerantes. Por tanto, tendremos un subenfriamiento de 4 K; un recalentamiento útil de 5 K y una temperatura de aspiración de 12°C. La temperatura máxima de aspiración es de 20°C por lo que se cumple el reglamento.

La ficha técnica del compresor se ha obtenido mediante el software *Select 7.1* de la compañía Copeland, donde se ha extraído el caudal másico trasegado y el rendimiento interno de él en nuestro punto de funcionamiento. No disponemos de ninguna herramienta que nos pueda medir el caudal y calcular el rendimiento interno en el lugar donde se sitúa la unidad.

Finalmente, el refrigerante utilizado es R404A ya que sus prestaciones termodinámicas son excelentes a media y alta temperatura.

2.3. Cálculo del ciclo

2.3.1. Aspectos generales

Se ha utilizado el software Engineering Equation Solver para la representación del ciclo frigorífico ya que dispone de una extensa biblioteca de cálculo. Los datos mostrados en la *tabla 2* se han obtenido mediante las siguientes ecuaciones.

El rendimiento interno del compresor se expresa como cociente entre el trabajo de compresión necesario para el funcionamiento de los compresores entre un caso perfecto y un caso real.

$$\eta = \frac{w_s}{w_{Real}} = \frac{h_2 - h_1}{h_3 - h_1}$$

donde:

- h_1 : entalpía en la aspiración del compresor ideal, en [kJ/Kg].
- h_2 : entalpía en la descarga ideal del compresor, en [kJ/Kg].
- h_3 : entalpía en la descarga real del compresor, en [kJ/Kg].
- η : rendimiento interno del compresor, en [%].

La temperatura de la entrada de la válvula de expansión y a la salida del evaporador se calculan:

$$T_6 = T_5 - SC$$

$$T_9 = T_8 + SE$$

donde:

- T_6 : Temperatura en la entrada de la válvula de expansión, en [°C]
- T_5 : Temperatura de condensación, en [°C]
- SC : Recalentamiento
- T_9 : Temperatura en la salida de la válvula de expansión, en [°C]
- T_8 : Temperatura de evaporación, en [°C]
- SE : Sub-enfriamiento

El proceso de expansión en la válvula es isoentálpico, lo cual supone que es irreversible, siendo:

$$h_6 = h_7$$

donde:

- h_6 : entalpía en la entrada de la válvula de expansión, en [kJ/Kg]
- h_7 : entalpía en la salida de la válvula de expansión, en [kJ/Kg]

La cantidad de calor por unidad de masa que recibe el condensador y el evaporador se calculan:

$$q_o = \Delta h_{Evaporador} = h_9 - h_7 \left[\frac{kJ}{Kg} \right]$$

$$q_k = \Delta h_{Condensador} = h_3 - h_5 \left[\frac{kJ}{Kg} \right]$$

El trabajo aportado al compresor por unidad de masa circulante se calcula:

$$w_s = \Delta h_{Compresor} = h_3 - h_1 \left[\frac{kJ}{Kg} \right]$$

Las potencias producidas en el evaporador, condensador y compresor se calculan:

$$Q_o = \dot{m}_{ref} \cdot q_o \text{ [kW]}$$

$$Q_k = \dot{m}_{ref} \cdot q_k \text{ [kW]}$$

$$W_s = \dot{m}_{ref} \cdot w_s \text{ [kW]}$$

siendo:

- \dot{m}_{ref} : caudal másico de refrigerante [Kg/s]

El rendimiento de la instalación puede expresarse como:

$$COP_F = \frac{Q_o}{W_s}$$

2.3.2. Cálculo

Mediante el programa EES se ha realizado la modelización del ciclo frigorífico. Se ha supuesto un comportamiento ideal del sistema.

	Presión [bar]	Temperatura [°C]	Título de vapor	Entalpía [kJ/kg]	Entropía [kJ/kg-K]	Volumen [m3/kg]
[1]	6,395	12	0,03279	376,8	1,642	0,03279
[2]	16,2	48,38	-	396,3	1,642	0,01278
[3]	16,2	60,31	-	410,4	1,686	0,01393
[4]	16,2	35,36	1	379,6	1,589	0,01131
[5]	16,2	35	0	251,7	1,175	0,001007
[6]	16,13	31	-	245,7	1,155	0,0009858
[7]	6,395	1,626	0,2647	245,7	1,166	0,00879
[8]	6,395	2	1	366,8	1,607	0,03078
[9]	6,395	7	0,03182	371,8	1,625	0,03182

Tabla 2: Descripción del ciclo por punto.

Los puntos calculados se representan en el diagrama de Mollier para tener una visión más clara del ciclo frigorífico.

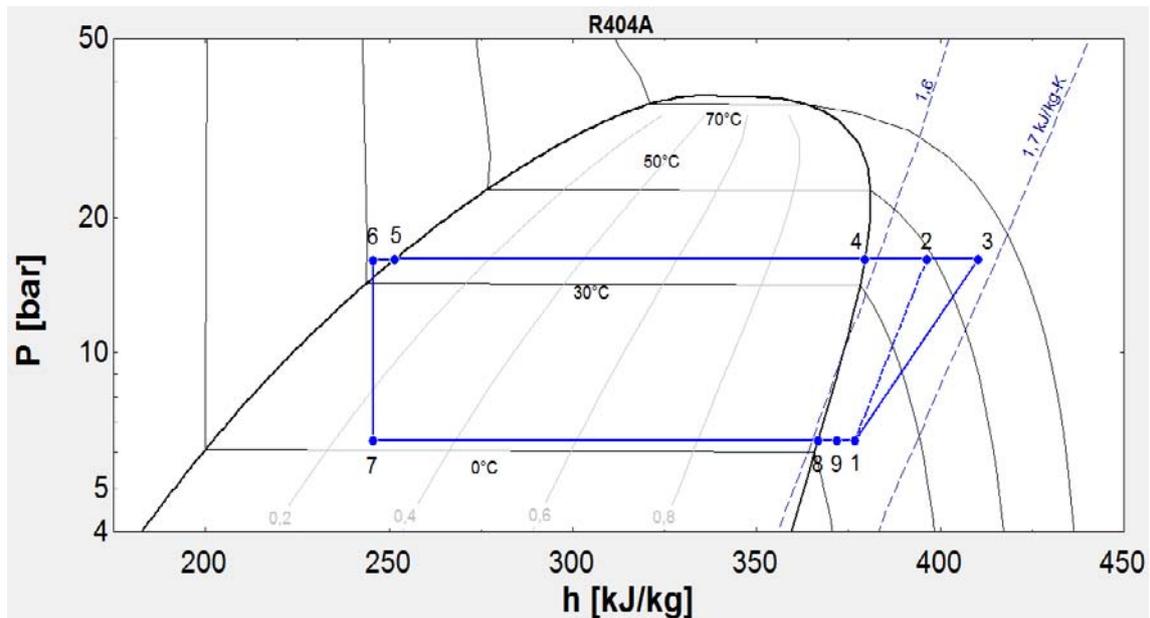


Figura 4: Ciclo de refrigeración.

Una vez calculado el comportamiento del ciclo, procedemos al cálculo de potencias. La potencia producida en el evaporador será nuestro dato de partida para la selección del intercambiador de placas. La *tabla 3* muestra las potencias de nuestro ciclo.

Parámetros energéticos	
qo (kJ/kg)	126,1
qk (kJ/kg)	164,7
ws (kJ/kg)	33,6
COP	3,75

Cálculo Potencias	
Mf (kg/s)	0,168
Qo (kW)	22,215
Qk (kW)	27,735
Pc (kW)	5,658

Tabla 3: Calculo de los parámetros energéticos

3. Componentes

Para la realización de este proyecto, se ha utilizado una unidad condensadora de la compañía alemana Emerson Electric Company, condensando por aire con un compresor semi-hermético.

Como muestra la *figura 5*, está formado generalmente por el condensador, compresor, depósito de líquido, bancada y motor eléctrico como partes esenciales.



Figura 5: Esquema de funcionamiento de un ciclo de compresión simple.

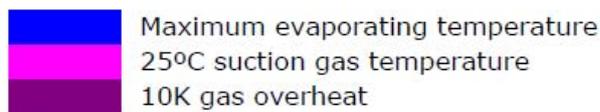
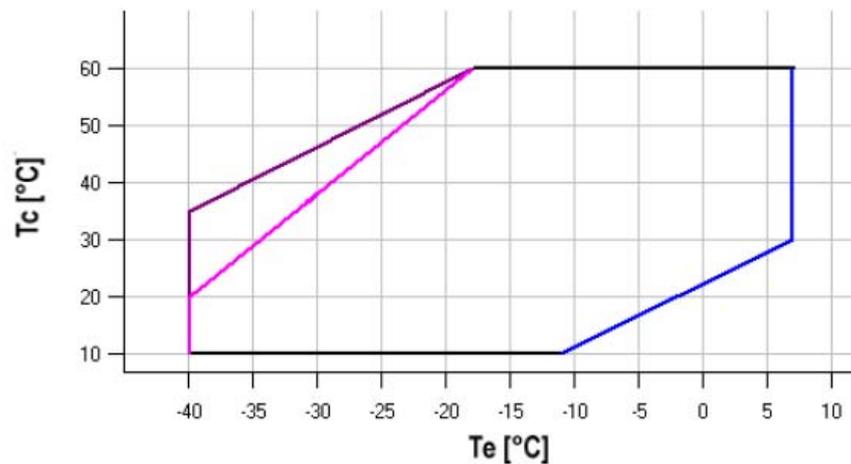
3.1. Compresor

Se trata de un compresor que se encuentra equipado con la última tecnología ya que es uno de los más recientes en el mercado. Diseñado para maximizar la eficiencia y la confiabilidad. Se integra básicamente por dos espirales que engranan entre sí, la espiral superior es fija, mientras que la inferior tiene un movimiento orbital. Esto provoca que el compresor se encuentre totalmente equilibrado ya que en la aspiración se generan dos espacios simétricos de oclusión de vapor, mientras que en la descarga es común.

Normalmente estos compresores se utilizan para media y alta temperatura en refrigeración. Según la norma EN 12900:2014 se entiende como alta temperatura los valores englobados entre 7°C y -15°C y media temperatura como -5°C y -25°C.

Este modelo de compresor en concreto tiene un gran rango de funcionamiento. Su rendimiento puede variar según el refrigerante utilizado ya sea R404a, R134a o R22. Actualmente, el refrigerante R22 está prohibido en toda la zona europea según el reglamento (CE) nº 1005/2009 ya que genera sustancias que agotan la capa de ozono.

En nuestra instalación se utilizará R404a como refrigerante ya que anteriormente se había utilizado y no es viable cambiar todos los componentes para que sea compatible con el refrigerante R134a. Como podemos ver en la *figura 6*, utilizando R404a como refrigerante, tenemos un gran abanico de posibilidades.



Operating conditions: suction gas temperature 20°C, 0K subcooling
 t_c - Condensing temperature [°C]
 t_e - Evaporating temperature [°C]

Figura 6: Rango de funcionamiento del compresor ZS56K4E-TWD-551

Nuestra demanda es de una temperatura de condensación de 35°C y una temperatura de evaporación de 2°C, por lo tanto estamos dentro del rango de funcionamiento.

Su conexión eléctrica sea ha realizado mediante el *plano eléctrico 1*. Además incorpora un protector para el compresor, INT69 SCY. Este ha sido especialmente desarrollado para supervisar la temperatura del bobinado del motor, la secuencia de fases y el fallo en la fase del desplazamiento del compresor. Así mismo, está equipado con dos presostatos, uno se ubica en la sección de alta y otro en la de baja. Normalmente el presostato de alta esta tardado a 28 bar, mientras que el de baja está a 0,5 bar.



Figura 7: Compresor Copeland.

3.2. Condensador

El condensador que dispone nuestra unidad es de tubo aleteado de la marca Kobil. El refrigerante circula por un tubo de sección circular de 9,525mm (3/8"). A la entrada y salida

tiene un colector de 8 tubos, esto sirve para minimizar el tamaño y lograr una pérdida de carga menor. La longitud total que dispone el condensador es de 13,91 metros.



Figura 8: Condensador de tubo aleteado.

3.3. Ventiladores

Se ha utilizado un extractor de baja presión, modelo 320/320-N-550W de la serie CBM, *figura X*. Son ventiladores centrífugos de doble aspiración con motor incorporado, fabricados en chapa de acero galvanizado y rodete de álabes hacia delante. Está equilibrado dinámicamente según la norma ISO 1940, para reducir el ruido y evitar vibraciones. Destaca por su velocidad de giro y por el caudal trasegado, siendo de 900 revoluciones por minuto y 5250 m³/h respectivamente.



Figura 9: Ventilador CMB 320/320-N-550W.

Esta unidad condensadora en concreto dispone de dos ventiladores facilitando la condensación del refrigerante. Se activan mediante un presostato situado en la zona de alta tarado a la presión de condensación fijada. En verano, que es la época más calurosa, mantiene una temperatura de condensación muy estable a alrededor de 35°C.

3.4. Deposito líquido

Situado en el lado de alta presión, aguas abajo del condensador. Tiene dos objetivos: eliminar rápidamente el líquido condensado para disponer de la totalidad útil en el condensador; y almacenar el refrigerante condensado con el fin de suministrar al evaporador lo que necesite.

En nuestro caso, el depósito tiene una capacidad de 30 litros y está equipado con una válvula de paso con toma manométrica. En la parte superior se encuentra la válvula de seguridad tarada a 32 bares. Asimismo, en la parte inferior, dispone de un visor de líquido.

3.5. Filtro ADK-305S

Se sitúa en el lado de alta presión, después del depósito de líquido. Su objetivo es eliminar las trazas de agua en el circuito e impedir el paso de partículas que puedan obturar al expansor. Para cumplir esta función el filtro está previsto de una malla a la entrada en forma cilíndrica y otra malla a la salida en forma circular como se puede observar en la *figura 10*.

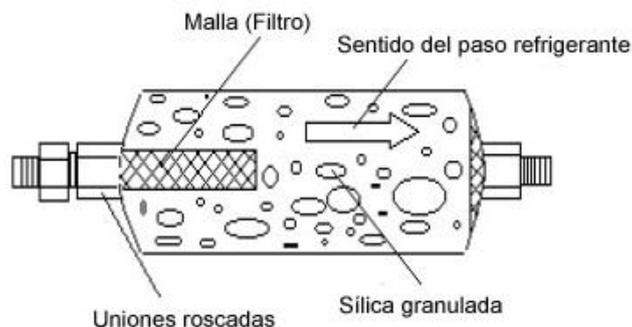


Figura 10: Filtro ADK.

Este filtro en concreto está diseñado para una capacidad de 37.30 kw de frío con una presión diferencial a través de él de 0,07 bar.

3.6. Válvula de expansión

3.6.1. Aspectos generales

La misión de los elementos de expansión es controlar el paso de refrigerante y crear burbujas de líquido para que puedan ser posteriormente evaporadas, esta es la parte que separa la zona de presión de alta con la de baja. Existe una gran variedad de válvula de expansión:

5. Manual: se regula mediante un tornillo.
6. Termostática (VET): se regula mediante la temperatura de calentamiento del líquido (medida por el bulbo).
7. Termométrica con compensación de presión: se suele utilizar para equipo de alta presión o cuando existe más de un circuito.
8. Electrónica: trabaja mediante un control electrónico que mantiene un sobrecalentamiento dentro de los parámetros establecidos para el funcionamiento del equipo. Se adapta a los cambios de la carga térmica que se tenga en el mismo.

Para un mejor funcionamiento del circuito se ha optado por la instalación de una válvula electrónica de la marca Carel E²V.

3.6.2. Válvula electrónica

Las válvulas de expansión electrónica con modulación proporcional y excelentes características técnicas y funcionales, permiten un control eficiente de las unidades de refrigeración y acondicionamiento, y un ahorro energético considerable.

La modulación del refrigerante garantiza un amplio rango de funcionamiento, gracias al acoplamiento entre un orificio fijo y un obturador movido por un motor paso a paso que le permite una notable precisión en la regulación con 480 pasos en una carrera de 15 mm de largo. Ofrece una regulación estable y confiable que reduce los riesgos de fallas.



Figura 11: Válvula electrónica Carel E²V.

La producción de este tipo de válvulas se realiza totalmente con soldaduras láser utilizando materiales de alta calidad (AISI 316L y tecnopolímeros). Como se observa en la *figura X*, está constituida por componentes modulares a ensamblar durante la instalación; esta solución favorece el mantenimiento y la inspección de las partes singulares.



Figura 12: Contenido de los componentes.

El diseño se ha cuidado en los mínimos detalles para garantizar una fiabilidad elevada funcionando hasta 35 bar de presión diferencial y 42 bar de presión absoluta.

El funcionamiento se basa en el control del sobrecalentamiento del refrigerante con algunas regulaciones opcionales según el control utilizado (MPX PRO): para el cálculo de estas informaciones es necesario colocar a la salida del evaporador una sonda de temperatura y una de presión.

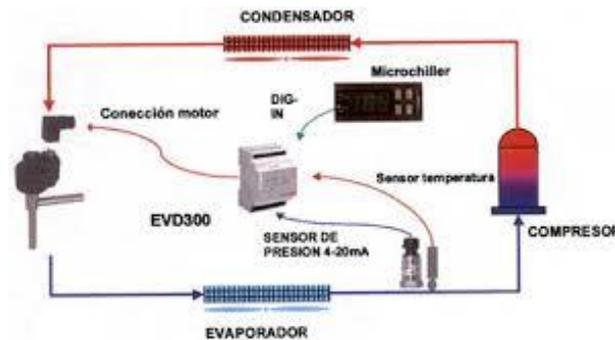


Figura 13: Control de la válvula electrónica.

3.6.3. Selección

Para seleccionar el tamaño de la válvula electrónica se utilizara un software de la compañía Carel, en el que debemos introducir los parámetros de funcionamiento. En la *tabla 4* se indica que tipo de parámetros se ha introducido para la elección de la válvula.

Parámetro	Selección
Tipo de refrigerante	R-404A
Capacidad frigorífica	22,2 KW
Temperatura de evaporación	2°C
Temperatura de condensación	35°C
Sub-Enfriamiento	5 K

Tabla 4: Parámetros de funcionamiento.

Además, se ha tenido en cuenta la pérdida de carga que puede producir tanto las tuberías como los elementos que componen la instalación, quedando el circuito de la siguiente forma:

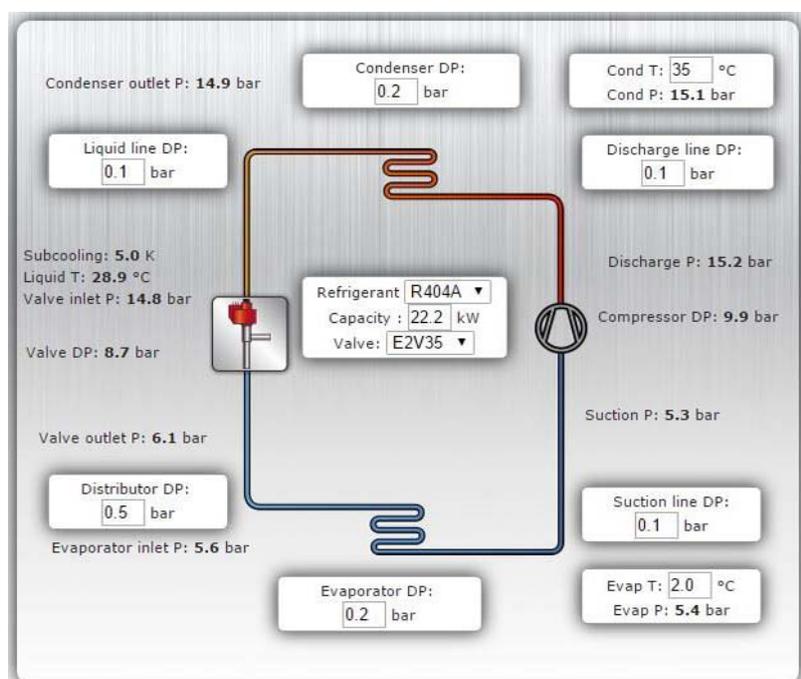


Figura 14: Esquema del circuito para seleccionar la válvula de expansión.

El fabricante recomienda que las válvulas se seleccionen para un régimen de trabajo entre el 60% y el 80% de la capacidad producida. Es por ello que si elegimos el modelo E²V-30 nuestro

régimen de trabajo es muy cercano al 95% ya que están diseñadas para una potencia frigorífica de 23,4 kW. Por tanto, nuestra válvula de expansión será el modelo E²V-35, ya que el régimen de trabajo es de 65%.

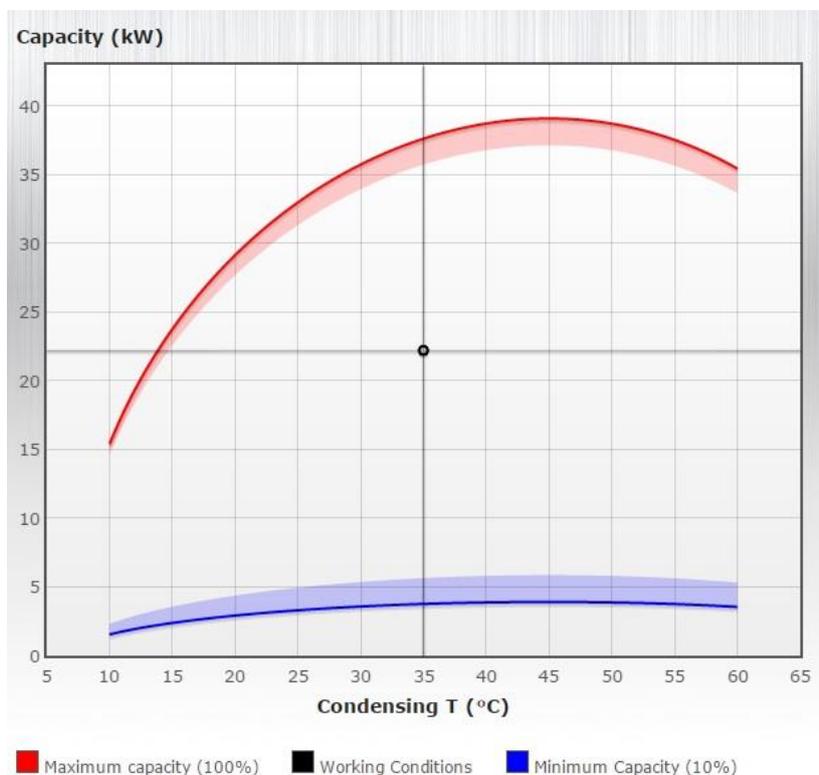


Figura 15: Punto de funcionamiento de la válvula electrónica.

3.7. Intercambiador de placas - Evaporador

3.7.1. Aspectos generales

Los intercambiadores de calor de placas son ideales para aplicaciones en las que los fluidos tienen una viscosidad relativamente baja y no contienen partículas. Además son una elección ideal donde existe un pequeño salto térmico entre la temperatura de salida del producto y la temperatura de entrada del servicio.

Estos intercambiadores consisten en delgadas planchas corrugadas, empaquetadas o bien soldadas con cobre. Las placas son apretadas unas contra otras formando el paquete de placas dentro de un bastidor, en el que el flujo de producto se encuentra en canales alternos y el servicio entre los canales del producto. Las unidades se presentan con placas de acero inoxidable AISI 304 / 316 y juntas EPDM como standard, con otros materiales también disponibles dependiendo del medio a procesar.

En la *figura 16* se muestra como es internamente un intercambiador y cómo funcionan. Para obtener una mejor eficiencia se suele posicionar en vertical con fluidos a contracorriente. Nuestra válvula de expansión estará conectada en la toma superior del intercambiador, favoreciendo el retorno del aceite aunque se disminuya la eficiencia.

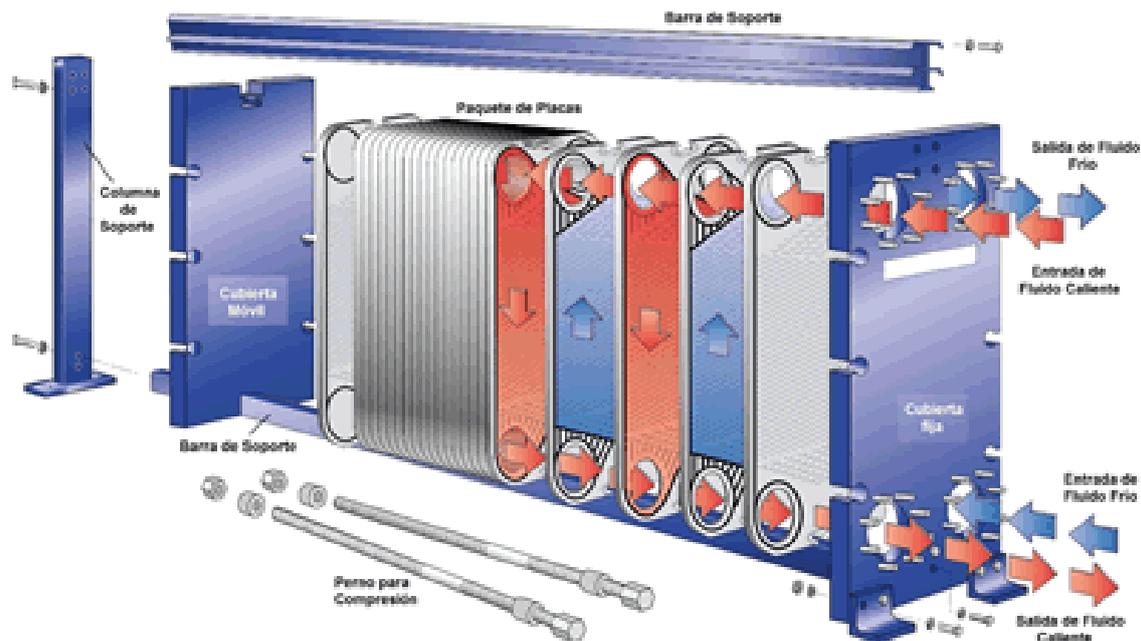


Figura 16: Intercambiador de placas.

3.7.2. Selección

Para seleccionar el intercambiador se han consultado dos distribuidores en la zona. Uno es el grupo Pecomark y el otro GSF al servicio del frío. En su catálogo indica en qué condiciones de cálculo se han obtenido sus potencias. Es por ello que, para que el intercambiador de placas desarrolle la función de evaporador necesitamos saber que potencia frigorífica va a producir nuestro ciclo basado en sus condiciones de cálculo. Como se ha calculado previamente, nuestra demanda es de 22,2 kW de frío.

Se ha seleccionado el modelo B80x30 de la marca SWEP. Las características se indican en la *tabla 5*:

Características del placas	
Superficie (m ²)	1,8
Caudal primario (Kg/h)	681,1
Caudal secundario (Kg/h)	3863
Potencia (kW)	22,5

Tabla 5: Características del intercambiador de placas.

3.7.3. Fluido secundario

Las salmueras originalmente están compuestas por agua con una elevada cantidad de sal disuelta, aunque actualmente existen fluidos frigoríferos orgánicos basados en glicoles y en otros compuestos.

Partiendo de la siguiente ecuación:

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

donde:

- Q: potencia térmica a evacuar, en [kW]

- C_p : calor específico del agua, en [kJ/kg °C]
- \dot{m} : caudal másico de agua, en [kg/s]
- ΔT : salto térmico, en [°C]

Se calcula el caudal necesario para cubrir la potencia disipada por el intercambiador. La *tabla 6* muestra los valores de cada parámetro.

Fluido secundario	
AT (Variación Tº)	5
Cp (water; kJ/(kg °C))	4,1813
Qo (kW)	22,2
\dot{m}_w (kg/s)	1,02

Tabla 6: Propiedades del fluido secundario.

El caudal necesario para intercambiar toda la potencia del evaporador es de 1,02 kg/s.

3.8. Otros elementos

- Visor de líquido:

Está situado detrás del filtro secador. Se utilizan principalmente para indicar el estado de refrigerante y el nivel de líquido de la instalación. Además, llevan un indicador sensible que refleja un color u otro, dependiendo del contenido de humedad en el refrigerante.

- Toma de presión:

Nuestra instalación dispone de dos tomas de presión, una situada en alta y otro en baja. Se puede saber la presión de funcionamiento colocando un manómetro.

4. Puesta a punto

Con todos los elementos seleccionados es hora de montar la instalación y realizar la puesta en marcha.

4.1. Montaje

Todas las piezas han sido soldadas al circuito mediante una soldadura oxiacetilénica con aporte de material. El material aportado se ha seleccionado por las propiedades de cada accesorio a soldar. Se ha utilizado cobre para soldar las uniones de tuberías y plata para las uniones de accesorios.

4.2. Tuberías

Las tuberías de cobre para refrigeración se sirven limpias de impurezas y cerradas por los dos extremos para evitar que tengan impurezas o humedad. Nuestra instalación está compuesta por diferentes diámetros de tuberías.

- Línea de impulsión tiene un diámetro de 5/8".
- Línea de líquido tiene un diámetro de 5/8".
- Línea de distribución tiene un diámetro de 5/8".
- Línea de aspiración tiene un diámetro de 1 1/8".

Cuando se dimensionan tuberías que utilizan refrigerantes HFC, hay que tener en cuenta una doble exigencia: la de suministrar al fluido una velocidad suficiente como para arrastrar el aceite a lo largo de la superficie interior de las mismas, asegurando así un buen coeficiente de

transmisión del calor en el evaporador y en el condensador, y la de contener la caída dentro de límites tolerables a fin de no perturbar las condiciones de funcionamiento de los distintos elementos del circuito.

4.3. Tipo de refrigerante

El R-404A es una mezcla casi azeotrópica de refrigerantes HFC-125, HFC-143a y R-134a con un índice de destrucción del ozono igual a cero, utilizado en equipos nuevos de refrigeración de medias y bajas temperaturas.

PROPIEDADES FÍSICAS		R-404 A
Peso molecular	(g/mol)	97.61
Temperatura ebullición a (1,013 bar)	(°C)	-46.45
Deslizamiento temperatura de ebullición (a 1,013 bar)	(K)	0.7
Temperatura crítica	(°C)	72.07
Presión crítica	(bar abs)	37.31
Densidad crítica	(Kg/m ³)	484
Densidad del líquido (25°C)	(Kg/m ³)	1048
Densidad del líquido (-25°C)	(Kg/m ³)	1236
Densidad del vapor saturado (a 1,013 bar)	(Kg/m ³)	5.41
Presión del vapor (25°C)	(bar abs)	12.42
Presión del vapor (-25°C)	(bar abs)	2.49
Calor latente de vaporización (a 1,013 bar)	(KJ/Kg)	200
Calor específico del líquido (25°C) (1,013 bar)	(KJ/Kg.K)	1.64
Calor específico del vapor (25°C) (1,013 bar)	(KJ/Kg.K)	0.88
Conductibilidad térmica del líquido (25°C)	(W/mk)	0.064
Conductibilidad térmica del vapor (1,013 bar)	(W/mk)	0.0143
Solubilidad con el agua (25°C)	(ppm)	Despreciable
Límite de inflamabilidad (25°C)	(% vol)	Ninguno
Toxicidad (AEL)	(ppm)	1000
ODP	-	0
PCA (GWP)	-	3922

Tabla 7: Propiedades físicas del refrigerante R404A

4.4. Carga de refrigerante

En la planificación preliminar del sistema de refrigeración, generalmente se realiza un cálculo aproximado de la cantidad de refrigerante mínima necesaria que garantizará un funcionamiento satisfactorio para tener un orden de magnitud. A partir de la simulación del ciclo teórico y de la representación sobre el diagrama de Mollier de presión y entalpía se ha calculado la densidad promedio del refrigerante en cada dispositivo. Se obtiene la masa de cada elemento multiplicando la densidad promedio por el volumen. La masa total vendrá dada por la suma de todas las masas de cada elemento. A continuación se describen las ecuaciones utilizadas para su cálculo.

4.4.1. Grado de llenado del tendido de tuberías

Debido a que el refrigerante se encuentra en estado gaseoso en las tuberías de succión y de descarga el valor de ϕ_{su} y ϕ_{de} será cero.

$$\phi_{su} = \phi_{de} = 0$$

- ϕ_{su} : grado de llenado de la línea de succión
- ϕ_{de} : grado de llenado de la línea de descarga

La masa de refrigerante C_{su} en la línea de succión será:

$$C_{su} = V_{su} \cdot \rho_g$$

- V_{su} : volumen de la tubería de succión, en [m³]
- ρ_g : densidad de refrigerante (succión) en estado gaseoso, en [kg/m³]

La masa de refrigerante C_{de} en la línea de descarga será:

$$C_{de} = V_{de} \cdot \rho_g$$

- V_{de} : volumen de la tubería de descarga, en [m³]
- ρ_g : densidad de refrigerante (descarga) en estado gaseoso en [kg/m³]

La masa de refrigerante en la línea líquido $C_{liquido}$ será:

$$C_{liquido} = V_{liquido} \cdot \rho_l$$

- $V_{liquido}$: volumen de la tubería de líquido, en [m³]
- ρ_l : densidad de refrigerante en estado líquido, en [kg/m³]

4.4.2. Grado de llenado en el condensador

Para poder determinar el grado de llenado ϕ del condensador es importante conocer el refrigerante que vamos a usar. Para condensadores enfriados por aire o en condensadores donde la condensación se realiza en el interior de tubos podremos tomar valores entre 0,5 y 0,6.

$$C_c = V_c \cdot [\phi_{c,l} \cdot \rho_l + \phi_{c,g} \cdot \rho_g]$$

- V_c = volumen condensador, en [m³]
- ρ_l : densidad de refrigerante (líquido) en estado gaseoso, en [kg/m³]
- ρ_g : densidad de refrigerante en estado gaseoso, en [kg/m³]

Se tomará la densidad del refrigerante gaseoso a la entrada del condensador y la densidad del líquido a la salida del condensador.

4.4.3. Grado de llenado del evaporador

La masa de refrigerante que ocupa el evaporador vendrá dado por:

$$C_{evap} = V_{evap} \cdot \phi_{evap} \cdot \rho_l$$

- ρ_l : densidad de refrigerante (líquido) en estado líquido, en [kg/m³]
- ϕ_{evap} : grado de llenado
- V_{evap} : volumen evaporador, en [m³]

Estudios realizados por diferentes autores confirman que el nivel de llevado del evaporador es de 0,18 cuando trabaja al 100% de su capacidad. Cuanto menos sea la capacidad frigorífica el grado de llenado aumenta considerablemente.

4.4.4. Grado de llenado del depósito de líquido

La masa de refrigerante que ocupa el depósito de líquido vendrá dado por:

$$C_{dep} = V_{dep} \cdot \phi_{dep} \cdot \rho_l$$

- ρ_l : densidad de refrigerante (líquido) en estado líquido, en [kg/m³]
- ϕ_{dep} : grado de llenado
- V_{dep} : volumen del depósito de líquido, en [m³]

La masa de refrigerante del recipiente será calculada con la densidad del refrigerante a la salida del condensador. Además, el grado de llenado del depósito se toma el 40% de su capacidad.

4.4.5. Cálculo

La *tabla 8* muestra los datos de partida de la instalación para calcular la masa necesaria de refrigerante.

Datos de partida	
Capacidad frigorífica	23 Kw
Refrigerante	R404a
Temperatura de evaporación	2°C
Temperatura de condensación	35°C
Temperatura del líquido	33°C
Temperatura a la entrada de compresor	12°C
Temperatura de descarga	68,7°C
Volumen interno del evaporador	4,83 dm ³ = litros
Volumen interno del condensador	14,56 dm ³ = litros
Volumen del depósito de líquido	30 dm ³ = litros
Tubería de succión 29 X 1,4 mm, largo	5 m
Tubería de descarga 15 X 1 mm, largo	2 m
Tubería de líquido 15 X 1 mm, largo	2 m

Tabla 8: Datos para el cálculo de refrigerante.

Con las ecuaciones anteriores se procede al cálculo de refrigerante. En la *tabla 9* se muestra la capacidad de cada línea y elemento.

Masa de refrigerante	Kg
Tubería de succión	0,08
Tubería de descarga	0,03
Tubería de líquido	0,27
Evaporador	1,79
Condensador	8,59
Recipiente líquido	6,09
TOTAL	16,86

Tabla 9: Masa de refrigerante.

Nuestra instalación tendrá aproximadamente 16,86 kg de refrigerante 404A.

5. Resultados experimentales

5.1. Carga de refrigerante real

A la hora de realizar la carga de refrigerante, precisaremos de varios aparatos de medida y algunas herramientas. Como el refrigerante 404A es una mezcla zeotrópica, la carga se realiza en fase líquida y en la parte de alta presión.

5.1.1. Procedimiento

Una vez se ha realizado vacío a la instalación es hora de introducir el refrigerante. Colocamos la botella sobre la báscula y abrimos la válvula de líquido. Cuando las presiones se hayan igualado,

se pone en marcha la instalación y se sigue agregando refrigerante poco a poco hasta que el visor de líquido, situado antes de la válvula, no burbujee.

5.1.2. Carga introducida

La instalación ha sido cargada con 18,9 kg de R404A siguiendo el procedimiento anteriormente descrito. Se dispone de dos visores de líquido, uno situado en el depósito y otro a la entrada de la válvula de expansión, en los cuales no se aprecia ninguna turbulencia. La desviación que se ha obtenido con la carga real es de $\pm 15\%$ sobre la carga teórica.

5.2. Ciclo

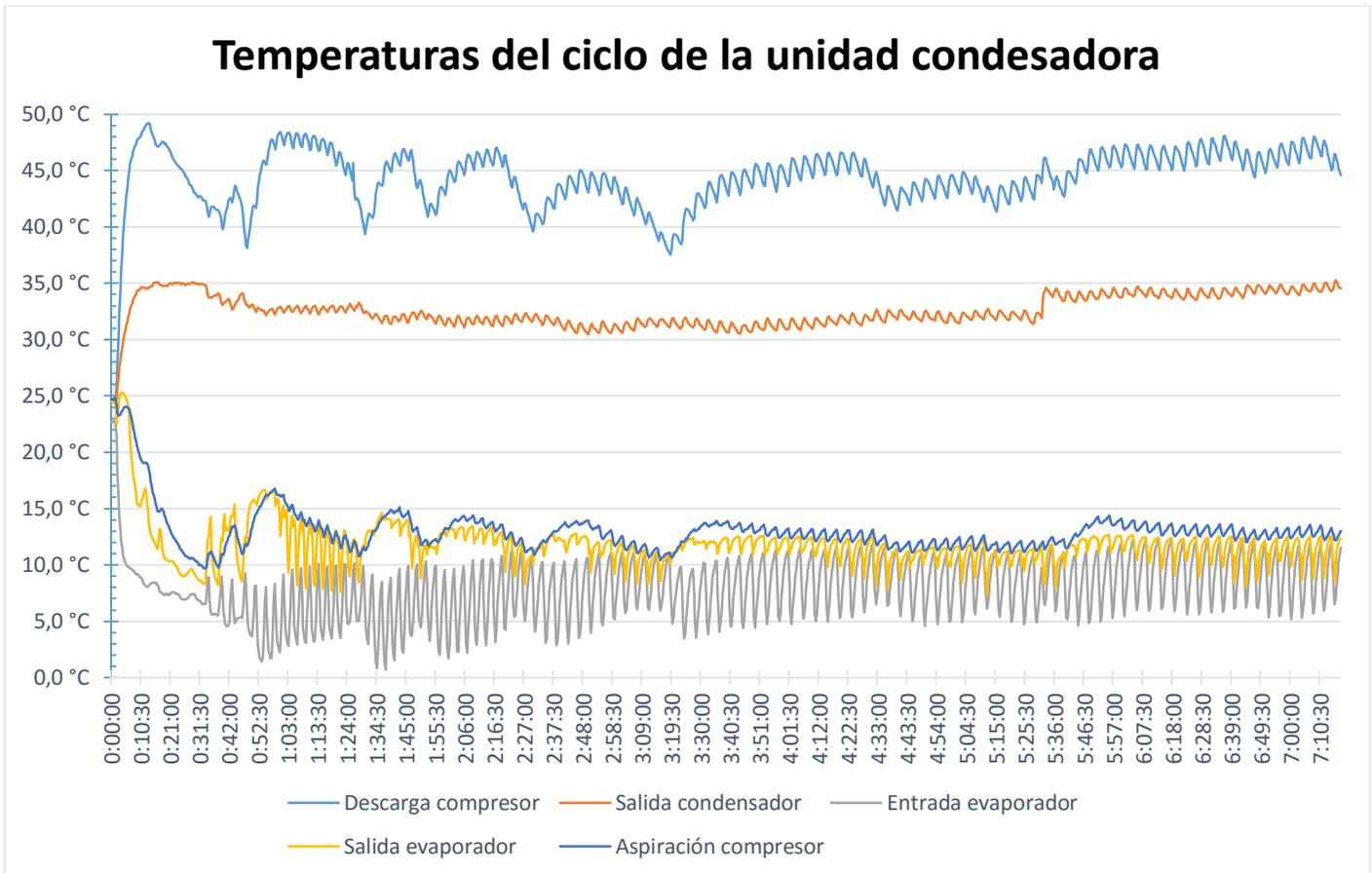
Se han colocado sensores de temperatura tipo T modelo PT-1000 con una precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$ en los puntos adecuados para representar el ciclo frigorífico. Mediante el uso de un adquisidor de datos se han registrado las temperaturas de funcionamiento durante un periodo de tiempo. Los puntos elegidos se representan en la *tabla 10*.

Sensor	Ubicación
Sensor 1	Descarga del compresor
Sensor 2	Salida del condensador
Sensor 3	Entrada al evaporador
Sensor 4	Salida del evaporador
Sensor 5	Aspiración del compresor
Sensor 6	Entrada agua al intercambiador
Sensor 7	Salida agua la intercambiador
Sensor 8	Impulsión agua instalación
Sensor 9	Retorno agua instalación

Tabla 10: Ubicación de los sensores de temperatura.

5.2.1. Ciclo refrigerante

La *grafica 1* nos muestra el funcionamiento real del ciclo de la unidad condensadora (chiller). Al inicio de la grabación la unidad se encontraba a temperaturas ambientales donde se ha podido ver su evolución hasta alcanzar un régimen estable. La duración del ensayo es de 11 horas, siendo cada periodo de 10 segundos.



Grafica 1: Temperaturas del ciclo de la unidad condensadora (chiller).

Se muestra un aumento de temperaturas alrededor de las 5:36:00 horas. Esto se debe a que la toma de datos se realizó por la mañana temprano y el sol no incidía sobre la unidad. A medida que avanzaba el día el sol incidía directamente en la unidad provocando el aumento de temperaturas.

Se observa que el ciclo es estable aunque se producen algunas variaciones en la temperatura de descarga y a la entrada del evaporador. La respuesta a estas variaciones es que la carga térmica aportada al agua es pequeña en comparación con la potencia frigorífica que produce el chiller ya que el solo está conectado un mueble frigorífico a la unidad condensadora de la sala. Por lo que el compresor del chiller no funciona un periodo largo de tiempo.

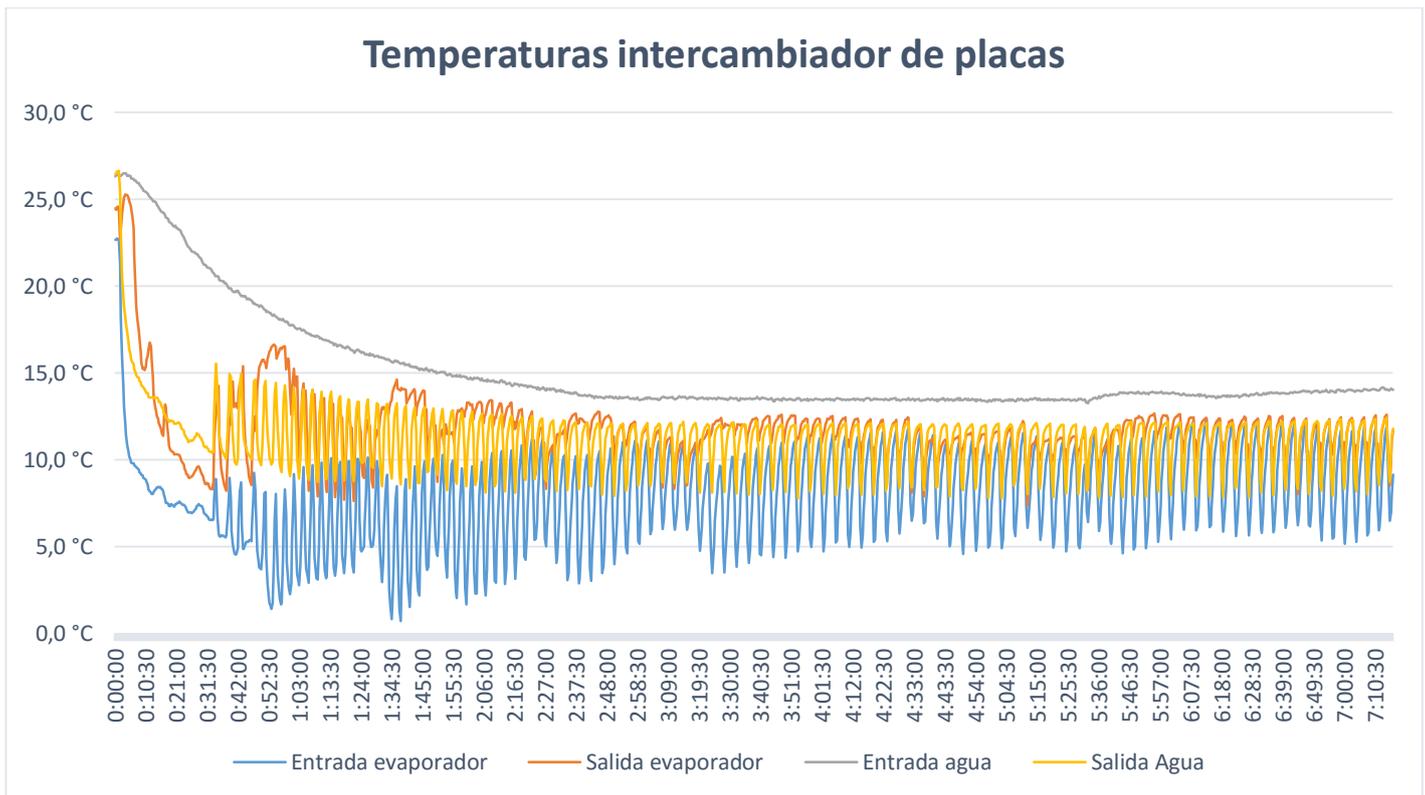
Por tanto, el ciclo real vendrá dado por las temperaturas de servicio indicadas en la *tabla 11*.

	Temperatura (°C)
Descarga del compresor	48,15
Salida del condensador	33,48
Entrada al evaporador	7,89
Salida del evaporador	11,47
Aspiración del compresor	12,66

Tabla 11: Temperaturas del ciclo real.

5.2.2. Intercambiador

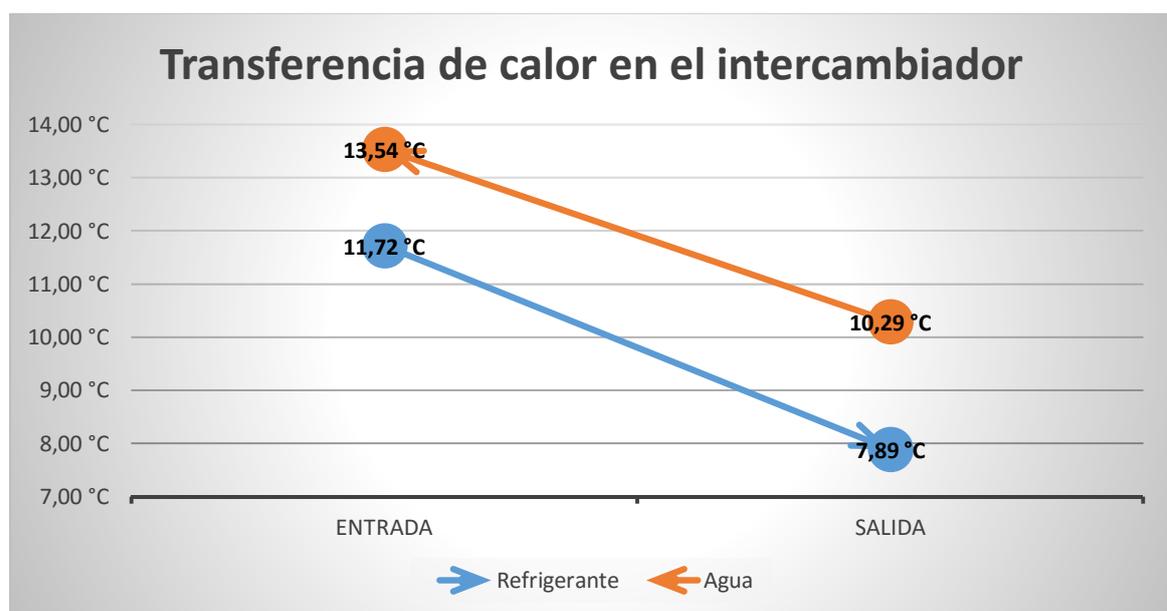
Las temperaturas de entrada y salida del refrigerante y del agua se representan en la siguiente gráfica:



Gráfica 2: Temperaturas del intercambiador de placas.

Como se puede observar la temperatura del agua al interior del depósito esta alrededor de los 13,50 °C en estado estacionario. Cuando el compresor se pone en marcha, la temperatura del agua a la salida del intercambiador oscila entre 8°C y 12°C teniendo un set de paro a 10°C. Esta temperatura puede ser modificada cambiando los parámetros del controlador MPX-PRO.

Una vez el agua ha alcanzado el estado estacionario, se han representado las condiciones de entrada y salida del refrigerante y del agua al intercambiador. Para obtener una mejor eficiencia del intercambiador de placas se ha colocado en contracorriente.



Gráfica 3: Transferencia de calor en el intercambiador.

El salto de temperaturas es inferior al estimado cuando se realizaron los cálculos teóricos. En la *tabla 12* muestra el salto real de temperaturas.

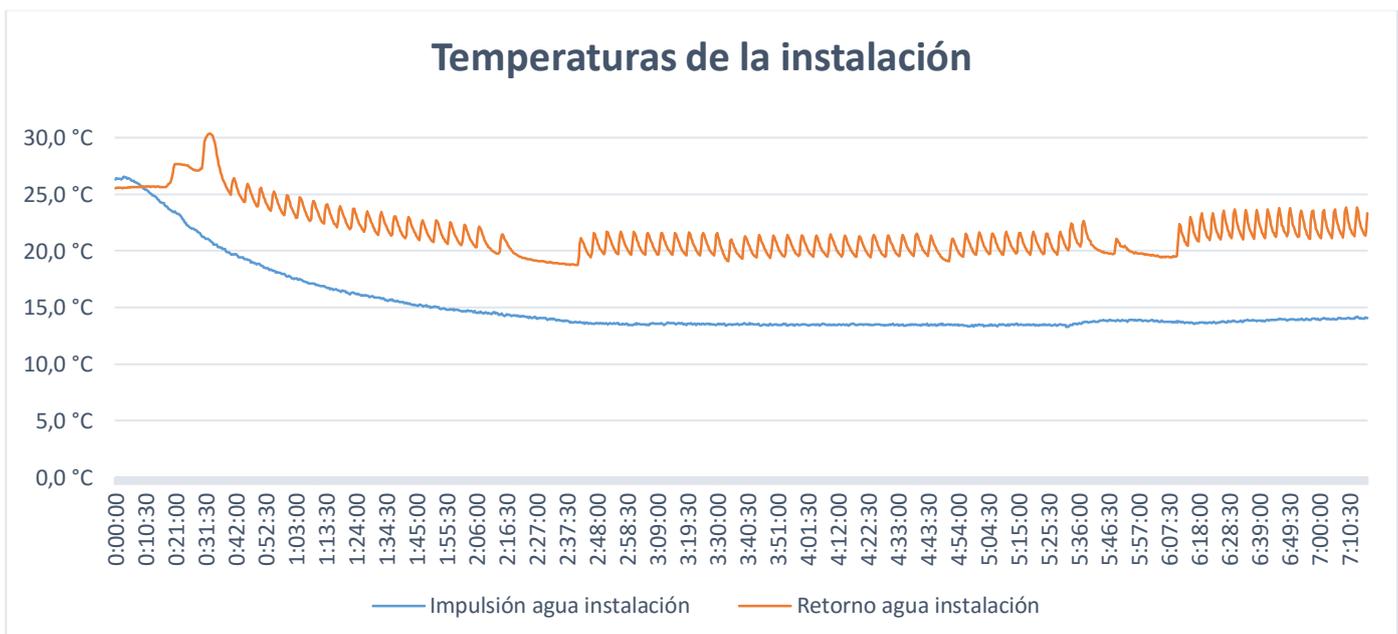
	Entrada [°C]	Salida [°C]	ΔT [°C]
Refrigerante	7,89	11,47	3,58
Agua	13,54	10,29	3,25

Tabla 12: Salto de temperaturas.

5.2.3. Aplicación del agua como fluido secundario

La utilización del agua como fluido secundario favorece la condensación del refrigerante en la unidad condensadora de la sala de ensayos. En la siguiente anterior se muestra la temperatura de impulsión y retorno de la instalación tomada en el grupo hidráulico. Se observa que a las 02:27:00 y 05:57:00 horas el mueble frigorífico se encuentra en modo desescarche parando la unidad condensadora de la sala. Si nos fijamos más detalladamente a las 03:30:00 y a las 04:30:00 horas se produce un pequeño pico en las temperaturas. Se debe a que la unidad condensadora ha parado porque el mueble frigorífico ha llegado a temperatura de servicio ($T_{servicio} = -2^{\circ}\text{C}$). La temperatura desciende debido a que existe un by-pass por donde el agua retorna directamente al depósito sin pasar por el intercambiador de placas.

En el *Anexo III* se incide más sobre el intercambio que se produce y como se regula.



Grafica 4: Temperatura de la instalación de la sala de ensayos.

ANEXO II: Cálculo del grupo hidrónico

ANEXO II: Cálculo del grupo hidrónico.

INDICE DE CONTENIDO:

1.	Introducción	63
2.	Selección de los componentes	64
2.1.	Intercambiador de placas	64
2.2.	Depósito de inercia	65
2.2.1.	Dimensionamiento	65
2.3.	Vaso de expansión	67
2.3.1.	Aspectos generales	67
2.3.2.	Dimensionado	67
2.4.	Bomba de recirculación	69
2.4.1.	Introducción	69
2.4.2.	Dimensionado de la bomba.	70
2.4.3.	Selección	70
3.	Accesorios	72
3.1.	Válvula de corte y servicio	72
3.2.	Flusostato	72
3.3.	Purgador automático	73
3.4.	Válvula de seguridad	73
4.	Cuadro eléctrico	74
4.1.	Componentes	75
4.1.1.	Diferencial	75
4.1.2.	Magnetotérmico	75
4.1.3.	Temporizador	76
4.1.4.	Contactador	76
5.	Tuberías	76
5.1.	Introducción	76

5.2.	Dimensionamiento	77
5.2.1.	Tubería PPR	77
5.2.2.	Tubería de cobre	82
6.	Diseño de la caja exterior	84
6.1.	Componentes	84
6.2.	Ensamblaje	86

INDICE DE FIGURAS:

Figura 1:	Grupo hidrónico.	63
Figura 2:	Esquema hidráulico del grupo hidrónico.	64
Figura 3:	Depósito acumulador.	66
Figura 4:	Características depósito inercia.	66
Figura 5:	Vaso de expansión cerrado	67
Figura 6:	Bomba de recirculación	69
Figura 7:	Curva característica de la bomba PC-1025	71
Figura 8:	Curva característica de la bomba VA35-VS35.	71
Figura 9:	Válvula de servicio.	72
Figura 10:	Filtro de asiento inclinado.	72
Figura 11:	Flusostato	73
Figura 12:	Purgador automático.	73
Figura 13:	Válvula de seguridad.	74
Figura 14:	Cuadro eléctrico.	74
Figura 15:	Valores K_{θ} de diferentes elementos.	80
Figura 16:	Coeficiente de los accesorios de cobre.	82
Figura 17:	Distribución de los elementos.	84
Figura 18:	Conjunto intercambiador y vaso de expansión.	85

INDICE DE TABLAS:

Tabla 1:	Número de parcializaciones del compresor.	65
Tabla 2:	Coeficientes de dilatación.	68
Tabla 3:	Cálculo del vaso de expansión.	68



Tabla 4: Características del temporizador.	76
Tabla 5: Comportamiento del agua en tuberías de PPR.	77
Tabla 6: Series de los tubos PPR.	78
Tabla 7: Tipos de diámetros de PPR.	78
Tabla 8: Datos de la instalación.	81
Tabla 9: Pérdida de carga en la tubería.	81
Tabla 10: Pérdida de carga en los accesorios.	81
Tabla 11: Datos de la instalación.	83
Tabla 12: Pérdida de carga en la tubería.	83
Tabla 13: Pérdida de carga en los accesorios.	83

1. Introducción

El grupo hidrónico es un conjunto compacto que incluye todos los elementos básicos necesarios para la correcta recuperación del calor latente, cedido por el fluido frigorífero a su paso a través del recuperador del calor durante el intercambio térmico con un fluido secundario, en este caso agua de red o desmineralizada. El objetivo de este grupo hidrónico es enfriar y mantener la temperatura del agua para que sea utilizada en los grupos de las unidades condensadoras de las salas de prueba ($T_{\text{servicio}} = 10^{\circ}\text{C}$).



Figura 1: Grupo hidrónico.

Para llevar a cabo el diseño del grupo hidrónico, se efectúa a priori una selección de aquellos componentes básicos que los conforman. En la *figura 2*, se muestra un esquema del principio de funcionamiento del grupo hidrónico.

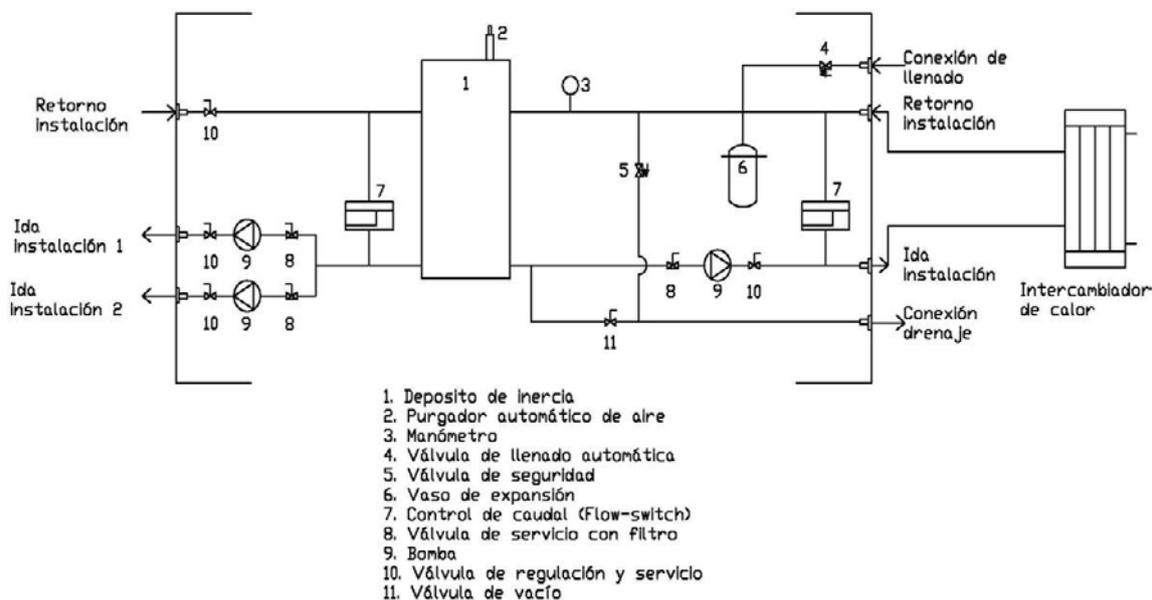


Figura 2: Esquema hidráulico del grupo hidrónico.

El grupo hidrónico consta de un depósito de inercia; un vaso de expansión el cual se emplea para amortiguar las fluctuaciones del fluido debido a los cambios de temperatura y/o presión; un intercambiador de placas que realiza el papel de evaporado; dos controles de caudal para cada circuito; dos válvulas de servicio para cada circuito, una de ellas con filtro de agua, una de vaciado, una válvula de llenado automático, un purgador de aire, una válvula de seguridad con manómetro indicador de la presión y temperatura del fluido secundario.

El sistema de regulación está compuesto por un controlador universal tipo PID, el cual recibe el nombre de MPXPRO. Este tipo de controlador se suele utilizar para controlar los muebles frigoríficos ya que dispone de 7 entradas analógicas para las sondas y 5 entradas digitales configurables por parámetros. Las sondas que se han utilizado en el grupo hidrónico son: la sonda de presión de saturación de evaporación y de temperatura de gas sobrecalentado, necesarias para el controlador del sobrecalentamiento; la sonda de impulsión después del intercambiador y la sonda de aspiración justo antes del flujoestato. Con estas sondas se puede controlar la obertura de la válvula de expansión electrónica y el funcionamiento del compresor.

Todo sistema de control se encuentra localizado en un cuadro eléctrico que incluye un magneto térmico diferencial, un temporizador y las regletas de interconexión a la red eléctrica.

2. Selección de los componentes

En el presente apartado se describen las bases y procedimientos de cálculo seguidos para la selección de cada uno de los componentes que forman parte del conjunto.

2.1. Intercambiador de placas

El intercambiador se ha seleccionado según las necesidades descritas en el *Anexo I*. El modelo seleccionado es B80x30 de la marca SWAP con una potencia de 22,5 kW cuando está dispuesto

como evaporador. Tiene unas dimensiones 526x117x77,2 (alto, ancho y fondo en mm) y un peso de 7,2 kg. Se ha forrado con aislante térmico para evitar que el agua condense sobre él, ya que trabajará a bajas temperaturas.

2.2. Depósito de inercia

La función del depósito de inercia es la de almacenar el fluido secundario (agua) del circuito de refrigeración. Este evitará el continuo funcionamiento del ciclo frigorífico.

2.2.1. Dimensionamiento

La elección del depósito de inercia depende de diferentes factores tales como tipo de instalación, la potencia frigorífica instalada, la demanda de agua de las instalaciones secundarias y del diferencial de temperatura en cada uno de los escalones de parcialización del termostato. Por todo ello, el dimensionamiento del depósito de inercia puede efectuarse de diversas formas:

1. Cálculo para una instalación con máximo 8 etapas de parcialización:

$$V = \frac{P}{24 \times N \times DT} \pm 10\%$$

2. Cálculo para una instalación con más de 8 etapas de parcialización:

$$V = \frac{P}{60 \times N \times DT} \pm 10\%$$

3. Cálculo e proporción a la potencia de la instalación:

V=24 litros cada kW para instalaciones on-off

V=12 litros cada kW para instalaciones de 2 etapas de parcialización

V=8 litros cada kW para instalaciones de 4 etapas de parcialización

donde:

- V: volumen del acumulador, en [litros].
- N: número de escalones de parcialización.
- P: potencia frigorífica, en [frigorías/hora]
- DT: diferencial del termostato de regulación on-off

Según UNE 86609-1985, te exige que, cuando se utilice maquinaria frigorífica de parcialización escalonada cada equipo frigorífico tendrá un número mínimo de escalones indicados en la *tabla 1*.

numero minimo de escalones de parcialización	potencia nominal según UNE 86609 (en kW)	
	en régimen de frio	en régimen de calor
1	50	60
2	160	200
3	340	400
4	650	800
6	1000	1200

Tabla 1: Número de parcializaciones del compresor.

Teniendo en cuenta la potencia del intercambiador de placas es de 22.5kW, tal y como se ha calculado en el Anexo I, decimos que el número mínimo de escalones de parcialización de la central de frio positivo es de 1 escalón.

El volumen del depósito de inercia se ha calculado en proporción a los datos anteriores según el criterio de cálculo número 3. Por tanto, el volumen de agua del depósito será de:

$$V = 24 \times 22.5 = 540 \text{ litros}$$

Según el siguiente distribuidor, LAPESA, se ha seleccionado un depósito de inercia de una capacidad de 600 litros. Esta especialmente diseñado para ser utilizado en circuitos cerrados de refrigeración y/o circuitos cerrados de calefacción. Su aislamiento térmico sobredimensionado en poliuretano rígido inyectado en molde, mantiene la temperatura del agua durante largos periodos de tiempo. Además lleva un forro externo acolchado en PVC que aumenta levemente su aislamiento.



Figura 3: Depósito acumulador.

Las características del depósito seleccionado se muestran en la figura 4

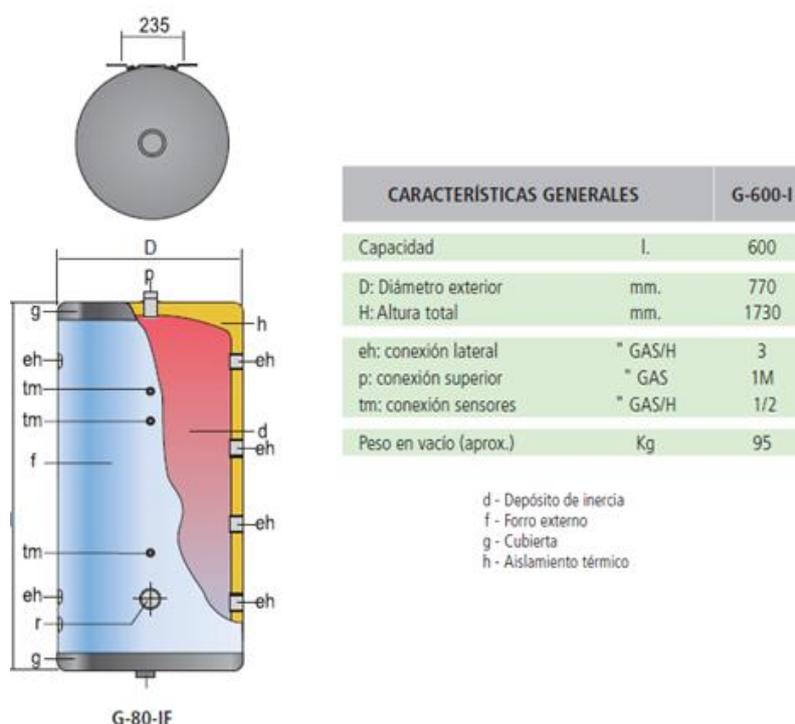


Figura 4: Características depósito inercia.

2.3. Vaso de expansión

2.3.1. Aspectos generales

Los vasos de expansión se destinan a las instalaciones de transferencia de agua potable fría y caliente. Permiten la absorción del aumento del volumen que es consecuencia del calentamiento del agua, evitando el incremento de la presión. En los márgenes de temperatura que habitualmente se producen en los circuitos de climatización (entre 10°C y 90°C) esa expansión es aproximadamente de un 4% del volumen total de la instalación, lo que significa que la capacidad de los vasos debe ser de este orden sobre el volumen total del contenido en todo el circuito.

Básicamente existen dos tipos de vasos de expansión:

- Vaso de expansión abierto

Es un recipiente que debe de estar colocado en la parte más alta de la instalación. Es importante que el agua contenida en este depósito tenga el menor contacto posible con el aire, puesto que si se oxigena ayudaría a la oxidación de los componentes de la instalación al reintroducirse.

- Vaso de expansión cerrado

Normalmente está formado por dos zonas: una en contacto con el circuito primario de calefacción y por tanto llena de agua y una segunda zona llena de aire o gas nitrógeno en su caso. Estas zonas están separadas por una membrana impermeable. Cuando el agua se expande, aumentando de volumen, la membrana cede comprimiendo el aire y logrando una presión de funcionamiento estable. Este tipo de vaso produce una sobrepresión en el circuito, cuestión que debe de estar prevista para que no dañe sus componentes.

En este proyecto se ha seleccionado el vaso de expansión de tipo cerrado.



Figura 5: Vaso de expansión cerrado

2.3.2. Dimensionado

Según la norma UNE 100-155-88, para la determinación del volumen del vaso de expansión es necesario conocer el volumen de agua dilatada por efecto del calor que se producirá en el circuito cerrado y el rango de presiones de trabajo de mismo. Así pues, el volumen mínimo del vaso de expansión necesario en la instalación, se obtiene:

$$Vu = \frac{Va \times Vn}{Fp}$$

- Vu: Volumen mínimo necesario del vaso de expansión, en [litros];

- Va: Volumen del contenido de agua en el acumulador, en [litros];
- Vn: coeficiente de dilatación, en [litros]
- Fp: Factor de presión, se expresa como:

$$Fp = \frac{\text{Presión final Alta} - \text{Presión de la red Alta}}{\text{Presión final alta}}$$

El coeficiente de dilatación, es un valor tabulado, cuyos valores se pueden obtener en función de la temperatura media de trabajo en el circuito a partir de la *tabla 2*.

TABLA COEFICIENTES DILATACIÓN			
T(°C)	Vn	T(°C)	Vn
10	0,0004	75	0,0256
20	0,0018	80	0,0288
30	0,0044	85	0,0322
40	0,0079	90	0,0357
50	0,0119	95	0,0394
55	0,0143	100	0,0431
60	0,0169	105	0,0472
65	0,0196	110	0,0513
70	0,0225		

Tabla 2: Coeficientes de dilatación.

En la *tabla 3*, se muestran los valores obtenidos en el cálculo del vaso de expansión.

PARÁMETROS CÁLCULO VASO EXPANSIÓN		
Presión tarado válvula seguridad	3	bar
Presión del agua de red	1,5	bar
Temperatura media del agua ¹	30	°C
Coeficiente de dilatación	0,0044	-
Contenido del acumulador	600	litros
Factor de presión	0,375	-
Volumen total VASO EXPANSIÓN	7,04	litros

Tabla 3: Cálculo del vaso de expansión.

En base a los cálculos realizados, se ha seleccionado un vaso de 8 litros, del catálogo de **PECOMARK**. Este modelo es el más próximo al cálculo efectuado, ver tabla 3.

La presión de trabajado de nuestro vaso de expansión es de 1,5 bar, ya que en nuestra instalación está a 1,8 bar. De esta forma las variaciones por temperatura serán captadas por el vaso.

¹ Para refrigeración se adoptará que la temperatura media del agua es la temperatura que puede alcanzar el agua cuando la maquina esta parada. En este caso, como la instalación está situada a la intemperie supondrá que la máxima temperatura será 30°C

2.4. Bomba de recirculación

2.4.1. Introducción

Las bombas son dispositivos mecánicos empleados para el transporte de líquidos por las redes de tuberías. Este apartado se centra en las bombas empleadas en los circuitos cerrados de la instalación.

El transporte del fluido en esta instalación se realiza con el objeto de transportar energía entre los distintos elementos de la instalación. Se trata de una aplicación donde lo que se pretende es transportar energía y no transportar agua (como ocurre en instalaciones de abastecimiento de agua).

Por tanto, la energía de bombeo se emplea únicamente para vencer pérdidas hidráulicas. El correcto diseño de los circuitos, así como la selección de la bomba más adecuada, afecta de forma muy importante al consumo energético.

En circuitos cerrados se emplean generalmente bombas rotodinámicas accionadas mediante un motor eléctrico. Las bombas absorben energía eléctrica de la red y proporcionan energía al fluido.

El motor eléctrico mueve el rodete a su velocidad de giro comunicándole su potencia. El rodete está provisto de álabes que forman unos canales de forma que producen a la salida del flujo una velocidad en dirección tangencial elevada. Se produce un cambio de momento cinético del flujo entre la entrada y la salida del rotor, debido a una transmisión de par rodete-fluido y por tanto a un intercambio de energía rodete-fluido.

La experiencia práctica ha llevado a la existencia de distintos tipos de bombas diseñadas específicamente para aplicaciones concretas. De hecho, la mayoría de fabricantes siguen esta clasificación. En cuanto a aplicaciones para sistemas de aire acondicionado, calefacción, ACS y energía solar, las bombas generalmente empleadas, ordenadas de menor a mayor potencia son:

- Bombas circuladoras.
- Bombas compactas o monobloc.
- Bombas de bancada u horizontales.
- Bombas de rotor húmedo.
- Bombas de rotor seco.

Para nuestra instalación se ha seleccionado una bomba de tipo circuladora con el rotor húmedo. Esta bomba está diseñada para la recirculación de agua fría o caliente en los sistemas de climatización y agua caliente sanitaria. Se trata de bombas de rotor húmedo donde el propio líquido refrigera el motor.



Figura 6: Bomba de recirculación.

2.4.2. Dimensionado de la bomba.

La elección de la bomba vendrá impuesta por el caudal circulante en la instalación y las pérdidas energéticas a superar. Como se ha comentado anteriormente, la altura manométrica, no es un parámetro restrictivo en la elección de la bomba.

El caudal trasegado por la bomba vendrá impuesto por la potencia a disipar en cada intercambiador o punto de demanda y el salto de temperaturas del fluido. Se define como bomba A aquella que recircula el agua del depósito y pasa por el intercambiador y bomba B aquella que recircula el agua de la unidad condensadora de la sala de ensayos.

Para el cálculo de la bomba A se ha determinado la potencia absorbida por el refrigerante calculada anteriormente en el *Anexo I*, siendo de 22,272 kW. Para el cálculo de la bomba B se ha determinado la potencia a extraer del refrigerante calculado anteriormente en el *Anexo III*, siendo de 4,38 kW. Si empleamos como criterio de diseño un salto de temperaturas del fluido de 5 °C, la bomba tendrá que suministrar:

$$\dot{m}_1 = \frac{P_1}{c_p \Delta T} = 3656,60 \text{ [l/h]}$$

$$\dot{m}_2 = \frac{P_2}{c_p \Delta T} = 720 \text{ [l/h]}$$

donde:

- \dot{m} : caudal másico de agua trasegado por la bomba en [kg/s]
- C_p : Calor específico del agua [KJ/Kg °C]
- ΔT : Salto de temperatura del agua [°C]
- P : Potencia térmica absorbida por el refrigerante [KW]

En circuitos de recirculación cerrados la energía mecánica proporcionada por la bomba se destina únicamente a vencer las pérdidas. Nuestro punto de funcionamiento vendrá dado por el cálculo de las pérdidas del circuito, que serán función de:

- Pérdidas principales, debidas al contacto entre fluido y tubería.
- Pérdidas localizadas, debidas a elementos singulares.

En el presente anexo se han calculado las pérdidas de carga totales hasta el punto más alejado de la instalación. De esta manera, para la bomba A se necesita vencer 0,9 mca y para la bomba B 2,5 mca.

En la instalación objeto del proyecto, las bombas de impulsión se encuentran al mismo nivel que el depósito por tanto se cumple la condición para evitar la existencia de cavitación.

2.4.3. Selección

Las bombas seleccionadas han sido elegidas tras calcular el punto de funcionamiento y que este estuviera dentro de la curva característica de la bomba.

Para abaratar costes en el proyecto, se ha decidido instalar unas bombas de recirculación que se encontraban en desuso en el laboratorio. Estas son de tipo horizontal recirculatorias, construidas con acero inoxidable templado y con alimentación eléctrica monofásica a 230 V. Para su conexión a la red, no se requiere ninguna protección contra las sobrecargas ya que trabajan a intensidades bajas. Además disponen de un regulador de velocidad.

Las tres bombas seleccionadas son:

- Bomba recirculatoria BAXIROCA PC-1025

Esta bomba transportara el agua del circuito A. Como se puede ver en la figura 7, nuestro punto de funcionamiento está dentro de la curva.

PC-1025



Figura 7: Curva característica de la bomba PC-1025

- Bomba recirculatoria DAB VS 35/150 y DAB VA 35/180

Las bombas seleccionadas para el circuito B son prácticamente iguales, la única diferencia es que una se suele utilizar para agua sanitaria caliente y la otra para agua fría. No existe ningún inconveniente en su uso para agua fría. La curva característica de la bomba es la misma y nuestro punto de funcionamiento se encuentra dentro.

VA 35 - VS 35

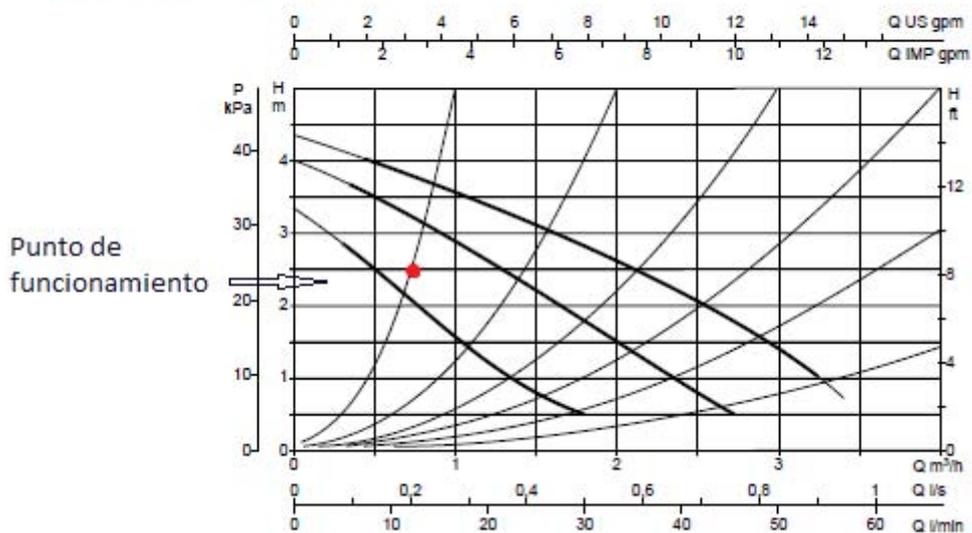


Figura 8: Curva característica de la bomba VA35-VS35.

3. Accesorios

Se instalarán válvulas de corte en la entrada y salida de cada elemento con el fin de poder aislar el circuito en el caso de realizar labores de reparación y/o mantenimiento.

Las válvulas se ajustarán en tipo, características, diámetro nominal (DN), presión nominal (PN) y presión de prueba a las adecuadas para un perfecto servicio en las condiciones de trabajo que se hayan de someter.

3.1. Válvula de corte y servicio

El grupo hidráulico incorpora diferentes válvulas de servicio. Estas son de tipo esfera, estampadas en una aleación de latón y con una palanca de accionamiento a 90°.



Figura 9: Válvula de servicio.

Este tipo de válvulas no ofrecen una regulación precisa al ser de $\frac{1}{4}$ de vuelta. Su ventaja es que la bola perforada permite la circulación directa en la posición abierta con una pérdida de carga bastante más reducida que las de asiento, y cuando gira la maneta se cierra el conducto. De esta forma es posible efectuar tareas de reparación y/o sustitución de elementos sin que sea necesario el vaciado del circuito. La válvula del lado de aspiración está equipada con un filtro de acero inoxidable AISI 304 de fácil extracción y servicio, el cual tiene como objeto evitar el paso de elementos extraños al interior del cuerpo de la bomba.



Figura 10: Filtro de asiento inclinado.

La válvula de llenado y vaciado se sitúan en el fondo del sistema de tuberías colocadas en un área practicable y accesible. Estas son de unas dimensiones más pequeñas que las de servicio de las bombas.

3.2. Flusostato

Este elemento mide, regula y controla el flujo del líquido en las tuberías. Su precisión y fiabilidad hacen de él la mejor opción para el control de bombas de recirculación.

Actúa mediante una paleta flexible movida por el flujo que opera como la palanca de accionamiento de un microinterruptor de conmutación SPDT. Si no hay un caudal de agua suficiente a través del circuito no permite el funcionamiento del circuito de frío. De esta forma se consigue resguardar el intercambiador de placas de congelación de líquido.



Figura 11: Flusostato

3.3. Purgador automático

Son dispositivos que se instalan para controlar de forma automática la presencia de aire en las conducciones. Estará situado en el testero superior del circuito de inercia y en los puntos más altos de las tuberías de recirculación. El funcionamiento es muy simple y se basa en el principio de flote de los cuerpos inmersos en un fluido. Cuando en el cuerpo de la válvula no existe acumulación de aire el flotador sube, cerrando el obturador. El descenso del flotador, causado por la acumulación de aire, produce la abertura del obturador y la consiguiente descarga de aire, que persiste hasta restablecer las condiciones iniciales.



Figura 12: Purgador automático.

3.4. Válvula de seguridad

Este tipo de válvula está diseñada para aliviar la presión cuando un fluido supera un límite preestablecido (presión de tarado = 3 bar), además sirve como protección para el circuito hidráulico. El mecanismo de alivio consiste en un tapón que mantiene cerrado el escape. Un resorte calibrado mantiene este tapón en posición evitando que el fluido se escape del contenedor o tubería. Cuando la presión interna del fluido supera la presión de tarado del resorte el tapón cede y el fluido sale por el escape. Una vez que la presión interna disminuye el tapón regresa a su posición original. En la conexión de drenaje se ha colocado un visor para comprobar si la válvula fuga.



Figura 13: Válvula de seguridad.

4. Cuadro eléctrico

El cuadro eléctrico, situado en la parte delantera del grupo hidrónico, es el elemento que recoge todos los interruptores que regulan y controlan la electricidad del grupo y su distribución. Está compuesto por un diferencial, un magnetotérmico de maniobra, un contactor, dos temporizadores y el control MPX-PRO, además cuenta con un display y dos pilotos de marcha visibles desde el exterior. Todo esto está fijado mediante un carril DIN adecuado a la normativa vigente.



Figura 14: Cuadro eléctrico.

El conexionado hidráulico y eléctrico del grupo hidrónico con la unidad condensadora y con el circuito hidráulico, deberá realizarse según el esquema mostrado en el *plano eléctrico 1*.

Existen dos circuitos eléctricos completamente diferenciados. Uno controla la unidad condensadora y el otro el grupo hidrónico, entrelazados entre sí mediante la excitación de un contactor. Este contactor se activa cuando la temperatura del agua a la salida del intercambiador de placas no ha alcanzado la temperatura establecida por el controlador, es decir, cuando tenemos una demanda de producción de frío. Una vez llega a temperatura se desactiva, haciendo parar al compresor.

La bomba que recircula/enfría agua del depósito al depósito pasando por el intercambiador se activa mediante un temporizador y un flujoestato. Esta bomba nunca debe parar, ya que podría generar problemas de congelación en el intercambiador. Una vez se pone en marcha la instalación, la bomba se alimenta unos segundos a través del temporizador generando paso de caudal y activando el flusostato. Posteriormente la bomba queda alimentada mediante el

flusostato. Para activar la bomba en caso de que se haya parado, el temporizador se activa cada vez que el compresor se pone en marcha.

Las bombas de recirculación de demanda de agua fría se controlan de manera muy similar. Estas tienen un interruptor de marcha/paro. Cuando el interruptor se activa, se pone en marcha el temporizador y consecutivamente el flusostato.

4.1. Componentes

A continuación se describen cada uno de los elementos que forman el cuadro eléctrico del grupo hidráulico, así como su criterio de selección.

4.1.1. Diferencial

El diferencial es un dispositivo de protección sensible a las corrientes diferenciales residuales ($I\Delta$), llamadas así por ser la diferencia entre todas las corrientes entrantes y salientes de la instalación receptora. Protegen de contactos indirectos y riesgo de incendio. Para una instalación de nuestras características se utilizan los interruptores diferenciales 25A-IV-30mA.

4.1.2. Magnetotérmico

Es un aparato utilizado para la protección de los circuitos eléctricos, contra cortocircuitos y sobrecargas. Cuando desconectan el circuito debido a una sobrecarga o un cortocircuito, se rearmen de nuevo y siguen funcionando.

Su funcionamiento se basa en un elemento térmico, formado por una lámina bimetálica que se deforma al pasar por la misma una corriente durante cierto tiempo, para cuyas magnitudes está dimensionado (sobrecarga) y un elemento magnético, formado por una bobina cuyo núcleo atrae un elemento que abre el circuito al pasar por dicha bobina una corriente de valor definido (cortocircuito)

Teniendo en cuenta que la instalación dispone de un control MPX PRO que presenta un consumo de 0,4 A, y 3 bombas de recirculación que cada una de ellas presenta un consumo de 0,92 A, según las hojas de características de los mismos, se tiene que la intensidad nominal de la línea será de:

$$I_b = 3,16 \text{ A}$$

La intensidad máxima admisible en el conductor con una sección de 1,5 mm² y un número total de 2 conductores se rige según la norma UNE 20-460-5-523. El cable está aislado con polietileno reticulado tolerable hasta 90°C.

$$I_z = 24 \text{ A}$$

Por lo que el valor de la corriente nominal del magnetotérmico elegido (según la curva C) tendrá que encontrarse entre:

$$I_b < I_n < I_z$$

donde:

- I_b : Intensidad de empleo o utilización, intensidad calculada de consumo de la instalación, en [A];
- I_z : Intensidad máxima admisible, en [A];
- I_n : Intensidad nominal del terminal de protección, en [A].

Siendo el magnetotérmico elegido el modelo BKN C20 de LG.

4.1.3. Temporizador

Es un dispositivo, con frecuencia programable, que permite medir el tiempo. Estos elementos nos alimentan las bombas de recirculación unos 10 segundos nada más arrancar la instalación para generar una corriente de agua y se active el flusostato.

El modelo utilizado es 80.01, un temporizador multifunción de la marca Finder. La configuración queda de la siguiente manera:

Temporizador 80,01 Finder	
Selector de tiempo	D1 (intervalo)
Regulación del retardo	10 segundos
Conexiones de excitación	A1 ; A2
Conexiones temporizadas	15 ; 18

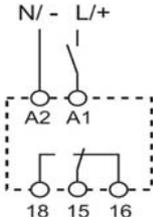


Tabla 4: Características del temporizador.

4.1.4. Contactor

El contactor es un aparato electromagnético diseñado de tal forma que, al recibir corriente de la bobina del contactor, cierra los contactos del mismo, estableciendo una continuidad entre la entrada y la salida de los contactos auxiliares de que dispone. Permite el paro y puesta en marcha de la instalación.

5. Tuberías

5.1. Introducción

Una tubería es un conducto que cumple la función de transportar agua u otros fluidos. Podemos dividir las tuberías en tres grandes grupos, termoplásticos, cobre y polietileno. Los termoplásticos son los más versátiles, el cobre es el más usado y robusto y el polietileno es mejor para pequeñas instalaciones de agua fría y exterior. A la hora de la elección tenemos que tener en cuenta el tipo de dificultad para la unión entre tuberías y herramientas necesarias para dicha unión. Usualmente el cobre y el polietileno son los usados en industria. A continuación se detalla más cada material.

- Cobre

Tubería convencional para instalaciones interiores de suministro de agua, fría y caliente, así como de calefacción y refrigeración. El cobre es muy resistente. Al ser tubos rígidos, es necesaria una cantidad elevada de accesorios para su instalación. Los accesorios necesarios para las instalaciones de este tipo de producto son también de cobre o de latón y para la unión de estos con los tubos es necesario un soldador y estaño, lo que hace que la instalación sea algo más técnica. Existen accesorios para la unión en los que sólo es necesaria una presión manual.

- Polipropileno

En los últimos años se han ido asentando en el sector de las instalaciones diversos sistemas de tuberías plásticas para las líneas de agua fría, A.C.S., calefacción y climatización. Entre estos sistemas se encuentran las tuberías y accesorios Niron de polipropileno PPR, con unas características propias que son idóneas para este tipo de instalaciones.

El PPR es un termoplástico que es obtenido por la polimerización de propileno, subproducto gaseoso de la refinación de petróleo, en presencia de un catalizador, bajo un cuidadoso control de temperatura y presión.

Entre sus propiedades mecánicas destacan sus valores de rigidez, dureza y resistencia. Además, es más resistente a temperaturas elevadas (hasta 90° C) respecto a otros materiales plásticos. También cabe destacar que, en su estructura interna, sólo están presentes átomos de carbono e hidrógeno, no existiendo cloro u otros halógenos que pudiesen generar una controversia medioambiental con su uso, como ocurre con el PVC.

Sus paredes lisas impiden la sedimentación en su interior y es muy resistente tanto a la corrosión como a las agresiones de productos químicos. Al ser tubos rígidos o semirrígidos, es necesaria una cantidad importante de accesorios para su instalación a la vez que es necesario un buen aprendizaje para su instalación.

5.2. Dimensionamiento

El grupo hidrónico consta de dos circuitos de recirculación. Como se ha comentado anteriormente, uno es la recirculación del agua del depósito por el intercambiador (A) y el otro es la recirculación de los puntos de demanda (B). El circuito A se ha diseñado para llevarse a cabo con tubería de cobre y el circuito B con polipropileno. Esta elección se debe a que en el circuito A se ubican sondas de temperatura y varios accesorios de latón, por lo que la transmisión de temperatura será más efectiva que en el polipropileno siendo su montaje más sencillo.

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) indica que las normas UNE son la base para determinar la idoneidad de un producto en una instalación de A.C.S o climatización. Hacemos referencia a UNE-EN ISO 15874-2004.

5.2.1. Tubería PPR

Pautas para el dimensionamiento.

5.2.1.1. Fluido que transporta

El PPR permite transportar una gran diversidad de producto. Se debe comprobar consultando con el fabricante, en el diseño de la instalación, la compatibilidad del fluido con la tubería de PPR. En la *tabla 5* se indica el comportamiento de la tubería de PPR frente algunos fluidos.

Fluido	Conc.	Temperatura (°C)			
		0	20	60	100
Agua clorificada	Sol. Sat	+	+	-	
Agua destilada	100	-	0	+	+
Agua potable		+	+	+	+
Agua salobre		+	+	+	+
Agua oxigenada	10	0	+	+	
Agua glicolada	40	+	+	+	

Tabla 5: Comportamiento del agua en tuberías de PPR.

Símbolos: + = Muy resistente

0 = Relativamente resistente

- = No resistente

SOL. SAT = Solución saturada

La instalación contiene agua potable, por lo que el uso de tubería PPR es adecuada. En caso de que se sustituyera el agua por agua glicolada, las tuberías de PPR servirían.

5.2.1.2. Temperatura y presión de funcionamiento

Existen 4 series de tuberías. Coexisten distintas denominaciones, que se indican en la *tabla 6*.

DENOMINACIÓN SERIES			
PN	S	SDR	Aplicaciones
PN10	5	11	Climatización, industria
PN16	3,2	7,4	Agua fría
PN20	2,5	6	Agua caliente sanitaria
PN25	2	5	Aplicaciones especiales

Tabla 6: Series de los tubos PPR.

La elección de una serie u otra dependerá de la temperatura y presión a la que funcionará la instalación. A mayor presión y temperatura se requerirá mayor espesor de pared para asegurar la duración deseada de la instalación. Para la instalación en concreto, la presión y temperatura máxima es de 3 bar y 40°C respectivamente. Por lo tanto, la tubería de PPR será de la serie PN16.

5.2.1.3. Ubicación de la instalación

Todas las tuberías plásticas son atacadas en mayor o menor medida por los rayos U.V.A., aun añadiendo al polímero estabilizadores frente a los rayos ultravioleta. Por tanto, en las instalaciones en exterior, la tubería deberá estar protegida por una coquilla aislante. En los tramos de interior también se ha protegido con coquilla aislante debido a la condensación de agua.

5.2.1.4. Caudal a transportar

El caudal a transportar por la tubería nos determinará el diámetro de la misma. Es importante recordar que las tuberías plásticas siempre se denominan por el diámetro exterior, y que el diámetro interior estará determinado por la serie que hayamos escogido. En la *tabla 7* se muestran los tipos de tubo que disponemos en el laboratorio.

Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	
	PN16	PN20
32	23,2	21,2
40	29	26,6

Tabla 7: Tipos de diámetros de PPR.

A partir del diámetro interior y del caudal se puede calcular la velocidad de paso. La velocidad de paso es un parámetro a fijar dependiendo normalmente del punto de la instalación. El rango de velocidades se suele situar entre 0,5 y 3,5 m/s para tuberías plásticas.

Determinamos el diámetro interior para una velocidad mínima de 0,5 m/s y un caudal de 0,22 Kg/s, calculado en el *Anexo III*.

$$D_{int} = \sqrt{\frac{4 Q}{\pi v}} = 23,69 \text{ mm}$$

Donde:

- Q: caudal de agua transportado [m³/s]
- V: velocidad del fluido [m²/s]

Si el diámetro interior es inferior a 23,69 mm la velocidad del fluido será superior a 0,5 m/s. Por tanto, la tubería de PPR será de PN 16 con un diámetro exterior de 32 mm.

5.2.1.5. Pérdida de carga

La pérdida de carga es la pérdida de presión en un fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce. Las pérdidas pueden ser continuas, a lo largo de conductos regulares, o accidentales o localizadas, debido a circunstancias particulares, como un estrechamiento, un cambio de dirección, la presencia de una válvula, etc. Las pérdidas totales vienen dadas por la suma de las pérdidas en tuberías y pérdidas en accesorios:

$$H_L = H_{L,tub} + H_{L,acc} \text{ [mca]}$$

- Pérdidas continuas

Las pérdidas de presión en las tuberías (pérdidas primarias) se determinan mediante:

$$H_{L,tub} = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \text{ [mca]}$$

Siendo f el factor de fricción de Darcy. Se trata de un número adimensional, cuya determinación es generalmente experimental. Para tuberías lisas se puede emplear la ecuación de Blasius:

$$f = 0,316 Re^{-0,25}$$

El número de Reynolds viene dado por:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

donde:

- ρ : densidad del fluido [Kg/m³]
- v : velocidad del fluido [m/s]
- μ : viscosidad dinámica del fluido [Pa s]
- D: diámetro interior del tubo [m]
- L: longitud de la tubería [m]

- Pérdidas localizadas

Las pérdidas de presión en los accesorios se suelen determinar proporcionalmente a la energía cinética del flujo.

$$H_{L,acc} = \kappa_o \frac{v^2}{2g} \text{ [mca]}$$

Donde:

- κ_o : coeficiente determinado en forma empírica para cada tipo de punto singular
- v : velocidad media del agua, antes o después del punto singular [m/s]

La siguiente figura muestra algunos de los valores de κ_o para diferentes tipos de puntos singulares:

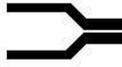
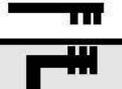
No.	Tipo de accesorio	Símbolo	Coefficiente resistencia - R -
1	Unión normal		0.55
2	Buje reducción		0.55
3	Buje reducción		0.85
4	Codo 90o		2.00
5	Codo 45o		0.60
6	Tee normal		1.80
7	Tee reducción		3.60
8	Tee normal		1.30
9	Tee Reducción		2.60
10	Tee normal		4.20
11	Tee reducción		9.00
12	Tee normal		2.20
13	Tee reducción		5.00
14	Tee rosca metálica		0.80
15	Tubo macho o hembra		0.40
16	Codo rosca metálica		2.20

Figura 15: Valores κ_o de diferentes elementos.

² Datos extraídos de la norma UNE-EN ISO 15874

Cálculo

En la *tabla 8* se muestra los datos de partida para calcular la pérdida de carga total. Para realizar estos cálculos se han utilizados las ecuaciones previamente dichas.

Parámetro	Valor	Unidad
Q	0,000220579	[m ³ /s]
Dinterior	0,0212	[m]
Velocidad	0,62489	[m/s]
Longitud	40	[m]
Gravedad	9,81	[m ² /s]
Temperatura	10	[°C]
Densidad	999,7	[Kg/m ³]
Calor específico	4,1921	[KJ/Kg K]
Viscosidad	0,001307	[Pa s]

Tabla 8: Datos de la instalación.

La pérdida de carga en las tuberías es de 1,24 metros de columna de agua. En la *tabla 9* se muestran los valores calculados y la pérdida generada.

Parámetro	Valor	Unidad
Re	10132,85779	[adimensional]
f	0,033	[adimensional]
H, tubería	1,23920	[mca]

Tabla 9: Pérdida de carga en la tubería.

Se ha calculado la pérdida de cada elemento de la instalación. En la *tabla 10* se muestra la pérdida de cada uno de ellos y la pérdida total localizada generada.

	Cantidad	H, accesorio	Coef. de reducción
Codo 90°	14	0,55727	2
Codo 45°	4	0,04777	0,6
Unión normal	12	0,13136	0,55
TE normal	4	0,14330	1,8
TE reducida	2	0,14330	3,6
Tubo rosca	8	0,06369	0,4
Válvula bola	10	0,15922	0,8

H, accesorios	1,24589 [mca]
---------------	----------------------

Tabla 10: Pérdida de carga en los accesorios.

La carga total generada entre las tuberías y sus elementos en los tubos de PPR es de 2,48509 metros columna de agua.

5.2.2. Tubería de cobre

Para el dimensionamiento de las tuberías de cobre seguiremos las pautas según la norma UNE-EN 1 057:1996.

El fluido utilizado es agua a una temperatura de 10°C. Las tuberías de cobre no tienen ningún inconveniente con nuestra demanda ya que no es un fluido químico ni trabaja a altas temperaturas. Debemos recubrirlo con coquilla ya que trabaja a bajas temperaturas y la condensación de agua es muy probable. Para calcular el caudal máximo fijaremos la velocidad del fluido. El rango de velocidades se suele situar entre 0,5 y 2,5 m/s para tuberías de cobre.

Determinamos el diámetro interior para una velocidad máxima de 2,5 m/s y un caudal de 1,02 Kg/s, calculado en el *Anexo I*. Para ello utilizamos la fórmula X y obtenemos:

$$D_{int} = 22,79 \text{ mm}$$

Si el diámetro interior es mayor a 22,79 mm la velocidad del fluido será inferior a 2,5 m/s. Por tanto, la tubería de cobre será de 1 pulgada, es decir, 25,4mm. Si colocamos un diámetro menor, aumentaremos la velocidad y el ruido ya que se transporta un caudal elevado.

5.2.2.1. Pérdida de carga

La pérdida de carga se calcula de la misma manera que para los tubos de PPR. Sin embargo, para las pérdidas localizadas, el coeficiente de reducción es diferente. El nuevo coeficiente viene dado por la *figura 16*.

Manguitos rectos	0			
Desviaciones en S	0,5			
Curvas a 90° r/d = 1,5	0,5			
Curvas a 90° r/d = 2,5	0,3			
T en ángulo recto				
Derivación (flujo divergente)	1,5			
Derivación (flujo convergente)	1,0			
Paso directo (c/flujo divergente)	0			
Paso directo (c/flujo convergente)	0,5			
Flujos opuestos	3,0			
T oblicua con flujo equidireccional				
Derivación (flujo divergente)	0,5			
Derivación (flujo convergente)	0,5			
Paso directo (c/flujo divergente)	0			
Paso directo (c/flujo convergente)	0			
Radiadores	2,5	-		
Calderas	2,5	-		
Depósitos	2,5	-		
Denominación	Diámetro nominal mm			
	10-18	22-28	35-42	más de 50
Codos	2,0	1,5	1,0	1,0
Llave de cierre				
Compuerta	1,0	0,5	0,3	0,3
Asiento inclinado	3,5	3,0	2,5	2,0
Paso angular	10	7	5	4
Flujo dirigido	1,5	1,0	0,5	0,5
Llaves de regulación de los radiadores				
Reglaje doble, paso recto	8,5	6	5	4
Reglaje doble, paso escuadra	4	2	2	-
Reglaje simple, paso recto	1,5	1,0	1,0	-
Reglaje simple, paso escuadra	4,0	2,0	-	-

Valores según: H. Rietschel, W. Raiss "Tratado de calefacción y ventilación".

Figura 16: Coeficiente de los accesorios de cobre.

5.2.2.2. Cálculo

En la *tabla 11* se muestra los datos de partida para calcular la pérdida de carga total. Para realizar estos cálculos se han utilizados las ecuaciones previamente dichas.

Parámetro	Valor	Unidad
Q	0,00102	[m ³ /s]
D _{interior}	0,0254	[m]
Velocidad	2,012991039	[m/s]
Longitud	1	[m]
Gravedad	9,81	[m ² /s]
Temperatura	10	[°C]
Densidad	999,7	[Kg/m ³]
Calor específico	4,1921	[KJ/Kg K]
Viscosidad	0,001307	[Pa s]

Tabla 11: Datos de la instalación.

La pérdida de carga en las tuberías es de 0,182 metros de columna de agua. En la *tabla 12* se muestran los valores calculados y la pérdida generada.

Parámetro	Valor	Unidad
Re	39108,36526	[adimensional]
f	0,022470859	[adimensional]
H, tubería	0,182713497	[mca]

Tabla 12: Pérdida de carga en la tubería.

Se ha calculado la pérdida de cada elemento de la instalación. En la *tabla 13* se muestra la pérdida de cada uno de ellos y la pérdida total localizada generada.

	Cantidad	H, accesorio	Coef. de reducción
Codos 90°	4	0,20653	0,3
Manguitos	20	0,00000	0
Depósito	1	0,12392	2,5
TE paso directo	3	0,00000	0
Intercambiador	1	0,20653	1
Valvula bola	4	0,16522	0,5

H, accesorios	0,70220 [mca]
---------------	---------------

Tabla 13: Pérdida de carga en los accesorios.

La carga total generada entre las tuberías y sus elementos en los tubos de PPR es de 0,884 metros columna de agua.

6. Diseño de la caja exterior

La conservación de los elementos que constituyen el grupo hidrónico es muy importante ya que con el paso del tiempo se van deteriorando. El grupo hidrónico se sitúa debajo de un porche a la intemperie, aun así los rayos de sol y la lluvia pueden incidir sobre él.

Para ello se ha diseñado una especie de caja de acero galvanizado pintado de blanco, que contiene gran parte de los elementos.

En la *figura 17* se templa la distribución de los elementos principales sobre la bancada. La base se ha sobredimensionado pensando en la sustitución de las bombas de recirculación por bomba de centrifugas si cambia el punto de demanda de agua.

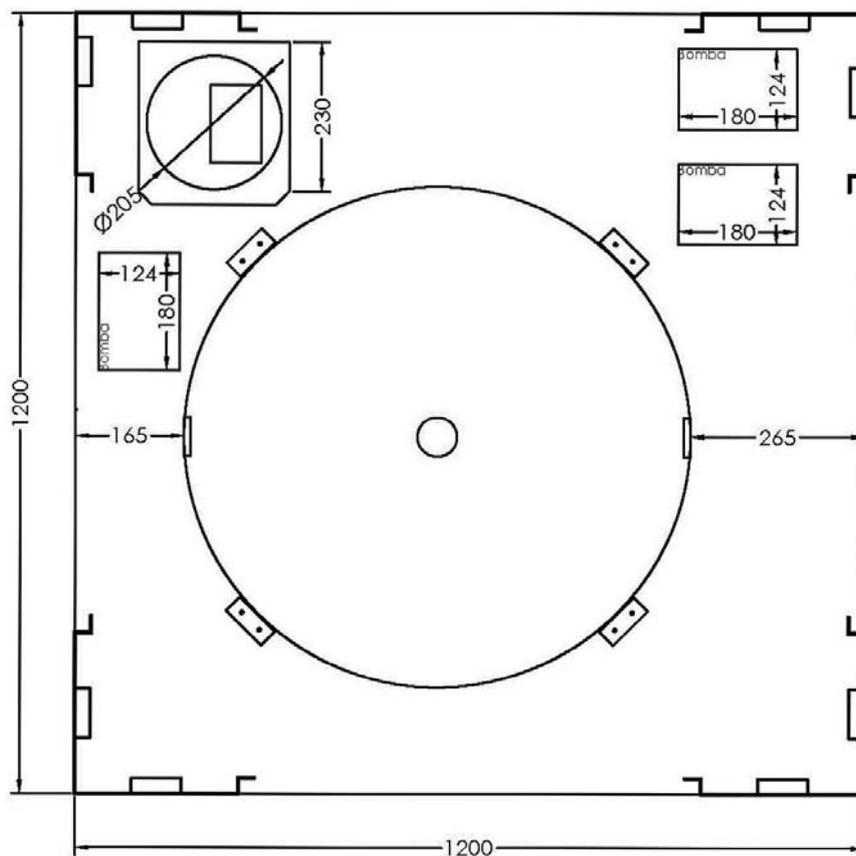


Figura 17: Distribución de los elementos.

Todas las piezas han sido dimensionadas a través de AutoCAD y ensambladas mediante el ProEngineer para tener una visión global de la estructura.

6.1. Componentes

La caja se constituye de las siguientes piezas, el plano 2.1 muestra su descomposición.

- Base o bancada

La bancada tiene unas dimensiones de 1200x1200x2 milímetros. Esta reforzada con cuatro omegas en la parte inferior para soportar el peso del depósito. Además se le han añadido 8 patas de altura regulable para nivelarla.

Referencia plano base y plano omega.

- Pilares

Los pilares son las piezas más importantes de la estructura ya que soportara la tapa superior y asegurará que no se venga abajo. Se le ha perforado unos agujeros por los cuales van a pasar los tubos que unen el intercambiador con la unidad condensadora y las impulsión y retorno de agua de los puntos de demanda. Uno de ellos está preparado para la colocación de un manómetro visual.

Referencia plano pilar.

- Tapa superior

La tapa superior es formada por dos piezas y reforzada mediante Rolling. La pieza principal tiene unas dimensiones de 1209x1209x0.7 milímetros. Se le ha dado un poco de holgura para que se acople al pilar. La pieza secundaria es un perfil tipo L para reforzar los cantos de la tapa.

Referencia plano tapa superior y plano tapa superior perfil.

- Tapa lateral

Las tapas laterales aseguran la estanquidad del grupo hidráulico asegurando que la lluvia y el sol no puedan acceder al interior. La parte trasera y lateral son de una pieza, mientras que la parte frontal se divide en tres tramos. Una parte fija que se encuentra en la parte inferior, una parte extraíble que nos da acceso al soporte eléctrico y otra parte fija superior donde se encuentra el display y los interruptores.

Referencia plano tapa lateral, tapa inferior, tapa electricidad, tapa superior.

En el interior:

- Soporte intercambiador/ vaso de expansión

Está formado por 7 piezas diferentes. Todo el conjunto asegura que el intercambiador no se mueve y el vaso de expansión se mantiene en su posición. En la *figura 18* se muestra el conjunto entero.

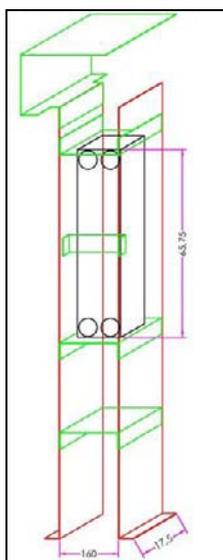


Figura 18: Conjunto intercambiador y vaso de expansión.

Referencia plano intercambiador 1, 2, 3 y plano vaso de expansión.

- Soporte eléctrico

El soporte eléctrico se sitúa entre los dos pilares frontales. La parte superior esta troquelada para el paso del aire.

Referencia plano soporte eléctrico.

6.2. Ensamblaje

La sujeción de los pilares a la base y la tapa superior a los pilares se realiza con tornillos de métrica 8 con cabeza hexagonal. Todas las demás uniones se acoplan mediante tornillos 'chincheta' con punta de broca.

ANEXO III. Cálculo de la
unidad condensadora de la
sala de ensayos

ANEXO III. Cálculo de la unidad condensadora de la sala de ensayos.

INDICE DE CONTENIDO:

1.	Introducción	90
2.	Ensayo experimental de un mueble vertical	90
2.1.	Preparación de la sala de ensayos	90
2.2.	Preparación del mueble de ensayo	90
2.2.1.	Posicionamiento	90
2.2.2.	Carga del mueble	91
2.3.	Preparación de la unidad condensadora	93
2.4.	Ensayos	93
3.	Características del mueble vertical	94
3.1.	Introducción	94
3.2.	Componentes	95
3.2.1.	Elementos frigoríficos	95
3.3.	Funcionamiento	96
4.	Características de la unidad condensadora	96
4.1.	Compresor	97
4.2.	Condensador	97
4.3.	Otros elementos	98
4.4.	Esquema frigorífico	98
5.	Ciclo frigorífico	99
5.1.	Generalidades	99
5.2.	Cálculos	99
5.3.	Sistema de control	101
5.3.1.	Componentes	101
6.	Resultados experimentales	102

INDICE DE FIGURAS:

Figura 1: Punto de medición de un mueble vertical. _____	90
Figura 2: Posicionamiento del mueble en la sala de ensayos. _____	91
Figura 3: Posición de los paquetes de ensayo. _____	92
Figura 4: Disposición de la sonda de temperatura dentro de un paquete-M. _____	93
Figura 5: Mueble vertical. _____	94
Figura 6: Ficha técnica. _____	95
Figura 7: Unidad condensadora Zanotti. _____	96
Figura 8: Intercambiador de calor. _____	97
Figura 9: Esquema de la unidad condensadora. _____	98
Figura 10: Diagrama de Mollier. _____	100
Figura 11: Esquema de funcionamiento del sistema de control. _____	101
Figura 12: Termostato mecánico. _____	101
Figura 13: Componentes de una solenoide. _____	102
Figura 14: Condiciones de la sala de ensayos. _____	104
Figura 15: Temperatura del mueble frigorífico (sondas de temperatura). _____	105
Figura 16: Temperaturas del mueble frigorífico (sondas de presión). _____	105
Figura 17: Ensayo de temperaturas. _____	106

INDICE DE TABLAS:

Tabla 1: Rango de temperaturas y clases. _____	96
Tabla 2: Características de la unidad condensadora. _____	97
Tabla 3: Parámetros establecidos. _____	99
Tabla 4: Descripción del ciclo por punto. _____	99
Tabla 5: Calculo de los parámetros energéticos. _____	100
Tabla 6: Propiedades del fluido secundario. _____	100
Tabla 7: Ubicación de los sensores en la unidad condensadora de la sala. _____	102

INDICE DE GRÁFICAS:

Gráfica 1: Temperaturas en el intercambiador de la unidad condensadora de la sala. _____	103
Gráfica 2: Transferencia de calor en el intercambiador. _____	104

1. Introducción

En este anexo se evaluará el resultado obtenido de la producción de agua ‘fría’ como fluido secundario sobre la unidad condensadora de la sala de ensayos, donde estará conectada a un expositor vertical abierto de temperaturas positivas. Se verá los efectos que tiene la condensación por agua sobre un ensayo de temperaturas del mueble.

2. Ensayo experimental de un mueble vertical

La caracterización de un mueble frigorífico en Frost-Trol S.A. se lleva a cabo en un sala de ensayo totalmente preparada según los criterios de la norma Eurovent, UNE-EN-ISO-23953-2.

2.1. Preparación de la sala de ensayos

Estas salas de ensayos están equipadas con una unidad de tratamiento y humidificación de aire, donde a través de un sistema de regulación se consigue simular las diferentes condiciones climáticas exigentes. La realización del ensayo se ha realizado de acuerdo a la clase climática 3, donde la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa son de 25°C y 60 % respectivamente.

La humedad relativa y la temperatura del aire han sido medidas por medio de un sensor HMP 143 de Vaisala. Este tiene una precisión de $\pm 2\%$ HR para la humedad relativa y de $\pm 0,1^\circ\text{C}$ para la temperatura del aire. El punto para la medición se encuentra a mitad de la longitud del mueble y en la parte superior del mismo, en la *figura 1* se indica cómo debe colocarse.

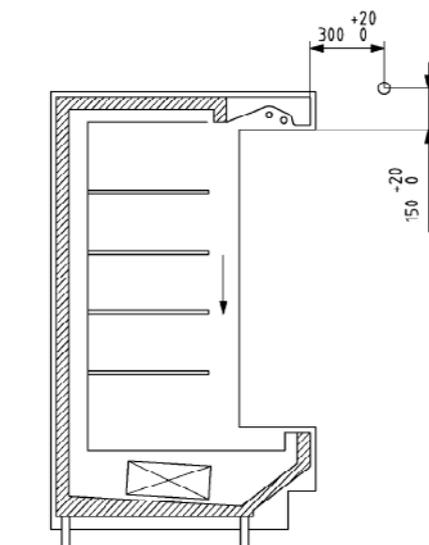


Figura 1: Punto de medición de un mueble vertical. (Medidas en mm)

La iluminación estará encendida durante toda la totalidad del ensayo, esta debe ser fluorescente para mantener 600 luxes medidos a 1 metro sobre el nivel del suelo. Las paredes, techos y cualquier división de la sala están pintados de un color gris claro, para mantener la emisividad entre 0,9 y 1 a 25°C.

2.2. Preparación del mueble de ensayo

2.2.1. Posicionamiento

A la hora de llevar a cabo el ensayo, el mueble debe estar situado de acuerdo con los requerimientos que se establecen en la norma previamente dicha, tal y como se muestra en la

figura 2. De esta forma quedará centrado en la cámara y el movimiento de aire será paralelo al plano del expositor. La velocidad también se rige por la norma de Eurovent siendo de 2m/s.

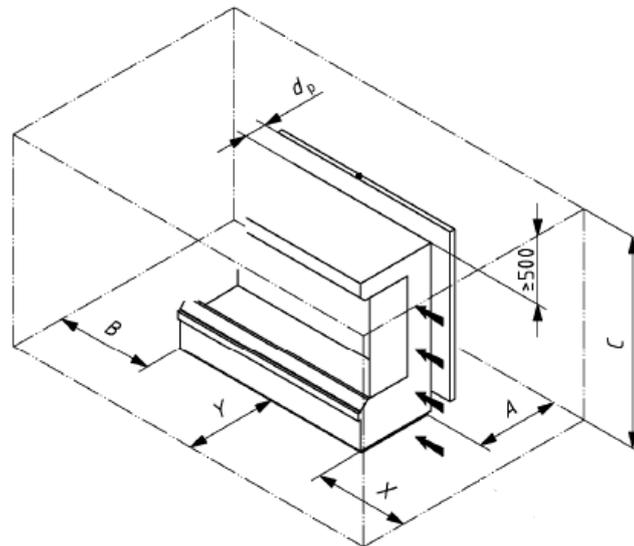


Figura 2: Posicionamiento del mueble en la sala de ensayos.

Para este caso, debe situarse a las siguientes distancias expresadas en metros.

- $X = 2$ y $B > 1$
- $Y > 1,5$
- $A > 0,8$
- $C > \text{altura del mueble} + 0,5$

2.2.2. Carga del mueble

El mueble deberá cargarse con paquetes de ensayo y paquetes-M hasta el límite de carga tal y como se ilustra en la figura 3. Estos deben ser llevados previamente a una temperatura igual a la que se prevé durante el ensayo.

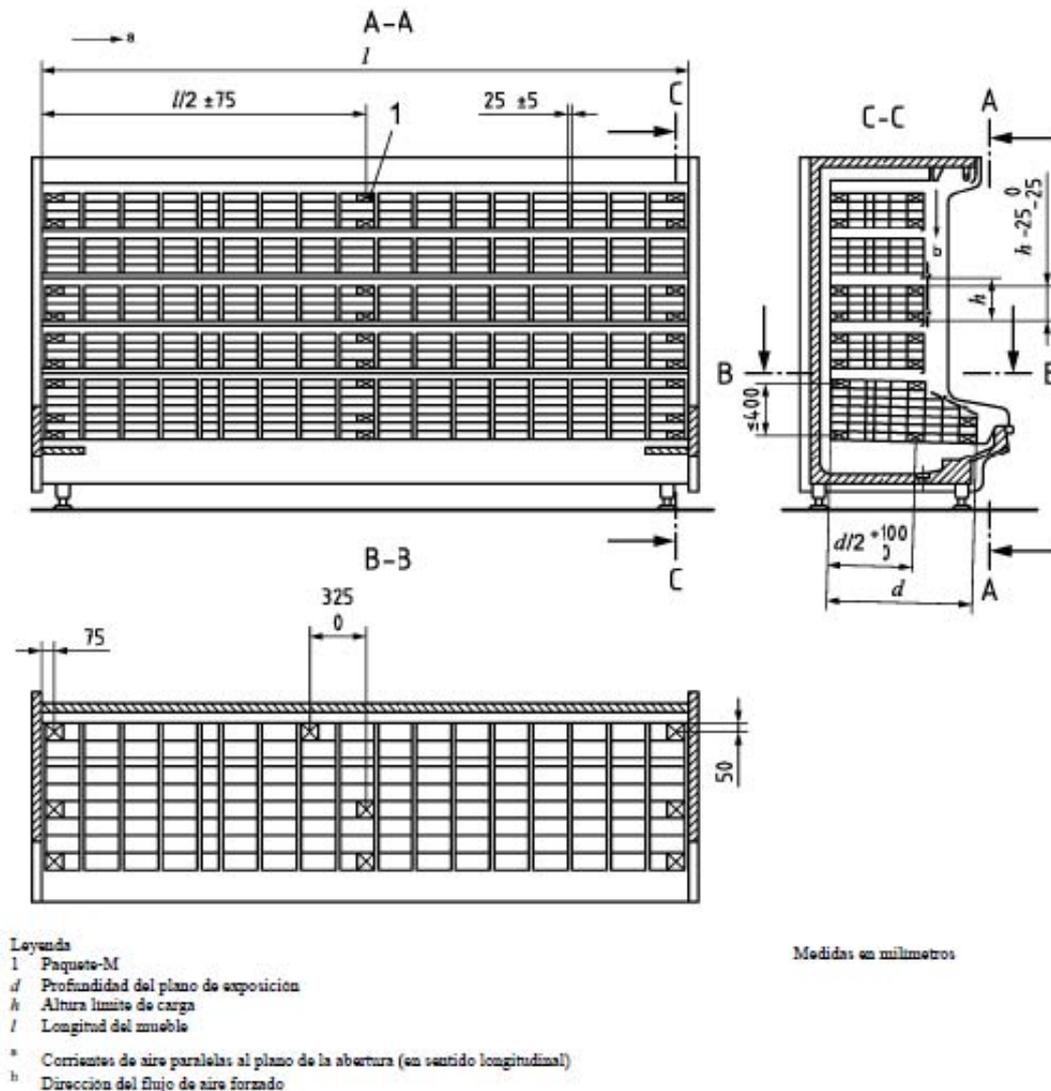


Figura 3: Posición de los paquetes de ensayo.

2.2.2.1. Características de los paquetes.

Para simular la carga del mueble con producto tal y como se encontraría en un punto de venta, se utiliza los paquetes de ensayos. Suelen tener una forma paralelepípeda rectangular, dependiendo del uso que tengan.

Estos paquetes simulan perfectamente las condiciones de la carne, siendo su punto de congelación a -1°C con un valor de entalpia de 285 kJ/kg a una temperatura de $(-1 \pm 0,5^{\circ}\text{C})$.

Para lograr este comportamiento, estos paquetes están compuestos por un relleno y un embalaje. El relleno está compuesto por los siguientes materiales:

- 764,5 g de agua
- 229,7 g de oxietilmetilcelulosa
- 0,8 g de para-clorometa-cresol
- 5,0 g de cloruro sódico

El embalaje suele ser un plástico o similar cuya emisividad sea próxima a 1 para garantizar una buena transmisión de energía.

Los paquetes-M son aquellos que se les incorpora una sonda de temperatura para registrar su temperatura. La sonda PT-100 con una incertidumbre de una décima de grado se coloca en el centro geométrico de los mismos, en contacto directo con el material. Suelen pesar alrededor de 500g con unas dimensiones (50 mm x 100 mm x 100 mm).

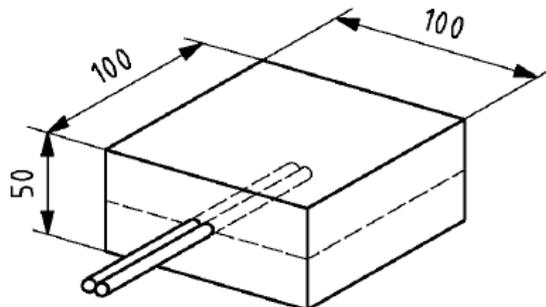


Figura 4: Disposición de la sonda de temperatura dentro de un paquete-M. (Medidas en mm)

2.3. Preparación de la unidad condensadora

La unidad condensadora ha sido completamente instrumentada con el objetivo de conocer los principales parámetros termodinámico del ciclo a su paso a través de cada uno de los componentes.

La presión de evaporación y la presión de condensación, han sido determinadas por medio de sensores de presión colócalos aguas abajo y arriba del compresor. Los sensores corresponden con el modelo AKS-33 de Danfoss, con una incertidumbre de medida de 20mbar.

La temperatura se ha controlado mediante termo-resistencias de platino, de tipo TP-100 que debidamente calibradas permiten la medida de la temperatura con una incertidumbre de una décima de grado.

El grado de sobre calentamiento se ha determinado a partir de la diferencia entre la temperatura a la entrada del compresor y la temperatura de saturación correspondiente a la presión de evaporación. El grado de sub-enfriamiento se ha estimado a partir de la diferencia de temperaturas entre la entrada de la válvula de expansión y la temperatura a la presión de condensación del sistema.

El flujo másico de la instalación se ha medido con un medidor efecto Coriolis, con una precisión de $\pm 0,05\%$ en todo el rango de medida. Previamente había sido calibrado para un mejor funcionamiento. Además, para verificar que en la entrada de líquido en la válvula de expansión se instalara un visor de líquido.

2.4. Ensayos

Una vez está todo preparado, se procede a la realización de los siguientes ensayos para verificar que el mueble cumple las condiciones específicas.

El tipo de ensayos que se realizan es el siguiente:

- Ensayo de temperatura.

A partir del registro de temperaturas de todos los paquetes-M se determina cual es el paquete más caliente y el más frío. Esta diferencia deberá ser inferior a la que marca la normativa en función del mueble.

- Ensayo de condensación del vapor de agua.

El mueble debe funcionar a las condiciones climáticas diseñadas. Se procederá a evaluar la condensación formada en todas las superficies del mueble.

- Ensayo de consumo de energía eléctrica.

Se registra el consumo del mueble para comprobar si ha sido diseñado correctamente.

- Ensayo de la potencia frigorífica necesaria cuando la unidad condensadora es remota al mueble.

La potencia frigorífica necesaria para el mueble se determinará a partir de las lecturas de temperatura, presión y de caudal.

Otros ensayos:

- Ensayo de hermeticidad para las puertas y tapas.
- Ensayos de ausencia de olor y sabor.
- Dimensiones lineales, superficies y volúmenes.

3. Características del mueble vertical

3.1. Introducción

Son muebles frigoríficos de almacenamiento vertical de producto, diseñados para trabajar en un rango de temperaturas de refrigeración, es decir, en frío positivo.



Figura 5: Mueble vertical.

Para saber cual es el modelo y su número de serie hay que localizar la placa de características que se encuentra en el interior del mueble frigorífico. En ella se indica que componentes contiene el mueble como iluminación, ventiladores, resistencias de desescarche y antivaho y consumo de cada elemento. También te ofrece información sobre el año de fabricación, la clase climática, presión máxima y tipo de refrigerante para el cual había sido diseñado. A continuación se muestra la ficha técnica del mueble a ensayar.

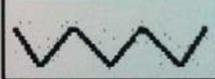
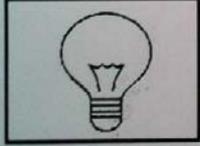
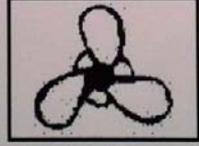
frast-trol		IMQ01/02	CE
Ctra. Na. 340, km. 68, 9-Castellón (España)		AÑO FAB.	3/2015
MODELO	HM25227146		
Nº		REFR.	R134A
CLASE CLIMÁTICA	3	P.MAX	18 bar
TEMPERATURA TRABAJO	+2 / +4 °C		
		R.A.	
0,3 A / 40 W	0,35 A / 40 W	R.D.1	
230V/50Hz	230V/50Hz	R.D.2	
		R.D.3	

Figura 6: Ficha técnica.

3.2. Componentes

Un mueble frigorífico de venta clásico puede dividirse en 3 elementos principales:

- Estructura del mueble: Comprende el armazón aislado, normalmente colocado sobre una base.
- Elementos frigoríficos: Aseguran la distribución del frío en el mueble, es decir, la extracción de calor de los productos expuestos.
- Distribuidores: Interiores de venta que ocupan y delimitan el volumen útil del mueble.

Nos centraremos en los elementos frigoríficos que componen nuestro mueble a ensayar.

3.2.1. Elementos frigoríficos

En el interior del mueble, delimitado por la envoltura aislante, se encuentran alojados los elementos frigoríficos que distribuyen el frío en el mueble.

El elemento principal es el evaporador con sus principales componentes:

- Intercambiador de tubo aleteado realizando el papel de evaporador.
- Válvula de expansión termostática o electrónica que permite regular la alimentación del evaporador con fluido frigorífero expandido.
- Sistema de distribución de líquido expandido (colector) que permite alimentar equitativamente los diversos circuitos del evaporador. Se suele utilizar en muebles donde el evaporador es muy grande y la ventilación es irregular.
- Los moto-ventiladores impulsan el aire a través del evaporador y del circuito de distribución refrigerando el producto a vender.

Dispone de un controlador EKC 312 de la marca Danfoss para el regulamiento de la válvula de expansión. Se controla el recalentamiento del evaporador mediante un transmisor de presión tipo AKS33 y una sonda de temperatura (Pt 1000 ohm) para que la válvula abra o cierre. La válvula de expansión es una AKV de la marca Danfoss.

3.3. Funcionamiento

El funcionamiento del mueble vertical viene dado por la temperatura del producto clasificándolo en diferentes clases. La *tabla 1* muestra el rango de temperaturas en los cuales se clasifican los muebles.

Clase	Temp. Mínima/Temp. Máxima [°C]
L1	-18/-15
L2	-18/-12
L3	-15/-12
M1	-1/+5
M2	-1/+7
H1	+1/+10
H2	-1/+10
S	Clasificación Especial

Tabla 1: Rango de temperaturas y clases.

Estas temperaturas se presentan como intervalos, dependiendo de la posición del producto dentro del mueble. Existen pequeñas variaciones si el producto se encuentra cerca de la impulsión o del retorno de aire.

La clase en la cual el mueble se está ensayando corresponde a M1. Esto nos lleva a que la temperatura de evaporación debe ser entre 10/15°C menor que la temperatura de servicio. La temperatura de evaporación se fija en -12°C.

El controlador del mueble parará la unidad condensadora cuando este llegue a su temperatura de servicio.

4. Características de la unidad condensadora

La unidad condensadora que se ha utilizado para los ensayos es de la compañía Zanotti. La cual fue seleccionada para trabajar a temperaturas positivas, donde la temperatura de condensación y evaporación de diseño es de 32°C y -10°C respectivamente. Esta está equipada con los siguientes elementos:



Figura 7: Unidad condensadora Zanotti.

4.1. Compresor

Dispone de dos tipos de compresores semi-herméticos de la marca Bitzer modelo 2FES-2Y-40S y 4EES-4Y-40S. Las principales características se muestran en la siguiente tabla extraídas del software de Bitzer Selection.

Compresor	Total	Unidades	2FES-2Y	Unidades	4EES-4Y	Unidades
Escalones de capacidad			100%		100%	
Potencia frigorífica	11,79	kW	3,4	kW	8,39	kW
Potencia en el evap.	10,63	kW	3,07	kW	7,57	kW
Potencia absorbida	3,47	kW	1,04	kW	2,43	kW
Corriente (400V)	7,65	A	2,77	A	4,88	A
Capacidad del condensador	15,26	kW	4,44	kW	10,82	kW
COP/EER	3,06		2,95		3,11	
Caudal másico	239	kg/h	68,9	kg/h	170	kg/h
Temp. Gas de descarga no enfriado	84,2	°C	86,1	°C	83,5	°C

Tabla 2: Características de la unidad condensadora.

La central está diseñada para que el compresor 4EES-4Y funcione siempre, ya que no dispone de regulación de velocidad y, el compresor 2FES-2Y, que dispone de la tecnología invertir, module la regulación de potencia continua permitiendo minimizar las fluctuaciones de aire de aspiración y, de este modo, ahorrar costes energéticos. Los compresores pueden funcionar tanto en solitario como los dos a la vez. Ahora mismo, solo se está utilizando el compresor 2FES-2Y ya que solo está conectado un mueble frigorífico.

Por tanto, todos los cálculos relacionados con esta unidad condensadora se realizarán teniendo en cuenta solo el compresor inverter funcionando al 100% ya que es la peor situación actualmente.

4.2. Condensador

El condensador es un intercambiador de tubo aleteado, el cual está acoplado a dos ventiladores con una potencia máxima de 1400 watt. Principalmente esta unidad condensa por aire ya que los ventiladores están controlados por un variador de frecuencia y hace que se mantenga constante la temperatura de condensación.

Dispone, también, de un intercambiador de placas cuyo modelo es AC-30-EQ-201 de la marca Alfa Laval. El refrigerante entra desde el lado superior izquierdo del intercambiador como gas caliente e inicia la condensación sobre la superficie de los canales y continúa hasta que está completamente condensado, luego se subenfía ligeramente. En la *figura 8* las flechas de color rojo oscuro y rojo claro indican la posición de las conexiones del refrigerante. El agua de refrigeración fluye contracorriente en el canal opuesto y se calienta. Las flechas de color azul oscuro y azul claro indican la posición de las conexiones del agua.



Figura 8: Intercambiador de calor.

Como hemos visto, la unidad condensadora dispone de los dos tipos de condensación. A la hora de la realización del ensayo se efectuara mediante el intercambiador de placas utilizando agua como fluido secundario. De esta forma, se comprobara la eficacia de la condensación por agua, reduciendo el consumo de la unidad. En el apartado siguiente del presente anexo se explica cómo se ha instalado y regulado la condensación.

4.3. Otros elementos

La instalación está equipada con los siguientes elementos, no menos importantes que el compresor y condensador pero que no necesitan explicación de su funcionamiento.

- Depósito de líquido (30 litros).
- Manómetros de alta y baja presión
- Filtro de aspiración general.
- Central electrónica Eliwell para el control de ventiladores y compresores.
- Variador de frecuencia para el primer compresor, con funcionamiento automático o manual.
- Colector en la aspiración de los compresores.
- Presostatos de seguridad.
- Válvulas de líquido y aspiración

4.4. Esquema frigorífico

El esquema general de la unidad condensadora se refleja en la siguiente figura. En ella se puede ver cómo están conectados los elementos principales. La línea de aspiración y líquido son las que van conectadas al mueble vertical.

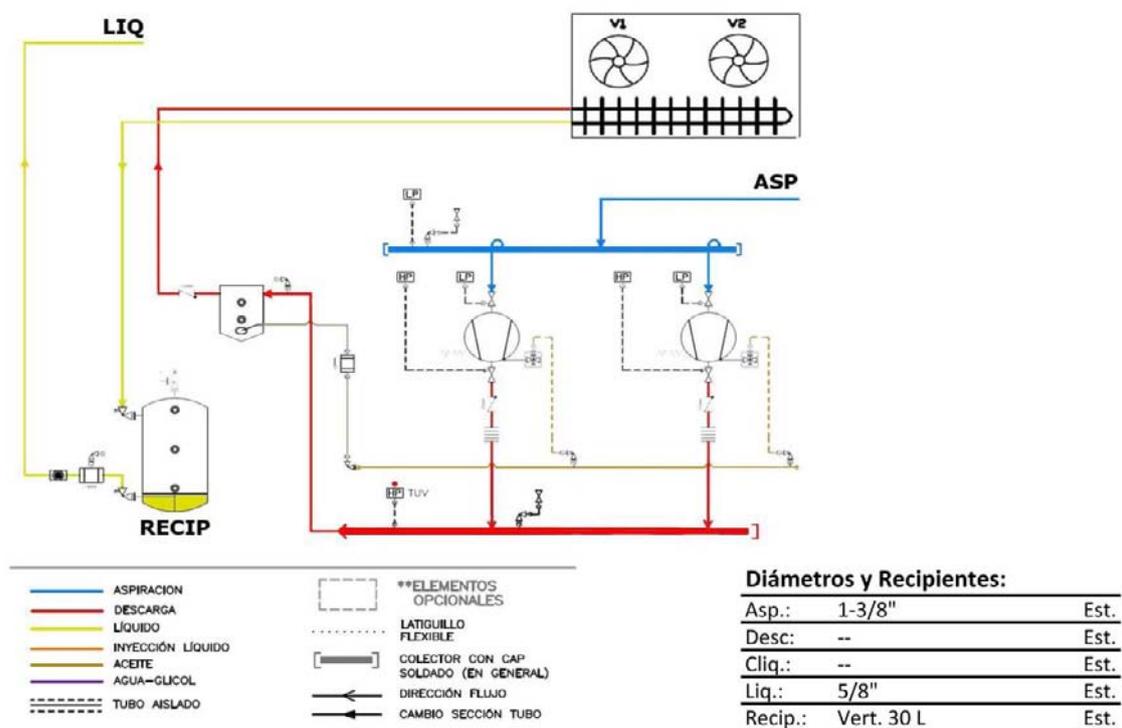


Figura 9: Esquema de la unidad condensadora.

5. Ciclo frigorífico

5.1. Generalidades

Se ha realizado una simulación del ciclo frigorífico mediante el software EES donde se han calculado los parámetros energéticos. Para ello, se han calculado utilizando las ecuaciones [1] a [9] enunciadas en el apartado de cálculo del *anexo I*.

Los parámetros iniciales se representan en la *tabla 3* donde el sub-enfriamiento, recalentamiento y temperatura de aspiración se han fijado siguiendo la norma UNE-EN-12900. La ficha técnica del compresor se ha obtenido mediante el software Bitzer Selection de la compañía Bitzer, donde se ha extraído el caudal másico trasegado y el rendimiento interno de él en nuestro punto de funcionamiento. El caudal másico se ha comprobado experimentalmente dando como resultado final el promedio de los dos.

Condiciones del ciclo	Parámetros fijados
Tipo de refrigerante	R-134A
Temperatura de evaporación	-12°C
Temperatura de condensación	32°C
Temperatura de aspiración	12°C
Sub-Enfriamiento	4 K
Recalentamiento	5 K
Rendimiento interno compresor	60%
Caudal másico refrigerante	0,0189 kg/s

Tabla 3: Parámetros establecidos.

5.2. Cálculos

Se ha supuesto que el ciclo donde se han despreciado las pérdidas en tuberías y accesorios. Los puntos más significativos se representan en la *tabla 4*.

	Presión [bar]	Temperatura [°C]	Titulo vapor	Entalpia [kJ]	Entropía [kJ/kg-K]	Volumen [m ³ /kg]
[1]	1,854	12	0,1197	411,8	1,809	0,1197
[2]	8,159	61,55	-	446,3	1,809	0,02952
[3]	8,159	84,29	-	469,2	1,876	0,0325
[4]	8,159	32	1	415,8	1,714	0,02511
[5]	8,159	32	0	244,6	1,153	0,0008478
[6]	8,159	28	-	238,8	1,134	0,0008362
[7]	1,854	-12	0,2641	238,8	1,15	0,02891
[8]	1,854	-12	1	391,4	1,735	0,1074
[9]	1,854	-7	0,11	395,7	1,751	0,11

Tabla 4: Descripción del ciclo por punto.

Los puntos obtenidos se representan sobre el diagrama de Mollier de presión-entalpia (*figura 10*) para una mejor visualización del ciclo.

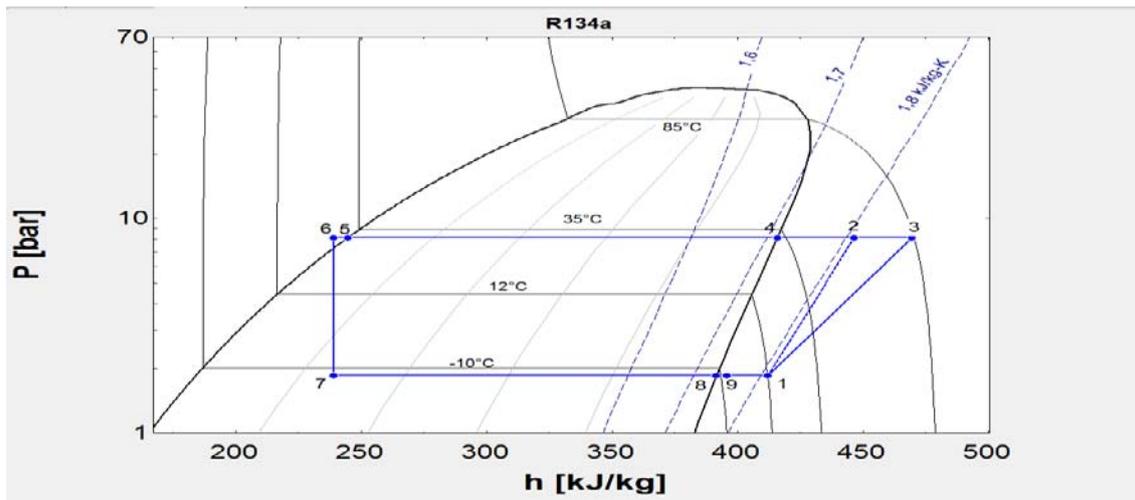


Figura 10: Diagrama de Mollier.

Una vez calculado el comportamiento del ciclo, procedemos al cálculo de potencias. La potencia producida en el condensador será nuestro dato de partida para obtener el caudal necesario de agua. La *tabla X* muestra las potencias de nuestro ciclo.

Parámetros energéticos	
q _o (kJ/kg)	156,90
q _k (kJ/kg)	230,40
w _s (kJ/kg)	57,40
q _{inter} (kJ/kg)	53,40
COP	2,73

Cálculo Potencias	
M _f (kg/s)	0,019
Q _o (kW)	3,15
Q _k (kW)	4,38
P _c (kW)	1,19
Q _{inter} (kW)	1,01

Tabla 5: Calculo de los parámetros energéticos.

La potencia intercambiada en el condensador es de 4,38 kW. Utilizando la ecuación [] se obtiene el caudal de agua necesario. La *tabla 6* muestra los valores de cada parámetro.

Fluido secundario	
AT (Variación Tº)	5
C _p (water; kJ/(kg °C))	4,1813
Q _k (kW)	4,38
m_w (kg/s)	0,22

Tabla 6: Propiedades del fluido secundario.

El caudal necesario para intercambiar toda la potencia del condensador es de 0,22 kg/s.

5.3. Sistema de control

La regulación de la temperatura de condensación se realiza mediante un sistema mecánico, el cual está compuesto por dos solenoides y un termostato mecánico. En la *figura 11* se muestra el esquema de funcionamiento del sistema de control.

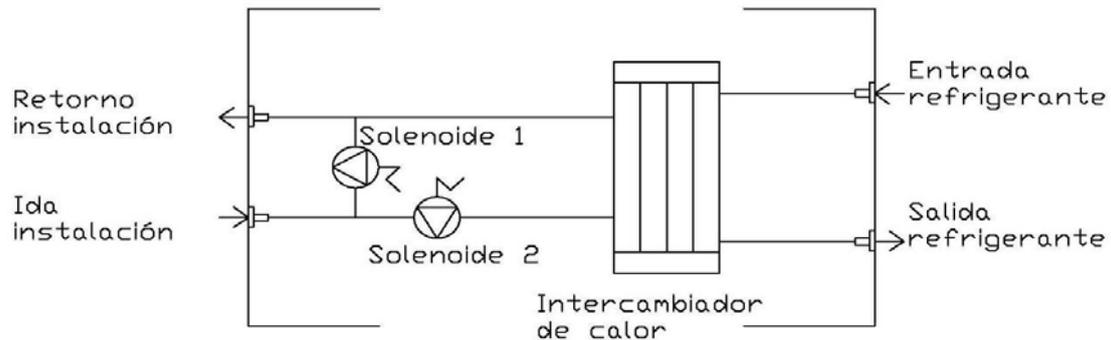


Figura 11: Esquema de funcionamiento del sistema de control.

La conexión eléctrica se ha realizado por medio del *plano eléctrico 2*. Hay que tener en cuenta que la alimentación del sistema de control no está entrelazada con el grupo hidráulico, es individual. Se ha colocado un magnetotérmico en el panel de la unidad condensadora de la sala proporcionando la corriente necesaria.

5.3.1. Componentes

Los elementos que componen la instalación son:

- Termostato mecánico (Prodigy)

Este dispositivo tiene como finalidad controlar el sistema de condensación dependiendo de la temperatura de salida del refrigerante, activará un solenoide u otro.

Funciona mediante dos delgadas tiras de metales como hierro, cobre y acero, unidas entre sí y enrolladas a una bobina. De acuerdo a la temperatura del bulbo, los metales se expanden o se contraen a diferentes velocidades, haciendo que las tiras terminen doblándose. Cuando las tiras se doblan lo suficiente como para tocar un contacto eléctrico y completar un circuito ($T_{ref} = 32^{\circ}\text{C}$), el sistema abre el solenoide 2 haciendo pasar el agua por el intercambiador y mantenido el solenoide 1 cerrado. Cuando la temperatura vuelve a cambiar lo suficiente como para enderezar la tira, se cierra el solenoide 2 y se abre el solenoide 1 pasando el agua por el by-pass. El bulbo metálico se ha colocado a la salida del refrigerante, ya que es nuestro parámetro a controlar.



Figura 12: Termostato mecánico.

Normalmente, este tipo de termostatos dispone de un contacto abierto, otro cerrado y un común.

- Solenoide

Los solenoides nos permiten abrir o cerrar el paso del agua hacia el intercambiador o al by-pass para mantener una temperatura de condensación lo más estable posible. Este sistema no dispone de un término medio, por lo que no se puede utilizar para la regulación del flujo con precisión.

La apertura o cierre de la válvula se basa en impulsos electromagnéticos de un electroimán que trabaja junto a un muelle diseñado para devolver a la válvula a su posición neutral cuándo el solenoide se desactiva. En la *figura 13* se muestran los componentes en los que se dispone un solenoide.

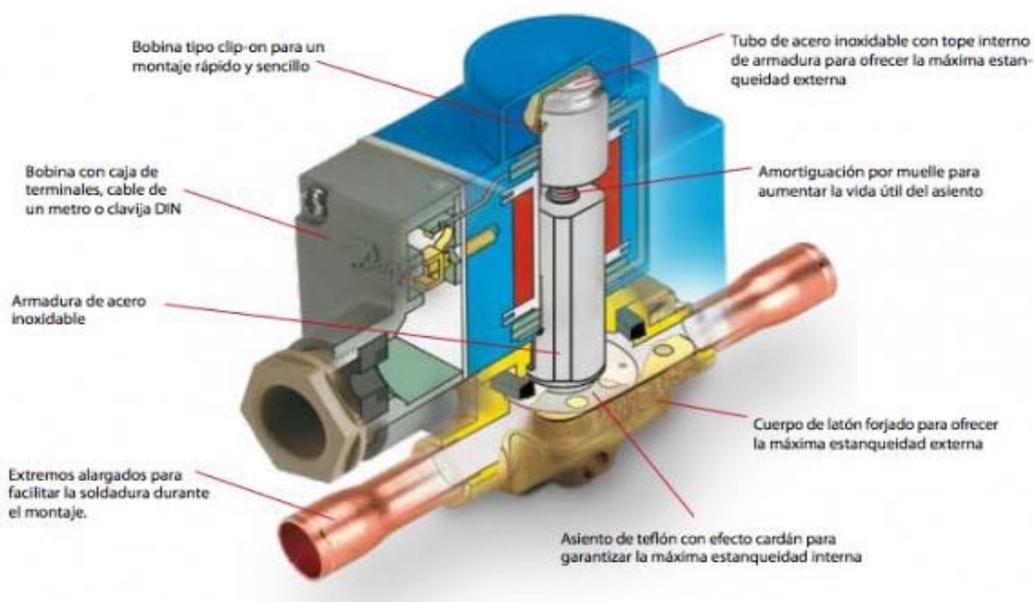


Figura 13: Componentes de una solenoide.

6. Resultados experimentales

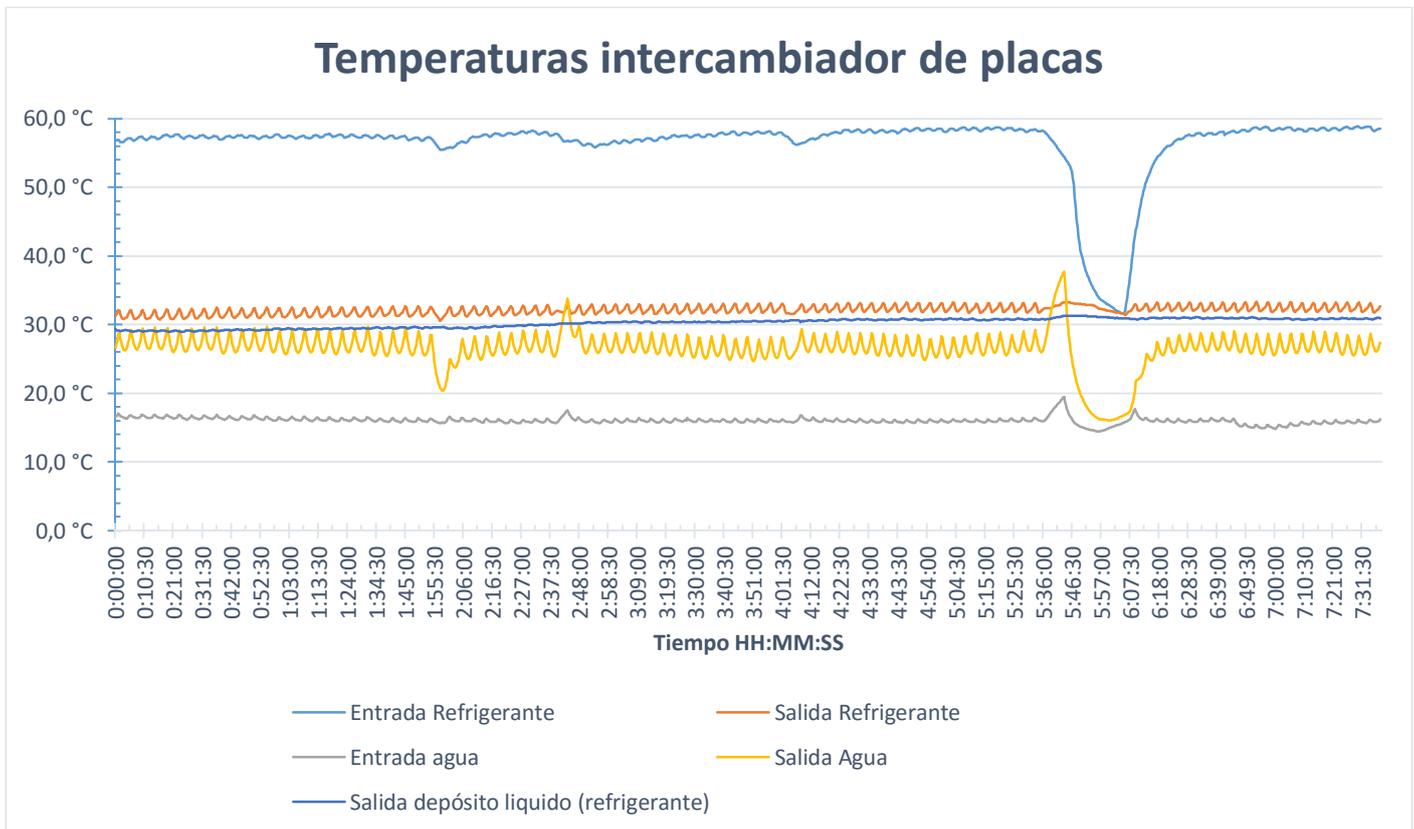
La obtención de los datos experimentales de la unidad condensadora de la sala no se realizó conjuntamente con el ensayo de la unidad condensadora comercial (chiller), ya que no se disponían de los suficientes equipos de medida. El ensayo comenzó una vez finalizada la obtención de datos de la unidad condensadora (chiller).

Los sensores de temperatura utilizados son de tipo T modelo PT-1000 con una precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$. La ubicación de los sensores se representa mediante la *tabla 7*.

Sensor	Ubicación	Fluido
Sensor 1	Entrada condensador	Refrigerante
Sensor 2	Salida condensador	
Sensor 3	Salida depósito liquido	
Sensor 4	Entrada condensador	Agua
Sensor 5	Salida condensador	

Tabla 7: Ubicación de los sensores en la unidad condensadora de la sala.

El ensayo tuvo una duración de 8 horas con periodos de 10 segundos en la recogida de datos. A continuación se muestra en la *gráfica 1*, las temperaturas de entrada y salida del refrigerante y del agua por el paso del intercambiador de la unidad condensadora de la sala. Además se indica la temperatura que tiene el refrigerante a la salida del depósito de líquido, el cual está conectado al mueble a ensayar.



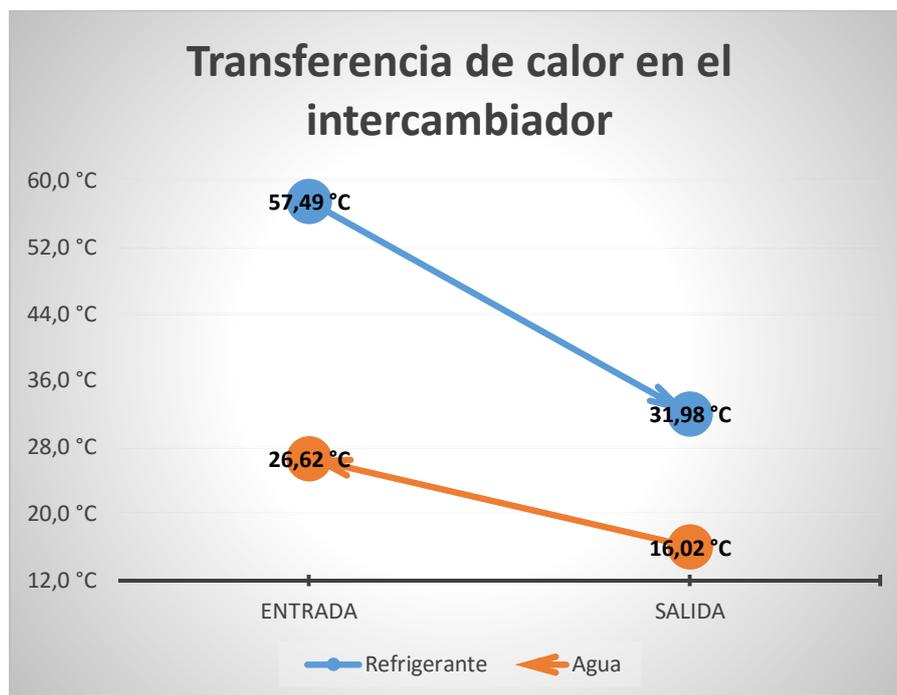
Gráfica 1: Temperaturas en el intercambiador de la unidad condensadora de la sala.

Si nos fijamos en la curva de descarga del compresor, es decir, la entrada de refrigerante al intercambiador de placas, se observa que el mueble ha llegado a su temperatura de servicio en 3 ocasiones (1:55:30; 2:48:00; 4:12:00) y ha realizado un desescarche (5:57:00). El desescarche tiene una duración aproximadamente de 25 minutos mientras que la parada por temperatura suele estar entre 5 y 10 minutos.

Respecto a la salida de temperatura del refrigerante en el intercambiador oscila entre 30,87°C y 33,45°C. Se debe a que el sistema de control es todo o nada y no se puede regular el flujo de agua. Aun así se ha conseguido que fuera lo más estable posible. Una vez el refrigerante en estado líquido se almacena en el depósito, la temperatura a la que se distribuye es todavía más estable siendo de 30,48°C. Hay un sub-enfriamiento de 2°C desde la salida del intercambiador a la salida del depósito de líquido.

Analizando en fluido secundario (agua) se contempla un pequeño aumento en la entrada del agua al intercambiador de la unidad condensadora de la sala respecto a la impulsión del agua del depósito. Debido a que la tubería está ubicada en el exterior y expuesta a agentes externos se produce un diminuto aumento de temperaturas. La salida de nuestro fluido secundario variará entre 25,12°C y 27,85°C realizando una buena extracción de calor del refrigerante.

En la *gráfica 2* se contempla la transferencia de calor que se produce en el intercambiador. Entrada y salida hace referencia a las conexiones superiores e inferiores siendo un único sentido



Gráfica 2: Transferencia de calor en el intercambiador.

En lo que representa al ensayo realizado sobre el mueble vertical, fue ejecutado en la sala de ensayos con las condiciones de la clase climática 3. La *figura 14* representa la evolución de la temperatura y humedad relativa de la sala.

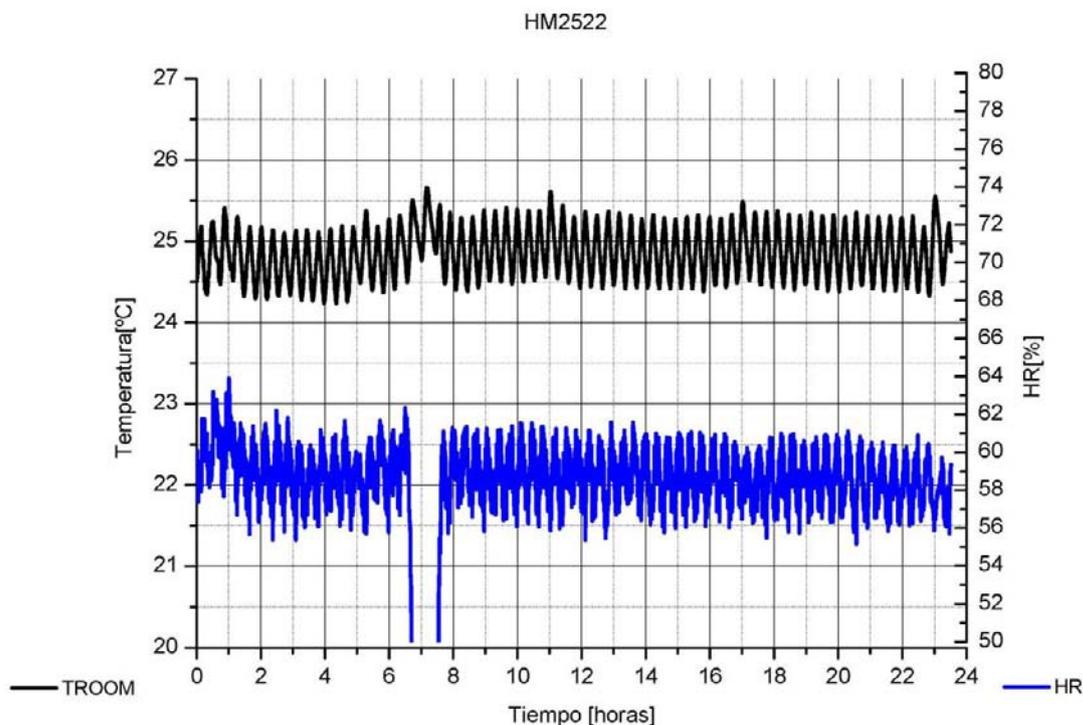


Figura 14: Condiciones de la sala de ensayos.

El mueble está equipado con dos sondas de temperatura y dos sondas de presión, las cuales se ubican en la línea de aspiración y de líquido a las proximidades del mural. De esta forma, se calcula teóricamente el recalentamiento y el sub-enfriamiento producido en el refrigerante y se modula la obertura de la válvula de expansión.

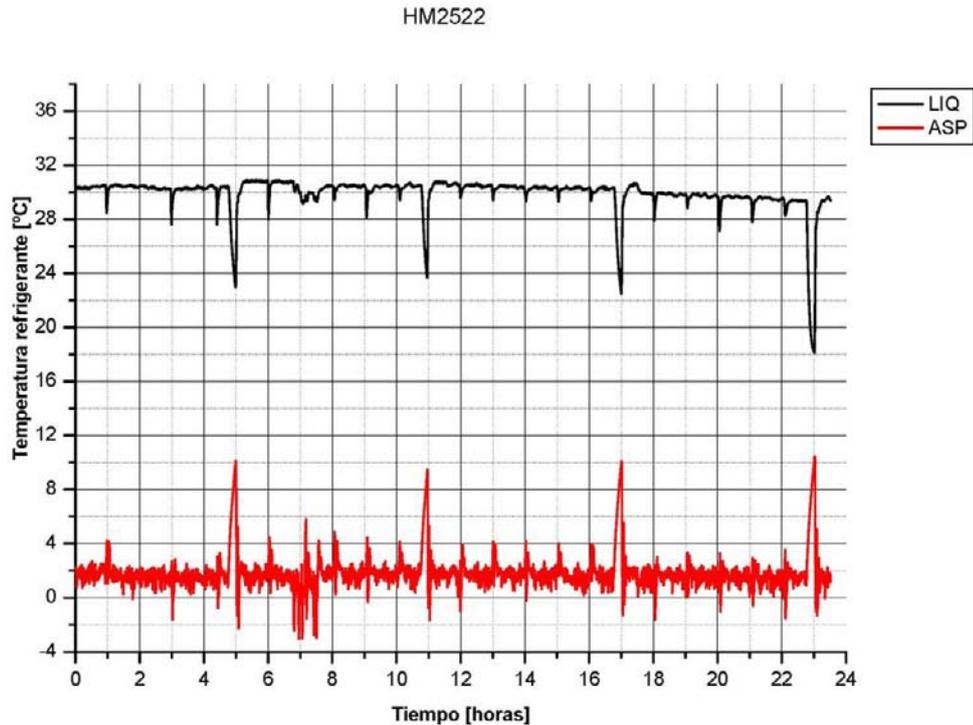


Figura 15: Temperatura del mueble frigorífico (sondas de temperatura).

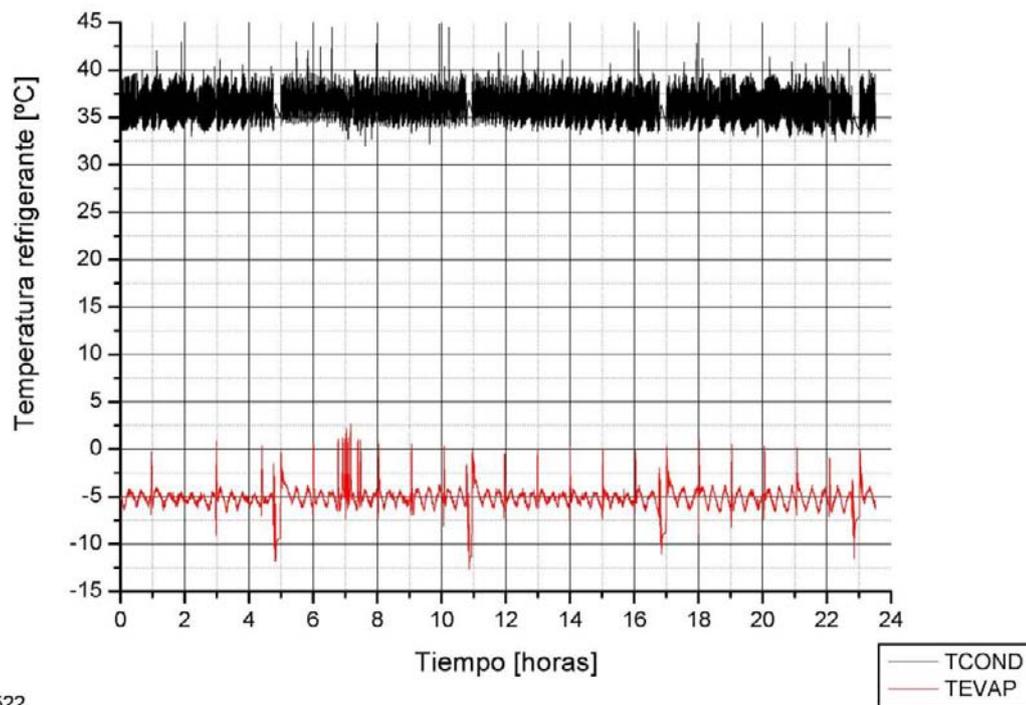


Figura 16: Temperaturas del mueble frigorífico (sondas de presión).

Finalmente, la temperatura de condensación repercute en el funcionamiento del mueble frigorífico proporcionando una evaporación estable. Esto se ve reflejado en la temperatura de los paquetes los cuales se deben de estar dentro de un rango de temperaturas. El la *figura 17* representa un ensayo de temperaturas de los paquetes.

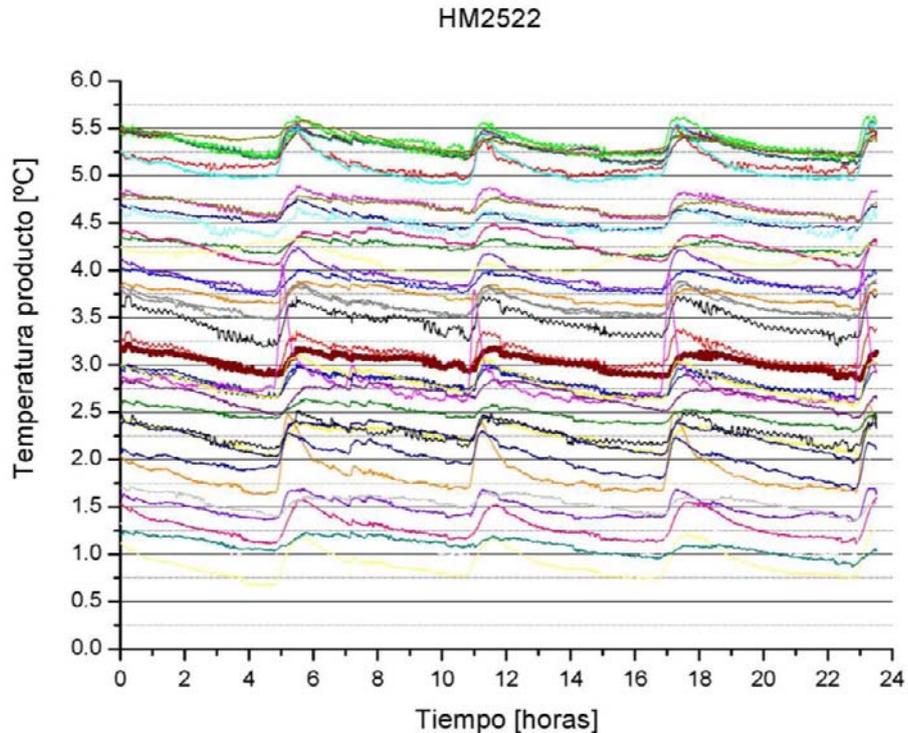


Figura 17: Ensayo de temperaturas.

Las temperaturas de los paquetes varia a alrededor de los 5°C, siendo el paquete más frio de 0,7°C y el más caliente de 5,3°C por lo que, según la normativa de Eurovent, el mueble se clasificaría como un 3M1, tal y como se ha indica en el presente anexo.

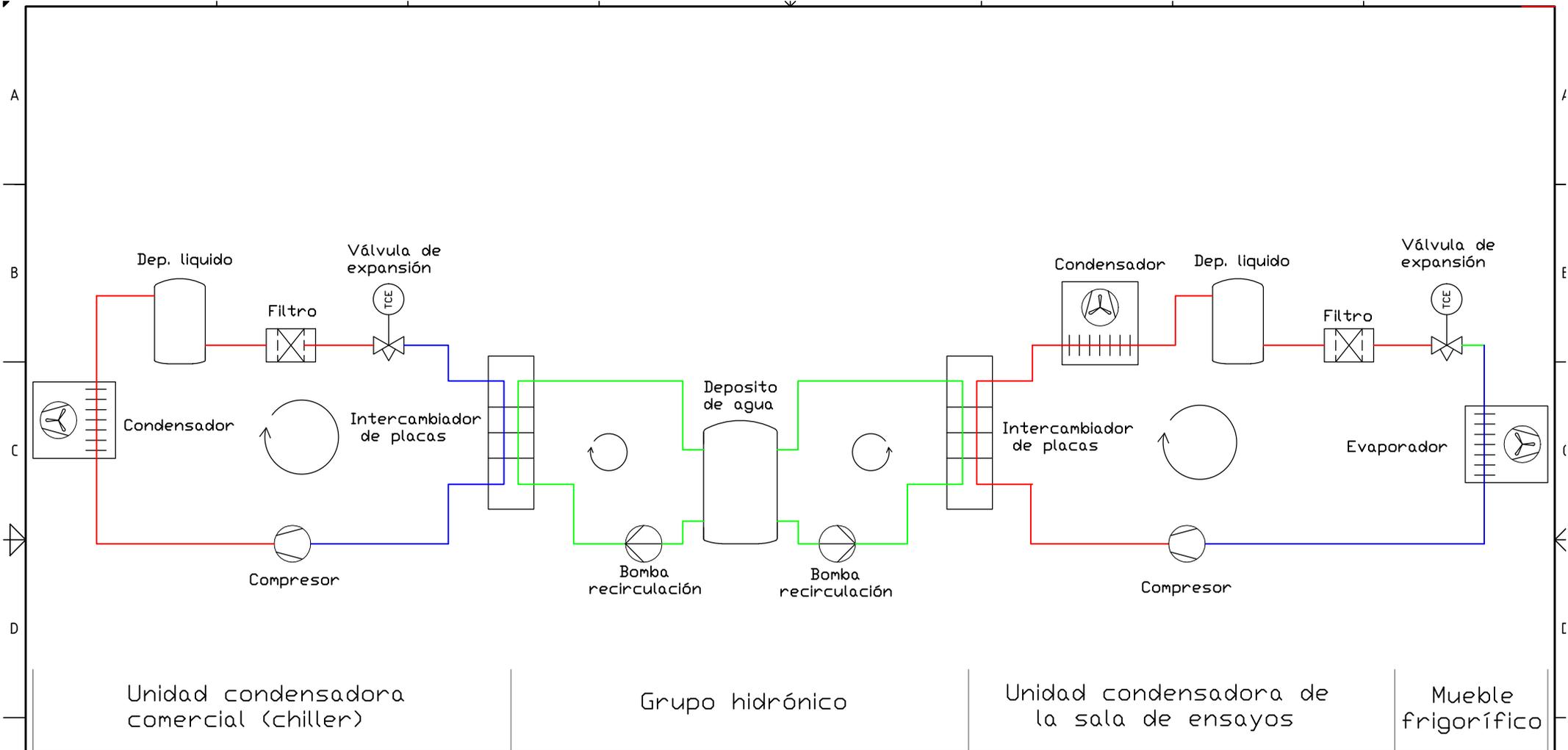
PLANOS

DOCUMENTO III: Planos

INDICIE DE CONTENIDO:

1. Planos generales de la instalación
 - 1.1. Principio de funcionamiento del sistema
 - 1.2. Circuito de distribución del fluido secundario
 - 1.3. Circuito del sistema de control
2. Planos del grupo hidrónico
 - 2.1. Conjunto Grupo hidrónico
 - 2.2. Base
 - 2.3. Pilares
 - 2.4. Tapa superior
 - 2.5. Tapa superior ángulo (refuerzo)
 - 2.6. Tapa lateral
 - 2.7. Tapa lateral manómetro
 - 2.8. Tapa eléctrica 1
 - 2.9. Tapa eléctrica 2
 - 2.10. Tapa eléctrica 3
 - 2.11. Soporte intercambiador 1
 - 2.12. Soporte intercambiador 2
 - 2.13. Soporte vaso de expansión
 - 2.14. Soporte eléctrico
3. Planos eléctricos
 - 3.1. Plano eléctrico 1
 - 3.2. Plano eléctrico 2

1. Planos generales de la instalación



Rev.	Nº Modificación	Nombre	Fecha	Rev.	Nº Modificación	Nombre	Fecha
				0	Original	J.Diaz	23/07/15

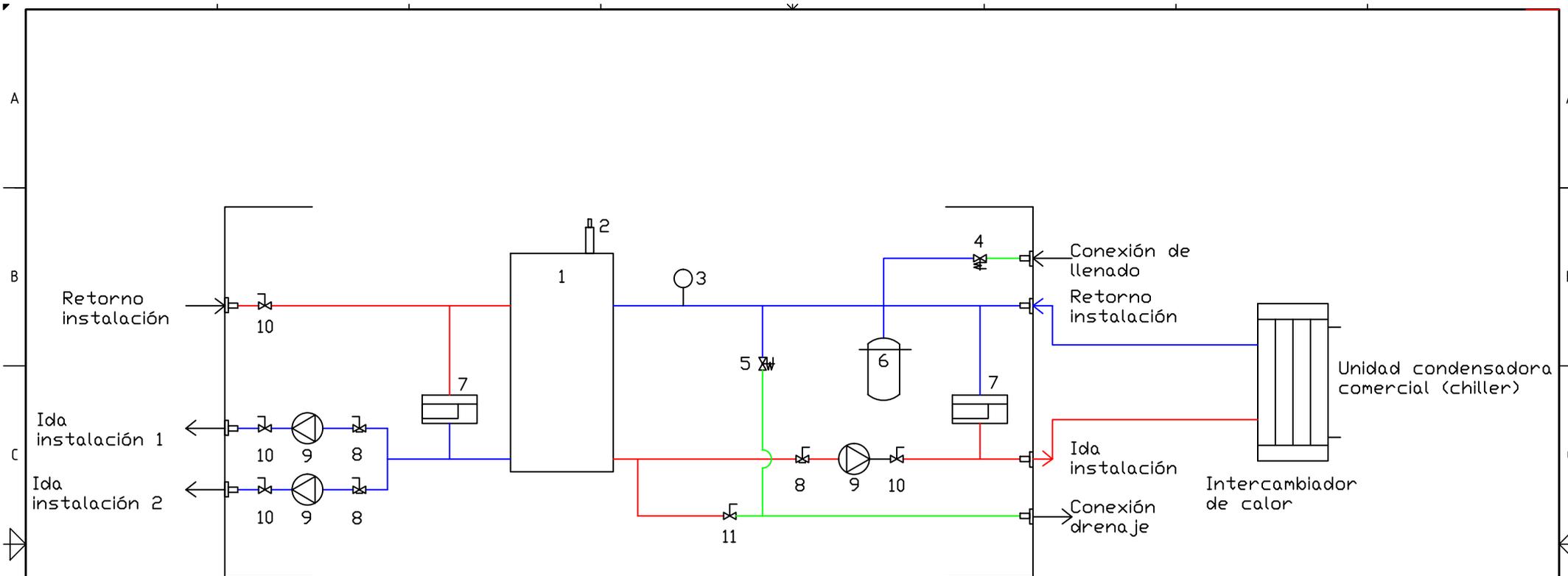


 © Esquema eléctrico propiedad de Frost-Trol S.A.

Fecha:	24/07/15
Nombre:	J.Diaz
Comprobado:	DT
Número:	1230

Principio de funcionamiento del sistema	GHFR

Código:	1.1
	Hoja 1 de 1



- 1. Deposito de inercia
- 2. Purgador automático de aire
- 3. Manómetro
- 4. Válvula de llenado automática
- 5. Válvula de seguridad
- 6. Vaso de expansión
- 7. Control de caudal (Flow-switch)
- 8. Válvula de servicio con filtro
- 9. Bomba
- 10. Válvula de regulación y servicio
- 11. Válvula de vacío

E				B			
D				A			
C			0	Original	J.Diaz	23/07/15	
Rev.	Nº Modificación	Nombre	Fecha	Rev.	Nº Modificación	Nombre	Fecha
1				2			
3							



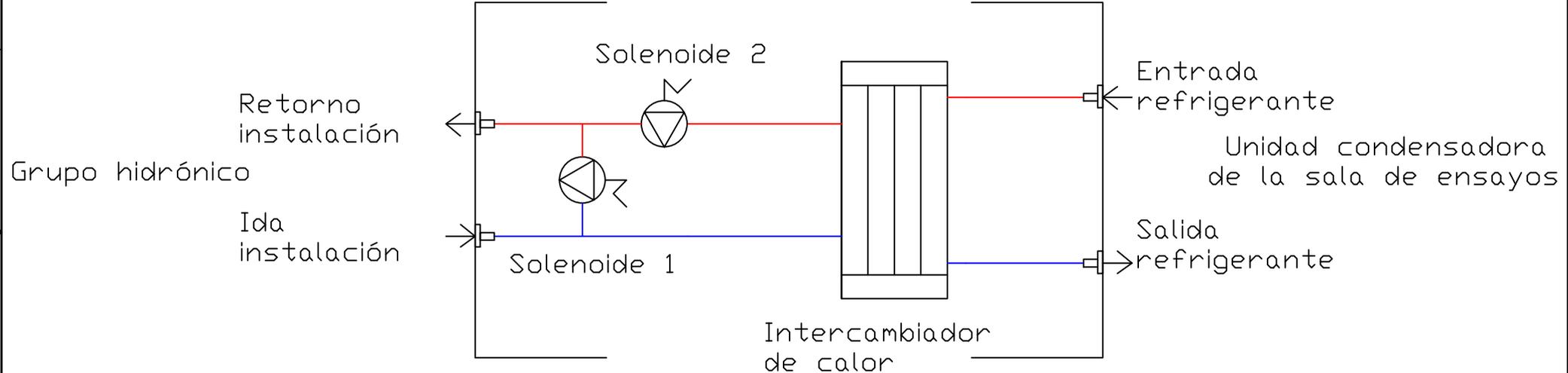
© Esquema eléctrico propiedad de Frost-Trol S.A.

Fecha:	24/07/15
Nombre:	J.Diaz
Comprobado:	DT
Número:	1234

Circuito de distribución del fluido secundario
GHFR

Código:	1.2
Hoja 1 de 1	

A
B
C
D
E
F



E				B		
D				A		
C				0	Original	J.Diaz 23/07/15
Rev.	Nº Modificación	Nombre	Fecha	Rev.	Nº Modificación	Nombre Fecha
	1			2		
				3		



 © Esquema eléctrico propiedad de Frost-Trol S.A.

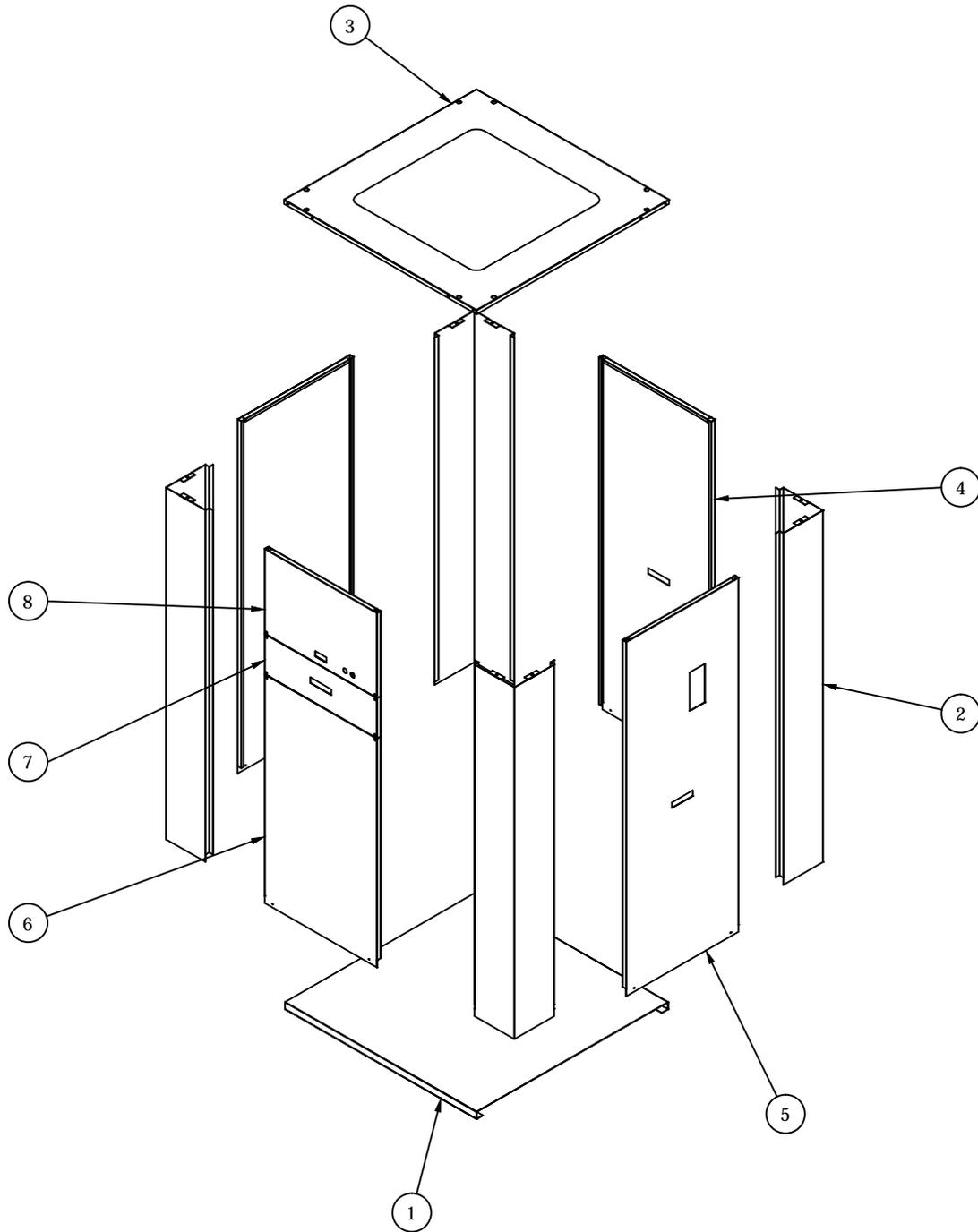
Fecha:	24/07/15
Nombre:	J.Diaz
Comprobado:	DT
Número:	1345

Circuito del sistema de control
GHFR

Código:	1.3
Hoja 1 de 1	

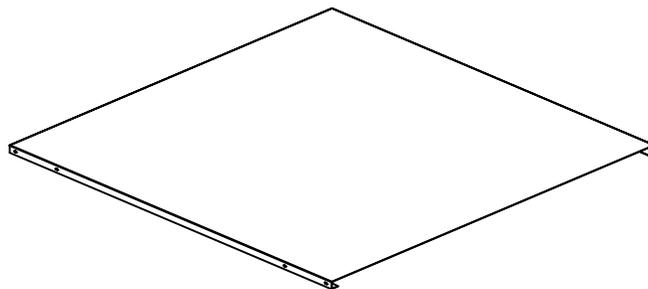
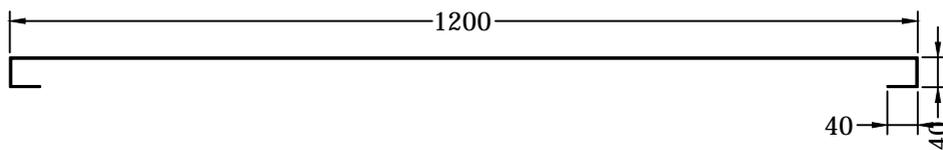
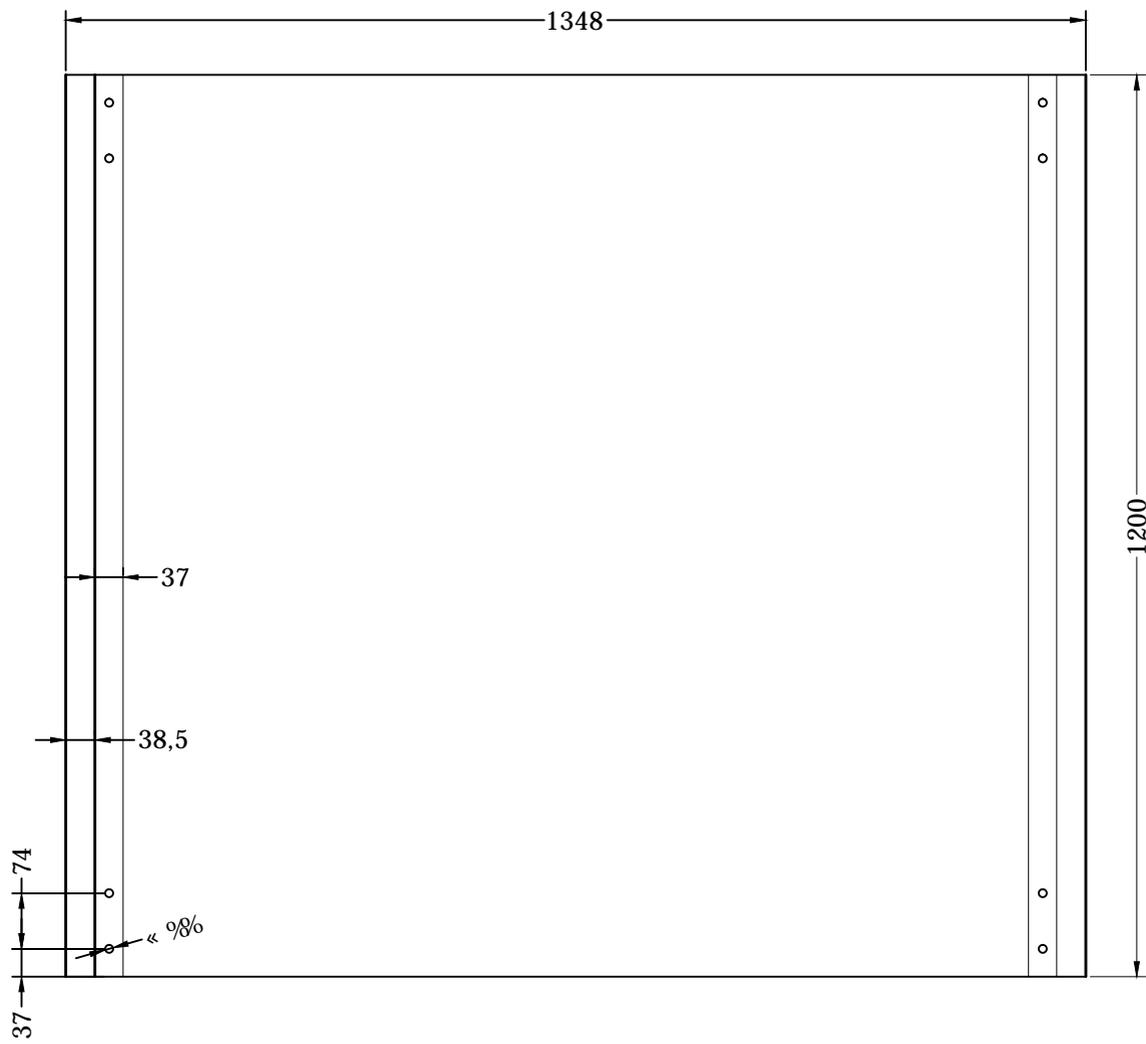
A
B
C
D
E
F

2. Planos del grupo hidrónico

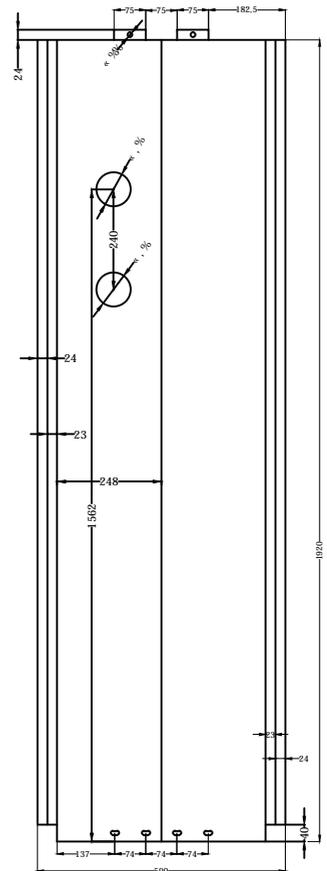
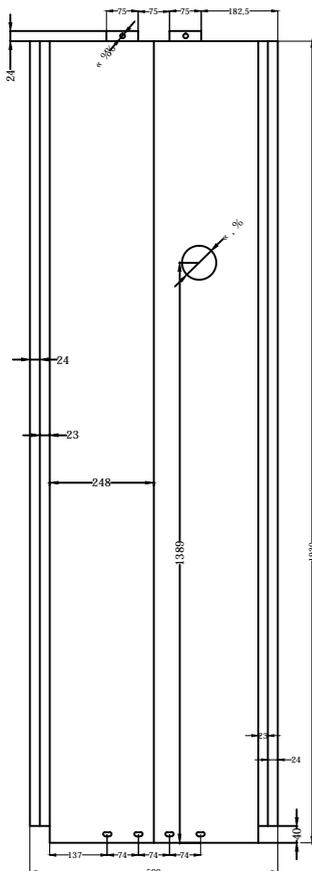
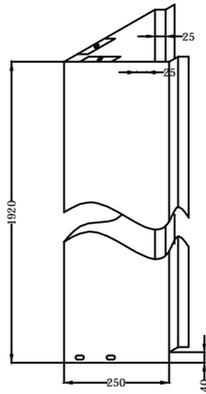
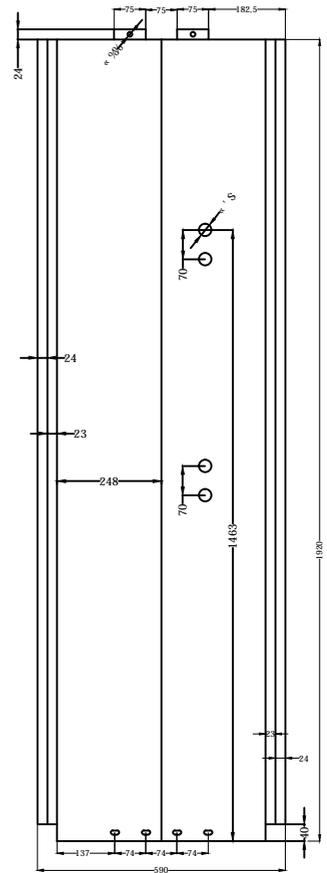
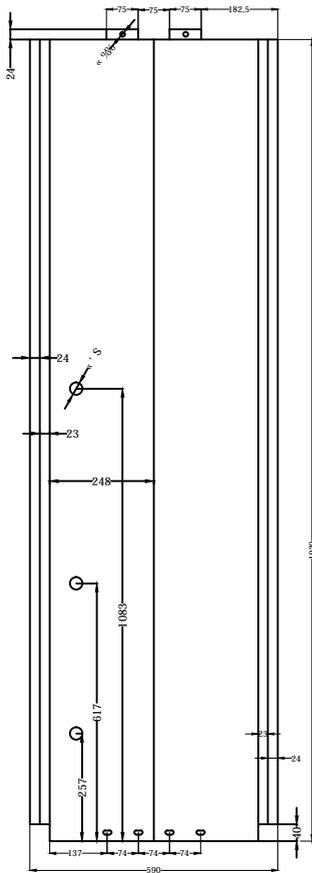


8	N-154552	TAP_LAT_ELC_N1_GHFR600	537x775	0,70	FM	1
7	N-154551	TAP_LAT_ELC_N2_GHFR600	292x775	0,70	FM	1
6	N-154550	TAP_LAT_TUB_GHFR600	1286x775	0,70	FM	1
5	N-154549	TAP_LAT_N2_GHFR600	1971x775	0,70	FM	1
4	N-154548	TAP_LAT_N1_GHFR600	1971x775	0,70	FM	2
3	N-154571	TAP_SUP	1207x1207	0,70		1
2	N-154546	PILAR_1_GHFR600	500x1920	1,50	FM	4
1	N-154545	BASE_GHFR600	1200x1200	2,00	FM	1
B.	7 e 8 + C	89BCA B57 e B	DIMENSIONES	e	MATERIAL	C.

CREADO	FECHA	B., D'Ubc.	Conjunto grupo hidrónico			Escala:	Ud:	
JDIAZ	20-Jul-15	2.1				1:30	mm	
MODIF.	FECHA							
R/V:	1.	CONJUNTO:	FAMILIA:	GHFR600	Tol:	± 1.00	<small>Documento propiedad de FROST-TROL S.A. Ei YXU'dic\ M'XU'g' Pdfe:Xi W'WB d'UWU'c' teHU'</small> <small>Document property of FROST-TROL S.A. Total or partial reproduction is prohibited.</small>	



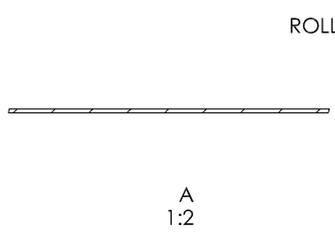
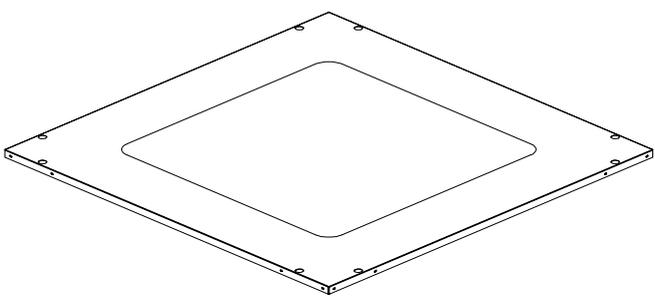
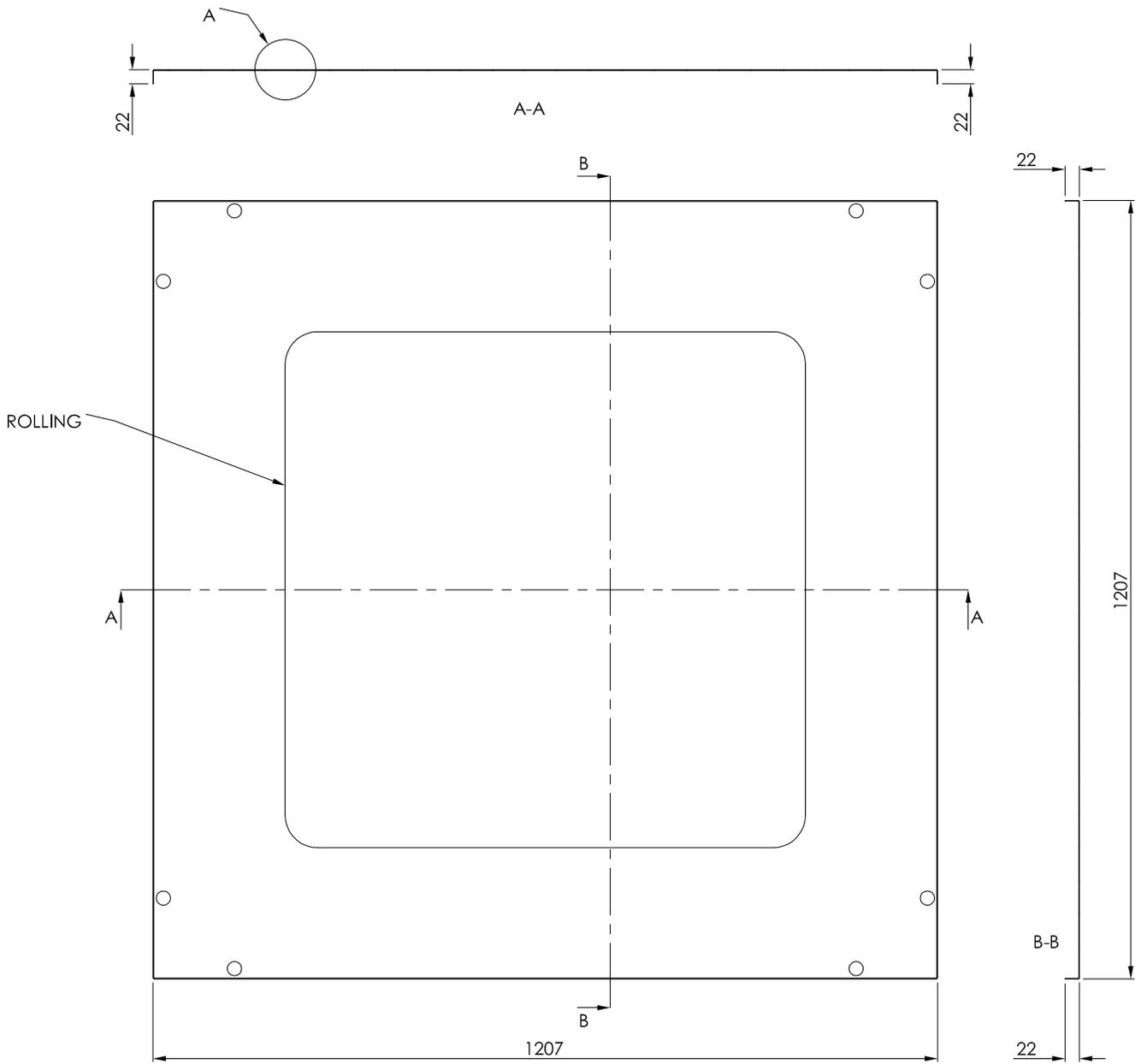
CREADO		FECHA	B, D Ubc.	N-154545		BASE_GHFR600	1200X1348	2,00	FM
JDIAZ		17-Jul-15	2.2	89BCA B57 e B		DIMENSIONES	e	MATERIAL	C.
MODIF.		FECHA		7 e 8 + C					
R/V:			1.	CONJUNTO:		FAMILIA:	GHFR600L	Tol: ± 1.00	
				Base		Escala: Ud:			
								Documento propiedad de FROST-TROL S.A. E i YXU d k \ M X U j d Y d k X i W W B d U W U c t e H U	
								Document property of FROST-TROL S.A. Total or partial reproduction is prohibited.	



	N-154124	PILARES_GHFR600		1,50	FM	2,00
B ₁	7 e 8 e C	89BCA-B57 e B	DIMENSIONES	e	MATERIAL	C.

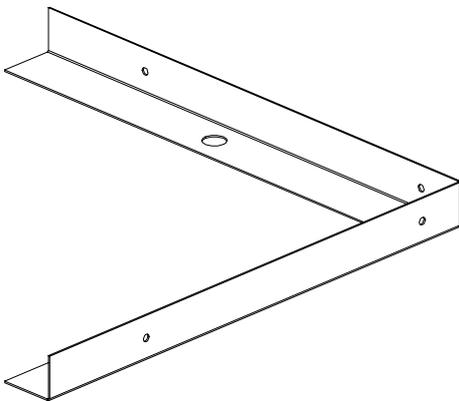
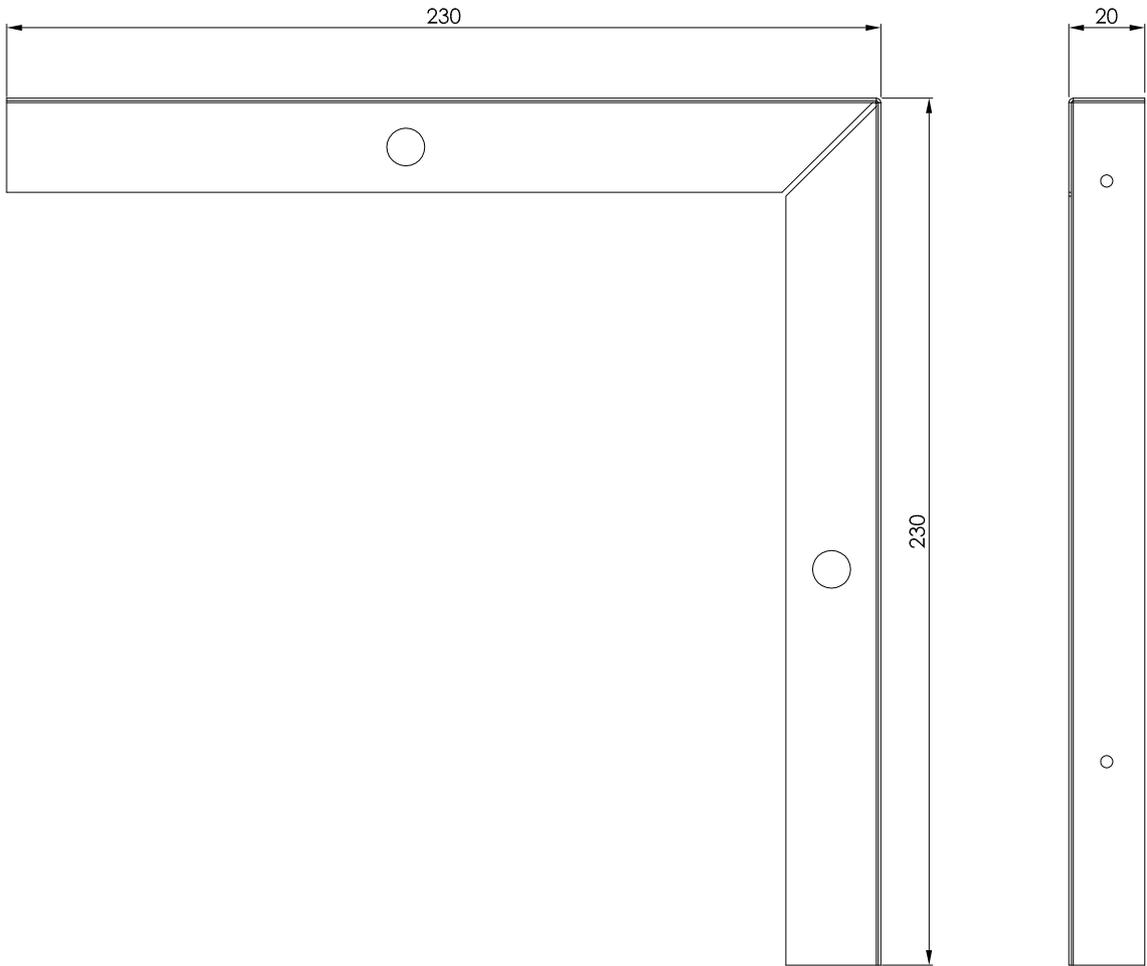
CREADO	FECHA	B, D Ubc.	Pilares	Escala:	Ud:	
J DIAZ	20-Jul-15	2.3		1:20	mm	
MODIF.	FECHA					
		R/V: 1.	CONJUNTO:	FAMILIA:	GHFR600L	Tol: ± 1.00

Documento propiedad de FROST-TROL S.A.
 E3 YXU dfe \W\XU\g fYdfe Xl VVV B dL\U\U c le H\H"
 Document property of FROST-TROL S.A.
 Total or partial reproduction is prohibited.



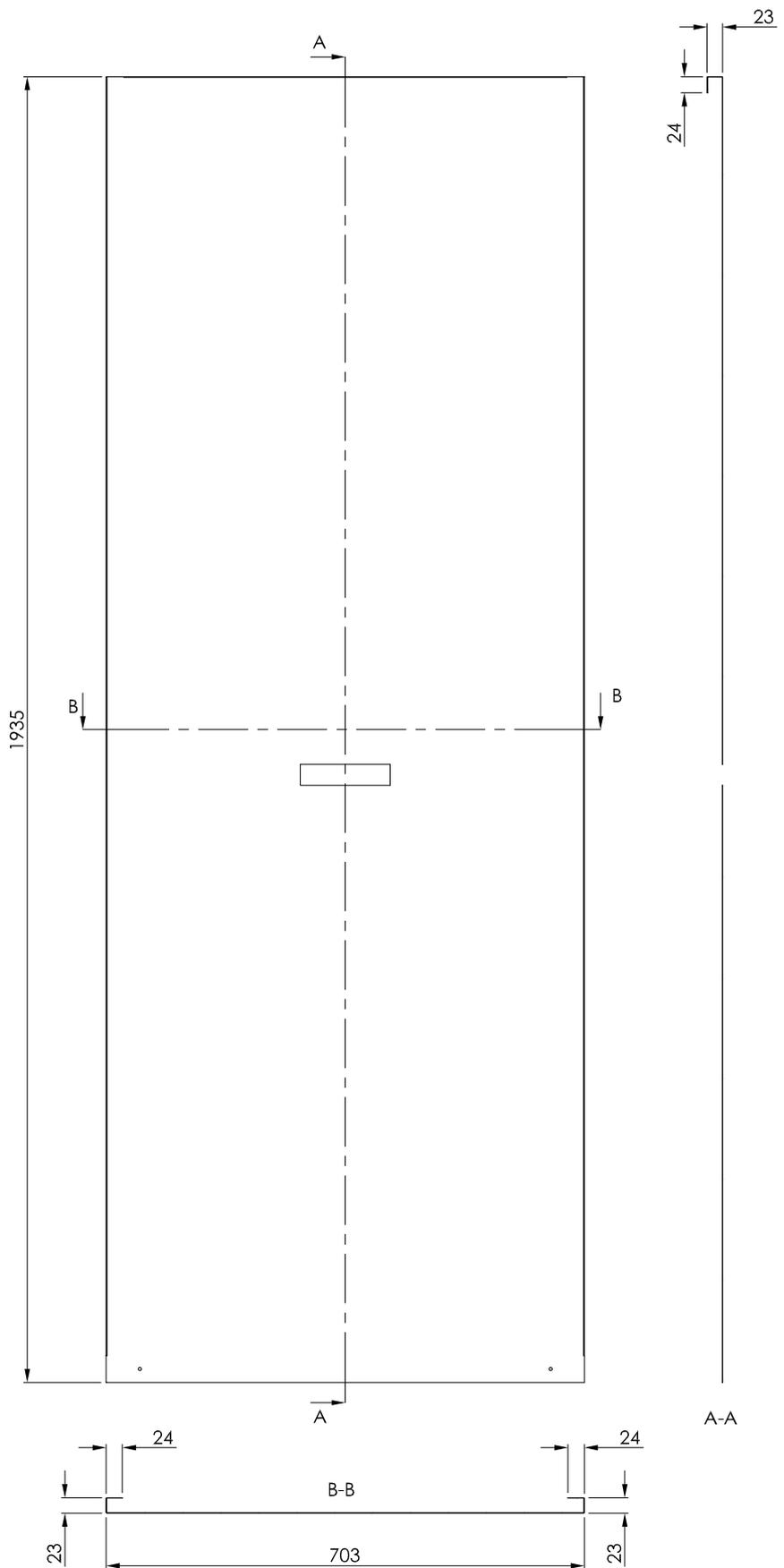
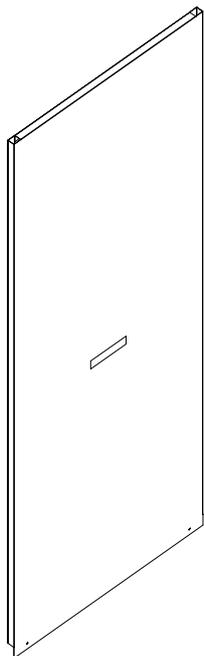
CREADO		FECHA	Nº Plano:	Tapa superior		Escala:	Ud:		
JDIAZ		17-Jul-15	2.4	TAPA_SUP_GHFR600		1:10	mm	Documento propiedad de FROST-TROL S.A. Queda prohibido su reproducción parcial o total.	
MODIF.		FECHA	R/V:	CONJUNTO:	FAMILIA:	± 1.00		Document property of FROST-TROL S.A. Total or partial reproduction is prohibited.	
			1.		GHFR600L				

DIN A4 297x210 (277x190)



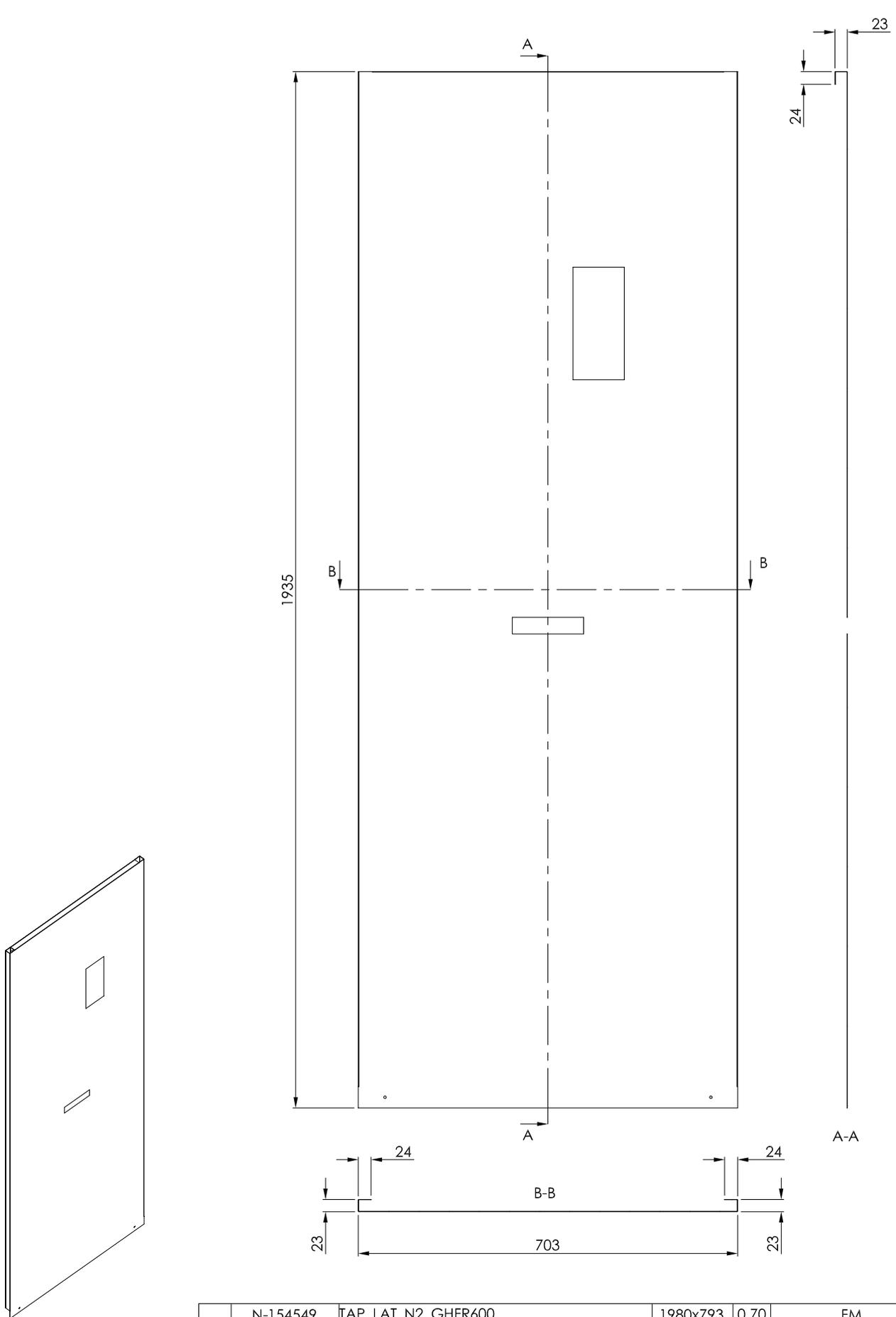
Nº	N-154572	ANG_TAP_SUP_GHFR600	459x44	0,70	FM	C.
	CÓDIGO	DENOMINACIÓN	DIMENSIONES	e	MATERIAL	

CREADO	FECHA	Nº Plano:	Tapa superior ángulo (refuerzo)		Escala:	Ud:	
JDIAZ	20-Jul-15	2.5			1:2	mm	
MODIF.	FECHA	R/V:	1.	CONJUNTO:	FAMILIA:	GHFR600L	Tol: ± 1.00
<small>Documento propiedad de FROST-TROL S.A. Queda prohibido su reproducción parcial o total. Document property of FROST-TROL S.A. Total or partial reproduction is prohibited.</small>							



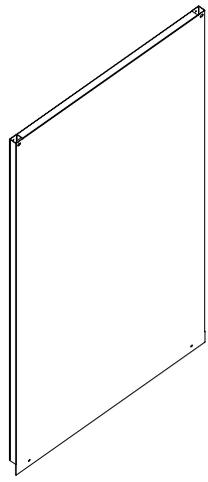
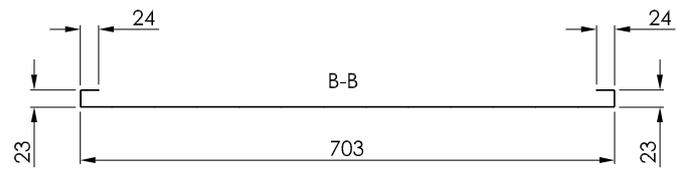
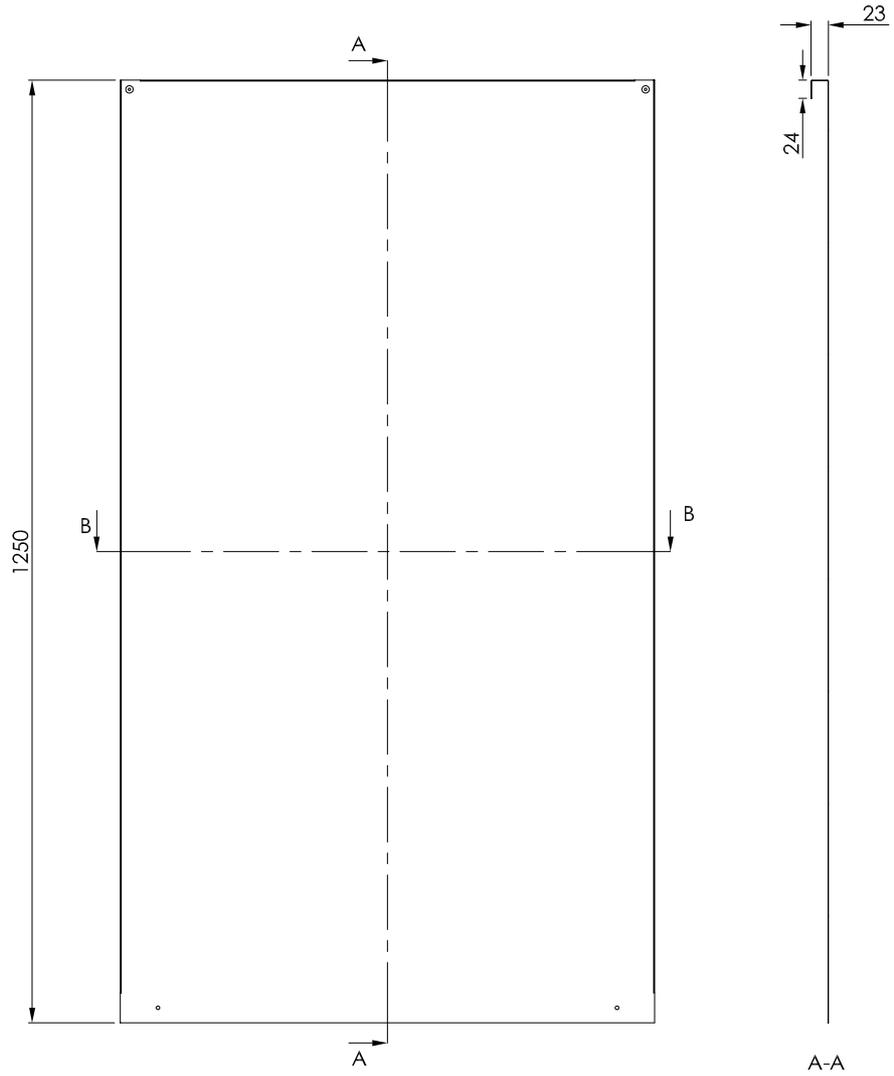
Nº	N-154548	CÓDIGO	TAP_LAT_N1_GHFR600	DENOMINACIÓN	1980x793	0,70	FM	C.
					DIMENSIONES	e	MATERIAL	

CREADO	FECHA	Nº Plano:	Tapa lateral			Escala:	Ud:	
JDIAZ	20-JUL-15	2.6				1:10	mm	
MODIF.	FECHA	R/V:	1.	CONJUNTO:	FAMILIA:	Tol:	± 1.00	Documento propiedad de FROST-TROL S.A. Queda prohibido su reproducción parcial o total. Document property of FROST-TROL S.A. Total or partial reproduction is prohibited.



Nº	N-154549	CÓDIGO	TAP_LAT_N2_GHFR600	DENOMINACIÓN	1980x793	0,70	FM	C.
					DIMENSIONES	e	MATERIAL	

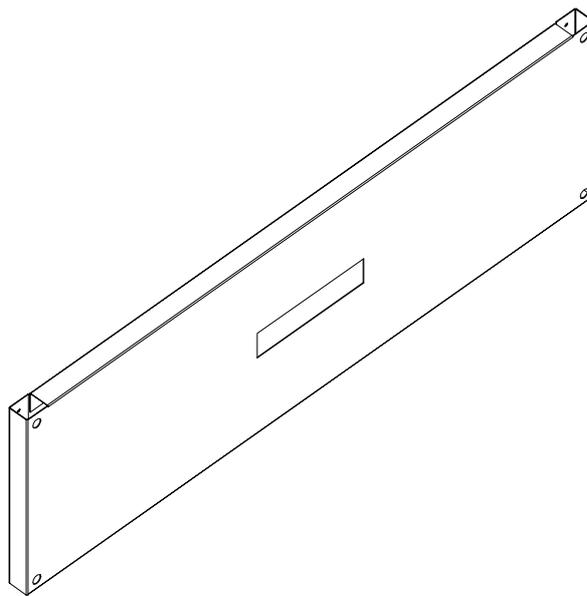
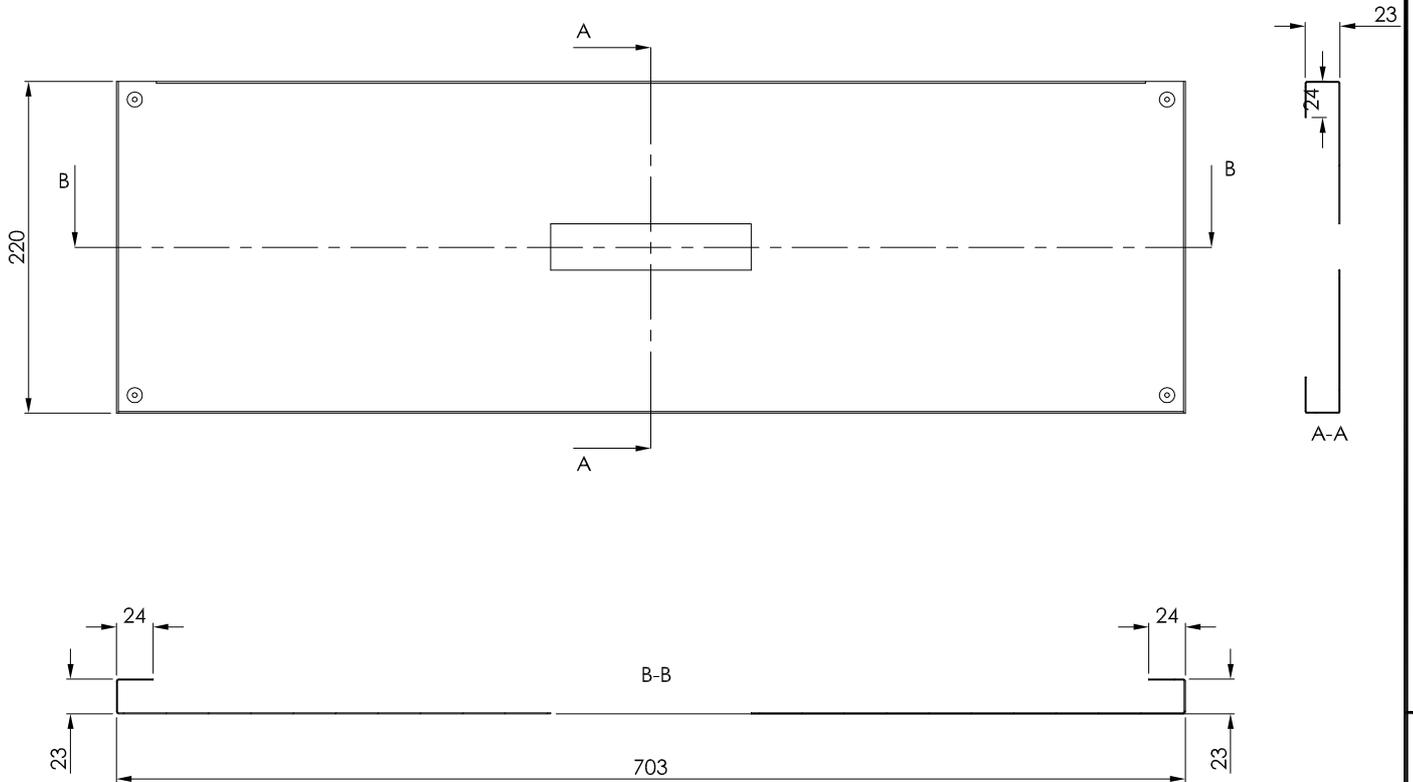
CREADO	FECHA	Nº Plano:	Tapa lateral manómetro			Escala:	Ud:	
JDIAZ	20-JUL-15	2.7				1:10	mm	
MODIF.	FECHA	R/V:	1.	CONJUNTO:	FAMILIA:	Tol:	± 1.00	Documento propiedad de FROST-TROL S.A. Queda prohibido su reproducción parcial o total. Document property of FROST-TROL S.A. Total or partial reproduction is prohibited.



Nº	N-154550	CÓDIGO	TAP_LAT_TUB_GHFR600	DENOMINACIÓN	1295x793	DIMENSIONES	0,70	e	FM	MATERIAL	C.
----	----------	--------	---------------------	--------------	----------	-------------	------	---	----	----------	----

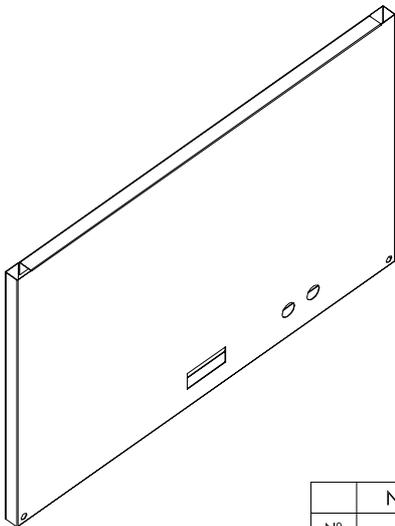
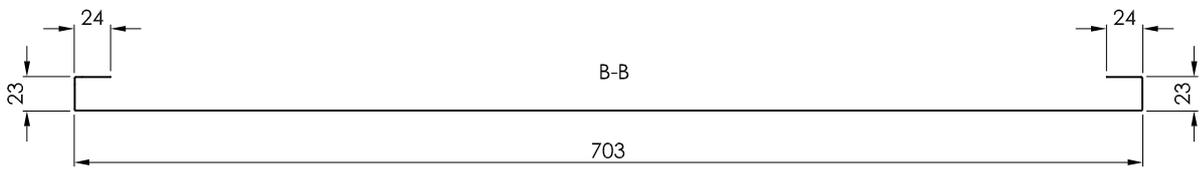
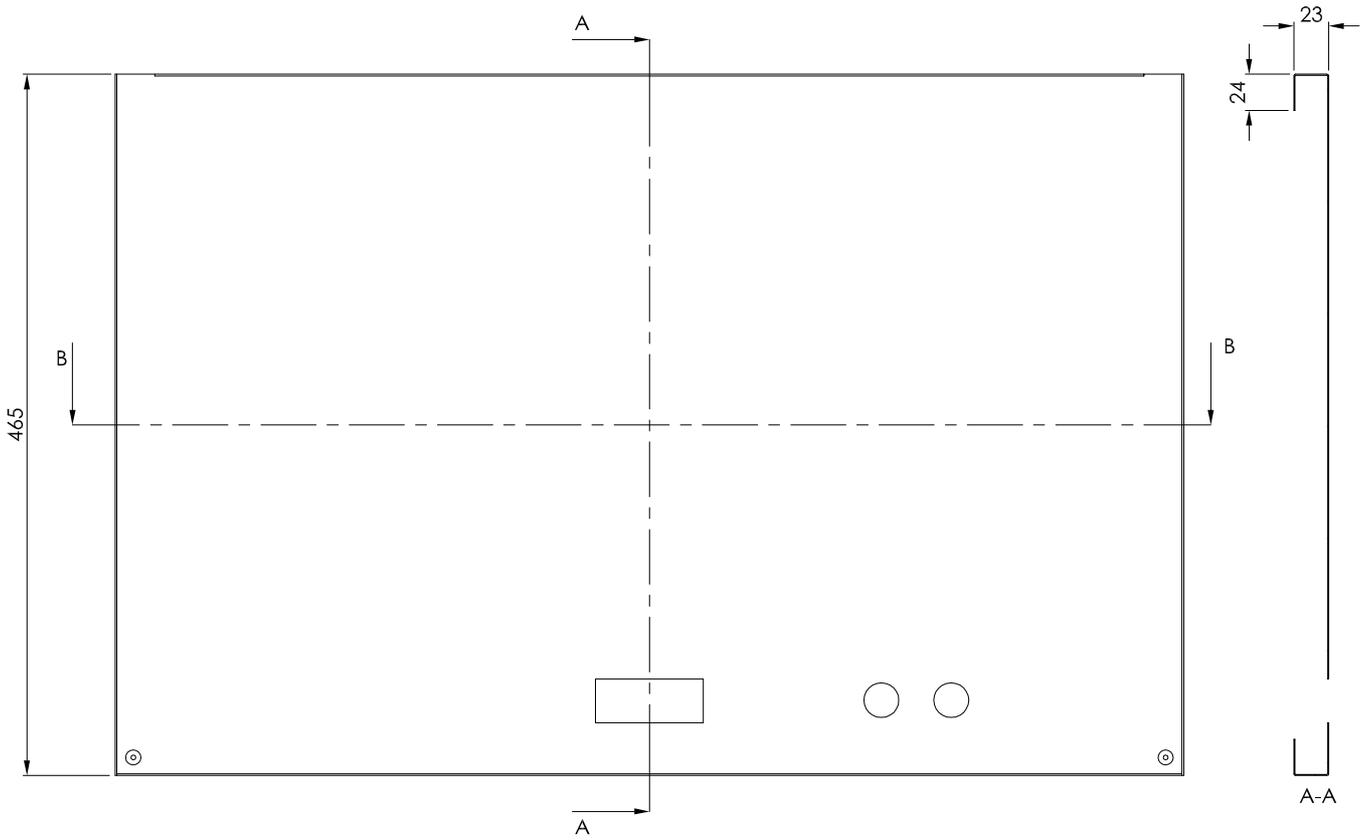
CREADO	FECHA	Nº Plano:	Tapa eléctrica 1			Escala:	Ud:	
JDIAZ	20-JUL-15	2.8				1:10	mm	
MODIF.	FECHA	R/V:	1.	CONJUNTO:	FAMILIA:	GHFR600L		Documento propiedad de FROST-TROL S.A. Queda prohibida su reproducción parcial o total. Document property of FROST-TROL S.A. Total or partial reproduction is prohibited.
						Tol:	± 1.00	

DIN A4 297x210 (277x190)



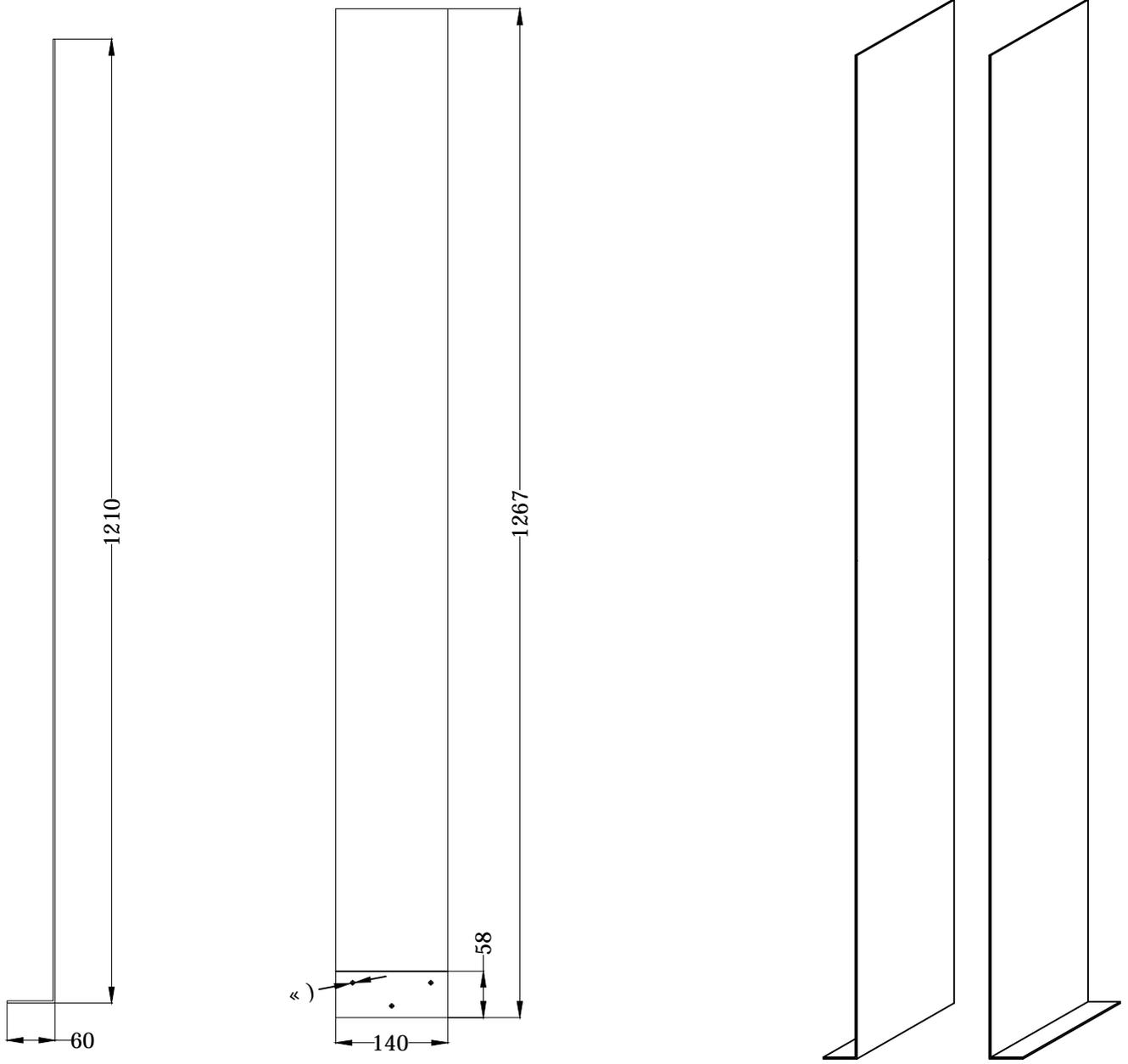
Nº	N-154551	CÓDIGO	TAP_LAT_ELC_N2_GHFR600	DENOMINACIÓN	310x793	0,70	FM	C.
					DIMENSIONES	e	MATERIAL	

CREADO	FECHA	Nº Plano:	Tapa eléctrica 2			Escala:	Ud:	
JDIAZ	20-Jul-15	2.9	R/V:	1.	CONJUNTO:	1:5	mm	
MODIF:	FECHA		FAMILIA:	GHFR600L	Tol:	± 1.00	<small>Documento propiedad de FROST-TROL S.A. Queda prohibida su reproducción parcial o total. Document property of FROST-TROL S.A. Total or partial reproduction is prohibited.</small>	



Nº	N-154552	TAP_LAT_ELC_N1_GHFR600	555x793	0,70	FM	C.
	CÓDIGO	DENOMINACIÓN	DIMENSIONES	e	MATERIAL	

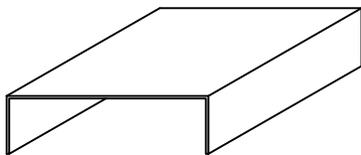
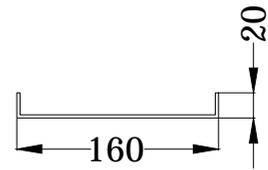
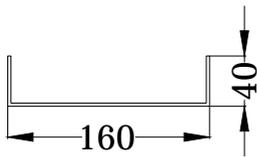
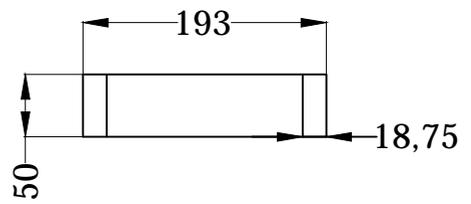
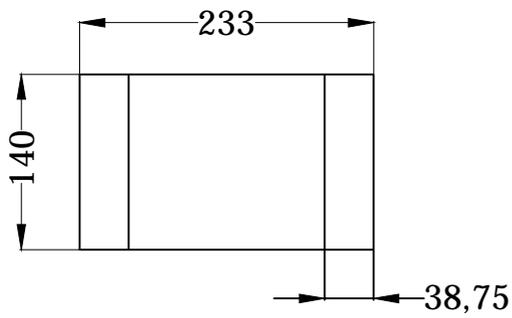
CREADO	FECHA	Nº Plano:	Tapa eléctrica 3		Escala:	Ud:	
JDIAZ	20-Jul-15	2.10			1:5	mm	
MODIF.	FECHA	R/V:	1. CONJUNTO:	FAMILIA:	Tol:	± 1.00	Documento propiedad de FROST-TROL S.A. Queda prohibido su reproducción parcial o total. Document property of FROST-TROL S.A. Total or partial reproduction is prohibited.



	N-154534	SOP_INTER_GHFR600	1267X140	2,00	FM	2,00
B.	7 e 8 C	89BCA-B57 e B	DIMENSIONES	e	MATERIAL	C.

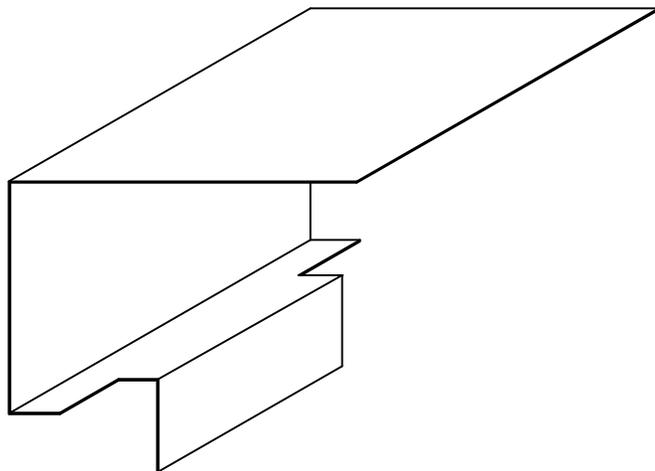
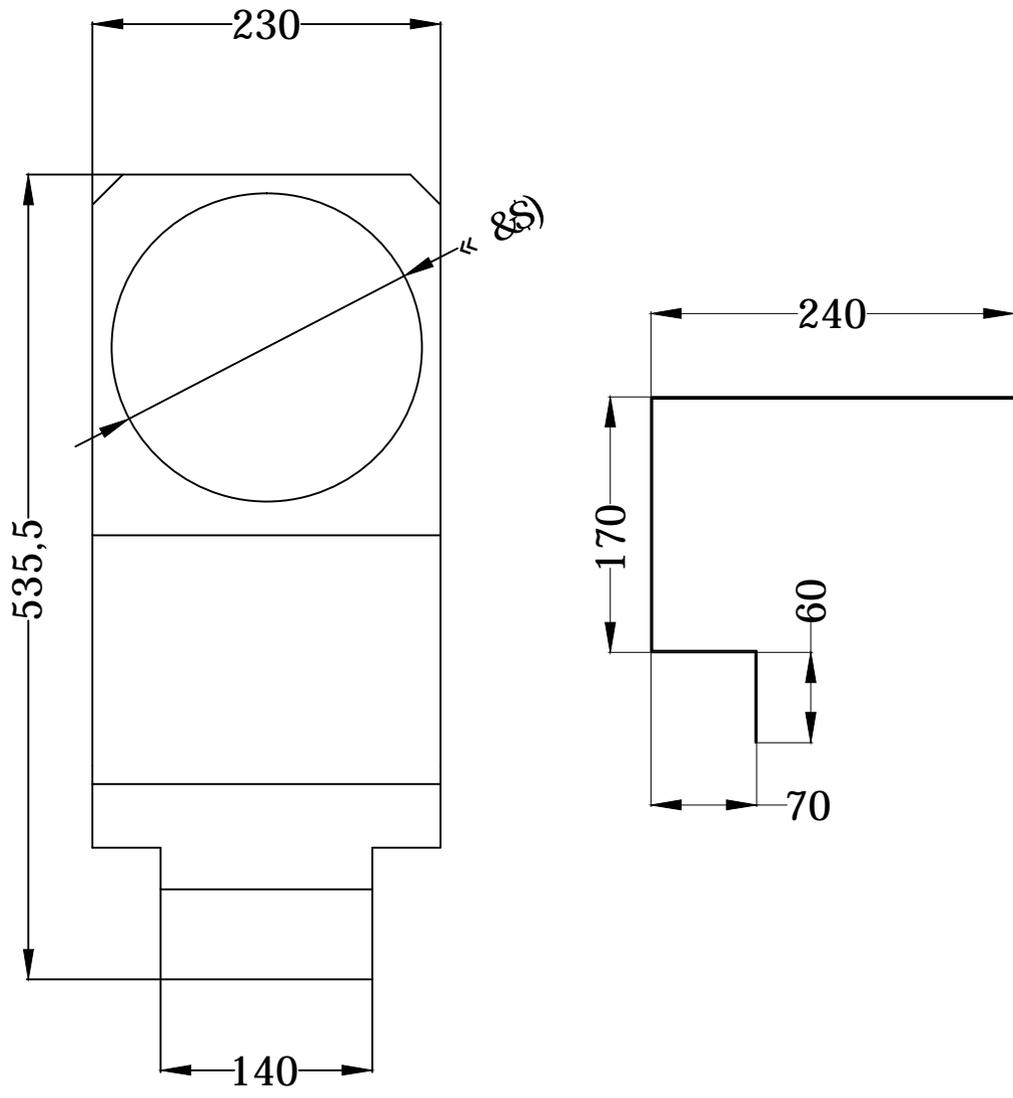
CREADO	FECHA	B, D Ubc.	Soporte intercambiador 1		Escala:	Ud:	
J DIAZ	20-Jul-15	2.11			1:8	mm	
MODIF.	FECHA						
		R/V: 1.	CONJUNTO:	FAMILIA:	GHFR600L	Tol: ± 1.00	Documento propiedad de FROST-TROL S.A. E i YXU dte V W X U g F y d e X i V W W B d L U V U L c k e H i Document property of FROST-TROL S.A. Total or partial reproduction is prohibited.

DIN A4 297x210 (277x190)



	N-154123	SOP_REFUERZOS_INTER_GHFR600		2,00	FM	2,00
B.	7 e 8 C	89BCA-B57 e B	DIMENSIONES	e	MATERIAL	C.

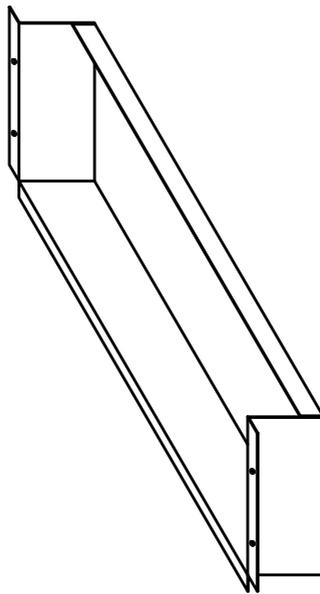
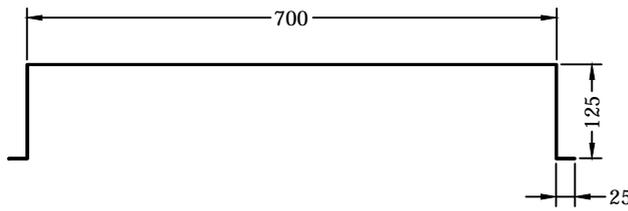
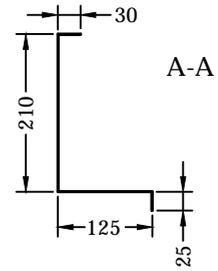
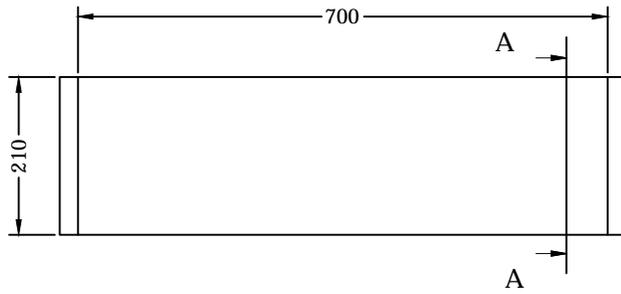
CREADO	FECHA	B, D Ubc.	Soporte intercambiador 2		Escala:	Ud:	
J DIAZ	20-Jul-15	2.12			1:6	mm	
MODIF.	FECHA						Documento propiedad de FROST-TROL S.A. El uso de este documento es estrictamente prohibido. Document property of FROST-TROL S.A. Total or partial reproduction is prohibited.
		R/V: 1.	CONJUNTO:	FAMILIA:	GHFR600L	Tol: ± 1.00	



	N-154535	SOP_VASO_8L_GHFR600	536X230	1,00	FM	
B.	7 e 8 C	89BCA-B57 e B	DIMENSIONES	e	MATERIAL	C.

CREADO	FECHA	B. DUBc.	Soporte vaso de expansion	Escala:	Ud:	
J DIAZ	20-Jul-15	2.13		1:5	mm	
MODIF.	FECHA					
		R/V: 1.	CONJUNTO:	FAMILIA:	GHFR600L	Tol: ± 1.00

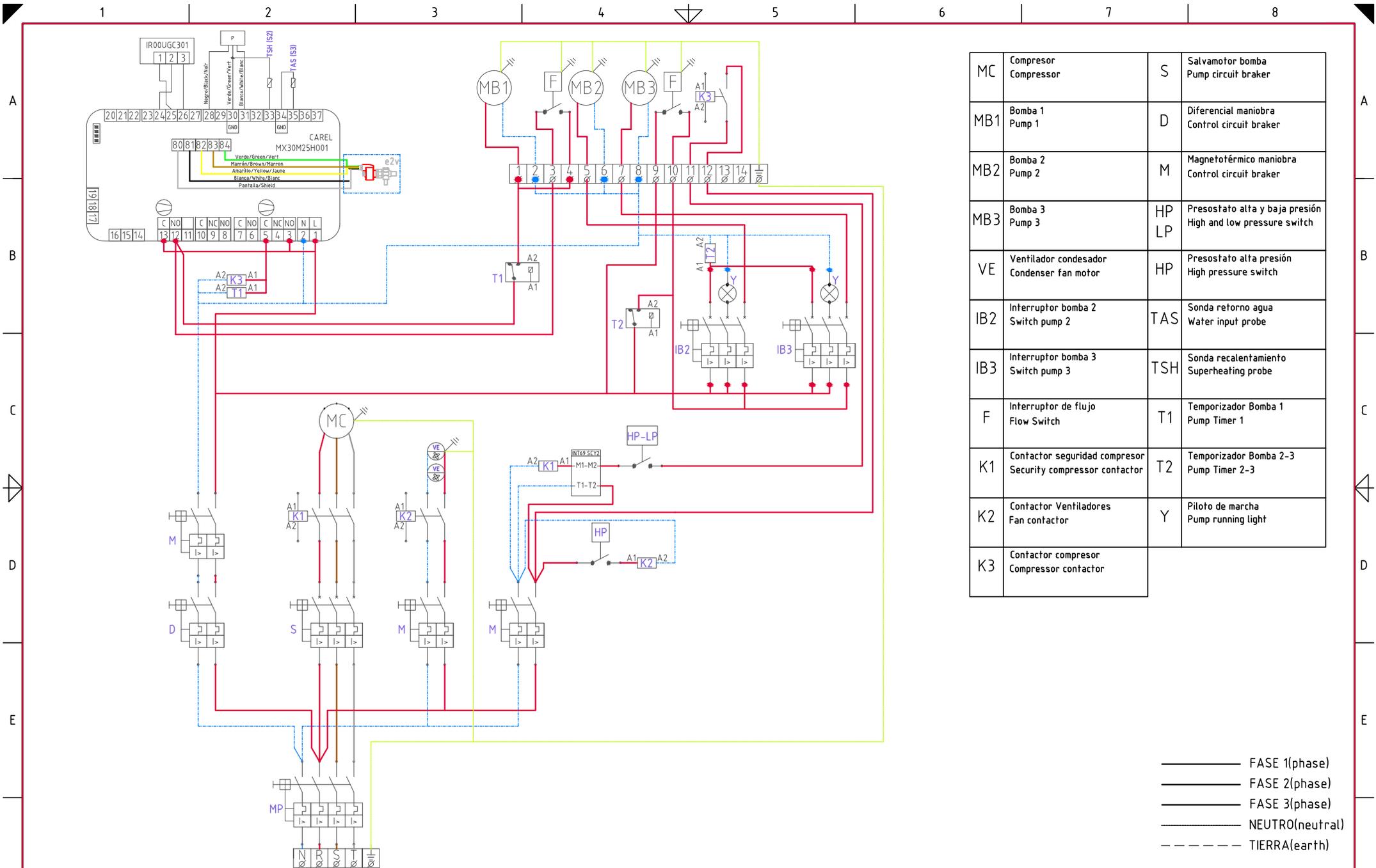
Documento propiedad de FROST-TROL S.A.
 Eiz YXU dte \W\XU g fYde Xi VVV B dLUVU c le H+
 Document property of FROST-TROL S.A.
 Total or partial reproduction is prohibited.



N-154571	SOP_ELEC_GHFR600	940x385	0,7	FM
B.	7 e 8 + C	DIMENSIONES	e	MATERIAL
	89BCA B57 e B			C.

CREADO	FECHA	B, D Ubc.	Soporte eléctrico	Escala: Ud: 1:10 mm 	
J DIAZ	17-Jul-15	2.14		Documento propiedad de FROST-TROL S.A. E i YXU d k \ M X U j f Y d k X i W W B d U W U c t e H U	
MODIF.	FECHA			Document property of FROST-TROL S.A. Total or partial reproduction is prohibited.	
R/V:	1.	CONJUNTO:	FAMILIA:	GHFR600L	Tol: ± 1.00

3. Planos eléctricos



MC	Compresor Compressor	S	Salvamotores bomba Pump circuit breaker
MB1	Bomba 1 Pump 1	D	Diferencial maniobra Control circuit breaker
MB2	Bomba 2 Pump 2	M	Magnetotérmico maniobra Control circuit breaker
MB3	Bomba 3 Pump 3	HP LP	Presostato alta y baja presión High and low pressure switch
VE	Ventilador condensador Condenser fan motor	HP	Presostato alta presión High pressure switch
IB2	Interruptor bomba 2 Switch pump 2	TAS	Sonda retorno agua Water input probe
IB3	Interruptor bomba 3 Switch pump 3	TSH	Sonda recalentamiento Superheating probe
F	Interruptor de flujo Flow Switch	T1	Temporizador Bomba 1 Pump Timer 1
K1	Contacto seguridad compresor Security compressor contactor	T2	Temporizador Bomba 2-3 Pump Timer 2-3
K2	Contacto Ventiladores Fan contactor	Y	Piloto de marcha Pump running light
K3	Contacto compresor Compressor contactor		

— FASE 1(phase)
 — FASE 2(phase)
 — FASE 3(phase)
 - - - - - NEUTRO(neutral)
 TIERRA(earth)

E			B			
D			A			
C			0	Original	J.Diaz	23/07/15
Rev.	Nº Modificación	Nombre	Rev.	Nº Modificación	Nombre	Fecha

© Esquema eléctrico propiedad de Frost-Trol S.A.

Fecha:	24/07/15
Nombre:	J.Diaz
Comprobado:	DT
Número:	1234

Esquema eléctrico	
GHFR	

Código:	3.1
Hoja 1 de 1	

A

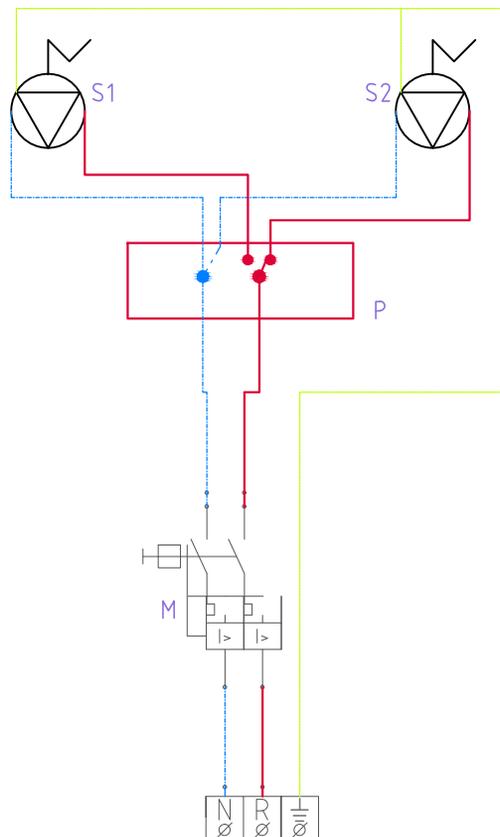
B

C

D

E

F



S1	Solenoide 1 Solenoid 1
S2	Solenoide 2 Solenoid 2
P	Termoestato mecánico Pump 2
M	Magnetotérmico maniobra Control circuit breaker

———— FASE 1(phase)
 ———— NEUTRO(neutral)
 - - - - TIERRA(earth)

E				B			
D				A			
C				0	Original	J.Diaz	23/07/15
Rev.	Nº Modificación	Nombre	Fecha	Rev.	Nº Modificación	Nombre	Fecha

frost-trol

© Esquema eléctrico propiedad de Frost-Trol S.A.

Fecha:	24/07/15
Nombre:	J.Diaz
Comprobado:	DT
Número:	1324

Esquema eléctrico
Control Agua

Código:
3.2
 Hoja 1 de 1

1

2

3

4

5

6

7

8

PLIEGO DE CONDICIONES

DOCUMENTO IV: Pliego de condiciones.

INDICE DE CONTENIDO

1.	Descripción de la obras _____	133
2.	Condiciones técnicas generales _____	133
2.1.	Interpretación del pliego _____	133
2.2.	Condiciones de ejecución y características de los materiales y equipos a emplear	133
3.	Prescripciones técnicas correspondientes a tuberías _____	135
3.1.	Generalidades _____	135
3.2.	Materiales y aplicaciones _____	135
3.3.	Instalación _____	135
3.4.	Pruebas hidrostáticas _____	136
3.4.1.	Generalidades _____	136
3.4.2.	Pruebas de estanquidad _____	136
3.4.3.	Pruebas de presión _____	137
3.4.4.	Comprobación de especificaciones _____	137
4.	Prescripciones técnicas correspondientes a la instalación frigorífica _____	137
4.1.	Equipos de producción de frío _____	137
4.1.1.	Condiciones generales _____	137
4.1.2.	Placas de identificación _____	137
5.	Prescripciones técnicas correspondientes a la instalación eléctrica _____	137
5.1.	Instalación eléctrica _____	137
5.2.	Armario eléctrico de maniobra _____	138
6.	Condiciones generales finales _____	138

1. Descripción de la obras

Este documento hace referencia a las especificaciones técnicas, legales y económicas para la ejecución del presente proyecto.

En el presente capítulo se enumera las obras a ejecutar, estando las mismas descritas con mayor detalle en la Memoria Descriptiva y en los siguientes capítulos del pliego de condiciones.

Las obras a realizar se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- Ejecución de las instalaciones.
- Instalación de máquinas y equipos.
- Puesta en marcha y regulación.

Las instalaciones a llevar a cabo serán:

- Instalación de circuito de distribución del fluido secundario.
- Instalación y conexionado entre elementos.

La instalación de maquinaria y equipos comprende la instalación de los equipos descritos en el capítulo correspondiente de la memoria del presente proyecto.

El presente pliego de condiciones y las especificaciones tanto del proyecto como del fabricante determinan las condiciones de calidad, montaje y puesta en funcionamiento.

2. Condiciones técnicas generales

2.1. Interpretación del pliego

La interpretación del Pliego de Prescripciones Técnicas, en su sentido más amplio, corresponde exclusivamente al representante de la propiedad.

2.2. Condiciones de ejecución y características de los materiales y equipos a emplear

La empresa instaladora se compromete a suministrar y montar todas las máquinas, equipos componentes y materiales que forman la instalación de acuerdo al número, características, tipos y dimensiones específicas en el presente Pliego de Prescripciones Técnicas.

Deberán estar incluidos en los trabajos a realizar, los materiales úsales omitidos, pero necesarios para el correcto funcionamiento de la instalación a realizar, tales como; oxígeno, acetileno, electrodos, pintura, patillas, manguitos pasamuros, lubricantes, bridas, cáñamo, tornillos, tuercas, y toda clase de soportes

Todos los materiales y equipos deberán ser totalmente nuevos y de la calidad exigida en este Pliego de Prescripciones Técnicas. En caso de no estar reflejados, serán siempre de primera calidad.

Los trabajos incluirán el transporte de los materiales y equipos a pie de obra; asimismo la mano de obra necesaria para el montaje de los mismos, protocolo de pruebas y puesta de recepción, así como las debidas herramientas, utensilios e instrumentos de medida necesarios.

Será por cuenta del instalador, la modificación parcial o total de las instalaciones existentes, que no forman parte de la instalación a sustituir, y/ o elementos arquitectónicos que sean

necesarios, para llevar a cabo la instalación y montaje de las máquinas, equipos, componentes y materiales que componen el presente Pliego de Prescripciones Técnicas.

Los materiales procedentes de desmontajes, derribos o demoliciones que, a juicio del representante de la propiedad, posean algún valor, quedarán a disposición de la Propiedad, el resto serán transportados al vertedero, por cuenta del instalador.

En el precio de cada unidad de obra se consideran comprendidos todas las máquinas, equipos, componentes, materiales, accesorios, elementos arquitectónicos, ayudas de otras especialidades y operaciones necesarias para dejar la obra terminada y en disposición de ser recibida. En estos precios se consideran igualmente incluidos los gastos de transporte, las indemnizaciones o pagos que hayan de hacerse por cualquier concepto, así como todo tipo de impuestos fiscales y cargas sociales. También se considera incluidos los honorarios, tasas y gravámenes que se originen como ocasión de las inspecciones, aprobación y comprobación de las instalaciones del edificio, y/o de los trabajos.

La empresa instaladora, a quien se encomiende la ejecución de los trabajos a que se refiere el presente documento, deberá atender en todo momento las órdenes verbales o escritas que le trasmita el representante de la Propiedad.

La empresa instaladora queda obliga a comunicar a la Propiedad, cualquier anomalía que pudiera observarse durante la marcha y ejecución de los trabajos.

La empresa instaladora queda obligada a hacer todo lo que sea necesario para la buena realización de los trabajos e instalaciones, incluso en el caso en que no esté textualmente expresado en el Presente Pliego de Prescripciones Técnicas, siempre que sin separarse de las normas de una buena ejecución, le sea solicitado por el representante de la propiedad.

La empresa instaladora pondrá frente de la dirección de los trabajos, y por us cuenta, un técnico responsable, suficientemente capacitado, que será quien vigile, sincronice y organice, de acuerdo con las órdenes recibidas, los trabajos a realizar, firmando el enterado al pie de dichas ordenes, en caso de serle transmitidas por escrito.

La propiedad, se reserva el derecho de solicitar la sustitución del Técnico Responsable de la Empresa Adjudicataria, sin alegar justificaciones.

La empresa instaladora presentará, oportunamente, muestra de cada material y/o componente para su aprobación por el representante de la Propiedad, teniendo en cuenta que deberá ser retirado todos aquellos materiales y/o componentes que hayan sido instalados sin la mencionada aprobación previa.

A requerimiento del representante de la Propiedad, y siempre que este lo estime necesario, serna efectuadas por cuenta de la empresa instaladora las pruebas y análisis necesarios sobre los materiales y equipos a emplear.

Cuando haya sido ejecutada cualquier obra de construcción o instalación que no se ajuste a este Pliego de Prescripciones Técnicas, o que al leal saber y entender del representante de la Propiedad, no cumplen las condiciones específicas, este podrá rechazarla, estando entonces obligada la Empresa instaladora a volver a efectuar la obra de construcción o instalación defectuosa, cuantas veces sea necesario, sin aumento alguno del precio total presupuestado.

No podrán realizarse trabajos que den motivo a la ocultación de otros, antes de que estos hayan sido examinados y aceptados por el representante de la propiedad, pudiendo dar lugar al

incumplimiento de lo aquí señalado a su demolición, todo ello por cuenta de la Empresa instaladora.

3. Prescripciones técnicas correspondientes a tuberías

3.1. Generalidades

Las tuberías se identifican por la clase del material, el tipo de unión, el diámetro nominal DN (mm o pulgadas), el diámetro interior (mm) y la presión nominal del trabajo PN (bar), de la que depende el espesor del material.

La presión máxima de trabajo PT a la que la tubería podrá estar sometida será una fracción de la presión nominal PN; el valor fraccionado depende de la temperatura máxima que puede alcanzar el fluido.

Las tuberías llevarán marcadas de forma indeleble y a distancias convenientes la norma según la cual están fabricadas.

3.2. Materiales y aplicaciones

La calidad de los distintos materiales para tuberías y accesorios, que se emplearan en la red de distribución, queda definida por las normas que se indican a continuación y que deben considerarse como parte integrante del presente Pliego de Prescripciones Técnicas.

- Cobre y aleaciones de cobre. Tubos redondos estirados en frío, sin soldadura, para los intercambiadores de placas y para las tuberías del grupo hidrónico. Medidas, tolerancias, características mecánicas y condiciones técnicas de suministro.
- Polipropileno. Tubos redondos, conformados en frío, para la distribución del grupo hidrónico. Medidas, tolerancias, características mecánicas y condiciones técnicas de suministro.

3.3. Instalación

Antes del montaje del sistema de distribución del fluido secundario, deberá comprobarse que la tubería no es agrietada, dañada o en malas condiciones.

Las tuberías serán instaladas de forma ordenada, utilizando siempre que sea posible, tres ejes perpendiculares entre si y paralelos a los elementos estructurales del edificio, salvo las pendientes que deban darse a las tuberías.

Las tuberías se instalaran lo más próximo posible a los paramentos, dejando únicamente el espacio suficiente para manipular el aislamiento térmico, válvulas, dilatadores, etc. La distancia mínima entre tuberías y elementos estructurales y otras tuberías será de 5 cm.

Las tuberías, cualquiera que sea el fluido que transporta, correrán siempre debajo de las canalizaciones eléctricas.

Las tuberías se instalaran siempre con el menor número posible de uniones; no se permitirá el aprovechamiento de recortes de tuberías en tramos rectos.

Las uniones entre tuberías se realizaran por termo-fusión, siguiendo el procedimiento descrito por el fabricante.

En las uniones roscadas se interpondrá el material necesario para la obtención de una perfecta y duradera estanqueidad. Cuando las uniones se hagan por bridas, se interpondrá entre ellas una junta de estanqueidad.

En caso de realizar uniones por soldadura procurar no concentrar durante tiempo prolongado el foco de calor en una zona de la tubería, ya que puede producirse la fusión de la misma y la inutilización por completo de esta.

Al realizar la unión de la tuberías, directamente o través de una válvula, dilatador, etc, estas no deberán forzarse para llevarlas al punto de acoplamiento, sino que deberán haberse cortado y colocado con la debida exactitud.

Las dilataciones que sufren las tuberías al variar la temperatura del fluido, deben compensarse a fin de evitar roturas en los puntos más débiles que suelen ser las uniones entre las tuberías, donde se concentran los esfuerzos de dilatación y contracción. En los tendidos de tuberías de gran longitud, horizontales y verticales, habrá que compensar los movimientos de las tuberías por medio de dilatadores axiales.

El sistema de sujeción de soporte estará constituido perfectamente por elementos metálicos. En el caso de apoyos simples o de deslizamiento, el contacto entre soporte y tubería deberá realizarse de tal manera que este tenga libertad de efectuar movimientos axiales y, al mismo tiempo, se le impidan movimientos radiales.

La perfilería utilizada para la conformación del soporte estará normalizada según la Comisión Técnica (CT36-SIDERUGIA DE IRANOR), así como los elementos accesorios tuercas, arandelas, tornillos y demás según (CT-17-MEDIOS DE FIJACION). Todo el material que conforma el soporte deberá ser resistente a la oxidación, por medio de recubrimientos protectores dados en obra (dos manos de pintura antioxidante) o en fabrica (varillas roscadas, tuercas cadmiadas). El soporte deberá ser fácilmente desmontable, debiéndose utilizar uniones roscadas con tuercas y arandelas de latón, excepto cuando se trate de un punto fijo soldado. A fin de asegurar el apoyo uniforme, con espesor mínimo de $s \geq 2m/m$. El material interpuesto tendrá también función de amortiguar la transmisión de vibraciones y de proteger los tubos metálicos de acciones agresivas.

Las grapas y abrazaderas serán de forma tal que permitan un desmontaje fácil de los tubos, exigiéndoles la utilización de material elástico entre elementos de sujeción y tubería.

Existirán, al menos, dos soportes entre cada unión de tuberías y, con preferencia, se colocaran estos al lado de cada unión.

3.4. Pruebas hidrostáticas

3.4.1. Generalidades

Todas las redes de distribución deberán ser probadas hidrostáticamente antes de quedar ocultas por obras de albañilería o por material aislante, a fin de probar su estanqueidad.

Todas las pruebas serán efectuadas en presencia del representante de la propiedad, que deberá dar su conformidad tanto al procedimiento seguido como a los resultados.

3.4.2. Pruebas de estanquidad

Antes de la realización de las pruebas de estanquidad, la red se habrá limpiado, llenándola y vaciándola el número de veces que sea necesario.

Las fugas detectadas no deben repararse con matices u otros medios improvisados y provisionales. La reparación se efectuara desmontando la tubería, junta, accesorio, válvula o sección defectuosa y sustituyéndola con material nuevo.

En caso de presencia de fugas y, después de la reparación conveniente, se deberá repetir la prueba. Este procedimiento, se repetirá todas las veces que sea necesario, hasta que la red sea absolutamente estanca.

3.4.3. Pruebas de presión

Como prueba preliminar, se presuriza la red, o cada tramo de ella, sin valvulería y con los extremos tapado, hasta alcanzar una presión de prueba igual a 1'5 veces la presión de servicio, con un mínimo de 10 bar.

La presión deberá mantenerse durante el tiempo necesario para efectuar una concienzuda inspección de la red. A continuación se mantendrá la presión de prueba durante una hora, sin que le manómetro acusen una presión inferior a 0'9 la presión de prueba.

3.4.4. Comprobación de especificaciones

El representante de la propiedad comprobará, al momento de la recepción de los materiales en la obra, la conformidad de estos con las normas específicas en el Pliego de Prescripciones Técnicas.

4. Prescripciones técnicas correspondientes a la instalación frigorífica

4.1. Equipos de producción de frío

4.1.1. Condiciones generales

Los equipos de producción de frío empleados en el proyecto al que hace referencia el presente pliego de condiciones y, en general, toda maquinaria frigorífica utilizada en climatización, deberá cumplir lo que especifiquen en el Reglamento de Seguridad para Plantas e Instalaciones Frigoríficas y el Reglamento de Aparatos a Presión.

4.1.2. Placas de identificación

Todos los equipos deberán ir provistos de placas de identificación en las que deberán constar los datos siguientes:

- Nombre o razón social del fabricante
- Número de fabricación
- Designación del modelo
- Características de la energía de alimentación
- Potencia nominal absorbida en condiciones normales
- Potencia frigorífica total útil
- Tipo de refrigerante
- Cantidad de refrigerante
- Coeficiente de eficiencia energética CEE
- Peso en funcionamiento

5. Prescripciones técnicas correspondientes a la instalación eléctrica

5.1. Instalación eléctrica

La instalación eléctrica será de tipo radial, bajo un tubo de PVC y acero. Los distintos materiales a emplear serán:

- Tubo de PCD y acero
- Cable Pirepol II o similar para canalizaciones generales.
- Cajas de registro estancas Crady o similar.
- Canalización independiente para fuerza, maniobra, alumbrado y conexión a ordenadores de mobiliario, cámaras, compresores, condensadores y lazo de control.

Se identificarán mediante rótulos todos los conductores de la instalación en sus extremos. Todos los elementos eléctricos (interruptores, magnetotérmico, reguladores AKS, reactancias de alumbrado, etc) y conductores de la instalación estarán perfectamente protegidos contra contactos directos y/o indirectos.

5.2. Armario eléctrico de maniobra

Los elementos eléctricos de fuerza y maniobra de la instalación se conectarán en un armario eléctrico situado en el grupo hidrónico.

6. Condiciones generales finales

El ingeniero no será responsable de la demora de los Organismos competentes en la tramitación del proyecto ni en su aprobación.

La orden de inicio de obra será indicada por el propietario, responsable de lo si no se dispone de los permisos correspondientes.

La contrata realiza su contrato con el propietario o promotor sin la intervención del ingeniero director, aunque pasará al mismo todas las liquidaciones que pase al propietario, así como los precios de las unidades de obra y las modificaciones acordadas en el transcurso de la obra.

PRESUPUESTO

DOCUMENTO V: Presupuesto.

INDICE DE CONTENIDO:

1. Presupuesto unidad condensadora (Chiller) _____	141
2. Presupuesto grupo hidrónico _____	141
3. Presupuesto del sistema de control _____	143
4. Presupuesto de ingeniería _____	143
5. Coste total del proyecto _____	143

INDICE DE TABLAS:

Tabla 1: Coste de los componentes de la unidad condensadora. _____	141
Tabla 2: Componentes principales del grupo hidrónico. _____	141
Tabla 3: Componentes secundarios cobre del grupo hidrónico. _____	142
Tabla 4: Componentes secundarios PP-R del grupo hidrónico. _____	142
Tabla 5: Costes sistema de control unidad condensadora sala de ensayos. _____	143
Tabla 6: Costes de mano de obra e ingeniería. _____	143
Tabla 8: Gastos por administración. _____	143

1. Presupuesto unidad condensadora (Chiller)

El coste de la unidad condensadora se muestra en la *tabla 1*. La gran parte de los componentes ya estaban instalados, por lo que el coste total el menor.

Componentes	Unidad	Modelo	Precio unitario [€]	Precio total [€]
Intercambiador de placas	1	B80x30	1.171,00 €	1.171,00 €
Válvula de expansión	1	EV2-35	99,00 €	99,00 €
Controlador MPX-PRO	1	MX30M24H00	295,00 €	295,00 €
Sondas temperatura	2	NTC030HP00	6,40 €	12,80 €
Transductor de presión	1	SPKT0013R0	51,00 €	51,00 €
Terminal usuario (Display)	1	IR00UG6300	37,00 €	37,00 €
Visor de liquido	1	3/8"	12,10 €	12,10 €
Tubería cobre 3/8"	15	Rollo	3,28 €	49,17 €
Tubería cobre 1 1/4"	5	Tubo rígido	12,00 €	60,00 €
Refrigerante 404A ¹	18,9	Envase 60 kg	12,10 €	228,69 €
Impuesto sobre los Gases Fluorados ²	18,9	-	49,95 €	944,06 €
Total unidad condensadora comercial (chiller)				2.959,82 €

Tabla 1: Coste de los componentes de la unidad condensadora.

2. Presupuesto grupo hidrónico

El coste del grupo hidrónico se divide en componentes principales y secundarios. Los componentes principales son aquellos elementos que controlan y hacen que la instalación funcione correctamente.

Componentes Principales	Unidad	Modelo	Precio unitario	Precio total
Depósito de Inercia ³	1	600 litros	733,00 €	0,00 €
Válvula de seguridad	1	3 bar	9,50 €	9,50 €
Flusostato regulable agua	3	1"	108,40 €	325,20 €
Purgador automático de aire	7	Giacomini	7,11 €	49,77 €
Vaso de expansión	1	8 litros	42,70 €	42,70 €
Válvula de esfera palanca Cabel	8	H-H Ø1"	10,44 €	83,52 €
Visor Válvula seguridad 1/2"	1	1/2"	8,40 €	8,40 €
Filtro latón tipo "Y"	3	rosca Ø1"	9,02 €	27,06 €
Manómetro	3	1/2"	5,33 €	15,99 €
Bomba de recirculación ³	1	Baxiroca	161,25 €	0,00 €
Bomba de recirculación ³	2	DAB	163,00 €	0,00 €
Estructura (Punzonado, pintura y doblado)	1	1200x1200	135,52 €	135,52 €
Precio total de los componentes principales del grupo hidrónico				697,66 €

Tabla 2: Componentes principales del grupo hidrónico.

¹ El refrigerante 404A tiene adheridos el impuesto de envasado y distribución en el precio por kg.

² Se aplica un impuesto de 0,02 € por kg equivalente de CO2 emitido a la atmosfera según la ley 16/2013 de 29 de octubre. Durante el 2015 existe una bonificación del 33%. En 2016 se aplicará la tasa íntegra.

Los elementos secundarios son las uniones de tuberías de cobre y PP-R que se han utilizado. Algunos de los elementos descritos se han reutilizado, por lo que no se ha considerado su precio.

Componentes Secundarios Cobre ³	Unidad	Modelo	Precio unitario	Precio total
Rosca Macho 3" --> Hembra 2"	6	3"--> 2"	30,73 €	184,38 €
Rosca Macho 2" --> Hembra 1"	4	2" -->1"	9,54 €	38,16 €
Tapones latón macho 2"	2	2"	8,36 €	16,72 €
Tapones latón macho 1/2"	2	1/2"	1,05 €	2,10 €
Codo 90º latón 1 1/4"	2	1 1/4"	12,90 €	25,80 €
Codo 90º latón 1"	5	1"	4,66 €	23,30 €
Codo 90º latón 1/2"	4	1/2"	2,99 €	11,96 €
Codo radio corto	7	H-H Ø28	1,72 €	12,04 €
Machón latón 1"	30	1"	2,15 €	64,38 €
Machón latón 1/2"	15	1/2"	0,75 €	11,21 €
Racor loco 28mm a 1" con cuello	6	28mm --> 1"	2,76 €	16,55 €
Racor loco 18mm a 3/4" con cuello	2	18mm --> 3/4"	1,41 €	2,82 €
Racor loco recto latón	4	15x1/2"	2,76 €	11,04 €
Juntas 1" para racor	2	1"	0,12 €	0,25 €
Juntas 3/4" para racor	1	3/4"	0,07 €	0,07 €
TE' 1"	2	1"	6,92 €	13,84 €
TE' 28-18-28	2	28-18-28	3,59 €	7,18 €
Tira de cobre	5	28x1	13,62 €	68,10 €
Madeja de cáñamo	1	-	2,93 €	2,93 €
Precio total de los componentes secundarios de cobre del grupo hidrónico				512,83 €

Tabla 3: Componentes secundarios cobre del grupo hidrónico.

Componentes Secundarios PP-R ³	Unidad	Modelo	Precio unitario	Precio total
Tubo PP-R PN16	52	Ø32x4,4	3,03 €	157,66 €
Codo 90° PP-R	30	d.32	1,13 €	33,90 €
Válvula empotrar PP-R	4	d.32	30,24 €	120,97 €
TE 90° PP-R	2	B-R 32mm	1,49 €	2,99 €
Enlace PP-R Rosca H	6	32-3/4"	6,21 €	37,25 €
Abrazadera isofónica Hydrasol	30	M-8+M10 Ø35	1,78 €	53,37 €
Tirafondo abrazadera	30	M-80x40	0,08 €	2,46 €
Taco de nylon	30	FX Nexus Ø32	0,07 €	2,13 €
Reducción PP-R	4	40-32	1,38 €	5,50 €
Precio total de los componentes secundarios de PP-R del grupo hidrónico				416,24 €

Tabla 4: Componentes secundarios PP-R del grupo hidrónico.

Total grupo hidrónico	1.626,73 €
------------------------------	-------------------

³ Material disponible en I+D. Se reutilizan componentes para abaratar costes.

3. Presupuesto del sistema de control

Componentes Sistema de control	Unidad	Modelo	Precio unitario	Precio total
Válvula solenoide soldar 1/2"	2	EVR 6	4,26 €	8,52 €
Termostato Prodigy	1	TR 711N/27	34,01 €	34,01 €
Precio total de los componentes del sistema de control				42,53 €

Tabla 5: Costes sistema de control unidad condensadora sala de ensayos.

4. Presupuesto de ingeniería

Ingeniería	Cantidad [horas]	Precio unitario [€]	Precio total [€]
Mano de obra	25	8,00 €	200,00 €
Oficina técnica	20	8,00 €	160,00 €
Dirección de obra (3,5% sobre el presupuesto de la instalación)	-	-	162,02 €
Legalización (0,5% sobre el presupuesto de la instalación)	-	-	23,15 €
Total precio ingeniería			545,16 €

Tabla 6: Costes de mano de obra e ingeniería.

5. Coste total del proyecto

Resumen de costes	Precio
Unidad condensadora comercial (chiller)	2.959,82 €
Grupo hidrónico	1.626,73 €
Sistema de control de la unidad condensadora (sala de ensayos)	42,53 €
Coste mano de obra e ingeniería	545,16 €
Coste total de la instalación	5.174,23 €

Tabla 7: Resumen de los costes de la instalación.

Otros gastos	Total [€]
Beneficio industrial (12%)	620,91 €
Gastos generales (6%)	310,45 €

Tabla 8: Gastos por administración.

COSTE TOTAL PROYECTO	6.105,59 €
-----------------------------	-------------------