

Anexo A

Anexo A.1. Clasificación de los PCM

En este apartado se van a resumir los principales PCM que existen entre los 0 y 300 °C:

- **Soluciones de sales acuosas:** Están formadas por agua y sales, por lo que la separación de la fase podría ser un problema. Para prevenirlo se utilizan composiciones eutécticas, que son mezclas de dos o más constituyentes que solidifican simultáneamente fuera del líquido en el punto mínimo de enfriamiento. De esta forma se evita una fusión incongruente, es decir, que durante el proceso de cambio de fase se generen dos fases inmiscibles, una sólida y otra acuosa. Presentan temperaturas de fusión inferiores a 0°C y un cambio de volumen considerable, del orden de 5-10% del volumen inicial, en el cambio de sólido a líquido y viceversa. Estas soluciones son químicamente muy estables pero pueden ser más corrosivas que el agua debido a la presencia de sales. Además, estas sustancias suelen ser baratas por lo que se suelen utilizar en aplicaciones de gran tamaño. En la figura A.1. aparece una clasificación de las mismas con sus principales características.

Material	Melting temperature (°C)	Melting enthalpy (kJ/kg)	Thermal conductivity (W/m·K)	Density (kg/m ³)
Al(NO ₃) ₃ (30.5 wt.%) / H ₂ O	-30.6	131	-	1283 (liquid) 1251 (solid)
NaCl (22.4 wt.%) / H ₂ O	-21.2	222	-	1165 (liquid) 1108 (solid)
KCl (19.5 wt.%) / H ₂ O	-10.7	283	-	1126 (liquid) 1105 (solid)
H ₂ O	0	333	0.6 (liquid, 20 °C) 2.2 (solid)	998 (liquid, 20°C) 917 (solid, 0 °C)

Figura A. 1 Principales propiedades termofísicas de las soluciones de sales acuosas [2]

- **Parafinas:** Son productos del petróleo y pertenecen a una familia de hidrocarburos pesados denominada alkanos. Estas sustancias pueden ser usadas como acumuladores de calor latente debido a su alto punto de fusión y su disponibilidad en un elevado rango de temperaturas. Aunque el uso más común como PCM se da en rangos de temperatura entre 0 y 150 °C. Su conductividad térmica es relativamente baja. Pero tienen una ventaja, y es que en estado sólido son más blandas, así aunque su volumen aumenta en un 10% del valor inicial durante el cambio de fase, el valor de la presión de vapor a la temperatura de fusión no es

relevante a la hora de diseñar las dimensiones del contenedor del PCM. Además el cambio de fase ocurre sin subenfriamiento. En la figura A.2 aparece una clasificación de las parafinas con algunas de sus características.

Material	Melting temperature (°C)	Melting enthalpy (kJ/kg)	Thermal conductivity (W/m·K)	Density (kg/m ³)
n-Tetradecane C ₁₄ H ₃₀	6	230 0.21 (solid)	-	760 (liquid, 20 °C) -
n-Pentadecane C ₁₅ H ₃₂	10	212 -	-	770 (liquid, 20 °C) -
n-Hexadecane C ₁₆ H ₃₄	18	210, 238 0.21 (solid)	-	760 (liquid, 20 °C) -
n-Heptadecane C ₁₇ H ₃₆	19	240 -	-	776 (liquid, 20 °C) -
n-Octadecane C ₁₈ H ₃₈	28	200, 245 0.148 (liquid, 40 °C) 0.358 (solid, 25 °C)	774 (liquid, 70 °C) 814 (solid, 20 °C)	-
n-Eicosane C ₂₀ H ₄₂	38	283 -	-	779 -
n-Triacontane C ₃₀ H ₆₂	66	- -	-	775 -
n-Tetracontane C ₄₀ H ₈₂	82	- -	-	- -
n-Pentacontane C ₅₀ H ₁₀₂	95	- -	-	779 -
Polyethylene C _n H _{2n+2} n up to 100000	110-135	200 -	-	- 870-940 (solid, 20 °C)

Figura A. 2 Principales propiedades termofísicas de las parafinas [2]

- Ácidos grasos:** Son compuestos orgánicos con características muy similares a las parafinas, ya que presentan valores de calor de fusión comparables y para el mismo rango de temperaturas. Los ácidos grasos son estables, ya que están formados por un único componente, por lo que no puede ocurrir la separación de fase. Como las parafinas, también presentan un subenfriamiento muy pequeño y una baja conductividad. Así, poseen unas buenas características como PCM porque además pueden hacerse diferentes mezclas con el fin de conseguir diferentes temperaturas de fusión. No obstante, uno de sus inconvenientes es su compatibilidad con los metales, así como su precio, mayor al de las parafinas. En la figura A.3 aparece una clasificación de los mismos con sus principales características.

Material	Melting temperature (°C)	Melting enthalpy (kJ/kg)	Thermal conductivity (W/m·K)	Density (kg/m ³)
Caprylic acid <chem>CH3(CH2)6COOH</chem>	16	149	0.149 (liquid, 38 °C) -	901 (liquid, 30 °C) 981 (solid, 13 °C)
Capric acid <chem>CH3(CH2)8COOH</chem>	32	153	0.149 (liquid, 40 °C) -	886 (liquid, 40 °C), 1004 (solid, 24 °C)
Lauric acid <chem>CH3(CH2)10COOH</chem>	42-44	178	0.147 (liquid, 50 °C) -	870 (liquid, 50 °C), 1007 (solid, 24 °C)
Myristic acid <chem>CH3(CH2)12COOH</chem>	58	186, 204	- 0.17 (solid)	861 (liquid, 55 °C), 990 (solid, 24 °C)
Palmitic acid <chem>CH3(CH2)14COOH</chem>	61, 64	185, 203	- -	850 (liquid, 65 °C) 989 (solid, 24 °C)

Figura A. 3 Principales propiedades termofísicas de los ácidos grasos [2]

- **Sales hidratadas:** Estos compuestos presentan una alta densidad de almacenamiento respecto a su masa, pero incluso más en comparación a su volumen. Por otro lado, su presión de vapor es más baja que la del agua. Sin embargo, tienen un gran inconveniente, y es que funde de forma incongruente. Por lo que se puede producir un depósito de sal, que después no se podrá combinar con la solución saturada, haciendo al proceso de cambio de fase irreversible. Otro gran problema es su escasa capacidad de nucleación, lo que producirá subenfriamiento, que en algún caso puede llegar a los 80 grados, aunque puede ser solucionado añadiendo agentes nucleantes. En cuanto a su conductividad térmica, las sales hidratadas tienen valores similares a los del agua y soluciones acuosas. Su incremento de volumen es del 10% del volumen inicial y presentan problemas de corrosión sobre materiales metálicos. En la figura A.4 están representadas algunas composiciones de sales hidratadas con sus principales características termofísicas.

Material	Melting temperature (°C)	Melting enthalpy (kJ/kg)	Thermal conductivity (W/m·K)	Density (kg/m ³)
LiClO ₃ ·3H ₂ O	8	155	-	1530 (liquid)
			-	1720 (solid)
KF·3H ₂ O	18.5	231	-	1447 (liquid, 20 °C)
			-	1455 (solid, 18 °C)
CaCl ₂ ·6H ₂ O	29, 30	171, 190	0.540 (liquid, 39 °C)	1562 (liquid, 32 °C)
			1.088 (solid, 23 °C)	1710 (solid, 25 °C)
LiNO ₃ ·3H ₂ O	30	296	-	-
			-	-
Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	32	254	-	-
			0.554	1485 (solid)
Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	35-44	280	0.476 (liquid)	1442 (liquid)
			0.514 (solid)	1522 (solid)
Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O	48-55	187, 209	-	1670 (liquid)
			-	1750 (solid)
Na(CH ₃ COO)·3H ₂ O	58	226, 264	-	1280 (liquid)
			-	1450 (solid)
Ba(OH) ₂ ·8H ₂ O	78	265, 280	0.653 (liquid, 86 °C)	1937 (liquid, 84 °C)
			1.255 (solid, 23 °C)	2180 (solid)
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	89, 90	149, 163	0.490 (liquid, 95 °C)	1550 (liquid, 94 °C)
			0.669 (solid, 56 °C)	1636 (solid, 25 °C)
MgCl ₂ ·6H ₂ O	117	165, 169	0.570 (liquid, 120 °C)	1450 (liquid, 120 °C)
			0.704 (solid, 110 °C)	1569 (solid, 20 °C)

Figura A. 4 Principales propiedades termofísicas de las sales hidratadas [2]

- Sales:** Presentan altas temperaturas de fusión por lo que también presentarán altas entalpías de fusión, ya que ésta crece proporcionalmente con la temperatura de fusión. Su conductividad térmica es bastante buena, además presentan muy bajo subenfriamiento, tan sólo de unos pocos grados. Su presión de vapor es muy baja, además la variación de volumen en el cambio de fase es del 10% del volumen inicial. Pero tienen la desventaja de ser corrosivas para los metales. En la figura A.5 aparece una clasificación de las mismas.

Material	Melting temperature (°C)	Melting enthalpy (kJ/kg)	Thermal conductivity (W/m·K)	Density (kg/m ³)
LiNO ₃	254	360	0.58 (liquid)	1780 (liquid)
			1.37 (solid)	2140 (solid)
NaNO ₃	307	172	0.51 (liquid)	1900 (liquid)
			0.59 (solid)	2260 (solid)
KNO ₃	333	266	0.50 (liquid)	1890 (liquid)
			-	1900 (solid)
MgCl ₂	714	452	-	2140
			-	-
NaCl	800	492	-	2160
			-	-
Na ₂ CO ₃	854	276	-	2533
			-	-
KF	857	452	-	2370
			-	-
K ₂ CO ₃	897	236	-	2290
			-	-

Figura A. 5 Principales propiedades termofísicas de las sales [2]

- **Alditoles:** Son compuestos formados por varios grupos hidroxilo, que se forman por reducción de azúcares. Sus temperaturas de fusión están entre los 90 y los 200 grados, además sus entalpías de fusión y son relativamente altas en la mayoría de los casos. Al presentar una densidad alta tienen entalpías de fusión por volumen muy altas. Sin embargo presentan un leve grado de subenfriamiento. En la figura A.6 aparece una clasificación de las mismas.

Material	Melting temperature (°C)	Melting enthalpy (kJ/kg)	Thermal conductivity (W/m·K)	Density (kg/m ³)
Xylitol	94	263	-	-
C ₅ H ₇ (OH) ₅			-	1500 (solid, 20 °C)
D-Sorbitol	97	185	-	-
C ₆ H ₈ (OH) ₆			-	1520 (solid, 20 °C)
Erythritol	120	340	0.326 (liquid, 140 °C), 0.733 (solid, 20 °C)	1300 (liquid, 140 °C), 1480 (solid, 20 °C)
C ₄ H ₆ (OH) ₄				
D-Mannitol	167	316	-	-
C ₆ H ₈ (OH) ₆			-	1520 (solid, 20 °C)
Galactitol	188	351	-	-
C ₆ H ₈ (OH) ₆			-	1520 (solid, 20 °C)

Figura A. 6 Principales propiedades termofísicas de los alditoles [2]

ANEXO A.2 Problemas suspensiones y emulsiones de PCM

Hay cinco problemas fundamentales relacionados con la estabilidad de las emulsiones:

Sedimentación: Por efecto de la gravedad, ya que la diferencia de densidades entre la fase dispersa y la fase continua de la emulsión puede provocar que estas se separen.

Floculación: es un proceso en el que las gotas de la emulsión se aglutan.

Coalescence: en este proceso dos o más gotas de pequeño diámetro se juntan para formar una gota de diámetro mayor. Causa un aumento en el tamaño de gota.

Ostwald ripening: se produce por las diferencias de solubilidad de la fase dispersa, ya que puede estar formada por gotas de diferentes tamaños. Causa un aumento en el tamaño de gota.

Inversión de fase: proceso que ocurre cuando la fase continua se vuelve dispersa y viceversa.

La sedimentación y la floculación no van acompañadas por un cambio en la distribución del tamaño de la fase dispersa, mientras que la coalescence y Ostwald ripening causan un aumento en el tamaño de la gota. La figura A.7 muestra los problemas de inestabilidad anteriormente descritos.

En una emulsión estable, los procesos de inestabilidad antes mencionados nunca deberían ocurrir. Sin embargo, la mayoría de las emulsiones, inherentemente, se tienden a separar, especialmente bajo condiciones de operación complejas, por tanto la estabilidad de las emulsiones es de vital importancia en el futuro uso de emulsiones como materiales de almacenamiento térmico.

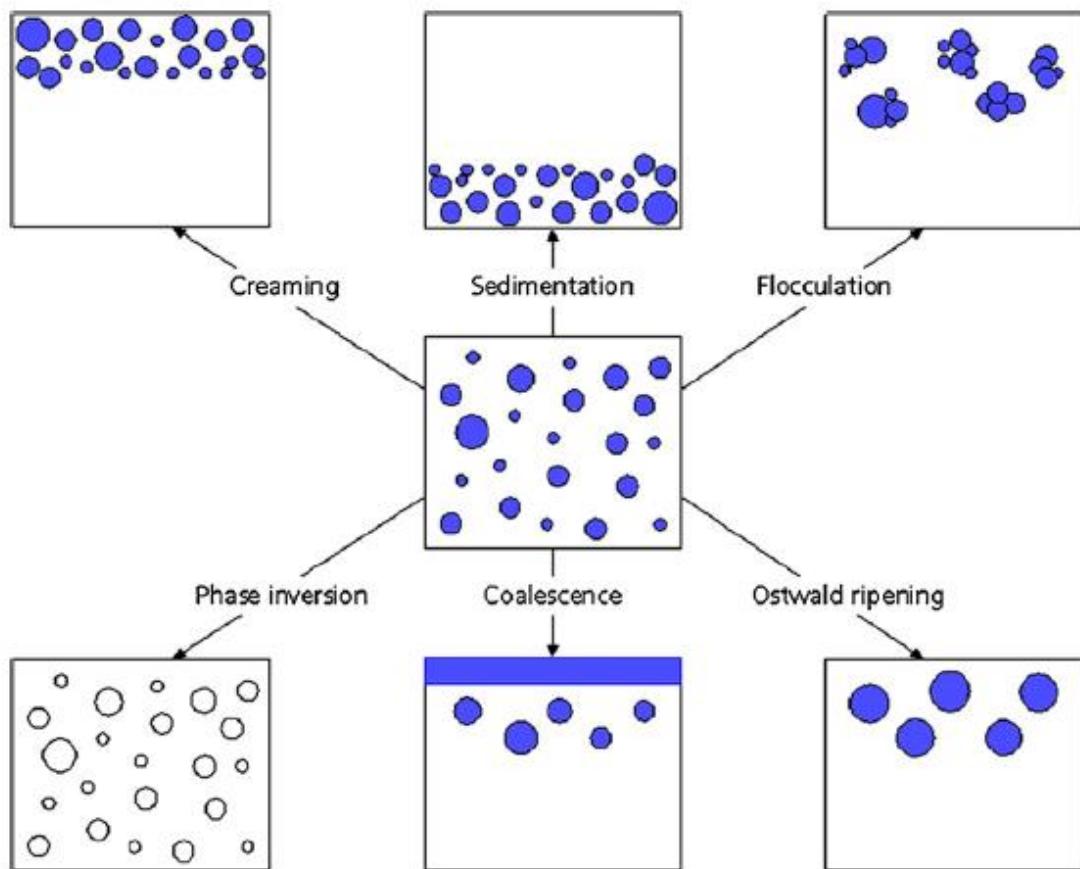


Figura A. 7 Problemas de inestabilidad de las dispersiones de PCM[4]

También es importante que las propiedades térmicas permanezcan invariables después de varios ciclos térmicos.

Así, el problema para las emulsiones de PCM más importante de los anteriormente nombrados es el fenómeno de sedimentación que se puede solucionar reduciendo el tamaño de gota de la fase dispersa.

Por otro lado, en las suspensiones microencapsuladas los problemas de sedimentación o aglomeración también son importantes. No obstante el mayor problema en este caso es la rotura de la microcápsula. Esto puede suceder como resultado del bombeo de este fluido o por la simple agitación de las microcápsulas.

Anexo B

Anexo B.1. Clasificación intercambiadores de calor

Un posible criterio de clasificación de los intercambiadores es en función del intercambio de calor respecto al tiempo, siguiendo esto encontramos dos grupos (en la figura B.1, hay un esquema de esta clasificación):

Recuperadores: En estos intercambiadores los fluidos circulan simultáneamente a través del intercambiador y el calor se transfiere a través de las paredes del mismo.

Regeneradores: Estos intercambiadores se caracterizan por presentar almacenamiento, ya que la superficie del mismo es expuesta durante un tiempo a un fluido caliente, y después a un fluido frío el cual absorbe el calor de la superficie. Este tipo de intercambiadores sólo se utilizan aplicaciones especiales como turbinas de gas, plantas industriales de acero, centrales térmicas... Su uso habitual es la recuperación de calores residuales.

Tanto recuperadores como regeneradores son intercambiadores de superficie, es decir, equipos en los que el fluido caliente y frío no se mezclan, tal y como ocurre en los intercambiadores de calor por contacto.

Dentro de los recuperadores, se pueden diferenciar dos tipos:

- **Intercambio directo:** el intercambio de calor es directo entre los dos fluidos.

- **Intercambio indirecto:** Se utiliza un tercer fluido intermedio entre los dos principales.

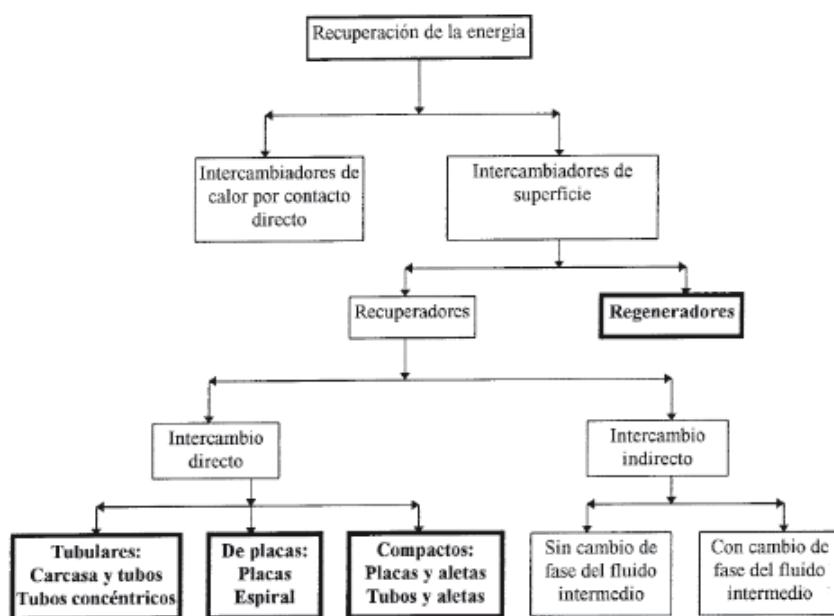


Figura B.1 Clasificación intercambiadores de calor [7]

Otra forma de clasificar los intercambiadores es de acuerdo a la naturaleza de los fluidos que pasan por ellos. Así, cuando **ambos fluidos son líquidos** (como en el caso de este trabajo) los intercambiadores más adecuados son los siguientes:

- Intercambiadores de carcasa redonda y tubos lisos
- Intercambiador de tubos concéntricos
- Intercambiadores de placas
- Intercambiadores en espiral

Intercambiadores de carcasa y tubos:

Son los más utilizados por los buenos resultados que ofrecen, no obstante en los últimos años, los intercambiadores de placas se están abriendo paso en el mercado, ya que no sólo han demostrado que son igual de capaces que éstos, sino que resultan ser equipos mucho más compactos y económicos.

Intercambiadores de tubos concéntricos:

Se utilizan en intercambios de calor que no requieran áreas demasiado grandes. Se pueden conectar en serie o en paralelo. Sus principales características son:

- Ofrecen una eficiencia térmica máxima a contracorriente
- Son más económicos cuanto más largos son
- Tienen unos costes de operación y mantenimiento bajos.
- Son flexibles, ya que se pueden añadir o quitar unidades con facilidad.

Intercambiadores de placas: Sus principales características son:

- Fácil montaje, desmontaje, limpieza, detección de fugas
- Área de servicio variable: basta con añadir o quitar placas
- Coeficiente de transferencia de calor elevados
- Bajo ensuciamiento debido a la elevada turbulencia
- Alta compacidad, ocupan un volumen muy pequeño
- Toda la superficie es corroída por igual debido a que el flujo es uniforme, mientras que los intercambiadores de carcasa y tubos la corrosión es más localizada

Intercambiadores en espiral:

- Son especialmente útiles para fluidos con partículas en suspensión.
- Se montan y desmontan con facilidad, lo que ayuda a la limpieza

- Presentan unos elevados coeficientes de transferencia de calor
- Funcionan bien fluidos con una alta viscosidad ya que el flujo se distribuye perfectamente

Hay que tener en cuenta que toda esta clasificación no es rígida, no obstante, observando las características de los intercambiadores se decide utilizar un **intercambiador de placas** ya que cumple bastante bien las características necesarias, además de ser los intercambiadores más utilizados en aplicaciones de climatización, ya que a bajos caudales son térmicamente mejores que el resto. Además la limpieza en estos es muy sencilla, ya que las placas se pueden separar, factor que será importante ya que la emulsión de PCM puede provocar suciedad.

Los **intercambiadores de placas** pueden ser de flujo cruzado o paralelo, dependiendo si trabajan a contracorriente o a favor de la misma. Además se distinguen dos tipos más:

Intercambiador de placas y perturbadores: tienen un uso más extendido en la industria debido a su mayor eficiencia térmica. Están compuestos por una pila de placas de igual tamaño y pequeño espesor, que por un lado incrementa el coeficiente de convección y la pérdida de carga y por otro, se comporta como una aleta, incrementando la superficie de intercambio.

Existen muchos tipos de perturbadores: con corrugaciones lisas y rectas (pliegues), con corrugaciones onduladas, offset... Éste último es el más utilizado por su alto coeficiente de transferencia de calor debido a que las corrugaciones impiden que se alcance el flujo completamente desarrollado. Esto se muestra en la figura B.2.

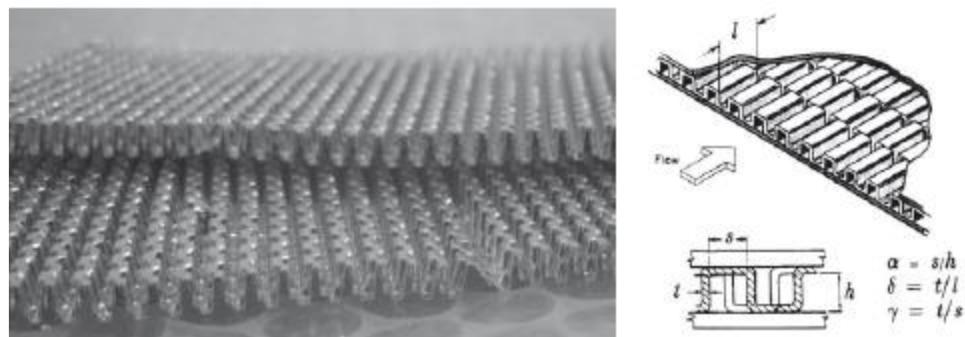


Figura B.2 Caracterización del perturbador offset. [7]

Intercambiador de placas corrugadas, las cuales al apilarse forman los canales por los que circularán ambos fluidos. Las corrugaciones van alternando la orientación para formar los mismos. Son los más utilizados en aplicaciones que requieran limpieza periódica ya que son desmontables. Esto aporta una ventaja para nuestro caso, ya que es probable que la suspensión de PCM ensucie el intercambiador.

Normalmente todas las placas de un mismo intercambiador tienen un patrón idéntico, pero se rotan 180º de forma que el patrón de dos placas adyacentes apunta a sentidos diferentes. De esta manera se forma una estructura interior en forma de celda de abeja, donde cada celda se encuentra delimitada por los puntos de contacto de las placas.

Además de las características ya mencionadas de estos intercambiadores cabe destacar su bajo precio y la sencillez de fabricación, en comparación con los de placas y perturbador.

El alto coeficiente de transferencia de calor de estos intercambiadores, debido a las corrugaciones, implica pequeñas áreas de intercambio, lo que reduce el volumen. El gran inconveniente de estas son las elevadas pérdidas de carga. Estos intercambiadores pueden estar soldados o ser desmontables. Además la mejora en las soldaduras y en las juntas de unión han hecho que estos intercambiadores puedan usarse en aplicaciones con fluidos con cambio de fase. Estas juntas de unión comenzaron siendo de goma, pero actualmente se han comenzado a utilizar otros materiales como grafito o caucho. También estas placas pueden ser termosoldadas, sustituyendo las juntas de sellado de los intercambiadores por medio de un metal con un punto de fusión inferior al punto de fusión del acero inoxidable.

Así pues, estos intercambiadores en general se caracterizan porque la transición del flujo laminar al turbulento se realizan para valores de Reynolds muy bajos, en un rango entre 500 y 800. Ésta temprana transición al régimen turbulento es más acusada conforme se aumenta el ángulo de inclinación, por tanto si el caudal es elevado se aconseja usar inclinaciones de corrugación pequeñas para evitar grandes pérdidas de carga.

Los parámetros más importantes a la hora de caracterizar un intercambiador de placas corrugadas, son el ángulo de la corrugación y la profundidad de la misma. El primer parámetro se caracteriza por la mejora de la turbulencia en el intercambiador, y el segundo caracteriza el diámetro hidráulico del intercambiador. Otro factor importante es el factor de aumento del área de intercambio, que es el cociente del área de intercambio real, frente a la proyección del área en un plano paralelo al de la placa. La profundidad de la corrugación y la separación entre corrugaciones definen este factor de aumento.

Anexo B.2. Materiales de intercambiadores de calor

La selección de los materiales es un aspecto muy importante ya que, éstos van a influir en el diseño, las condiciones de operación, la vida estimada, los costes de mantenimiento y operación... etc.

Los materiales más usados para los intercambiadores de calor son: Aceros al Carbono, aceros inoxidables, aceros con cromo y molibdeno, cobre, aleaciones Cobre-Níquel y aluminio. A la hora de elegir el material hay que tener en cuenta una serie de criterios:

-Compatibilidad de los materiales con los fluidos que circulan por ellos, de los materiales con los elementos exteriores y las condiciones ambientales y entre los propios materiales que conforman el intercambiador.

- Buen comportamiento frente a la corrosión
- Buena propiedades mecánicas: resistencia a la tracción, fatiga, límite elástico y módulo de Young a altas temperaturas.
- Conductividad térmica, capacidad calorífica, densidad, expansión térmica

- Buena soldabilidad de los materiales

ACEROS AL CARBONO

Es muy utilizado ya que se trata de un material fuerte y barato, su resistencia aumenta con el porcentaje de carbono que presenta, teniendo usualmente entre 0.6 y 2% de carbono. A partir de una temperatura de 510 °C comienzan a presentar problemas de corrosión, por lo que se utilizaría acero inoxidable en este caso.

Si se alea con otros elementos como el Cr, Si ó el Mb mejora sus propiedades mecánicas

ACEROS INOXIDABLES

Estos aceros presentan un mínimo de 10.5% de Cromo, ya que sin esta proporción no se genera la capa pasiva que protege al acero frente a la oxidación. Las propiedades mecánicas varían si se añaden otros elementos a la aleación. Por ello existen hasta 15 tipos de acero inoxidable utilizados en intercambiadores de calor.

Existen dos tipos de aceros inoxidables: los austeníticos y los ferríticos. Los primeros están compuestos por un 16-26% de cromo y un 6-22% de níquel. Se caracterizan por tener una buena resistencia a la corrosión, una buena resistencia mecánica. Hay distintos tipos que se escogerán dependiendo de la resistencia mecánica exigida ó de si el fluido es especialmente corrosivo.

En cuanto a los ferríticos, con una composición del 15 al 30% de cromo y un bajo contenido en carbono en torno al 0,1%, se pueden utilizar hasta temperaturas de 820°C.

Los aceros inoxidables presentan un precio cinco veces superior a los aceros al carbono. A pesar de ello, el intercambiador que se encontró para esta aplicación es de este material (AISI 316).

ACEROS Cr-Mb

Contienen del 0,5% al 1% de molibdeno y entre el 0,5 y 9 de cromo. En cuanto al precio, se sitúan entre los aceros al carbono y los inoxidables. Son recomendables para trabajar a temperaturas entre 450°C y 600°C.

COBRE

Entre sus ventajas destacan: su alta conductividad térmica, es fácil de trabajar y presenta una moderada resistencia a la corrosión. Sin embargo tiene una resistencia a la tracción baja en comparación con los aceros.

ALEACIONES Cu-Ni

Al alejar el cobre con el níquel se consigue una mejor resistencia a la corrosión. No obstante, la conductividad térmica del cobre se reduce considerablemente. Por ello sus aplicaciones principales se encuentran en conducciones de agua t de agua salada.

ALUMINIO

Este material se caracteriza por su baja densidad (una tercera parte del cobre y del acero), su excelente conductividad térmica (la mitad que el cobre) y una excelente resistencia a la corrosión de forma natural debido a la capa de óxido que lo recubre y protege.

MATERIAL	Conductividad térmica (W/m·K)	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (J/kg·K)
Acero al carbono: AISI 1042	50	7840	434
Acero inoxidable: AISI 304	14.9	7900	477
Acero inoxidable: AISI 316	13.4	8238	468
Acero: 9Cr-1Mo	26.0	7780	
Cu	400	8933	385
Constantan: 60Cu-40Ni	22.7	8922	410
Al	237	2700	903

Figura B.3 Características térmicas de los materiales para intercambiadores de calor[7]

Anexo C

Anexo C.1. Historia del método T-History

Este método fue desarrollado inicialmente por Yinping [13] y se utiliza para obtener las propiedades termofísicas de materiales de cambio de fase a partir de una sustancia de referencia, cuyas propiedades son conocidas. En este caso, debido a que el cambio de fase del PCM se encuentra a temperaturas bajas (30-50°C) la sustancia de referencia puede ser el agua. Así, mediante este método se puede conocer el punto de fusión, la entalpía de fusión, el grado de subenfriamiento, la conductividad térmica y el calor específico de varias muestras de PCM simultáneamente.

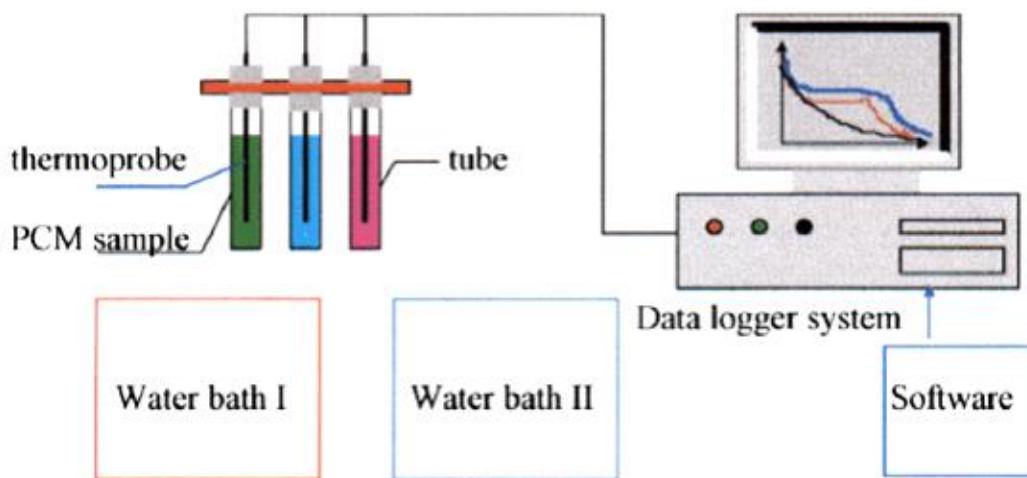


Figura C.1 Instalación original T-History[8]

La instalación original de Yinping (figura C.1) constaba de los siguientes elementos:

Un sistema de adquisición de datos conectado a un ordenador

Dos baños de agua a diferentes temperaturas

Unos tubos contenedores del PCM (uno o más, dependiendo de cuantos PCM se quieran analizar) y otro contenedor de la sustancia de referencia de la cual se conocen las propiedades termofísicas (agua).

Unas sondas de temperatura para medir la temperatura del aire ambiente, de la referencia y del PCM.

Así este método consiste en registrar la variación de la temperatura con el tiempo tanto del PCM como de la sustancia de referencia. Y después con esas curvas Temperatura-tiempo (T-t) se pueden obtener las propiedades termofísicas del material.

Para ello, Yiping propone introducir las muestras de agua y PCM en un baño de agua caliente que debe encontrarse a una temperatura superior a la de fusión del PCM. Cuando las temperaturas de las muestras han llegado a la temperatura del baño se sacan del mismo y se dejan enfriar al ambiente, registrando la evolución de las temperaturas durante el enfriamiento mediante el sistema de adquisición de datos.

La metodología T-history se basa en la consideración de que los tubos de PCM y agua sean un sistema de capacidad, es decir, que cumplan que: número de Biot<0.1 para que la temperatura de su interior pueda considerarse uniforme. El número de Biot es:

$$Bi = \frac{h \cdot D}{\lambda} \quad (C.1)$$

Por tanto, para que Bi sea lo más pequeño posible el coeficiente de convección (h), debe ser bajo, esto se consigue bajo condiciones de convección natural, evitando el uso de ventiladores. Además el diámetro (D), también debe ser bajo, por tanto los tubos deben tener un diámetro reducido, ya que la conductividad térmica viene determinada por el PCM en cuestión.

Para conseguir las principales propiedades termofísicas de los materiales, es decir, la entalpía de fusión y el calor específico a partir de las curvas T-t, Yiping [13] propuso un modelo matemático. Las formas de estas curvas de ensayo son, generalmente, como se muestran en las C.2, C.3 y C.4.

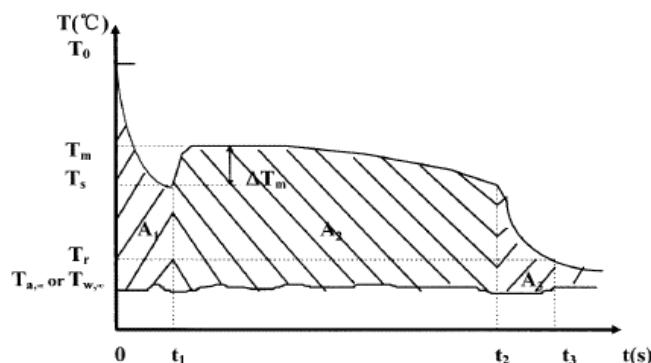


Figura C.2 Curva temperatura-tiempo durante el proceso de enfriamiento de un PCM con subenfriamiento[8]

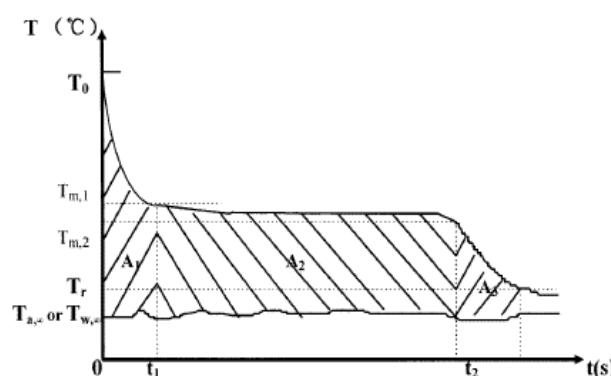


Figura C.3 Curva temperatura-tiempo durante el proceso de enfriamiento de un PCM sin subenfriamiento [8]

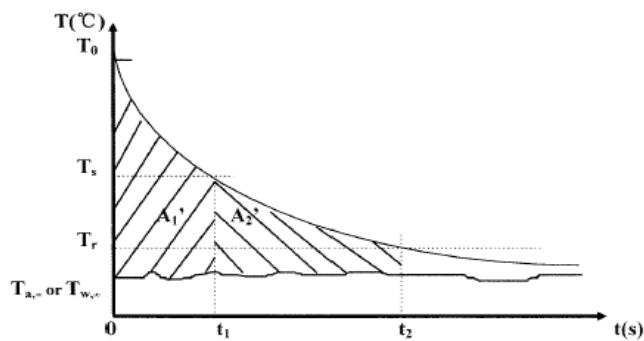


Figura C.4 Curva temperatura-tiempo del agua durante el proceso de enfriamiento [8]

Así, aplicando el balance de energía a la probeta del PCM se obtienen las siguientes ecuaciones (con subenfriamiento):

$$(m_t \cdot c_{pt} + m_p \cdot c_{pl}) \cdot (T_0 - T_s) = U_{conv} \cdot A_c \cdot A'_1 \quad (C.2)$$

$$m_p \cdot H_m = U_{conv} \cdot A_c \cdot A'_2 \quad (C.3)$$

$$(m_t \cdot c_{pt} + m_p \cdot c_{ps}) \cdot (T_s - T_r) = U_{conv} \cdot A_c \cdot A'_3 \quad (C.4)$$

Siendo: m_t la masa tubo, c_{pt} el calor específico tubo, m_p la masa PCM, c_{pl} el calor específico PCM fase líquida, T_0 la temperatura en t_0 , T_s la Temperatura de subenfriamiento en t_1 , U_{conv} el coeficiente global transferencia de calor, A_c el área superficial tubos, A'_i las áreas debajo curvas T-t ($^0\text{C}\cdot\text{s}$), c_{ps} el calor específico del PCM en fase sólida, T_r Temperatura en t_2 (fin del experimento); H_m la entalpía de fusión

La ecuación C.2, se refiere a la fase líquida; la C.3 al cambio de fase y la C.4 a la fase sólida. Para obtener el área bajo las curvas se usa:

$$A'_i = \int_{t_{i-1}}^{t_i} (T - T_{\infty}) dT \quad (C.5)$$

Del tubo que contiene el agua, se obtienen las siguientes ecuaciones, al realizar dicho balance de energía:

$$(m_t \cdot c_{pt} + m_w \cdot c_{pw}) \cdot (T_0 - T_s) = U_{conv} \cdot A_c \cdot A'_1 \quad (C.6)$$

$$(m_t \cdot c_{pt} + m_w \cdot c_{pw}) \cdot (T_s - T_r) = U_{conv} \cdot A_c \cdot A'_2 \quad (C.7)$$

Siendo m_w la masa del agua y c_{pw} el calor específico del agua.

A partir de estas ecuaciones, se puede obtener el valor del coeficiente de transferencia de calor por convección, ya que se conocen los demás parámetros de dicha ecuación.

Manipulando las ecuaciones se pueden obtener las expresiones para los calores específicos del PCM (en estado sólido y líquido) y para la entalpía de fusión:

$$c_{ps} = \frac{m_w * c_{pw} + m_t * c_{pt}}{m_p} * \frac{A_3}{A'_2} - \frac{m_t}{m_p} * c_{pt} \quad (C.8)$$

$$c_{pl} = \frac{m_w * c_{pw} + m_t * c_{pt}}{m_p} * \frac{A_1}{A'_1} - \frac{m_t}{m_p} * c_{pt} \quad (C.9)$$

$$H_m = \frac{m_w * c_{pw} + m_t * c_{pt}}{m_t} * \frac{A_2}{A'_1} * (T_0 - T_s) \quad (C.10)$$

Estas últimas expresiones son para el caso de que en la muestra de PCM exista subenfriamiento. Si no hay subenfriamiento, las dos primeras expresiones (C.8 y C.9) siguen siendo válidas pero la última (C.10) cambia a la expresión C.11.

$$H_m = \frac{m_w * c_{pw} + m_t * c_{pt}}{m_t} * \frac{A_2}{A'_1} * (T_0 - T_{m1}) - \frac{m_t * c_{pt} * (T_{m1} - T_{m2})}{m_p} \quad (C.11)$$

Siendo: T_{m1} la temperatura de inicio del cambio fase (t1) y T_{m2} la temperatura de fin de cambio de fase (t2).

Este método original es válido para caracterizar sustancias puras (con un punto de fusión definido). Pero presenta problemas cuando el método se utiliza para materiales que cambian de fase en un intervalo de temperatura. Otro problema consistía en considerar constante el coeficiente de transferencia de calor, suposición incorrecta, ya que este coeficiente depende de la temperatura.

Por tanto este método inicial ha ido sufriendo una serie de mejoras, tanto en la instalación experimental como en el modelo matemático.

Así, en cuanto a mejoras en la instalación: Marín et al [14] propusieron realizar los experimentos en el interior de una cámara aislada para evitar la exposición de los tubos a la atmósfera. Más adelante, también se propuso colocar los tubos en posición horizontal para disminuir los movimientos del sólido en el líquido por acción de la gravedad [15]. Peck et al [16] adoptaron esta propuesta y analizaron la expansión de las sustancias en el interior del tubo durante el cambio de fase. Proponiendo tener en cuenta la variación del área de transferencia de calor durante el ensayo. Con el fin de obtener más exactitud en la medida de las propiedades termofísicas Marín et al [15] utilizaron Pt 100 para medir en lugar de termopares para registrar la temperatura de los tubos. Además, se cubrieron los tubos con aluminio con el fin de comprobar el efecto de la radiación, que podría afectar al cálculo matemático, pero se concluyó que no tenía efecto alguno. También la cámara aislada fue provista de un control PID con el fin de evitar los gradientes internos de la temperatura del aire que fueron detectados. Marín et al [15] propusieron una nueva instalación compuesta por un controlador PID conectado con un baño termostático que pudiera operar en un rango de temperaturas desde los -20 a los 65 grados. Karvvaritis et al [17] adoptaron esta incorporación a su equipo y propusieron mejorarla colocando resistencias eléctricas y bobinas de enfriamiento para aumentar el rango de temperaturas que puede alcanzar la cámara (-30 a 120 °C).

Por otro lado, también hubo contribuciones al modelo matemático:

La primera contribución fue de Hong et al [18] que propusieron derivar la curva T-t para determinar el rango de temperaturas en el que cambia de fase, ya que el punto que determinaría el final de cambio de fase sería el punto de inflexión de la derivada. Además propuso introducir el término del calor sensible en el periodo de cambio de fase, haciendo más preciso el cálculo de la entalpía asociada al rango de temperatura de cambio de fase.

Después, Marín et al [14], propusieron realizar ensayos tanto de enfriamiento como de calentamiento, ya que estas sustancias pueden presentar histéresis, y realizar balances de energía para pequeños saltos de temperatura. Además, como el coeficiente de transferencia de calor depende de gradientes de temperatura, al utilizar intervalos pequeños de temperatura el error se reducía. Así, la ecuación original quedaría como la C.12.

$$\Delta H_p(T_i) = \frac{m_w * c_{p,w}(T_i) + m_t * c_{p,t}(T_i)}{m_p} * \frac{A_2}{A_1} * (\Delta T_i) - \frac{m_t}{m_p} C_{p,t}(T_i) \Delta T_i \quad (C.12)$$

Donde T_i , es la temperatura media en el intervalo de tiempo.

Por otro lado el tratamiento en forma diferencial permite obtener las curvas entalpía-Temperatura, muy útiles si se desea saber cuánta energía almacena una sustancia en un cierto intervalo de temperatura.

$$H_p(T) = \sum_{i=1}^N \Delta H_{p,i} + H_{p,0} \quad (C.13)$$

De la ecuación C.13 la temperatura de cambio de fase y la entalpía pueden ser calculadas. Los calores específicos del líquido y sólido pueden hallarse mediante la ecuación C.14.

$$C_p = \frac{\delta H}{\delta T} \quad (C.14)$$

Hong et al [18] propusieron definir un coeficiente de transferencia de calor para cada periodo, es decir, uno para la fase líquida, otro para el cambio de fase y otro para la fase sólida. No obstante la propuesta de Marín et al [14] es más precisa ya que trata los datos de forma diferencial, por lo que se obtiene el coeficiente para cada instante.

Por último, Karvvaritis et al [17] propusieron usar la diferencia de temperatura entre el PCM y la sustancia de referencia en un instante concreto, por tanto, se trabaja con un mismo intervalo de tiempo en lugar de con el mismo intervalo de temperatura. Así, por un lado se reduce el tiempo de procesamiento de datos, y por otro deja de considerar constante la temperatura del ambiente y el coeficiente de transferencia de calor, aumentando así la exactitud del método.

Por otro lado, en cuanto a la presentación de resultados Marín et al [14], proponen presentar la entalpía con la temperatura, obteniéndose figuras como la C.5.

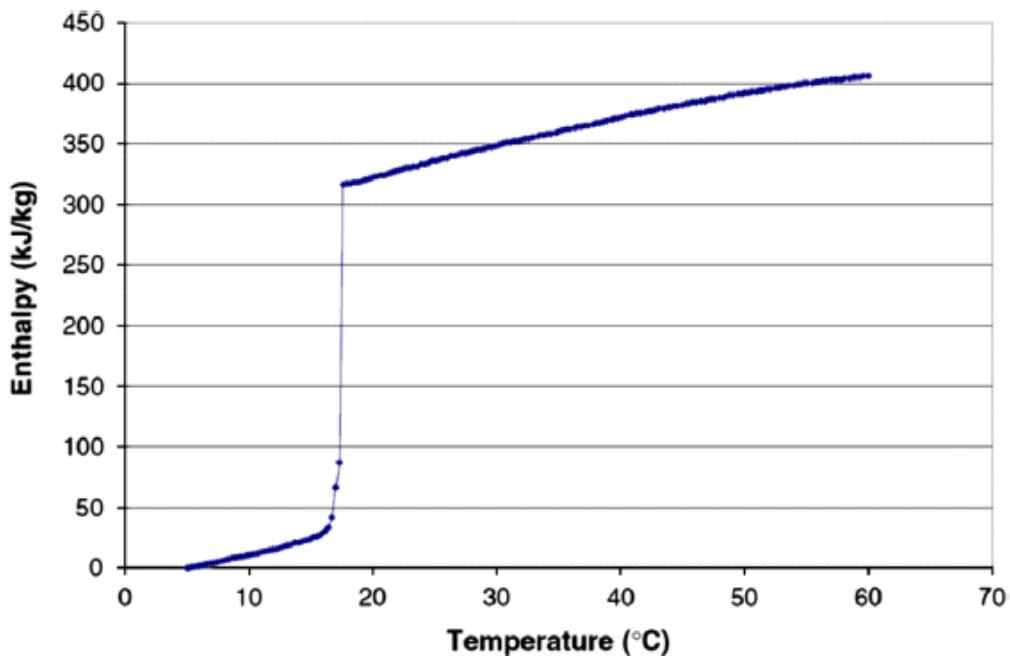


Figura C.5. Entalpía-Temperatura de un PCM [8]

Además Karvvaritis et al [17], representaron el calor específico en función de la temperatura obteniendo curvas como la de la figura C.6.

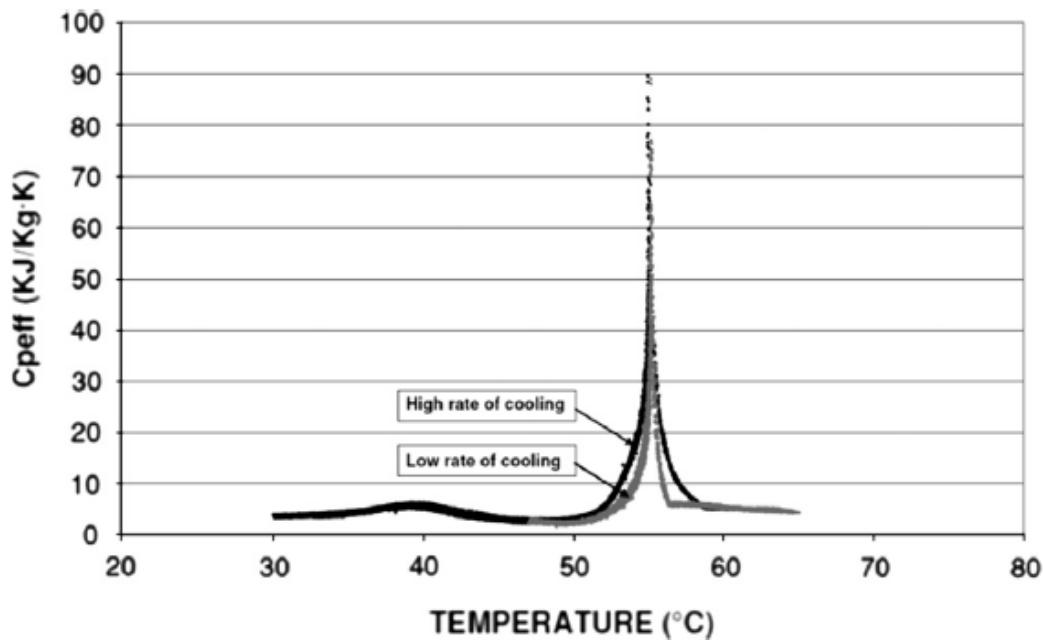


Figura C.6. Calor específico temperatura de un PCM [8]

Estas funciones contienen mucha más información que el método original desarrollado por Yiping.

Anexo C.2. Instalación T-History del grupo GITSE

La instalación T-history del laboratorio de determinación de propiedades del grupo GITSE, diseñada por Lázaro [19] cuenta con los siguientes elementos:

Sistema de adquisición de datos conectado a un ordenador: Este sistema se trata de una unidad de adquisición de datos de Agilent Technologies.

Las principales características son: 6 ½ dígitos de resolución, 22 bits (conversión digital 222=4.194.304 estados de salida), precisión básica de 0,004% Vdc, 11 funciones de medida, acondicionador de señal universal para medida de frecuencia y periodo, 50K de memoria no volátil con marca de tiempo, comunicación RS-232 e IEEE-488 y posibilidad de conectar hasta 3 tarjetas multiplexoras de 40 canales cada una, es decir un máximo de 120 canales por equipo.

Este equipo tiene conectado un módulo multiplexor de 20+2 canales (20 de tensión y 2 de corriente) cuyas características son: medidas a 2 y 4 hilos, muestreo de 20 canales por segundo, tensión máxima de entrada 300V (cc, ac, rms), máxima corriente 1A (cc, ac, rms), máxima potencia 50 W, ancho de banda 10 MHz, compensación interna de temperatura en unión fría para termopares y medida de TC, RTD (2 y 4 hilos), termistores, voltaje dc ac, resistencia, frecuencia, periodo e intensidad dc ac.

Las pt-100 se conectarán a 4 hilos en el multiplexor, de modo que ocuparán 2 canales cada 1.

Cámara de aire cerrada: Se trata de una nevera de 45 litros modificada para que se cumplan una serie de requisitos:

- Adiabaticidad: se logra con un buen aislamiento del exterior
- Temperatura interior uniforme: cuanto menor sea el volumen, más fácilmente se consigue una distribución uniforme de la temperatura.
- Temperatura regulable entre -10°C y 40°C: es preciso, calentar, enfriar y mantener esa temperatura aproximadamente constante.
- Recinto interior accesible: la operación de sacar los tubos de ensayo del baño termostático y meterlas en la cámara debe ser lo más rápida posible.

Baño termostático: Se emplea para calentar las muestras con la emulsión de PCM y de agua.

El baño empleado en esta instalación es un baño HUBER, K15. Sus principales características son:

- Intervalo de temperaturas de trabajo: -20 a 200°C
- Capacidad del baño: 15l
- Sensor de temperatura: Pt-100
- Estabilidad de temperatura a 70°C (DIN 58966): 0,02K

- Precisión: 0,1°C

Tubos de ensayo que contengan la sustancia de referencia (Agua) y el PCM

3 sondas de temperatura para medir la temperatura del aire en el ambiente, de la referencia y del PCM: Estas sondas son termorresistencias de platino (Pt-100), que poseen buena linealidad, buena estabilidad y una buena velocidad de respuesta. Pueden llegar a una precisión de 0,01 °C. Cuentan con las siguientes características:

- Longitud de la vaina: 100 mm
- Diámetro de la vaina: 3 mm
- Tolerancia: 0,03-0,08 (clase DIN 1/10)
- Número de hilos: 4, de esta forma se consigue una precisión mayor
- Cable: 2,5 m aislado con teflón y terminado en hilos desnudos
- Unión vaina-cable: casquillo de acero inoxidable sellado con resina epoxi, para que la sonda sea sumergible

Balanza de precisión: es necesario disponer de una balanza precisa puesto que además de precisión en la medida de las temperaturas, es importante la precisión de la medida de la masa tanto de los tubos de ensayo como de los fluidos.

La balanza utilizada en el laboratorio es de la marca Mettler-Toledo, de las siguientes características:

- Capacidad: 120g
- Precisión: 0,01 mg hasta 31g y 0,1 mg hasta 120g
- Repetibilidad: 0,03 mg hasta 31 g y 0,1 mg hasta 120 g
- Linealidad: 0,2mg

En la figura C.7 aparecen dichos equipos.

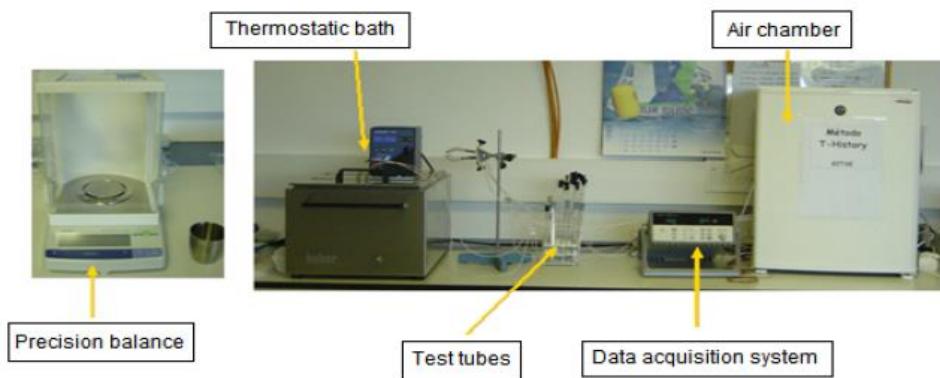


Figura C.7 Instalación T-History GITSE [5]

Anexo C.3. Especificaciones del equipo DSC

Las especificaciones técnicas del DSC 200 F3 Maia (figura C.8), son las siguientes:

- Rango de temperatura: -150°C ... 600°C
- Velocidad de calentamiento: 0.001 K/min ... 100 K/min
- Velocidad de enfriamiento: 0.001 K/min ... 100 K/min (dependiendo de la temperatura)
- Sensor: sistema de flujo de calor
- Rango de medida: 0 mW ... \pm 600 mW
- Precisión de temperatura: 0.1 K
- Precisión de entalpía: en general < 1%
- Opciones de enfriamiento: aire forzado (por debajo de RT), LN2 (por debajo de -150°C)
- Intracooler for the extended rate: -40° ... 600°C
- Ambientes: oxid., inerte(estático, dinámico)
- Electronics: integrated TASC 414/6
- PC Interface: USB



Figura C.8 DSC 200 F3 Maia. Fuente: www.speciation.net

Anexo C.4. Especificaciones del reómetro de esfuerzo controlado

Las especificaciones del reómetro de esfuerzo controlado AR-G2 de TA Instruments son las siguientes (su imagen está en la figura 3.5):

- Par mínimo en modo oscilatorio 0,003 $\mu\text{N}\cdot\text{m}$
- Par mínimo en modo rotativo 0.01 $\mu\text{N}\cdot\text{m}$
- Resolución de par 0.1 $\text{nN}\cdot\text{m}$
- Inercia del motor 18 $\mu\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}$
- Resolución de desplazamiento 25 nrad
- Rango de fuerza normal 0,0005-50 N

Anexo D

Anexo D.1. EES: Cálculo de la correlación para la emulsión de PCM

Datos de entrada:

Tabla D.1. Datos de entrada EES correlación para PCM

	L (m)	W (m)	H (m)	Np (-)	Caudal_Imc (l/min)	caudal_Imf (l/min)	Tce (°C)	Tfe (°C)	Tcs (°C)	Tfs (°C)	
1	0,2	0,07	0,001	30	9,98		10	130,4	90,31	106,4	101,7
2	0,2	0,07	0,001	30		13	10	129,6	89,96	107,9	102,8
3	0,2	0,07	0,001	30		16	10	129,6	90,01	110,1	104,2
4	0,2	0,07	0,001	30		20	10	129,7	90,11	112,3	105,8
5	0,2	0,07	0,001	30		9,99	12	130,2	89,8	105,3	99,18
6	0,2	0,07	0,001	30		13,01	12	129,6	90,08	107,3	101,1
7	0,2	0,07	0,001	30		16	12	130	90,12	109,3	102,4
8	0,2	0,07	0,001	30		20	12	129,7	90,08	111,5	103,9
9	0,2	0,07	0,001	30		10	16	130,3	89,82	104,5	97,03
10	0,2	0,07	0,001	30		12,99	16	129,6	90,15	106,3	98,69
11	0,2	0,07	0,001	30		16,01	16	129,7	90,06	108,2	99,82
12	0,2	0,07	0,001	30		20	16	129,7	90,1	110,4	101,1
13	0,2	0,07	0,001	30		9,99	20	130,3	89,91	104	95,73
14	0,2	0,07	0,001	30		13	20	129,7	90,11	105,7	97,12
15	0,2	0,07	0,001	30		16	20	129,7	90,09	107,5	98,14
16	0,2	0,07	0,001	30		20	20	129,7	90,07	109,6	99,23

PROGRAMA:

{Correlación para Aceite --> PCM}

{Determinación dimensiones}

"Diametro Hidráulico"

$$Dh = 2 * H / \phi \quad \{m\}$$

$$\phi = 1,22 \quad \{-\}$$

"Número de canales calientes y fríos"

$$Nc = Nf - 1 \quad \{-\}$$

$$Np = Nc + Nf + 1 \quad \{-\}$$

"Áreas transeversales"

$$A_{paso} = W * H \quad \{m^2\}$$

$$A_{paso} * Nc = A_{pasototalc} \quad \{m^2\}$$

$$A_{paso} * Nf = A_{pasototalf} \quad \{m^2\}$$

"Áreas superficiales"

$$L * W = A_{pl} \quad \{m^2\}$$

$$A_{pl} * Np = A_{pr} \quad \{m^2\}$$

$$A_{pr} * \phi = A_{ht} \quad \{m^2\}$$

{Cálculo velocidades y Reynolds}

$$\text{caudal}_f = \text{caudal}_fria/3600 \quad \{\text{m}^3/\text{s}\}$$

$$A_{\text{pasotalf}} = \text{caudal}_f/v_f \quad \{\text{m}^2\}$$

$$\text{caudal}_c = \text{caudal}_cal/3600 \quad \{\text{m}^3/\text{s}\}$$

$$A_{\text{pasotalc}} = \text{caudal}_c/v_c \quad \{\text{m}^2\}$$

$$Re = \rho c * v_c * D_h / \mu_c \quad \{-\}$$

$$Re_f = \rho_f * v_f * D_h / \mu_f \quad \{-\}$$

{Condiciones de los fluidos}

{Fluido Caliente-ACEITE SAE 30}

"Props: pag 595 Transferencia de calor $T_{\text{media}} = 390 \text{ K}$ 117°C , liq sat "

$$p_{ce} = 3 \quad \{\text{bar}\}$$

$$\text{caudal}_cal = \text{caudal}_lmc * 0,06 \quad \{\text{m}^3/\text{h}\}$$

$$\rho_c = 832 \quad \{\text{Kg/m}^3\}$$

$$\mu_c = 112 * 10^{-4} \quad \{\text{Pa*s}\}$$

$$\lambda_{dac} = 0,135 \quad \{\text{W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})\}$$

$$P_{rc} = cpc * \mu_c / \lambda_{dac}$$

$$cpc = 2000 \quad \{\text{J}/(\text{Kg}^{\circ}\text{K})\}$$

$$m_c = \rho_c * \text{caudal}_c \quad \{\text{Kg/s}\}$$

{Fluido Frio - REFRIGERANTE: AGUA-GLYCOL 50%}
"PROPIEDADES 95°C , TABLAS GLYCOL"

$$p_{fe} = 3 \quad \{\text{bar}\}$$

$$\text{caudal}_fria = \text{caudal}_lmf * 0,06 \quad \{\text{m}^3/\text{h}\}$$

$$\rho_f = 1027 \quad \{\text{Kg/m}^3\}$$

$$\mu_f = 0,76 * 10^{-3} \quad \{\text{Pa*s}\}$$

$$\lambda_{daf} = 0,396 \quad \{\text{W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})\}$$

$$P_{rf} = \mu_f * cpc / \lambda_{daf}$$

$$cpc = 3570 \quad \{\text{J}/(\text{kg}^{\circ}\text{K})\}$$

$$m_f = \rho_f * \text{caudal}_f \quad \{\text{Kg/s}\}$$

{Cálculo Nusselt y coeficientes de transferencia de calor}

$$N_{uf} = 0,122 * (P_{rf})^{1/3} * (\mu_f / \mu_p)^{1/6} * (f_f * Re_f^{2/3} * \sin(2\beta))^{0,374} \quad \{-\}$$

$$\mu_p = \text{VISCOSITY (Water; } T = T_p; P = p_{ce}) \quad \{\text{Pa*s}\} \quad \text{"viscosidad fluido en la pared"}$$

$$T_p = (T_{ce} + T_{fe})/2 \quad \{^\circ\text{C}\}$$

$$h_c = N_{uf} * \lambda_{daf} / D_h \quad \{\text{W}/(\text{m}^2\text{K})\}$$

$$h_f = N_{uf} * \lambda_{dh} / D_h \quad \{\text{W}/(\text{m}^2\text{K})\}$$

$$h_c = (1/U - 1/h_f)^{-1} \quad \{\text{W}/(\text{m}^2\text{K})\}$$

{TABLA}

$$Y = (Nuc / (Pr_c^{(1/3)}))$$

{MLTD}

$$\Delta T_2 = (T_{cs} - T_{fe}) \quad \{^{\circ}C\}$$

$$\Delta T_1 = (T_{ce} - T_{fs}) \quad \{^{\circ}C\}$$

$$\Delta T_m = (\Delta T_2 - \Delta T_1) / \ln(\Delta T_2 / \Delta T_1) \quad \{^{\circ}C\}$$

$$q = U * A_{ht} * \Delta T_m \quad \{W\}$$

$$q = (q_c + q_f) / 2 \quad \{W\}$$

$$q_c = m_c * c_p * (T_{ce} - T_{cs}) \quad \{W\}$$

$$q_f = m_f * c_p * (T_{fs} - T_{fe}) \quad \{W\}$$

{Cálculo factor de fricción frío, para Nusselt}

$$1/f_f = ((\cos(\beta)) / (\sqrt{b * \tan(\beta) + c * \sin(\beta) + f_0 / \cos(\beta)})) + ((1 - \cos(\beta)) / (\sqrt{f_1 f})) \quad \{-\}$$

$$f_0 = 93 / \text{Ref} \quad \text{"Ref menor 2000"}$$

$$f_1 = a * (597 / \text{Ref} + 3,85) \quad \text{"Ref menor 2000"}$$

$$a = 3,8$$

$$b = 0,18$$

$$c = 0,36$$

$$\beta = 65$$

DATOS SALIDA:

Tabla D.2 Datos salida EES correlación para PCM

	qc (W)	qf (W)	q (W)	U (W/(m ² ·K))	hc (W/(m ² ·K))	hf (W/(m ² ·K))	Nuc (-)	Nuf (-)	Rec (-)	Ref (-)	Y (-)
1	6643	6960	6801	609,2	673,6	6368	8,18	26,36	20,67	351,6	1,489
2	7824	7846	7835	692,7	777,3	6362	9,439	26,34	26,92	351,6	1,718
3	8653	8671	8662	746,6	845,9	6362	10,27	26,34	33,14	351,6	1,869
4	9651	9588	9619	815	934,7	6363	11,35	26,34	41,42	351,6	2,066
5	6899	6878	6888	601	655,7	7194	7,963	29,78	20,69	422	1,449
6	8046	8081	8063	702,9	779	7192	9,46	29,78	26,94	422	1,722
7	9185	9005	9095	767,2	858,8	7195	10,43	29,79	33,14	422	1,898
8	10095	10134	10114	838,5	949,1	7193	11,53	29,78	41,42	422	2,097
9	7155	7049	7102	610	655,7	8755	7,963	36,25	20,71	562,6	1,449
10	8394	8350	8372	718,6	782,8	8753	9,506	36,23	26,9	562,6	1,73
11	9546	9542	9544	791,8	870,6	8753	10,57	36,23	33,16	562,6	1,924
12	10705	10755	10730	864,8	959,6	8753	11,65	36,24	41,42	562,6	2,121
13	7287	7113	7200	615,8	655,3	10219	7,957	42,31	20,69	703,3	1,448
14	8653	8567	8610	729	785	10216	9,532	42,29	26,92	703,3	1,735
15	9851	9838	9845	807,7	877	10216	10,65	42,29	33,14	703,3	1,938
16	11149	11195	11172	886,4	970,7	10216	11,79	42,29	41,42	703,3	2,145

y con el ajuste paramétrico se obtiene la corrección 4.17

Anexo D.2. EES: Dimensionamiento del intercambiador de calor

Datos de entrada:

Tabla D.3. Datos entrada EES Dimensionamiento del intercambiador de calor

	Tce (°C)	Tfe (°C)	Tfs (°C)	W (m)	H (m)	vf (m/s)	vc (m/s)
1	80	35	50	0,07	0,001	0,2	0,2
2	80	35	50	0,07	0,001	0,2667	0,2667
3	80	35	50	0,07	0,001	0,3333	0,3333
4	80	35	50	0,07	0,001	0,4	0,4
5	80	35	50	0,07	0,001	0,4667	0,4667
6	80	35	50	0,07	0,001	0,5333	0,5333
7	80	35	50	0,07	0,001	0,6	0,6
8	80	35	50	0,07	0,001	0,6667	0,6667
9	80	35	50	0,07	0,001	0,7333	0,7333
10	80	35	50	0,07	0,001	0,8	0,8

Programa:

{DISEÑO de un I. CALOR Placas corrugadas Agua-PCM}

{Determinación dimensiones}

"Diametro Hidráulico"

$$Dh = 2 * H / \phi \quad \{m\}$$

$$\phi = 1,22 \quad \{-\}$$

"Número de canales calientes y fríos"

$$Nc=Nf-1 \quad \{-\}$$

$$Np=Nc+Nf+1 \quad \{-\}$$

"Áreas transversales"

$$A_paso = W * H \quad \{m^2\}$$

$$A_paso * Nc = A_pasototalc \quad \{m^2\}$$

"Áreas superficiales"

$$L * W = A_pl \quad \{m^2\}$$

$$A_pl * Np = A_pr \quad \{m^2\}$$

$$A_pr * \phi = A_ht \quad \{m^2\}$$

{Cálculo velocidades y Reynolds}

$$caudal_f = caudal_fria / 3600 \quad \{m^3/s\}$$

$$A_pasotalf = caudal_f / vf \quad \{m^2\}$$

$$caudal_c = caudal_cal / 3600 \quad \{m^3/s\}$$

$$A_pasotalc = caudal_c / vc \quad \{m^2\}$$

$$Rec = roc * vc * Dh / muc \quad \{-\}$$

$$Ref = rof_fus * vf * Dh / muf_fus \quad \{-\}$$

{Condiciones de los fluidos}

{Fluido Caliente-AGUA}

```
pce = 3 {bar}
caudal_lmc=6 {l/min}
caudal_cal=caudal_lmc*0,06 {m3/h}
roc = DENSITY (Water;T=Tce; p = pce) {Kg/m3}
mc = roc * caudal_cal / 3600 {Kg/s}
cpc = cp(Water;T=Tce; p = pce) {J/(kg*K)}
muc = VISCOSITY (Water;T=Tce; p = pce) {Pa*s}
landac = conductivity(Water;T=Tce; p = pce) {W/(m*K)}
Prc = prandtl(Water;T=Tce; p = pce) {-}
```

{Fluido Frio – PCM}

"Props: PCM en la región de cambio de fase (fusión) "

```
pfe = 3 {bar}
caudal_lmf=6 {l/min}
caudal_fria=caudal_lmf*0,06 {m3/h}
mf = rof_fus * caudal_fria / 3600 {Kg/s}
```

{Viscosidad}

```
n_visco=0,2618
v_ciz=(2*n_visco+1)/(3*n_visco)*(6*caudal_f/(w*H^2)) {1/s}
"V_ciz es muy alta, plato newtoniano"
muf_sol=0,0405 {Pa*s}
muf_fus=0,044 {Pa*s}
muf_liq=0,142 {Pa*s}
```

{Conductividad térmica, calor específico y densidad}

```
rof_sol=920 {Kg/m3}
rof_fus=912 {Kg/m3}
rof_liq=885 {Kg/m3}

cp_sol = 4130 {J/(kg*K)} "30-35°"
cp_liq=3047 {J/(kg*K)} "50-55°"
cp_fus=7462 {J/(kg*K)} "35-50°"

landa_sol=0,342 {W/(m*K)}
landa_fus=0,2923 {W/(m*K)}
landa_liq=0,243 {W/(m*K)}

Prf_sol= (cp_sol*muf_sol)/landa_sol {adim}
Prf_liq = (cp_liq*muf_liq)/landa_liq {adim}
Prf_fus= (cp_fus*muf_fus)/landa_fus {adim}
```

"Se utilizarán sólo las propiedades en la región del cambio de fase (fusión)"

{Cálculo Nusselt y coeficientes de transferencia de calor}

```
Nuf = 0,2987*Ref^(0,5276)*Prf_fus^(1/3) {-}
Nuc = 0,122*(prf)^(1/3)*(muc/mup)^(1/6)*(fc*Rec^(2)*sin(2*beta))^(0,374) {-}
mup = VISCOSITY (Water;T=Tp; p = pce) {Pa*s} "viscosidad fluido en la pared"
Tp = (Tce+Tfe)/2 {°C}
hc = Nuc * landac / Dh {W/(m2*K)}
```

$$hf = Nuf * \lambda_{d,fus} / Dh \quad \{W/(m^2 \cdot K)\}$$

$$U = (1/hc + 1/hf)^{-1} \quad \{W/(m^2 \cdot K)\}$$

{MLTD}

$$\Delta T_2 = T_{cs} - T_{fe} \quad \{^{\circ}C\}$$

$$\Delta T_1 = T_{ce} - T_{fs} \quad \{^{\circ}C\}$$

$$\Delta T_m = (\Delta T_2 - \Delta T_1) / \ln(\Delta T_2 / \Delta T_1) \quad \{^{\circ}C\}$$

$$q = U * A_{ht} * \Delta T_m \quad \{W\}$$

$$q = mc * cpc * (T_{ce} - T_{cs}) \quad \{W\}$$

$$q = mf * cp_{fus} * (T_{fs} - T_{fe}) \quad \{W\}$$

{Cálculo de las pérdidas de carga y potencia de bombeo de los gases}

$$1/fc = ((\cos(\beta)) / (\sqrt{b * \tan(\beta) + c * \sin(\beta)} + f_{0c} / \cos(\beta))) + ((1 - \cos(\beta)) / (\sqrt{f_{1c}})) \quad \{-\}$$

$$f_{0c} = (1,8 * \ln(Rec) - 1,5)^{-2} \quad "Rec mayor 2000"$$

$$f_{1c} = a * (39 / Rec^{0,289}) \quad "Rec mayor 2000"$$

$$1/ff = ((\cos(\beta)) / (\sqrt{b * \tan(\beta) + c * \sin(\beta)} + f_{0f} / \cos(\beta))) + ((1 - \cos(\beta)) / (\sqrt{f_{1f}})) \quad \{-\}$$

$$f_{0f} = 93 / Ref \quad "Ref menor 2000"$$

$$f_{1f} = a * (597 / Ref + 3,85) \quad "Ref menor 2000"$$

$$a = 3,8$$

$$b = 0,18$$

$$c = 0,36$$

$$\beta = 65$$

$$Dpc = (fc * 0,5 * roc * vc^2 * L / Dh) * 10^{-5} \quad \{bar\}$$

$$pcs = pce - Dpc \quad \{bar\}$$

$$Dpf = (ff * 0,5 * rof_{fus} * vf^2 * L / Dh) * 10^{-5} \quad \{bar\}$$

$$pfs = pfe - Dpf \quad \{bar\}$$

Datos salida:

Tabla D.4. Datos salida EES Dimensionamiento del intercambiador de calor

	vf (m/s)	vc (m/s)	T _{cs} (°C)	L (m)	Np (-)	Ref (-)	Rec (-)	q (W)	hf (W/(m ² ·K))	hc (W/(m ² ·K))	Dpf (bar)	Dpc (bar)	A _{ht} (m ²)
1	0,2	0,2	54,95	0,2237	16,29	6,796	898,8	10208	1522	10669	0,2384	0,04275	0,3111
2	0,2667	0,2667	54,95	0,2444	12,71	9,061	1198	10208	1771	13182	0,4029	0,08225	0,2654
3	0,3333	0,3333	54,95	0,2599	10,57	11,33	1498	10208	1992	15533	0,6015	0,1356	0,2346
4	0,4	0,4	54,95	0,2718	9,143	13,59	1798	10208	2193	17761	0,8305	0,203	0,2122
5	0,4667	0,4667	54,95	0,2811	8,122	15,86	2097	10208	2379	19892	1,087	0,2842	0,195
6	0,5333	0,5333	54,95	0,2884	7,357	18,12	2397	10208	2553	21943	1,369	0,379	0,1812
7	0,6	0,6	54,95	0,2941	6,762	20,39	2696	10208	2717	23926	1,673	0,4872	0,1698
8	0,6667	0,6667	54,95	0,2986	6,286	22,65	2996	10208	2872	25852	1,998	0,6084	0,1603
9	0,7333	0,7333	54,95	0,3021	5,896	24,92	3296	10208	3020	27727	2,342	0,7423	0,1521
10	0,8	0,8	54,95	0,3049	5,571	27,18	3595	10208	3162	29557	2,704	0,8886	0,1451

Anexo D.3. EES: Cálculo de las pérdidas de carga de la instalación

Ecuaciones:

{Pérdidas de carga}

"Datos geométricos"

Q_Imin=6 {l/min}

Q=Q_Imin/60000 {m3/s}

D_mm=20,93 {mm}

D=D_mm*10^-3 {m}

L=7 "m"

A=PI*D^2/4

v=Q/A

"AGUA"

DeltaP_cinterBAR=0,6 {bar}

DeltaP_cinter=DeltaP_cinterBAR*10^5 {Pa}

rho_c=Density(Water;T=65;P=3)

"Emulsión PCM"

DeltaP_finterBAR=2 {bar}

DeltaP_finter=DeltaP_finterBAR*10^5 {Pa}

rho_f=912

{Pérdidas AGUA}

{Pérdidas conductos}

mu_c=Viscosity(Water;T=60;P=3)

Re_c=rho_c*v*D/mu_c

f_c=0,04

DeltaP_cconduc=f_c*rho_c*v^2*L/(2*D)

{Total}

DeltaP_c=DeltaP_cinter+DeltaP_cconduc {Pa}

h_c=DeltaP_c/(1000*9,81) {m.c.a}

{Pérdidas PCM}

{Pérdidas conductos}

v_ciz=2*v/D

K=0,7171

n=0,2618

Re_f=2^(3-n)*(n/(3*n+1))^n*(D^n*rho_f*v^(2-n)/K)

f_f=64/Re_f

DeltaP_fconduc=f_f*((8*L*rho_f*Q^2)/(D^5*PI#^2))+2*K*L*Q^n*(2/D)^(n+1)*((3*n+1)^4)/(n*PI#*D^2))^n

{TOTAL}

DeltaP_f=DeltaP_finter+DeltaP_fconduc {Pa}

h_f=DeltaP_f/(1000*9,81) {m.c.a}

Anexo E

Anexo E.1. Baño Uber UC040T-H

Refrigerador de circulación con máquina de enfriamiento refrigerada por aire y bomba de circulación (de plástico). Carcasa y recipiente de expansión abierto a la atmósfera con evaporador (Refrigerador) soldado en cobre de acero inoxidable. Con medidor digital de nivel. Para aplicaciones cerradas externamente.

Con protección ajustable contra sobre temperatura según DIN12876.

Caso especial acetona y poliglicol: La bomba de plástico no es resistente contra acetona y poliglicol (dependiente del fabricante). Se recomienda usar agua con glysanin o etilenglicol como protección anticongelante. Se puede suministrar un plástico adecuado de mayor resistencia por solicitud y a costo adicional.

CC-Pilot: Controlador ultra moderno con la nueva tecnología innovativa E-grade para funcionalidades extendidas sin cambiar de controlador. Un código de activación es ingresado vía el panel de control y la probada tecnología Pulg & Play para servicio profesional. La brillante pantalla TFT muestra todos los datos relevantes de proceso. Interfaz de usuario amigable: Las funciones auto-explicativas están listadas en orden alfabético en cada uno de los idiomas seleccionados. Los idiomas disponibles son: alemán, inglés, francés, italiano, español y ruso. Easy Control: es virtualmente idéntica a la de los Unistat. La función ampliar (zoom) permite que los valores sean leídos a distancia. Resolución del indicador en la versión básica de 0,1K. Límites de valor de ajuste, alarma acústica y óptica, función automática en caso de fallo de la red eléctrica. Sensor calibrable, control por medio de la interfase RS232 y ComG@te Namur (opcional) por ej. Para conexión a un sistema de control de proceso, como control remoto por medio de un cable de datos.

La funcionalidad puede ser extendida en cualquier momento mediante el código de activación con E-grade (opcional).

E-grade “Exclusive”: Función gráfica, resolución del indicador de 0.01K, programador con 3 programas cada uno con 5 pasos, control de modo de temperatura (interno, proceso), TAC (True adaptive Control - Control Adaptativo Verdadero), regulador automático interno de optimización y cascada de control, función de rampa.

E-grade “Profesional: Función de administrador, programador con 100 pasos divisibles entre 10 programas, control externo por medio de un sensor Pt 100 (opcional) NLR (non-linear ramping - Rampeo no-lineal) para ciclos de temperatura no lineales, segundo valor nominal, el cual puede ser activado en caso de una alarma bajo condiciones predefinidas, calibración de más puntos para el sensor del regulador.



Figura E. 1 Baño Uber UC040T-H

Anexo E.2. Caudalímetro de Coriolis Krohne-optimass7000



Figura E. 2 Caudalímetro Krohne-optimass7000

El caudalímetro Krohne-optimass7000 tiene una precisión del 0.1% para líquidos y un rango de medida entre 0,3 y 7 l/min.

La principal ventaja del caudalímetro tipo coriolis es que mide directamente el flujo másico. Su funcionamiento consiste en un tubo largo y delgado con un oscilador en su zona central. Cuando se hace vibrar el tubo este comienza a oscilar generando una onda sinusoidal.

Cuando un líquido o un gas circulan a través del tubo, el efecto coriolis produce un desacoplamiento en la onda sinusoidal que es detectada por los sensores. Ese retraso es directamente proporcional al flujo másico.

Por tanto este principio físico es independiente de las propiedades físicas del fluido y por tanto la medida es independiente de las propiedades del flujo circulante y además no necesita ninguna sección de entrada.

Este sistema de medida tiene una alta precisión y no tiene limitaciones en cuanto al número de Reynolds, pudiéndose usar para medir líquidos con bajas y medias viscosidades [5].

Anexo E.3. Acumuladores: Depósito Lapesa RD 50-1

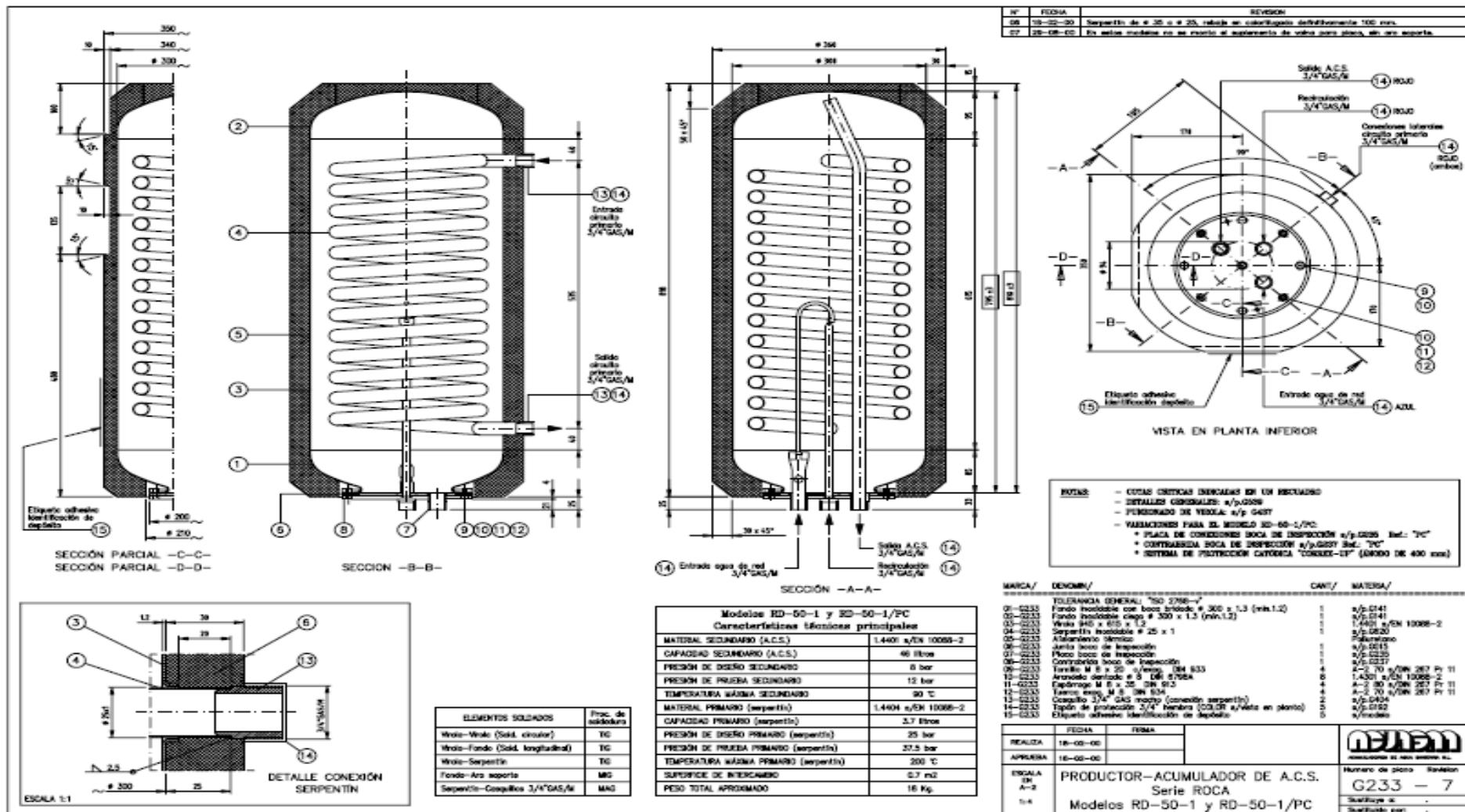


Figura E.4 Plano de los acumuladores: Depósito Lapesa RD 50-1

Anexo F. Catálogos

Anexo F.1. Transductor de Presión

Margen de presión	Código RS para el tipo de presión diferencial
0-1 psi	216-6523
0-5 psi	286-686
0-15 psi	286-692
0-30 psi	286-709

Figura F.1 Catálogo RS: código transductor de presión

Anexo F.2. Tubos trenzados de acero



ENGLISH

General Construction Data:

End Connection	Size Range	Material	Standard
Female Swivel	1/4BSP - 1"BSF	CW614N/CW617N	EN12164/5
Female Swivel Elbow	3/8BSP - 1"BSF	CW614N	EN 12164
Male taper	1/4BSP - 1"BSF	CW614N	EN12164
Compression 15mm	15mm	CW614N/CW617N	EN1254-2, ISO 6957
Compression 22mm	22mm	CW614N/CW617N	EN1254-2, ISO 6957
Compression 180 Valve	15mm	CW614N/CW617N	EN1254-2
Compression 180 Valve	22mm	CW614N/CW617N	EN1254-2
Standpipe	15mm - 28mm	CW614N/CW617N	EN12164/5
Push-fit Brass	10mm - 22mm	CW614N/CW617N	EN12164/5
Mono Block	8mm to 12mm	CW614N	EN12164
Push Fit Plastic	15mm - 22mm	Acetyl Black	B06920
Female Swivel	1/2BSP- 3/4BSP	Nylon Black	B06920
Female Elbow Swivel	3/4BSP	Nylon Black	B06920
Standpipe	22mm	Acetyl Black	B06920
Washer	1/2BSP - 1"BSF	Fibre, EPDM & Silicon	B06920
O rings & Washers	Various	EPDM	B06920
Hose Liner	DN10 - DN25	EPDM	B06920
Hose Braid	DN10 - DN25	Stainless Steel 304	EN 10204 3.1
Female	DN10 - DN27	Stainless Steel 304	EN 10088-2

Note

- External Brass fittings are supplied with nickel plated finish to avoid tarnishing.
- Male Taper fittings should be used with female swivel or push fit connections to avoid twisting and torsion stress.
- Compression Joints tested for Stress Corrosion Cracking to ISO 6957:1998.

Dimensioning:

Hose assemblies are quoted by their overall length; as measured from end face to end face for each fitting. The standard manufacturing tolerance on overall length is:

<500mm +/- 5.00mm

>500mm +/- 10.00mm



Critical length is the distance between hose mating faces. This must be 10% greater than the actual distance between the two corresponding fixed mating parts to avoid tensile stress whilst in service.

Active length is the length by which pressure and movement is absorbed by the flexible hose.

RS, Professionally Approved Products, gives you professional quality parts across all products categories. Our range has been tested by engineers as giving comparable quality to that of the leading brands without paying a premium price.

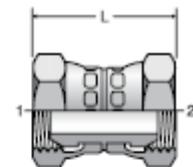
Figura F.2 Catálogo RS-Pro: tubos trenzados de acero

Anexo F.3 Adaptadores hembra-hembra G3/4

H6MK4

Swivel Nut Union
60° Swivel / 60° Swivel

Mates with D9 style hose fitting



TUBE FITTING PART #	END SIZE		L (mm)	Dynamic Pressure (x 1,000 PSI)	
	1 BSPP	2 BSPP		S	
4H6MK4	1/4 - 19	1/4 - 19	37.0	5.1	
6-4H6MK4	3/8 - 19	1/4 - 19	38.6	5.1	
6H6MK4	3/8 - 19	3/8 - 19	40.5	5.1	
8-4H6MK4	1/2 - 14	1/4 - 19	41.5	2.9	
8-6H6MK4	1/2 - 14	3/8 - 19	42.9	2.9	
8H6MK4	1/2 - 14	1/2 - 14	45.8	2.9	
10H6MK4	5/8 - 14	5/8 - 14	47.5	2.9	
12-8H6MK4	3/4 - 14	1/2 - 14	48.2	2.9	
12H6MK4	3/4 - 14	3/4 - 14	49.5	2.9	
16H6MK4	1 - 11	1 - 11	57.5	1.7	
20H6MK4	1 1/4 - 11	1 1/4 - 11	66.0	1.5	
24H6MK4	1 1/2 - 11	1 1/2 - 11	70.0	1.5	

Figura F.3 Catálogo Parker K4 BSP Adapters: adaptador 8H6MK4

Anexo F.4 Tuberías

Specifications:

Material	Stainless Steel
Finish	Galvanised
Wall Thickness	2.87mm
Length	2000mm
Connection	3/4 in BSPT
Thread Size	3/4in
Thread Standard	BSPT

Figura F.4 Catálogo RS PRO: Tuberías

E S P E C I F I C A C I O N E S T U B E R I A L I N E P I P E								
Diámetro Nominal	Cédula Calibre	Diámetro Ext.		Diámetro Int.		Espesor		Peso Kg x Mt
		Pulg.	m.m.	Pulg.	m.m.	Pulg.	m.m.	
1/8"	40	0.405"	10.29	0.269"	6.83	0.068"	1.73	0.357
	70	0.405"	10.29	0.215"	5.46	0.095"	2.41	0.461
1/4"	40	0.540"	13.72	0.364"	9.25	0.088"	2.24	0.625
	80	0.540"	13.72	0.302"	7.67	0.119"	3.02	0.804
3/8"	40	0.675"	17.15	0.493"	12.52	0.091"	2.31	0.846
	80	0.675"	17.15	0.439"	10.74	0.126"	3.20	1.101
1/2"	40	0.840"	21.34	0.622"	15.80	0.109"	2.77	1.265
	80	0.840"	21.34	0.546"	13.87	0.147"	3.73	1.622
	160	0.840"	21.34	0.466"	11.84	0.167"	4.75	1.935
	XXS	0.840"	21.34	0.252"	6.40	0.294"	7.47	2.544
3/4"	40	1.050"	26.67	0.824"	20.93	0.113"	2.87	1.682
	80	1.050"	26.67	0.742"	18.85	0.154"	3.91	2.188
	160	1.050"	26.67	0.614"	15.80	0.218"	3.54	2.887
	XXS	1.050"	26.67	0.434"	11.02	0.308"	7.82	3.631

Figura F.5 Especificaciones de tuberías

Anexo F.5 Válvulas de bola

Datasheet
Stainless Steel Manual Ball Valve

RS Stock number [499-2802](#)

Features:

Reduced-bore quarter-turn stainless steel ball valve.
 ASTM A351-CF8M cast stainless steel body, ball and spindle material 316, handle 304, PTFE ball seal
 Lockable operating lever with thermally insulating vinyl sleeve
 Blow-out proof stem with PTFE seal
 Maximum operating temperature 232°C (450°F)
 Anti-static Device (option)
 Locking device
 Thread Type – ASME B1.20.1 (NPT), DIN2999 & BS21, ISO7/1 & EN10226

Specifications:

Attachment Type: Threaded
 Ball Material: Stainless Steel
 Body Material: Stainless Steel
 Handle Material: Stainless Steel
 Maximum Working Pressure: 60 bar
 Thread Size: 3/4 in
 Thread Standard: BSPP
 Threaded Connection: 3/4 in BSPP

Figura F.6 Catálogo de RS PRO: características válvulas de bola

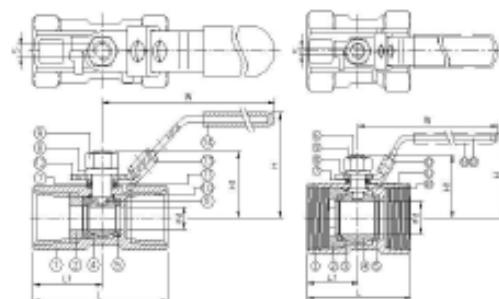


Figure 1

ITEM	PARTS	MATERIAL
1	BODY	ASTM A351-CF8M
2	RETAINER	ASTM A351-CF8M
3	BODY SEAL	PTFE
4	BALL	ASTM A351-CF8M
5	BALL SEAT	PTFE / RTFE
6	STEM	ASTM A276-316
7	FLAT WASHER	AISI 304
8	SPRING WASHER	AISI 304
9	STEM NUT	AISI 304
10	THRUST WASHER	PTFE
11	PACKING	PTFE
12	HANDLE	STAINLESS STEEL
13	LATCH LOCK	STAINLESS STEEL
14	HANDLE SLEEVE	PVC

Measurements:

DN	d	L	L1	H	H1	W	S	Torque (N·m)	Weight (kg)
20	12,5	59	29	44,1	28,8	94,7	5	1,8	0,3

All measurements given in the above table are given in mm unless otherwise stated. These measurements are for Figure 1 above.

Figura F. 1 Catálogo de RS PRO: dimensiones válvula de bola

Anexo F.6 Válvula de equilibrado TA



Rosca hembra

Rosca según ISO 228. Longitud de rosca según ISO 7/1.
Con dispositivo de vaciado

DN	D	L	H	Kvs	Kg	Nºm Art
d = G1/2						
10/09*	G3/8	83	100	1,47	0,65	52 151-209
15/14*	G1/2	90	100	2,52	0,68	52 151-214
20*	G3/4	97	100	5,70	0,77	52 151-220
25	G1	110	105	8,70	0,93	52 151-225
32	G1 1/4	124	110	14,2	1,3	52 151-232
40	G1 1/2	130	120	19,2	1,6	52 151-240
50	G2	155	120	33,0	2,4	52 151-250
d = G3/4						
10/09*	G3/8	83	100	1,47	0,65	52 151-609
15/14*	G1/2	90	100	2,52	0,68	52 151-614
20*	G3/4	97	100	5,70	0,77	52 151-620
25	G1	110	105	8,70	0,93	52 151-625
32	G1 1/4	124	110	14,2	1,3	52 151-632
40	G1 1/2	130	120	19,2	1,6	52 151-640
50	G2	155	120	33,0	2,4	52 151-650

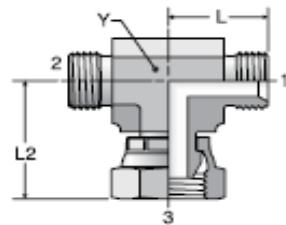
Figura F. 2 Catálogo IMI TA/Válvulas de equilibrado/STAD: Válvula TA número 52 151-620

Anexo F.7 Adaptadores 12SMK4

S6MK4

Swivel Nut Branch Tee
60° Cone / 60° Cone / 60° Swivel

Mates with D9/92, B1, B2 and B4 style
hose fitting



TUBE FITTING PART #	END SIZE			L (mm)	L2 (mm)	Y (mm)	Dynamic Pressure (x 1,000 PSI)
	1 BSPP	2 BSPP	3 BSPP				
2S6MK4	1/8 - 28	1/8 - 28	1/8 - 28	16.6	22.0	11	5.1
4S6MK4	1/4 - 19	1/4 - 19	1/4 - 19	27.8	31.2	19	5.1
6S6MK4	3/8 - 19	3/8 - 19	3/8 - 19	31.7	36.2	27	5.1
8S6MK4	1/2 - 14	1/2 - 14	1/2 - 14	37.0	41.0	27	2.9
10S6MK4	5/8 - 14	5/8 - 14	5/8 - 14	39.0	41.6	27	2.9
12S6MK4	3/4 - 14	3/4 - 14	3/4 - 14	41.6	45.3	33	2.9
16S6MK4	1 - 11	1 - 11	1 - 11	49.7	53.9	41	1.8
20S6MK4	1 1/4 - 11	1 1/4 - 11	1 1/4 - 11	54.4	60.0	48	1.5

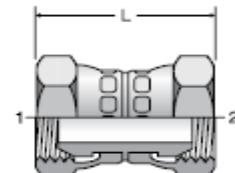
Figura F. 3 Catálogo Parker K4 BSP Adapters: Adaptador 12SMK4

Anexo F.8 Adaptadores 12-8HMK4 y 8H6MK4

H6MK4

Swivel Nut Union
60° Swivel / 60° Swivel

Mates with D9 style hose fitting



TUBE FITTING PART #	END SIZE		L (mm)	Dynamic Pressure (x 1,000 PSI)
	1 BSPP	2 BSPP		
4H6MK4	1/4 - 19	1/4 - 19	37.0	5.1
6-4H6MK4	3/8 - 19	1/4 - 19	38.6	5.1
6H6MK4	3/8 - 19	3/8 - 19	40.5	5.1
8-4H6MK4	1/2 - 14	1/4 - 19	41.5	2.9
8-6H6MK4	1/2 - 14	3/8 - 19	42.9	2.9
8H6MK4	1/2 - 14	1/2 - 14	45.8	2.9
10H6MK4	5/8 - 14	5/8 - 14	47.5	2.9
12-8H6MK4	3/4 - 14	1/2 - 14	48.2	2.9
12H6MK4	3/4 - 14	3/4 - 14	49.5	2.9
16H6MK4	1 - 11	1 - 11	57.5	1.7
20H6MK4	1 1/4 - 11	1 1/4 - 11	66.0	1.5
24H6MK4	1 1/2 - 11	1 1/2 - 11	70.0	1.5

Figura F. 4 Catálogo Parker K4 BSP Adapters: Adaptadores 12-8HMK4 y 8H6MK4

Anexo F.9 PT-100



ENGLISH

Datasheet

Platinum Resistance Pt100 Probe with Terminal Head

With or without 1/2"BSPP process connection, aluminium alloy head termination



(without process connection) (with process connection – 1/2"BSPP parallel)

- Heavy duty Pt100 probe with terminal head
- Class B, 4 wire connection
- Available in probe lengths between 150mm & 600mm
- 6.0mm diameter in 316 stainless steel
- With or without 1/2"BSPP parallel process connection
- IP67 aluminium alloy weatherproof connection head
- Sensor temperature rating -100°C to +450°C
- Conforms to IEC 751

What is the difference between a RTD and PRT sensor?
Nothing. RTD means resistance thermometer detector (the sensing element) and PRT means Platinum resistance thermometer (the whole assembly) i.e. a PRT uses a RTD.

Specifications

Sensor type:	Pt100 (100 Ohms @ 0°C) to IEC 751, Class B, 4 wire
Construction:	6.0mm diameter stem in 316 stainless steel
Termination:	IP67 aluminium alloy weatherproof connection head with 4 wire connection block, M20 x 1.5mm cable entry (gland included)
Process connection:	1/2"BSPP parallel (where applicable)
Probe temperature range:	-100°C to +450°C (connection head @ 170°C)

Probe Dia Ø	Probe length	1/2"BSPP process connection	Allied code	RS order code
6.0mm	200mm	No	70637790	285-633
6.0mm	400mm	No	70637791	285-649
6.0mm	600mm	No	70637792	285-655
6.0mm	150mm	Yes	70644355	455-4040
6.0mm	250mm	Yes	70644356	455-4056
6.0mm	500mm	Yes	70644357	455-4062

RS117/0816

Figura F. 5 Catálogo RS PRO: PT100

98

Anexo F.10 Conector tubos flexibles



ENGLISH

Datasheet

RS Pro 3/4in BSPT Male x 1/2in Hosetail

Hose Unions
Can be used, where you need to connect hoses in several lengths – as required – to taps and other connections in industry and trade

Advantages:

- Quality products in turned brass
- Fixed washer
- Pressure safe
- Leak proof fitting

Assortment

- 1/2", 3/4", 1", 1 1/4", 1 1/2" and 2" sizes are standard
- Brass or nickel-plated version

Nozzles

- Quality products in natural brass
- Raw material or nickel plated
- Adjustable from closed to open and from a wide spray pattern into a jet spray
- For watering and washing purposes

Assortment

- Hose connection 1/2", 3/4" and 1"
- Thread connection 3/4" BSP female thread

Item Number
2664BA4 NITO 1/4" Male BSPT with 3/8" hose tail
2760EA4 NITO 3/4" Male BSPT with 3/4" hose tail (BSPP)
15020A4 NITO Connector 15mm with 15mm hosetail
27210A4 NITO 3/4" Hose tail with 3/4" BSP

Item Number
27150A4 NITO 1/2" Hose Union with male BSP with 1/2" hosetail
27650A4 NITO 1" Male BSPT with 3/4" hose tail (BSPP)
27260A4 NITO 3/4" Hose Union with male BSP with 3/4" hose tail and Hose Union
27142A4 NITO 1/2" Male BSP hose union with 15-6,3 mm conical tail





Figura F. 6 Catálogo RS PRO: conectores para tubos flexibles

Anexo F.11 Tubos flexibles

Inventoried Sizes

Saint-Gobain Part Number	I.D. (inches)	O.D. (inches)	Wall Thickness (inches)	Length (feet)	Minimum Bend Radius (inches)	Max. Working Pressure at 73°F (psi)*	Vacuum Rating, In. of Mercury at 73°F
AN800003	1/16	3/16	1/16	50	1/2	35	29.9
AN800007	1/8	1/4	1/16	50	1/2	20	29.9
AN800012	3/16	5/16	1/16	50	3/4	13	29.9
AN800017	1/4	3/8	1/16	50	1	15	29.9
AN800022	5/16	7/16	1/16	50	1-1/2	11	20.0
AN800027	3/8	1/2	1/16	50	2	11	15.0
AN800038	1/2	3/4	1/8	50	2-1/2	15	29.9
AN800046	5/8	7/8	1/8	50	3	11	20.0
AN800053	3/4	1	1/8	50	4	11	20.0

Figura F. 7 Catálogo Tygon XL-60: tubos flexibles

Anexo F.12 Bomba

Specifications (50Hz)

Model	Hose connection		Threaded connection		Max. Capacity (L/min)	Max.Head (m)	S.G.	Output (W)	Input (W)	Power source	Mass (kg)	
	R-RZ-RX		R-M-RZ-M-RX-M									
	Inlet (mm)	Outlet (mm)	Inlet/Outlet	Union (mm) <small>[Note1]</small>								
MD-15R(M)	14	14	G3/4	13	16	2.4	1.3	10	26	220V - 240V Single phase	1.6	
MD-20R(M)	18	17	G3/4	16	27	3.1	1.1	20	40		2.0	
MD-20RX(M)	26	26	G1	20	46	1.8	1.3				3.5	
MD-20RZ(M)	17.5	17	G3/4	13	10	4.9	1.1	45	60		3.9	
MD-30R(M)	20	20	G3/4	16	32	3.8	1.3				80	
MD-30RX(M)	26	26	G1	20	62	2.9	1.1				90	
MD-30RZ(M)	17.5	17	G3/4	13	15	8.0	1.0				85	
MD-40R(M)	20	20	G3/4	16	45	4.6	1.1	65	140		140	
MD-40RX(M)	26	26	G1	20	75	3.3					90	
MD-40RZ(M)	20	20	G3/4	16	22	10					85	
MD-40RZ-5(M)					11	11.5	1.0	65	140		140	

Figura F. 8 Catálogo IWAKI Magnetic Drive Pumps: especificaciones de bombas

CENTRÍFUGAS

(A)

**Características:**

Las bombas centrífugas con una turbina, son aptas para usos industriales, trasiego de líquidos y llenado de depósitos, así como grupos de presión cuando se necesitan caudales elevados a bajas presiones.

Temperatura del agua máxima: 90° C.

Construcción:

Cuerpo de bomba y soporte en fundición, eje de acero inoxidable. Turbina en latón. Cierre mecánico en grafito.

Motor:

Motor eléctrico cerrado con ventilación externa. En la versión monofásica incorpora protector térmico y condensador permanente. Protección IP 44. En versión trifásica, motor a inducción con protección a cargo del usuario.

Turbina en bronce

Modelo	C.V.	Precio
<i>Monofásicas (230 V.)</i>		
CPM 130	0,5	240
CPM 146	0,75	280
CPM 158	1	292
CPM 180	1,5	452
<i>Trifásicas (230/400 V.)</i>		
CP 152	0,8	280
CP 158	1	292
CP 180	1,5	440
CP 200	2,2	460
CP 300	3	470
CP 400	4	880
CP 550	5,5	920

Figura F. 9 Catálogo de AGP: algunas características de bombas