



GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

ESCUELA SUPERIOR DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS EXPERIMENTALES

Diseño, construcción y puesta a punto de una instalación termohidráulica para el estudio del comportamiento de nanofluidos basados en aceite térmico en condiciones dinámicas

Código ID. 0001

TRABAJO FINAL DE GRADO

AUTORA:

ESTEFANÍA CERVANTES CALVO

DIRECTORES:

JOSÉ ENRIQUE JULIÁ BOLIVAR

SALVADOR TORRÓ CUECO

Castelló de la Plana, 11 de octubre de 2019

Agradecimientos

En primer lugar, quiero dar las gracias a la Universitat Jaume I por financiar el proyecto en el que se incluye el diseño de esta instalación hidráulica. Proyecto que me ha resultado muy interesante y del que he aprendido y adquirido competencias en el campo de la ingeniería mecánica.

A mi familia, porque me aguantan en el día a día con todas mis ocupaciones y líos, que no son pocos. En especial a mi padre y a mi madre que me han proporcionado la mejor educación y lecciones de vida para llegar a ser quien soy. Papá, gracias por mostrar siempre tanto interés en todo lo que emprendo con ilusión. Mamá, gracias por darme ánimos y fuerza para llevarlo a cabo con valentía.

A mis compañeros de trabajo, en especial a Javier y Lilian, siempre dispuestos a una buena discusión acerca de equipamiento, instrumentación y medida. Gracias también a David y Mónica por su ayuda desinteresada en la redacción de este documento. Y a Paula y Magda que saben sacar ese ratito de tiempo para preguntarme cómo lo llevo y para darme ánimos a diario.

Y por supuesto, agradezco a todo el equipo del Área de Mecánica de Fluidos de la Universitat Jaume I. Por orden de aparición, Rosa, Leo, Salva, Raúl, Alexandra y Nuria. Sin este equipo humano jamás podría haber finalizado con éxito este trabajo. Muchas gracias chicas y chicos y muchísimas gracias Salva, por coger las riendas de este trabajo en momentos tan difíciles.

Por último, quiero recordar a quien fue el impulsor de la idea de este proyecto y quien no se creía que era posible que los cálculos diseñaran un intercambiador kilométrico. Te hemos echado mucho de menos Quique. Gracias por confiar en mi para la realización de este estudio, por darme la oportunidad de adentrarme en el maravilloso mundo de los nanofluidos y formar parte de este grupo de trabajo que vale tanto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

1. MEMORIA	13
2. ANEXO.....	97
3. PLANOS	201
4. PLIEGO DE CONDICIONES	213
5. PRESUPUESTO	233

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Incremento de capacidad térmica global volumétrica de un aceite térmico sintético (Therminol VP1) con una carga volumétrica del 5% de NePCM de Sn/SnOx.....	24
Figura 2. Gráficas de calorimetría diferencial de barrido de NePCM de Estaño, Indio, Zinc y aleación eutéctica de estaño y plomo con diámetros entre 60-80 nm tras 20 ciclos a 40K/min. Curvas medidas a una velocidad de 10K/min (flujo -: fusión, flujo +: cristalización).....	25
Figura 3. Número de publicaciones sobre PCMs por fluido base y total. (Fuente: Analyze search results of Scopus: 30/06/2019).....	26
Figura 4. Temperatura de fusión y entalpía de cambio de fase de diferentes NePCMs obtenidas experimentalmente [23].....	26
Figura 5. Esquema de la instalación de Ding et al. [25].....	27
Figura 6. Esquema de la instalación propuesta por Kim et al. [27].....	28
Figura 7. Esquema de la instalación diseñada por Yu et al. [28].	29
Figura 8. Esquema de la sección de medida y de la medida de la temperatura local.....	31
Figura 9. Propiedades del Therminol® 66 con la temperatura (fuente: http://tw.t.mpei.ac.ru/TTHB/HEDH/HTF-66.PDF).	41
Figura 10. Condensador frigorífico de dos módulos (Fuente: https://suministrosclimafrio.es)..	48
Figura 11. HRS DTI intercambiador industrial tipo Hairpin (Fuente: https://www.hrs-heatexchangers.com).....	48
Figura 12. Esquema de la instalación, uso en continuo.....	53
Figura 13. Esquema de la instalación, uso en discontinuo.....	54
Figura 14. Esquema de la instalación.....	55
Figura 15. Esquema de la instalación. Depósito principal.	57
Figura 16. Imagen del depósito principal en la instalación.....	58
Figura 17. Esquema de la instalación. Bomba centrífuga.	59
Figura 18. Imagen de la bomba SIHI ZTND-032160 en la instalación.	60
Figura 19. Gráfico de rendimiento de la bomba SIHI ZTND-032160.....	60
Figura 20. Esquema de la instalación. Caudalímetro.	61
Figura 21. Imagen del caudalímetro en la instalación.....	62
Figura 22. Esquema de la instalación. Fuente de alimentación.....	63
Figura 23. Imagen de la fuente de alimentación en la instalación.....	64
Figura 24. Esquema de la instalación. Intercambiador de calor agua-aceite.....	65
Figura 25. Imagen del intercambiador de calor en la instalación.....	66
Figura 26. Esquema de la instalación. Pre calentador.....	67

Figura 27. Imagen del precalentador en la instalación.	68
Figura 28. Esquema de la instalación. Depósito secundario.	69
Figura 29. Imagen depósito secundario en la instalación.....	70
Figura 30. Esquema de la instalación. Termopares tipo K.....	71
Figura 31. Imágenes de los termopares tipo K en la instalación.	72
Figura 32. Esquema de la instalación. Termorresistencias de contacto.	73
Figura 33. Imágenes de las termorresistencias de superficie en la zona de calentamiento de la instalación.	74
Figura 34. Imagen del Sistema de adquisición de datos en la instalación.....	75
Figura 35. Imágenes de las válvulas de pistón en la instalación.	76
Figura 36. Esquema de la instalación. Tubo de la zona de calentamiento.	77
Figura 37. Imagen de la sección de calentamiento en la instalación.....	78
Figura 38. Esquema de la instalación. Circuito de agua.	79
Figura 39. Temperatura de la pared del tubo de la sección de medida antes y después de aplicar la corrección.	83
Figura 40. Resultado del experimento 5. Ensayo en discontinuo.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Temperatura y entalpía de fusión de diferentes NPs	27
Tabla 2. Resistividad del cobre, aluminio y acero inoxidable 316L a 20°C.....	43
Tabla 3. Valores de la resistividad del acero inoxidable 316L con la temperatura.....	43
Tabla 4. Velocidad y caudal del Th66 en el interior del tubo a 200 y 300°C (Ref. de tubo de RS amidata).....	44
Tabla 5. Disposición de las sondas de temperatura en la zona de calentamiento.....	46
Tabla 6. Datos para el cálculo de las dimensiones del intercambiador usando aceite o agua como líquido refrigerante (facilitados por la empresa HRS). La configuración axb se interpreta como a=intercambiadores conectados en paralelo y b=intercambiadores conectados en serie.	49
Tabla 7. Disposición de las sondas de temperatura en la zona de enfriamiento.....	50
Tabla 8. Datos técnicos de la bomba centrífuga.....	59
Tabla 9. Datos técnicos del caudalímetro.....	61
Tabla 10. Datos técnicos de la fuente de alimentación.	63
Tabla 11. Datos técnicos del intercambiador de calor.....	65
Tabla 12. Datos técnicos del precalentador.....	67
Tabla 13. Datos técnicos de los termopares tipo K.	71
Tabla 14. Datos técnicos de las termorresistencias de contacto.....	73
Tabla 15. Datos técnicos del sistema de adquisición de datos Agilent 34972A	75
Tabla 16. Datos técnicos de las válvulas de pistón.	76
Tabla 17. Datos técnicos del tubo de la zona de calentamiento	77
Tabla 18. Condiciones de ensayos experimentales programados.	81
Tabla 19. Características del tubo de la sección de calentamiento utilizadas en los cálculos.....	82
Tabla 20. Datos del coeficiente global de transferencia de calor del experimento 1.	83
Tabla 21. Datos del experimento 1.....	84
Tabla 22. Cálculos del experimento 1.....	84
Tabla 23. Comparación con el valor de Nusselt teórico propuesto por Gnielinski. Experimento 1.	85
Tabla 24. Comparación con el valor de Nusselt teórico propuesto por Dittus-Boelter. Experimento 1.....	86
Tabla 25. Datos del experimento 2.....	86
Tabla 26. Cálculos del experimento 2.....	86
Tabla 27. Comparación con el valor de Nusselt teórico propuesto por Gnielinski. Experimento 2.	87

Tabla 28. Comparación con el valor de Nusselt teórico propuesto por Dittus-Boelter. Experimento 2.....	88
Tabla 29. Datos del experimento 3.....	89
Tabla 30. Cálculos del experimento 3.....	89
Tabla 31. Comparación con el valor de Nusselt teórico propuesto por Gnielinski. Experimento 3.	90
Tabla 32. Comparación con el valor de Nusselt teórico propuesto por Dittus-Boelter. Experimento 3.....	90
Tabla 33. Datos del experimento 4.....	91
Tabla 34. Cálculos del experimento 4.....	91
Tabla 35. Comparación con el valor de Nusselt teórico propuesto por Gnielinski. Experimento 4.	92
Tabla 36. Comparación con el valor de Nusselt teórico propuesto por Dittus-Boelter. Experimento 4.....	92
Tabla 37. Resumen de los resultados experimentales realizados en continuo.	93
Tabla 38. Resultados del experimento 5. Ensayo en discontinuo.	93
Tabla 39. Colores de los conductores.....	228
Tabla 40. Estimación del coste de personal.	237
Tabla 41. Gasto por la compra de equipos.	237
Tabla 42. Gasto por la compra de otros materiales.	238
Tabla 43. Coste total del proyecto.....	240

1. MEMORIA

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1.1. Objeto.....	17
1.1.1. Objetivo.....	17
1.2. Justificación	19
1.3. Alcance	20
1.4. Antecedentes	21
1.5. Normas y referencias	33
1.5.1. Disposiciones legales y normas aplicadas.....	33
1.5.2. Programas utilizados	33
1.5.3. Plan de gestión de la calidad aplicado durante la redacción del proyecto.....	33
1.5.4. Bibliografía.....	33
1.6. Abreviaturas.....	36
1.7. Variables	36
1.8. Requisitos de diseño	38
1.9. Análisis de soluciones.....	39
1.10. Análisis de soluciones	40
1.10.1. Características del fluido base.....	40
1.10.2. Diseño de la zona de calentamiento	42
1.10.3. Diseño de la zona de enfriamiento	47
1.10.4. Diseño de los depósitos	51
1.10.5. Esquema de la instalación	53
1.10.6. Resumen de los componentes.....	57
1.11. Descripción de los ensayos experimentales	81
1.12. Resultados experimentales	82
1.12.1. Experimento 1	84
1.12.2. Experimento 2	86
1.12.3. Experimento 3	89
1.12.4. Experimento 4	91
1.12.5. Experimento 5	93
1.13. Conclusiones.....	94

1.1. Objeto

1.1.1. Objetivo

El objetivo del proyecto es el diseño, construcción y puesta en marcha de una instalación termohidráulica de laboratorio, que permita estudiar el comportamiento dinámico de fluidos de transferencia de calor, más concretamente nanofluidos. Los nanofluidos son suspensiones coloidales de partícula de tamaño nanométrico (<100nm) dispersadas en un fluido base. Los nanofluidos objeto de estudio se basan en partículas metálicas con cambio de fase nanoencapsuladas, dispersadas en un aceite térmico, utilizados comúnmente en aplicaciones industriales.

La caracterización de estos nanofluidos incluye la medida de la transferencia de calor, tanto en el proceso de carga, como en el proceso de descarga térmica de los mismos. Estas medidas servirán para optimizar la utilización de nanofluidos en aplicaciones industriales, en condiciones habituales de uso (condiciones dinámicas) y una mayor comprensión de su comportamiento a temperatura elevada (hasta 400°C).

Para llevar a cabo el diseño de la instalación ha sido necesario un predimensionado de la misma teniendo en cuenta diferentes factores, entre los que destaca la elevada temperatura de trabajo y las necesidades de control de temperatura del nanofluido en cada uno de los procesos de carga y descarga térmica.

En la elaboración del Proyecto se ha seguido la siguiente metodología, basada en el desarrollo de las fases que se mencionan a continuación:

Fase 1: Realización del resumen actualizado del estado del arte tanto en materia experimental, debido al desarrollo de nanofluidos basados en materiales nanoencapsulados de materiales que presentan cambio de fase, como de las técnicas experimentales utilizadas para la medida de las propiedades térmicas de nanofluidos. Para ello se ha realizado una exhaustiva revisión bibliográfica, eligiendo la información más relevante hasta la fecha.

Fase 2: Definición de las condiciones en las que se realizarán los ensayos. Para ello se analizan las necesidades de la instalación en las condiciones de uso más desfavorables, consiguiendo el correcto dimensionado de los distintos elementos de la instalación. Debido a la diferente naturaleza que presentan los fluidos objeto de estudio, se requiere una gran versatilidad de uso de la instalación.

Fase 3: Adquisición de material y equipamiento necesario para la construcción de la instalación.

Fase 4: Montaje de la instalación y ajuste de los equipos a las condiciones de medida.

Fase 5: Puesta en marcha y puesta a punto de la instalación. Realización de medidas preliminares del comportamiento térmico del fluido base, en condiciones que aseguren el adecuado funcionamiento de la instalación con el objetivo de valorar la repetitividad de los resultados y la fiabilidad del montaje.

Fase 6: Evaluación de los resultados y valoración de los mismos. Medida del coeficiente de transferencia de calor global y axial, y tiempo de carga y descarga térmica. Comparación de

los resultados experimentales del coeficiente de transferencia de calor con las correlaciones teóricas propuestas por Gnielinski y Dittus-Boelter.

1.2. Justificación

El aumento continuo de la demanda energética a nivel mundial y el auge del uso de fuentes de energía alternativas cada vez más eficientes, son las principales razones que han motivado la realización de este proyecto. En la última década, el uso de nanofluidos se ha postulado como una tecnología prometedora que permite aumentar la eficiencia de los procesos de transferencia de calor y almacenamiento de energía, pudiendo así reducirse el consumo energético y las emisiones de CO₂ en procesos industriales.

Sin embargo, en la mayoría de las aplicaciones, durante su uso, los nanofluidos están en continuo movimiento. De aquí la necesidad de conocer y caracterizar el comportamiento térmico de los nanofluidos en condiciones dinámicas, para poder predecir los beneficios de esta tecnología emergente en futuras aplicaciones.

1.3. Alcance

La instalación hidráulica se ubica en los laboratorios en la Universitat Jaume I en Castellón de la Plana. Su construcción y puesta a punto está sujeto al Objetivo Específico 5 (OE5) del proyecto “Desarrollo y optimización de fluidos de transporte de calor con propiedades térmicas mejoradas mediante material de cambio de fase metálicos nanoencapsulados (HTF-nano-PCM)”. financiado dentro de la convocatoria de proyectos de investigación científica y desarrollo tecnológico de la Universitat Jaume I.

Los datos experimentales obtenidos se correlacionan con las ecuaciones de Gnielinski y de Dittus-Boelter para valorar la transferencia de calor de un fluido en movimiento en el interior de una tubería de paredes lisas en régimen turbulento o forzado. Para ello, se han realizado las pruebas con el fluido base.

Debido a la naturaleza experimental del proyecto y su financiación como proyecto de investigación científica para el estudio de las propiedades de nuevos materiales en el ámbito energético, no es necesario realizar el estudio de viabilidad económica.

1.4. Antecedentes

El modelo energético actual se caracteriza por un constante crecimiento del consumo de energía a nivel mundial. Este continuo crecimiento en el consumo está produciendo graves dificultades para satisfacer la demanda con las fuentes de energía disponibles.

Desde el punto de vista medioambiental, la producción y uso de la energía suponen la principal causa de las emisiones de gases de efecto invernadero, que son los gases responsables del cambio climático. Por ello, la reducción del consumo energético es una de las formas más eficaces de actuar y limitar las graves consecuencias ambientales, sociales y económicas que conlleva un aumento de la temperatura y consecuente subida del nivel del mar y disminución de precipitaciones, entre otras.

Un modelo energético sostenible se caracteriza por un patrón de producción y consumo que compatibilicen el desarrollo económico, social y ambiental, satisfaciendo las necesidades energéticas de las generaciones presentes sin comprometer las necesidades de generaciones futuras. Para que esto sea posible, el modelo energético debe fundamentarse en tres pilares básicos:

- Seguridad energética, que garantice la continuidad del suministro de energía a precios razonables para los consumidores.
- Competitividad económica e industrial.
- Sostenibilidad ambiental. El sector energético como responsable mayoritario de las emisiones de gases invernadero, juega un papel fundamental en la lucha contra el cambio climático.

En este escenario, es de gran importancia trabajar en la mejora de la eficiencia en los procesos de intercambio de calor y almacenamiento térmico. Esta depende en gran medida de las propiedades de los fluidos de transporte de calor (HTF) utilizados, por lo que la mejora de los mismos se encontraría dentro del paquete de medidas para el cumplimiento de los objetivos climáticos y de energía asumidos por la Unión Europea (UE) para 2030 [1].

Los objetivos fundamentales del marco de clima y energía para 2030, adoptado por los dirigentes de la UE en octubre de 2014 son tres:

- 40% de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (en relación con los niveles de 1990),
- 27% de energías renovables en la UE, y
- 27% de mejora de la eficiencia energética.

Los denominados nanofluidos (NFs) se consiguen mediante la dispersión de materiales de tamaño nanométrico (<100 nm) en un fluido base. Se trata por tanto, de suspensiones formadas por un sistema de dos fases, con una fase sólida dispersada en otra fase líquida. Se ha demostrado que los nanofluidos poseen propiedades físicas y térmicas mejoradas tales como la conductividad térmica, difusividad térmica y los coeficientes de transferencia de calor, en comparación con las propiedades de los fluidos HTF habitualmente utilizados. Es la adición de estas pequeñas partículas sólidas metálicas en aceite térmico, lo que permite aumentar las propiedades térmicas de la suspensión resultante cuando se trabaja a elevadas temperaturas.

Los aceites térmicos sintéticos, son aceites basados en componentes aromáticos y silicona. Su temperatura de funcionamiento está comprendida entre -115 y 400°C . Este tipo de fluido de transporte de calor es el que tiene mayor cuota de mercado, con un 40% del total y que está actualmente en aumento. Entre las principales aplicaciones industriales, destacan las siguientes [4]:

- Procesado de productos petrolíferos. Es la aplicación más importante con una cuota de mercado del 23%. Esta incluye, procesado de petróleo, purificación de gas natural, paso de gas natural a combustibles líquidos, procesado de asfalto, etc. Su temperatura máxima de trabajo se encuentra en torno a 350°C .
- Aplicaciones energéticas. Es la segunda aplicación más importante con una cuota de mercado actual del 15% del total y con mayor crecimiento en los últimos años. Incluye el uso de aceites térmicos de media y alta temperatura para centrales solares, ciclo orgánico de Rankine, procesado de biodiesel, etc. Su temperatura máxima de trabajo en centrales solares es de 400°C y de 325°C para el resto de aplicaciones.
- Procesado de productos químicos. Incluye el procesado de productos farmacéuticos y de productos químicos como alcoholes y olefinas. Su temperatura máxima de trabajo depende del producto y se encuentra en el rango de 300 a 380°C .
- Procesado de alimentos, bebida y plásticos. Cuya temperatura de trabajo no suele superar los 320°C .

Se estima que la mejora de las propiedades térmicas de los fluidos HTF de media y alta temperatura tiene un valor de negocio estimado en 1200 millones de dólares y con una previsión de crecimiento del 30% en los próximos 10 años.

El concepto de añadir pequeñas partículas sólidas en un fluido base para aumentar las propiedades térmicas de la suspensión resultante se ha utilizado durante mucho tiempo. De hecho, la idea fue mencionada por primera vez por Maxwell [6], en el año 1873. Sin embargo, la mayoría de los estudios se realizaron utilizando suspensiones de partículas milimétricas o micrométricas, lo que producía problemas de inestabilidad de la suspensión, limitando así su aplicación práctica. En 1993, Masuda [7] propuso la utilización de nanopartículas para la mejora de propiedades térmicas del agua y S.U.S. Choi [8] acuñó el término nanofluido.

La ventaja de dispersar partículas nanométricas es que con ellas es posible obtener dispersiones muy estables, sin aglomeración de las nanopartículas y que pueden ser bombeadas y controladas con equipamiento convencional. Por tanto, un nanofluido estable permite introducir un sólido en forma de nanopartículas dentro de un líquido incorporando las propiedades del sólido, pero manteniendo en gran medida las propiedades de transporte del líquido. Este hecho abre un gran abanico de ventajas potenciales en el campo de los fluidos de intercambio de calor.

En los últimos años han surgido nuevos tipos de nanofluidos en los que el sólido disperso consiste en nanopartículas con núcleo de material de cambio de fase (PCM). A este tipo de partículas se les denomina material de cambio de fase nanoencapsulado (NePCM) y pueden aumentar, además de la conductividad térmica, la capacidad térmica global a partir de la entalpía de cambio de fase del núcleo. Este aporte extra de capacidad calorífica se produce a una temperatura determinada fijada por el PCM. Este tipo de nanofluido con nanoencapsulados de material de cambio de fase (NePCM-NFs) es especialmente interesante para aplicaciones de intercambio térmico con saltos de temperatura no muy elevados.

Hace aproximadamente una década comenzaron a utilizarse comercialmente los PCM microencapsulados para aplicaciones relacionadas con la mejora del confort térmico en la edificación. En este caso el núcleo de la micropartícula es de parafina con temperatura de cambio de fase entre 20°C y 40°C y la corteza de plástico. Estas micropartículas pueden ser mezcladas con materiales de la construcción como yeso, hormigón, etc. y realizar la función de almacenamiento térmico integrado en el edificio. También se pueden utilizar en suspensiones acuosas para mejorar las propiedades térmicas del agua caliente sanitaria. Sin embargo, debido al tamaño de las partículas la suspensión, sedimenta inmediatamente en reposo y presenta problemas de integridad de la corteza de las partículas a su paso por sistemas de bombeo, válvulas, etc.

Para mejorar la estabilidad de este tipo de suspensiones, en 2010 comenzó a estudiarse el nanoencapsulado de la parafina con corteza de sílice. En este caso es posible obtener nanopartículas con un tamaño medio de 50nm, un grosor de corteza de 20 nm y un factor de encapsulamiento (ratio entre la entalpía de cambio de fase por masa del PCM original y del NePCM) de 0,5-0,3. Los NFs obtenidos con estos NePCM son mucho más estables y resistentes que los obtenidos con microencapsulados.

Hace aproximadamente 5 años comenzó a estudiarse la utilización de nanopartículas metálicas como PCM en aplicaciones térmicas. En este caso se utiliza una matriz con alto punto de fusión a la que se añaden nanopartículas metálicas de punto de fusión más bajo. En este caso no es necesario encapsular las nanopartículas ya que la matriz las mantiene encapsuladas. En 2014, se propuso un NePCM-NF con núcleo de estaño y recubrimiento de sílice usando de fluido base un aceite térmico (Therminol 66). En este caso, para un porcentaje volumétrico de NePCM del 5%, se obtienen mejoras del 13% en la conductividad térmica y del 20% en la capacidad térmica global (para un salto de temperaturas de 50°C).

En 2015, Cingarapu et al. [15] estudian las mejoras de añadir a una sal fundida NePCM con núcleo de zinc obteniéndose mejoras de hasta el 34% (dependiendo del rango de temperaturas y para un porcentaje volumétrico de NePCM del 10%) en la capacidad térmica del nanofluido resultante.

Los NePCM-NFs basados en núcleo metálico presentan las siguientes ventajas sobre los NFs convencionales:

- ✓ Aumentan la capacidad térmica global del fluido base (además de la conductividad térmica). La capacidad térmica global volumétrica (J/m³) aumenta mucho más que la capacidad térmica global másica (J/kg) debido a la alta densidad de los NePCM. En la Figura 1 se muestra el incremento de capacidad térmica global de un NePCM a diferentes temperaturas de trabajo.
- ✓ El aumento de la capacidad térmica global (volumétrica o másica) se produce a una temperatura determinada que puede ser seleccionada mediante el material elegido para el PCM. El aumento de la capacidad térmica global (volumétrica o másica) depende del salto térmico de la aplicación y puede ser próximo al 30% (másica) o al 120% (volumétrica) en el caso de aplicaciones con saltos térmicos inferiores a 100°C. Los procesos de carga y descarga de los núcleos de los NePCMs son muy rápidos debido a la alta conductividad de los mismos y a la muy elevada superficie de contacto.

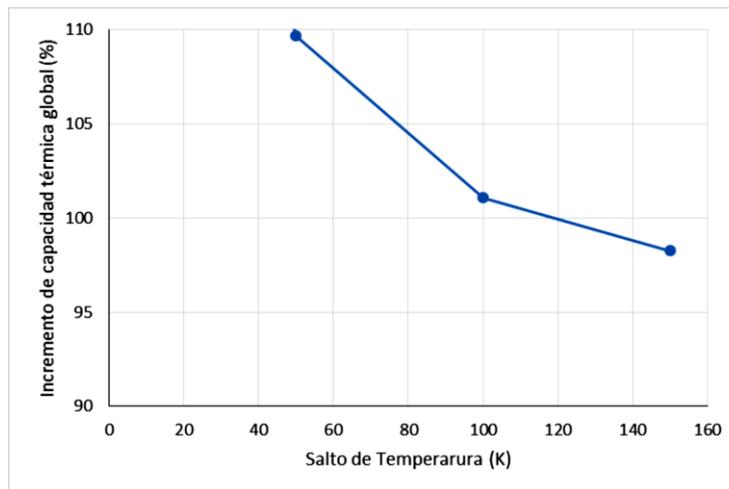


Figura 1. Incremento de capacidad térmica global volumétrica de un aceite térmico sintético (Therminol VPI) con una carga volumétrica del 5% de NePCM de Sn/SnOx.

- ✓ La alta densidad del núcleo metálico hace que sea posible obtener NFs con una alta concentración másica de NePCM manteniendo una concentración volumétrica reducida. Esto hace que se pueda producir un alto aumento de la capacidad térmica (que depende de la concentración másica) con un aumento contenido de la viscosidad (que depende de la concentración volumétrica).

Los NePCM-NFs basados en núcleo metálico presentan también algunas desventajas sobre los NFs convencionales:

- Es necesario utilizar nanopartículas (NePCMs) con alta complejidad de sintetización ya que en primer lugar es necesario sintetizar las NPs metálicas y, a continuación, si es necesario, hacer crecer la capa nanométrica a su alrededor.
- Los NePCM metálicos presentan subenfriamiento (diferencia de temperaturas de fusión y cristalización) debido a que el proceso de cristalización del núcleo es homogéneo al no existir puntos de nucleación en el interior del mismo. De esta forma, la temperatura de cristalización es sensiblemente o bastante inferior a la de fusión (depende del metal utilizado y del tamaño del núcleo de la NP). En el caso de NPs de estaño de 60nm de diámetro el subenfriamiento puede ser superior a 120°C, tal y como se muestra en la Figura 2). Un valor elevado de temperatura de subenfriamiento presenta dos claras desventajas en el proceso de intercambio de calor. Por una parte el calor recuperado es de menor temperatura que el captado, reduciendo la exergía del sistema.

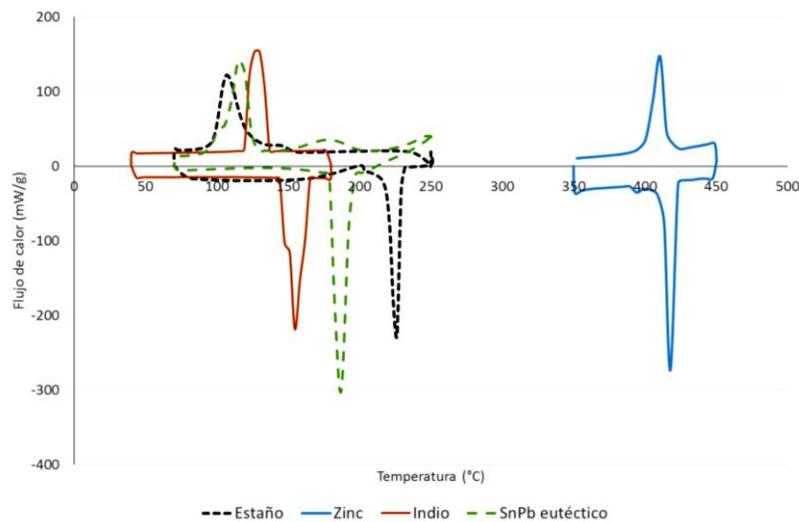


Figura 2. Gráficas de calorimetría diferencial de barrido de NePCM de Estaño, Indio, Zinc y aleación eutéctica de estaño y plomo con diámetros entre 60-80 nm tras 20 ciclos a 40K/min. Curvas medidas a una velocidad de 10K/min (flujo -: fusión, flujo +: cristalización).

Los datos de calorimetría obtenidos hasta el momento se basan en su medida en un equipo de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC en sus siglas en inglés *Differential Scanning Calorimetry*). Este es el método más utilizado actualmente para el análisis térmico de un material granulado, en polvo o líquido, ya sean metales, cerámicos u orgánicos. Mediante esta técnica se pueden obtener los valores de temperaturas características de fusión y cristalización, calores de transformación (entalpías) y calor específico.

Aunque es la técnica más utilizada hasta el momento para la medida de características térmicas de materiales, esta difiere en gran medida del uso real que se realiza de los NePCMs como fluidos de intercambio de calor. En estos casos, estos se suelen utilizar en condiciones dinámicas de uso y su comportamiento puede diferir del medido en condiciones estáticas, tal y como lo mide el DSC.

El uso de nanopartículas PCM dispersadas en el seno del fluido abre un gran abanico de ventajas potenciales en el campo de los HTF y/o TES que han provocado un rápido aumento de las publicaciones con más de 1200 artículos en revistas indexadas en los últimos tres años según las fuentes consultadas.

La mayor parte de los trabajos publicados con PCMs se han centrado en la mejora de la conductividad utilizando el agua como fluido base, tal y como se observa en la Figura 3. El motivo principal es que tanto la estabilización como caracterización de estos NFs basados en agua es más simple y no requiere de equipamiento para altas temperaturas. Sin embargo, desde un punto de vista térmico es mucho más interesante trabajar con PCMs basados en fluidos destinados a trabajar a mayores temperaturas (glicoles, aceites térmicos y sales fundidas) ya que estos tienen unas propiedades térmicas muy inferiores a las del agua y su coste económico puede ser elevado. De esta forma, la investigación de estos NFs está ganando interés en los últimos años, siendo su estabilización y caracterización a alta temperatura los objetivos a conseguir. Hasta la fecha, ha sido posible estabilizar NFs basados en aceites térmicos hasta una temperatura de 400°C, aunque no ha sido posible realizar su caracterización completa.

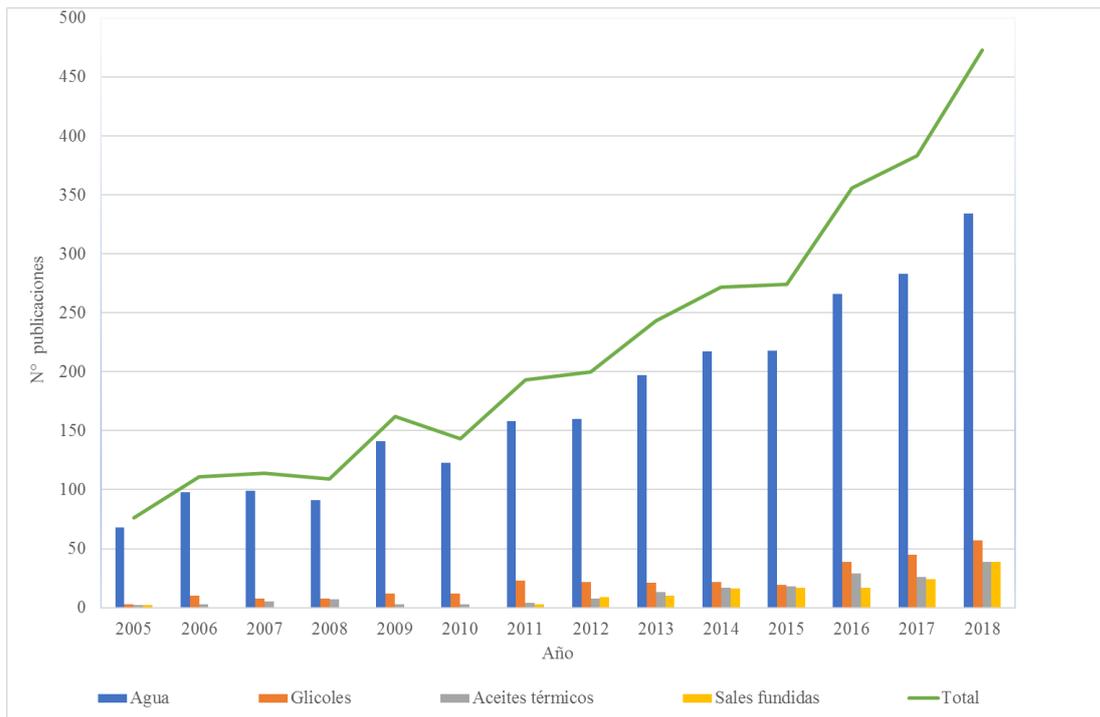


Figura 3. Número de publicaciones sobre PCMs por fluido base y total. (Fuente: Analyze search results of Scopus: 30/06/2019).

Gil-Font et al. [23] presentan un estudio en el que se compara cómo mejoran las propiedades térmicas de aceites térmicos cuando se añaden metales y aleaciones de metales. Se ha utilizado el DSC para evaluar el punto de fusión experimental y el calor latente del fluido base y la mezcla con NePCMs. En la Figura 4 se muestran los resultados obtenidos para diferentes NPs.

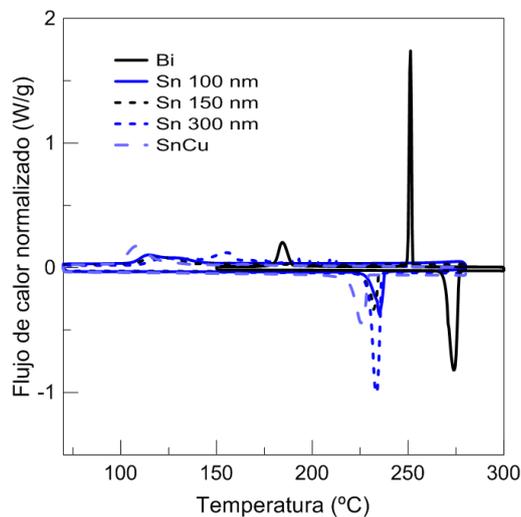


Figura 4. Temperatura de fusión y entalpía de cambio de fase de diferentes NePCMs obtenidas experimentalmente [23].

Tabla 1. Temperatura y entalpía de fusión de diferentes NPs.

NePCM	T_m (°C)	ΔH_f (kJ/kg)
Bi	272,15	46,04
Sn 100 nm	234,29	18,40
Sn 150 nm	231,50	17,39
Sn 300 nm	231,97	52,06
SnCu	225,14	30,60

En la última década, muchos investigadores han demostrado experimental y numéricamente que el uso de micro y nanopartículas en un fluido conduce a un rendimiento más alto de transferencia de calor medido en condiciones dinámicas. A continuación, se citan los ejemplos más importantes y se muestran los esquemas de las instalaciones utilizadas, así como los resultados obtenidos.

Li y Xuan [24], en 2002, investigaron experimentalmente el flujo y las características de transferencia de calor de NFs de cobre y agua por convección a través de un tubo de latón recto con un constante flujo de calor en la pared. Sus resultados experimentales ilustran que el coeficiente de transferencia de calor por convección de los NFs es mayor que la del fluido de base y varía con la velocidad de flujo y la fracción de volumen.

Wen y Ding [25], en 2004, investigaron la transferencia de calor por convección de NFs γ -Al₂O₃-agua a través de un tubo de cobre en el régimen de flujo laminar. El aumento en el coeficiente de transferencia de calor fue particularmente importante en la región de entrada; mucho mayor al que se podría esperar como causa del aumento de la conductividad térmica.

La instalación sobre la que se realizaron los ensayos es un circuito cerrado que consta de depósito, bomba con medidor de caudal, intercambiador de calor y una sección de medida. Dicha sección de medida está formada por un tubo de cobre con calentadores de silicona de 300 W, 5 termopares para medir la temperatura de la pared a lo largo de todo el tubo y 2 termopares de inmersión para medir la temperatura del fluido en la entrada y en la salida de la sección.

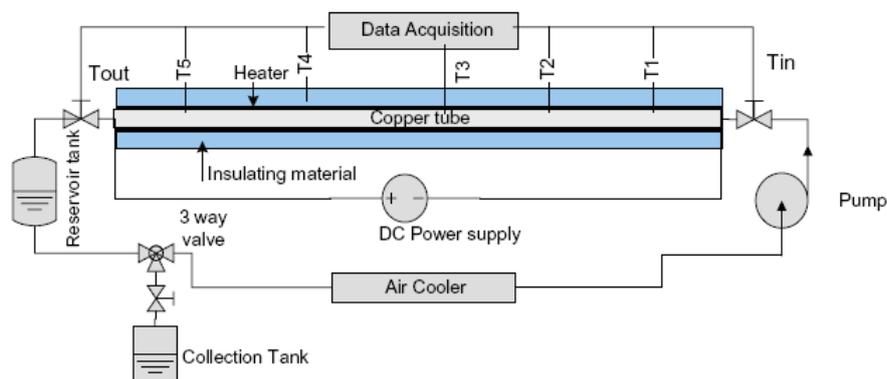


Figura 5. Esquema de la instalación de Ding et al. [25].

En el año 2005, Yang et al. [26] midieron el coeficiente de transferencia de calor por convección de NFs de grafito bajo flujo laminar en un intercambiador de calor de tubo horizontal. Los resultados experimentales mostraron que las nanopartículas aumentan el coeficiente de transferencia de calor del fluido, pero el incremento fue mucho menor que la predicha por correlación actual sobre la base de mediciones de conductividad térmica estáticas.

En 2009, Kim et al. [27] estudiaron el flujo y las características de transferencia de calor con base de agua y partículas de Al_2O_3 fluyendo a través de un tubo circular en régimen laminar. La configuración de la instalación consiste en un tubo circular de diámetro de 1,8 mm y 2,5 m de longitud. La sección de ensayo cuenta con un calentador que alimenta un flujo de calor superficial de 5000 W/m^2 , una bomba, un tanque de almacenamiento y un refrigerador. Se utilizaron varios termopares tipo T para medir las temperaturas de pared del tubo a lo largo de la sección y las temperaturas de los líquidos en la entrada y la salida. Un transductor de presión diferencial se utilizó para medir la caída de presión a través de la sección de prueba. Experimentalmente se comprobó que el coeficiente de transferencia de calor por convección para NFs mejoraba alrededor de 8%, en comparación con agua pura.

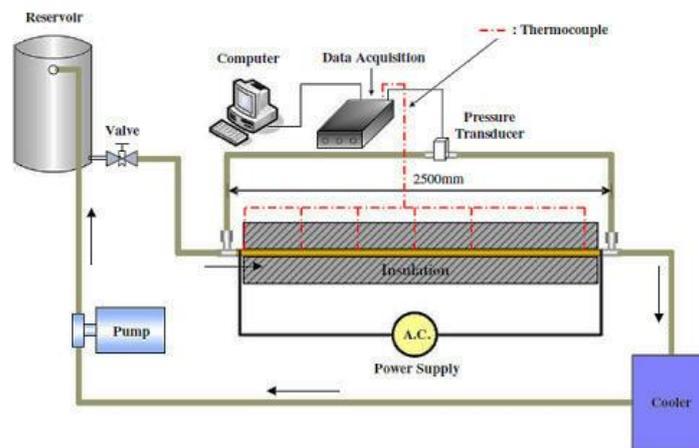


Figura 6. Esquema de la instalación propuesta por Kim et al. [27].

En el mismo año, Yu et al. [28] realizaron experimentos con NFs de SiC v para valores del número de Reynolds más elevados de 3300-13000. Los resultados fueron comparados con los obtenidos con agua pura para un mismo número de Re. La instalación, muy similar a la que Ding et al. propusieron en 2004, consta además de un precalentador para compensar las pérdidas térmicas del circuito. La sección de medida es un tubo cilíndrico de acero inoxidable con 10 termopares a lo largo de su superficie externa para medir su temperatura a lo largo del tubo y 2 termopares de inmersión a la entrada y a la salida de la misma. De este estudio se concluye que utilizando NFs de SiC el coeficiente de transferencia de calor aumenta un 50-60% respecto al que se obtendría con agua pura para un mismo número de Reynolds. Dicho valor es un 10-32% superior al estimado a partir de las correlaciones.

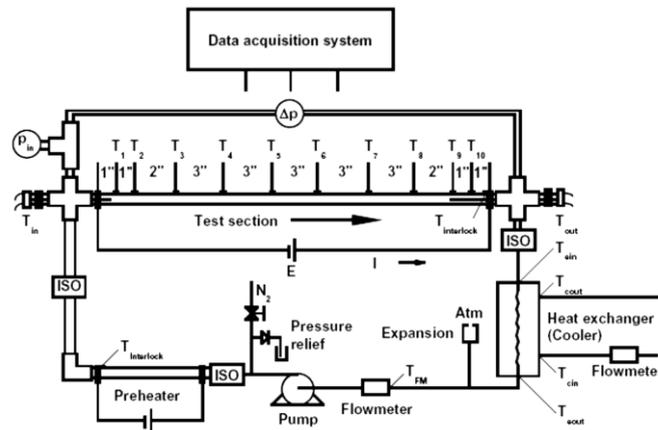


Figura 7. Esquema de la instalación diseñada por Yu et al. [28].

Un año más tarde, Kashefi [29] et al. estudiaron el coeficiente de transferencia de calor de un nanofluido FMWNT (*Functionalized Multi-Walled Carbon Nano-Tubes*) en base agua, calentado uniformemente en un tubo horizontal en agua en régimen laminar y turbulento. Los resultados experimentales mostraron que el coeficiente de transferencia de calor por convección mejoraba en un 33-40% con una concentración de 0,25 %m de NPs.

En un estudio realizado en 2016 por R. Martínez-Cuenca et al. [32] se midió el coeficiente de transferencia de calor de diferentes NFs, en una sección horizontal térmicamente aislada. De esta manera se demostró que la correlación de Gnielinski era capaz de predecir el coeficiente de transferencia de calor en régimen turbulento, ya que se aproxima a los valores experimentales de las propiedades termofísicas de varios NFs de base acuosa. De igual manera la correlación de Colebrook-White para la estimación del factor de fricción muestra resultados que se aproximan a los valores experimentales de la caída de presión en dicha sección.

Como aproximación bastante real, se considera que los NFs se comportan como un fluido de fase única, aceptándose la aproximación de flujo homogéneo. Por tanto, la correlación propuesta por Dittus-Boelter y Gnielinski se puede utilizar para los cálculos de las propiedades termofísicas de NFs.

Las correlaciones que permiten el cálculo del coeficiente de transmisión de calor y factor de fricción de manera precisa de NFs se muestran a continuación.

- *Correlación de Gnielinski*

$$Nu = \frac{f}{8} \frac{(Re - 1000)Pr}{1 + 12,7 \sqrt{\frac{f}{8}} (Pr^{2/3} - 1)} \quad [1]$$

- *Correlación de Dittus-Boelter*

$$Nu = 0,023Re^{0,8}Pr^n \quad [2]$$

$n=0,4$ para calentamiento del fluido

$n=0,3$ para enfriamiento del fluido

Esta expresión se cumple para los siguientes valores:

$$0,7 \leq Pr \leq 160$$

$$Re > 10^4$$

$$L/D \geq 10$$

$$Nu = \frac{hD}{k_f} \quad [3]$$

$$Re = \frac{\rho D v_f}{\mu} \quad [4]$$

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k_f} \quad [5]$$

- *Ecuación de Colebrook-White*

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right] \quad [6]$$

Esta expresión se cumple para los siguientes valores:

$$0,5 \leq Pr \leq 2000$$

$$3 \cdot 10^3 < Re < 5 \cdot 10^6$$

$$L/D \geq 10$$

La Figura 8 muestra el diagrama de una sección horizontal de medida (similar a la diseñada en este proyecto) de longitud L y diámetro interno D . El NF entra a la sección de medida a una temperatura $T_{f,in}$, se calienta a lo largo de la sección con una fuente de calor constante y sale a una temperatura de $T_{f,out}$. Cabe mencionar que en nuestro caso no es necesario medir la diferencia de presión entre la entrada y la salida, ya que en nuestro caso no influye en los cálculos.

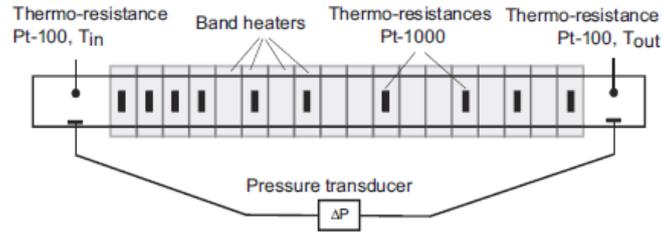


Figura 8. Esquema de la sección de medida y de la medida de la temperatura local.

El coeficiente de transferencia de calor experimental se puede calcular, para cada punto de la sección siguiendo la ecuación que se muestra a continuación.

$$h(z) = \frac{q}{T_{w,in}(z) - T_f(z)} \quad [7]$$

donde q es el flujo de calor que calienta la sección de manera uniforme a lo largo de la sección, $T_{w,in}(z)$ es la temperatura en cada punto de la sección de la pared y $T_f(z)$ es la temperatura del fluido.

En esta aproximación el flujo de calor axial no se considera ya que las medidas experimentales han mostrado que esta es al menos 20 veces menor que la contribución radial.

La temperatura local del fluido se estima mediante las temperaturas del fluido a la entrada y salida de la sección.

$$T_f(z) = \frac{z}{L} T_{f,out} + \left(1 - \frac{z}{L}\right) T_{f,in} \quad [8]$$

Y la temperatura local en la pared interna de la sección se estima utilizando el flujo de calor radial en el interior del tubo.

$$T_{w,in}(z) = T_{w,out}(z) - \left(\frac{q'}{2\pi k_{tube}}\right) \ln(K_{ratio}) \quad [9]$$

$$K_{ratio} = \frac{D_{out}}{D} \quad [10]$$

El flujo de calor se determinó mediante balance de energía, utilizando la ecuación que se muestra en la ecuación [11].

$$q = \frac{\rho C_p Q \Delta T_f}{\pi D L} \quad [11]$$

Los trabajos realizados hasta el momento y que se han citado en este apartado de la memoria del proyecto, han permitido estudiar el comportamiento térmico de NFs en base acuosa, cuya máxima temperatura de trabajo es 100°C. Cabe resaltar que en la actualidad no se han realizado estudios de este tipo de HTFs de alta temperatura, como es el caso de NePCMs en aceite térmico, y que por tanto, es capaz de trabajar a temperaturas de hasta 300°C.

1.5. Normas y referencias

1.5.1. Disposiciones legales y normas aplicadas

- UNE 157001:2014 Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.
- UNE 50135:1996. Documentación. Presentación de informes científicos y técnicos (norma anulada el 24/10/2013).
- UNE 101-149-86. Simbología neumática e hidráulica.
- Une 1032:1982. Dibujos técnicos. Principios generales de representación.

1.5.2. Programas utilizados

A continuación, se detalla los programas utilizados para el diseño de la instalación y realización de este proyecto:

- Programa de diseño asistido por ordenador Autodesk AutoCAD 2010.
- LibreOffice Draw 6.
- Hojas de cálculo Microsoft Excel 2016.
- Procesador de texto Microsoft Word 2016.

1.5.3. Plan de gestión de la calidad aplicado durante la redacción del proyecto

Este proyecto técnico se ha escrito y estructurado siguiendo los criterios generales de la norma UNE 157001:2014 y la UNE 50135:1996, por lo que queda garantizada la elaboración formal del mismo y de todos los documentos que lo constituye. De esta manera queda garantizada la calidad del proyecto y por tanto su comprensión por parte del lector.

1.5.4. Bibliografía

- [1] European Commission (consultado en junio 2019). Marco sobre clima y energía para 2030. Recuperado de https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_es.
- [2] Therminol. Heat transfer fluids by Eastman (consultado en junio 2019). Heat transfer fluids by application. Recuperado de <https://www.therminol.com/applications>.
- [3] D. W. Incropera, L. Bergman, 2007, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Ed. John Wiley & Sons, Inc. 6th Edition.
- [4] J. E. Julia, R. Mondragón, L. Hernandez, R. Martínez-Cuenca, S. Torró, L. Cabedo. 2014, Solicitud de patente P201430736: Nanofluido de intercambio térmico.

- [5] X. Q. Wang, A. S. Mujumdar, 2007, Heat transfer characteristics of nanofluids: a review, *International Journal of Thermal Sciences* 46, 1-19.
- [6] J. C. Maxwell, 1873, *Treatise on Electricity and Magnetism*, Clarendon Press, Oxford, UK.
- [7] H. Masuda, A. Ebata, K. Teramae, N. Hishinuma, 1993, Alteration of thermal conductivity and viscosity of liquid by dispersing ultra-fine particles (dispersion of γ -Al₂O₃, SiO₂ and TiO₂ ultra-fine particles), *Netsu Bussei* 4, 227-233.
- [8] S. U. S. Choi, J.A. Eastman, Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition, November 12-17, 1995, San Francisco, CA.
- [9] J. Giro-Paloma, M. Martínez, L. F. Cabeza, A I. Fernández, 2016, Types, methods, techniques, and applications for microencapsulated phase change materials (MPCM): A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 53, 1059-1075.
- [10] M. Zhang, Y. Hong, S. Ding, J. Hu, Y. Fan, A. A. Voevodin, M. Su, 2010, Encapsulated nano-heat-sinks for thermal management of heterogeneous chemical reactions, *Nanoscale* 2, 2790-2797.
- [11] Y. Hong, S. Ding, W. Wu, J. Hu, A. A. Voevodin, L. Gschwender, E. Snyder, L. Chow, M. Su, 2010, Enhancing Heat Capacity of Colloidal Suspension Using Nanoscale Encapsulated Phase-Change Materials for Heat Transfer, *ACS Applied Materials and Interfaces* 2, 1685-1691.
- [12] M. Liu, R. Y. Wang, 2013, Phase change nanocomposites with tunable melting temperature and thermal energy storage density, *Nanoscale* 5, 7234.
- [13] M. Liu, R. Y. Wang, 2015, Size-Dependent Melting Behavior of Colloidal In, Sn, and Bi Nanocrystals, *Scientific Reports* 5, 16353.
- [14] S. Cingarapu, D. Singh, E. V. Timofeeva, M. R. Moravek, 2014, Nanofluids with encapsulated tin nanoparticles for advanced heat transfer and thermal energy storage *International Journal of Energy Research* 38, 51-59.
- [15] S. Cingarapu, D. Singh, E. V. Timofeeva, M. R. Moravek, 2015, Use of encapsulated zinc particles in a eutectic chloride salt to enhance thermal energy storage capacity for concentrated solar power, *Renewable Energy* 80, 508-516.
- [16] R. Mondragón, N. Navarrete, A. Gimeno-Furió, L. Hernández, L. Cabedo, J. E. Juliá, 2016, *Advances in Heat Transfer Fluids: from Numerical to Experimental Techniques*, Chapter 11: New high temperature heat transfer and thermal storage molten salt-based nanofluids: preparation, stabilization and characterization, CRC Press.
- [17] *Nanofluidos comerciales*, 2016,
<http://fluidxp.com/main/>, <http://www.hardworkingtrucks.com/cool-x-nanofluid>.
- [18] S. Ozerinç, S. Kakaç, A. G. Yazicioglu, 2010, Enhanced thermal conductivity of nanofluids: a state-of-the-art review, *Microfluid. Nanofluid* 8, 145-170.

- [19] R. A. Taylor, S. Coulombe, T. Otanicar, P. Phelan, A. Gunawan, L. Wei, G. Rosengarten, R. Prasher, H. Tyagi, 2013, Small particles, big impacts: A review of the diverse applications of nanofluids, *Journal of Applied Physics* 113, 011301.
- [20] J. M. Khodadadi, L. Fan, H. Babaei, 2013, Thermal conductivity enhancement of nanostructure-based colloidal suspensions utilized as phase change materials for thermal energy storage: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 24, 418-444.
- [21] R. Torres-Mendieta, R. Mondragón, J. E. Juliá, O. Mendoza-Yero, E. Cordoncillo, J. Lancis, G. Mínguez-Vega, 2014, Fabrication of gold nanoparticles in Therminol VP-1 by laser ablation and fragmentation with fs pulses, *Laser Physics Letters* 12, 1-6.
- [22] X. Huang, C. Zhu, Y. Lin, G. Fang, 2019, Thermal properties and applications of microencapsulated PCM for thermal energy storage: A review, *Applied Thermal Engineering* 147, 841-855.
- [23] J. Gil-Font, M. Hatte, A. Gimeno-Furió, N. Navarrete, R. Mondragón, L. Hernández, Development, characterization and optimization of thermal oils with enhanced thermal properties through nanoencapsulated metal phase change materials, Eurotherm Seminar #112, *Advances in Thermal Energy Storage*, 15-17 mayo 2019, Universidad de Lleida, Lleida.
- [24] Q. Li, Y. Xuan, 2002, Convective heat transfer and flow characteristics of Cu-water nanofluid, *Science in China Series E: Technological Sciences* 45, 408-16.
- [25] D. Wen, Y. Ding., 2004, Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluids at the entrance region under laminar flow conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 47, 5181-5188.
- [26] Y. Yang, Z. George, E. A. Grulke, W. Anderson, G. Wu, 2005, Heat transfer properties of nanoparticle-in-fluid dispersions (nanofluids) in laminar flow, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 48, 6, 1107-1116.
- [27] D. Kim, Y. Kwon, Y. Cho, C. Li, S. Moon, 2009, Convective heat transfer characteristics of nanofluids under laminar and turbulent flow conditions, *Current Applied Physics*, 9, 2, 119-123.
- [28] W. Yu, D.M. France, 2009. Heat transfer to a silicon carbide/water nanofluid. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 52, 3606-3612.
- [29] K. Kashеfi, 2010. Convection heat transfer of functionalized MWNT in aqueous fluids in laminar and turbulent flow at the entrance region. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 37, 717-723.
- [30] R. Martínez-Cuenca, R. Mondragón, L. Hernández, C. Segarra, J. C. Jarque, T. Hibiki, J.E. Juliá, 2016, Forced-convective heat-transfer coefficient and pressure drop of water-based nanofluids in a horizontal pipe. *Applied Thermal Engineering*, 98, 841-849.
- [31] R.W. Shert, *Process Heat Transfer. Principles and applications*. Academic Press Elsevier Ltd., 2007 (ISBN 978-0-12-373588-1).

1.6. Abreviaturas

- Unión Europea (UE).
- Fluido de transporte de calor / *Heat Transfer Fluid* (HTF).
- Nanofluido/ *Nanofluid* (NF).
- Nanopartícula / *Nanoparticle* (NP).
- Material de cambio de fase / *Phase Change Material* (PCM).
- Material de cambio de fase nanoencapsulado / *Nanoencapsulated Phase Change Material* (NePCM).
- Aceite térmico Therminol[®] 66 (Th66).
- Calorimetría Diferencial de Barrido / *Differential Scanning Calorimetry* (DSC).

1.7. Variables

- h es el coeficiente de transferencia de calor [$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$].
- D es el diámetro de la sección de medida [m^2].
- D_{out} es el diámetro externo de la sección de medida [m^2].
- k_f es la conductividad térmica del fluido [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$].
- ρ es la densidad del fluido [kg m^{-3}].
- μ es la viscosidad del fluido [Pa s].
- v_f la velocidad media del fluido por la sección de medida [m s^{-2}].
- C_p es la capacidad calorífica del fluido [$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$].
- Q caudal volumétrico [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$].
- ε es la rugosidad interna de la sección de medida [m].
- q es el flujo de calor que calienta la sección de medida [W m^{-2}].
- $T_{w,in}(z)$ es la temperatura local medida en la pared de la sección de medida [$^{\circ}\text{C}$].
- $T_f(z)$ es la temperatura local del fluido [$^{\circ}\text{C}$].
- $h(z)$ es el coeficiente de transferencia local [$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$].
- z es la posición local de la termorresistencia en una sección de medida [m].
- L es la longitud de la sección de medida [m].
- q' es el flujo de calor por unidad de longitud [W m^{-1}].

- k_{tube} es la conductividad térmica del tubo [$W m^{-1} K^{-1}$].
- T_w es la temperatura medida en las paredes de las tuberías [$^{\circ}C$].
- T_{vs} es la temperatura de seguridad medida en el depósito [$^{\circ}C$].
- T_v es la temperatura del fluido medida en el depósito [$^{\circ}C$].
- $T_{f,in}$ es la temperatura del fluido a la entrada de la sección de medida [$^{\circ}C$].
- $T_{w,out}$ es la temperatura del fluido a la salida de la sección de medida [$^{\circ}C$].
- $T_{r,in}$ es temperatura del agua refrigerante a la entrada del intercambiador [$^{\circ}C$].
- $T_{r,out}$ es la temperatura del agua refrigerante a la salida del intercambiador [$^{\circ}C$].
- P es la potencia que disipa el material conductor [W].
- R es la resistencia que ofrece el material [Ω].
- I es la intensidad de corriente que atraviesa el material [A].
- ρ_r es la resistividad de un material [Ωm].
- S es la sección transversal del tubo [m^2].
- Re es el número de Reynolds [adimensional].
- Pr es el número de Prandtl [adimensional].
- Nu es el número de Nusselt [adimensional].
- $v_{m\acute{a}x}$ velocidad máxima del fluido en el interior del tubo [$m s^{-1}$].
- f es el coeficiente de fricción [adimensional].
- g es la gravedad [$m s^{-2}$].
- ΔP es la caída de presión [m].
- \dot{Q} es la cantidad de calor transferido por unidad de tiempo o velocidad de transferencia de calor [Ws^{-1}].
- \dot{m} es el caudal másico [$kg s^{-1}$].

1.8. Requisitos de diseño

El fluido base a utilizar para la dispersión de los NePCM es aceite térmico Therminol® 66 (Th66) de la casa Ravago Chemicals Spain, con una temperatura máxima de uso de hasta 400°C. Para el dimensionamiento de la instalación se consideraron las características físicas del fluido base, las cuales se detallan en la Figura 9. Una vez dimensionada y puesta a punto la instalación, se realizó la primera prueba de medición de las características térmicas de este fluido, es decir sin NePCM dispersadas.

El porcentaje de NePCM en el NF máximo, así como las características térmicas del NePCM-NFs depende de la naturaleza de las partículas sólidas a dispersar, por lo que en un futuro será necesario utilizar la instalación para la medida de fluidos de muy diferente naturaleza. Por esta razón, fue necesario seleccionar un NePCM-NFs, en el que se base el dimensionado de la instalación. En este caso se seleccionó el nanofluido de nanopartículas metálicas de estaño (Sn).

Por una parte, el NF compuesto de Th66 y nanopartículas de Sn tiene una elevada entalpia de cambio de fase, es relativamente fácil de sintetizar y de estabilizar y además de encontrarse fácilmente en el mercado, existe alta disponibilidad de diferentes tamaños, en comparación con otros NePCM-NFs. El estaño no presenta toxicidad y su manipulación en el laboratorio no necesita medidas de seguridad especiales, como es el caso del uso de NPs de litio.

Por otro lado, y tal y como se explica más adelante en detalle, el Sn presenta la desventaja de un salto de temperatura entre fusión y cristalización muy elevado, lo que dificulta que su carga y descarga de energía se realice de forma rápida en la instalación hidráulica diseñada.

1.9. Análisis de soluciones

En un principio, el proyecto se ideó con la idea de realizar la medida de las propiedades térmicas de carga y descarga de energía en condiciones dinámicas en continuo, ya que el objetivo era diseñar un lazo de control, es decir, realizar el estudio térmico de NePCMs para ciclos de calentamiento y enfriamiento sucesivos. Este hecho es el que se produce en su uso industrial, de esta manera se puede evaluar si las propiedades del nanofluido objeto de estudio, cambian con los ciclos, tal y como se prevé por estudios realizados con anterioridad en el DSC.

Sin embargo, debido al elevado salto térmico de subenfriamiento del nanofluido de Sn, este presenta gran dificultad para realizar ensayos de ciclos continuos. Para ello, sería necesario calentar el fluido rápidamente desde la temperatura de final de cristalización, alrededor de 100°C, a la salida del intercambiador para alcanzar la temperatura de inicio de fusión, próxima a 220°C a la entrada de la sección del calentamiento. Por ello es imposible realizar el ensayo continuo de varios ciclos para este tipo de material. La diferencia en la temperatura de subenfriamiento se observa en la Figura 2. Se observa que esta diferencia de temperaturas no es igual de elevada para otros NePCMs.

Este hecho requiere que la instalación cuente con la posibilidad de realizar el ensayo en continuo y discontinuo según el caso:

- Uso continuo de ciclos de carga y descarga, cuando el salto térmico de subenfriamiento es suficientemente bajo para conseguir enfriar el NF por debajo de la temperatura de cristalización y posterior calentamiento hasta el inicio de la fusión, por ejemplo para NePCM-NFs de zinc o bismuto.
- Uso discontinuo cuando el subenfriamiento es demasiado elevado, por ejemplo, para el NePCM-NFs de estaño.

Como punto de partida de diseño, nos ponemos en el caso más desfavorable, que corresponde con el uso de un NF de NPs de Sn.

Quedaría pendiente para estudios posteriores el uso de la instalación en continuo con NePCMs con una temperatura de subenfriamiento adecuada.

1.10. Análisis de soluciones

1.10.1. Características del fluido base

Los nanofluidos a caracterizar en esta instalación en un futuro serán muy diversos ya que dependerá porcentaje de partículas dispersado, del tipo de nanopartícula empleada, de su tamaño y su forma. Por ello para realizar el diseño de la instalación se han considerado las siguientes aproximaciones:

- Se ha considerado el uso de un nanofluido compuesto por Th66 y nanopartículas de Sn dispersadas. Por lo que la temperatura de cambio de fase para la cual se produce la fusión del Sn se encuentra entre 220 y 235°C.
- La temperatura de recristalización del Sn se encuentra entre 90 y 110°C.
- El porcentaje de nanopartículas dispersadas en el fluido base es lo suficientemente bajo y las nanopartículas lo suficientemente pequeñas, para poder asumir que las características físicas, químicas y térmicas del nanofluido son similares a las características del Th66. Por tanto, los valores de densidad, viscosidad y calor específico estimados para el diseño de la instalación a las temperaturas de trabajo son los correspondientes al Th66.

El hecho de suponer una NePCM de Sn hace que nos pongamos en el peor de los casos para el diseño de la instalación, ya que debido a la diferencia elevada de temperatura de fusión y recristalización indica que este material tiene un elevado valor de subenfriamiento, como ya se ha comentado anteriormente.

Temperature °C	Density kg/m ³	Thermal Conductivity W/m.K	Heat Capacity kJ/kg.K	Viscosity		Vapour pressure (absolute) kPa*
				Dynamic mPa.s	Kinematic mm ² /s**	
0	1021.5	0.118	1.495	1324.87	1297.01	-
10	1014.9	0.118	1.529	344.26	339.20	-
20	1008.4	0.118	1.562	123.47	122.45	-
30	1001.8	0.117	1.596	55.60	55.51	-
40	995.2	0.117	1.630	29.50	29.64	-
50	988.6	0.116	1.665	17.64	17.84	-
60	981.9	0.116	1.699	11.53	11.74	-
70	975.2	0.115	1.733	8.06	8.26	0.01
80	968.5	0.115	1.768	5.93	6.12	0.02
90	961.8	0.114	1.803	4.55	4.73	0.03
100	955.0	0.114	1.837	3.60	3.77	0.05
110	948.2	0.113	1.873	2.92	3.08	0.08
120	941.4	0.112	1.908	2.42	2.58	0.12
130	934.5	0.111	1.943	2.05	2.19	0.18
140	927.6	0.111	1.978	1.75	1.89	0.27
150	920.6	0.110	2.014	1.52	1.65	0.40
160	913.6	0.109	2.050	1.34	1.46	0.58
170	906.6	0.108	2.086	1.18	1.30	0.83
180	899.5	0.107	2.122	1.06	1.17	1.17
190	892.3	0.107	2.158	0.95	1.06	1.62
200	885.1	0.106	2.195	0.86	0.97	2.23
210	877.8	0.105	2.231	0.78	0.89	3.02
220	870.4	0.104	2.268	0.72	0.82	4.06
230	863.0	0.103	2.305	0.66	0.77	5.39
240	855.5	0.102	2.342	0.61	0.71	7.10
250	847.9	0.100	2.379	0.57	0.67	9.25
260	840.3	0.099	2.417	0.53	0.63	11.95
270	832.5	0.098	2.455	0.49	0.59	15.31
280	824.6	0.097	2.492	0.46	0.56	19.46
290	816.6	0.096	2.531	0.44	0.54	24.55
300	808.5	0.095	2.569	0.41	0.51	30.73
310	800.3	0.093	2.608	0.39	0.49	38.22
320	792.0	0.092	2.647	0.37	0.47	47.20
330	783.5	0.091	2.686	0.35	0.45	57.94
340	774.8	0.089	2.726	0.34	0.43	70.68
350	765.9	0.088	2.766	0.32	0.42	85.74
360	756.9	0.086	2.806	0.31	0.41	103.42
370	747.7	0.085	2.847	0.30	0.39	124.09
380	738.2	0.084	2.889	0.28	0.38	148.13

* 1 bar = 100 kPa - ** 1 mm²/s = 1 cSt

Figura 9. Propiedades del Therminol® 66 con la temperatura (fuente: <http://tw.t.mpei.ac.ru/TTHB/HEDH/HTF-66.PDF>).

1.10.2. Diseño de la zona de calentamiento

La zona de calentamiento consiste en un tubo, por el interior del cual, fluye el nanofluido. Este tubo se encuentra conectado en sus extremos a una fuente de alimentación que permite el calentamiento del mismo a lo largo de su longitud debido al efecto Joule.

El denominado efecto Joule es el fenómeno por el cual, si se hace circular una corriente eléctrica a través de un material conductor, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando así la temperatura del mismo. De esta manera, si se calienta el material del tubo en contacto con el fluido, se transmite el calor al líquido que circula por su interior, consiguiendo así el salto térmico deseado que provoca el calentamiento del fluido base y la fusión de las nanopartículas metálicas.

Para este fin, se dispone de una fuente de alimentación EA ELEKTRO-AUTOMATIK modelo EA PSI 9080-340 3U que es capaz de generar una potencia máxima de 10 kW. Genera un voltaje máximo de 80 V una intensidad máxima de 340 A.

Teniendo en cuenta que el régimen de trabajo es turbulento, lo que supone un valor de Reynolds superior a 5000, se ha decidido el material del tubo utilizar, la longitud y el diámetro necesario de tubo de acero.

Elección del material, longitud y diámetro del tubo

La resistencia de los diferentes materiales conductores depende fundamentalmente de su naturaleza y sus dimensiones. El material y la sección transversal de un tubo conductor determinan el aumento de temperatura que provoca el paso de una corriente a su través.

La potencia disipada por un conductor (P) depende directamente de la resistencia que ofrece el material (R) y la intensidad de corriente que lo atraviesa (I).

$$P = R \cdot I^2 \quad [12]$$

La resistividad, está relacionada con las características geométricas del tubo (S es la sección transversal del tubo y l la longitud de tubo necesaria) mediante la siguiente expresión:

$$\rho_r = R \cdot \frac{S}{l} = \frac{P \cdot S}{L \cdot I^2} \quad [13]$$

$$P = \frac{\rho_r \cdot I^2 \cdot L}{S} \quad [14]$$

Por tanto, para generar una potencia determinada, que se convierta en calor, la intensidad necesaria es mayor cuanto menor es su resistividad. Para conseguir un calentamiento rápido del tubo por el que fluye el líquido, con una intensidad generada por la fuente de alimentación menor y en consecuencia más segura, interesa que el material tenga, entre otras características una elevada resistividad.

La longitud del tubo comercial es de 2 metros, por lo que se decidirá la sección transversal del mismo de manera que permita calentar el fluido a lo largo de su longitud y a la vez se cumpla que su flujo sea turbulento.

Entre los tres posibles metales que se pensaron utilizar para el tubo de la zona de calentamiento se decidió usar el acero inoxidable 316L, descartando el cobre y el aluminio. De los tres materiales conductores, aquel que mayor resistividad tienen es el acero inoxidable, tal y como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Resistividad del cobre, aluminio y acero inoxidable 316L a 20°C.

Material	ρ_r ($\Omega \cdot m$)
Cobre	1,7E-8
Aluminio	2,8E-8
Acero 316L	0,75E-6

A continuación, se nombran otras características que hace que este material sea idóneo para su uso en la construcción de la zona de calentamiento:

- Es un material capaz de aguantar las temperaturas elevadas de trabajo a las que va a ser sometido.
- Es fácilmente soldable, lo que permite trabajarlo con facilidad en la construcción de la instalación.
- Posee una resistencia a la corrosión a elevadas temperaturas debido a su contenido en molibdeno.

Se estudia la posibilidad de utilizar diferentes tubos de acero 316L de diferentes dimensiones, todos ellos se suministran en módulos de 2 metros. El espacio del que se dispone en el laboratorio requiere el uso de un solo módulo, por lo que en esta longitud se tiene que calentar el fluido con la fuente de alimentación disponible.

Finalmente, y tras los cálculos que se muestran a continuación, se decidió adquirir un tubo de 1,5 mm de espesor, con un diámetro externo de 10 mm y diámetro interno de 6 mm.

Tabla 3. Valores de la resistividad del acero inoxidable 316L con la temperatura.

T (°C)	ρ_r ($\Omega \cdot m$)
200	9,5E-07
300	1,0E-06

Para calcular el diámetro de la sección de medida de los tubos de acero inoxidable 316L disponibles en el mercado, se toma como punto de partida un valor de Reynolds máximo de 20000 y un valor límite de la velocidad máxima del fluido en el tubo de 3 m/s, por seguridad.

$$Re = \frac{\rho \cdot v_{m\acute{a}x} \cdot D}{\mu} \quad [15]$$

Para cumplir con las condiciones anteriores de flujo de aceite *Th66* a una temperatura mínima de 200°C, el diámetro mínimo de tubo que se requiere es de 6,5mm

Teniendo en cuenta los tubos disponibles, se ha decidido utilizar el tubo de referencia 661-4888 de RS amidata. En la Tabla 4 siguiente se muestra la velocidad del aceite térmico a 200 y 300°C para los tubos de los que se dispone. Se observa que la máxima velocidad alcanzada por el fluido a 200°C con el tubo seleccionado es de 2,8 m/s.

Como dato de interés para posteriores cálculos se ha añadido en la tabla, el valor del caudal necesario para alcanzar esta velocidad de aceite térmico en el interior del tubo de la zona de calentamiento.

Tabla 4. Velocidad y caudal del *Th66* en el interior del tubo a 200 y 300°C (Ref. de tubo de RS amidata).

Ref. Tubo	D (mm)	v (m/s)		Q (m ³ /h) / (l/min)	
		T=200°C	T=300°C	T=200°C	T=300°C
661-4898	22	0,9	0,5	-	-
661-4888	7	2,8	1,4	0,4/6,4	0,2/3,3
661-4876	3	6,5	3,4	-	-

Las características técnicas del mismo se pueden consultar en el apartado de anexo.

Pérdida de carga de la instalación. Pérdida de carga de la zona de calentamiento

Dado que las pérdidas de carga más importantes se dan en esta sección del tubo, se han calculado teniendo en cuenta las características del tubo seleccionado.

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v_{m\acute{a}x}^2}{2g} \quad [16]$$

Se considera un coeficiente de fricción aproximado de 0,027 ya que este valor cumple la ecuación de *Colebrook-White* para un flujo de régimen turbulento hidráulicamente liso por el interior de conducciones. El valor de número de Re se ha considerado de 20000 y la rugosidad ϵ se considera de 0,0024 para tubos estirados de acero.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log_{10} \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{(Re \cdot \sqrt{f})} \right) \quad [17]$$

Si se considera una velocidad máxima del fluido de 2,8 m/s para la menor temperatura de trabajo prevista, la pérdida de carga máxima de la instalación debido al tubo de sección 6 mm es de 8,1 m.

El resto de la instalación se construirá con tubo de acero inoxidable tipo 304 y diámetro ½” para minimizar las pérdidas de carga hidráulicas. Sin embargo, se ha estimado que el uso de válvulas, codos y demás tuberías, aumenta la pérdida de carga en un 15%, hasta un valor de 9,3 m.

La presión del aceite en Pascales se calcula, mediante el peso específico del aceite a 200°C.

Si se tiene en cuenta la pérdida de carga debido al caudalímetro que es de 1700 Pa y del aceite térmico en el intercambiador, que es 0,1 bar, se estima que las pérdidas de carga total de la es de 92450,3 Pa.

Dilatación del tubo de la zona de calentamiento

Otro factor a tener en cuenta, debido al calentamiento de un metal confinado entre dos puntos es la dilatación térmica por temperatura.

$$\Delta L = \alpha \cdot \Delta T \cdot L \quad [18]$$

Ecuación en la que el valor del coeficiente de dilatación térmica (α) del acero inoxidable 316L a 300°C es de $16,2E^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

El tubo dilatará durante su calentamiento unos 0,9 cm. El tubo es capaz de soportar esta deformación sin alterar y comprometer el resto de la instalación, aunque se prevé que el tubo se deforme y se curve ligeramente tras el ensayo.

Se concluye, por tanto, que el tubo suministrado por RS Amidata de referencia 661-4888 cumple con todos los requisitos nombrados anteriormente para una longitud de 2 metros.

Posición de los sensores de temperatura en la superficie del tubo en la zona de calentamiento

El perfil de temperatura del nanofluido por el interior del tubo se mide utilizando 10 termoresistencias de contacto dispuestas en la superficie del tubo. Estas se encuentran conectadas a un sistema de adquisición de datos Agilent 34972A. Suponiendo que la máxima variación de temperatura del líquido se produce al principio de la sección de calentamiento, se ha decidido disponer las sondas de temperatura tal y como se muestran en la *Tabla 5*.

Tabla 5. Disposición de las sondas de temperatura en la zona de calentamiento.

	<i>Posición termorresistencias</i>									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% L	0,07	0,14	0,21	0,28	0,35	0,47	0,58	0,70	0,81	0,93
L_i (cm)	14,0	28,0	42,0	56,0	70,0	93,2	116,4	139,6	162,8	186,0

Para comprobar la temperatura a la entrada y la salida de la de la sección de calentamiento del nanofluido, se dispone de dos termopares tipo K que van insertados transversalmente en la sección de medida.

Las características de los sensores de temperatura empleados, tanto las termorresistencias situadas en la superficie del tubo, como los termopares tipo K se definen en el apartado 2. ANEXO. en el que se puede consultar sus características, idóneas para su uso en la instalación.

1.10.3. Diseño de la zona de enfriamiento

La zona de enfriamiento está dotada de un intercambiador de calor capaz de extraer energía del *NF* de trabajo hasta disminuir su temperatura por debajo del punto de solidificación del material usado en las NePCMs, con el objetivo de cerrar el ciclo fusión-solidificación en el bucle continuo de ensayo.

Para el caso del nanofluido de *Sn*, el intercambiador tiene que ser capaz de enfriarlo desde aproximadamente 250°C a 110°C en el peor de los casos.

La cantidad de calor transferido por unidad de tiempo o velocidad de transferencia de calor de un disipador se calcula mediante la siguiente expresión.

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad [19]$$

A partir de los datos de caudal de fluido, capacidad calorífica y salto de temperatura a la entrada y a la salida del nanofluido de *Sn* para su total cristalización, el calor intercambiado es de unos 30,2kW. Por las mismas razones que en el diseño de la zona de calentamiento, para el predimensionado de la zona de enfriamiento, se ha considerado que las características del nanofluido son similares a la del fluido base a una temperatura media aproximada de 200°C.

El caudal másico es el que es capaz de generar la bomba de manera que el número de Reynolds sea superior a 5000. De nuevo se considera 20000 como valor óptimo para asegurar una velocidad máxima de 3 m/s.

Elección del tipo de intercambiador

Se calcula la posibilidad de utilizar dos tipos de intercambiadores para escoger el más apropiado: por un lado, se valora el uso de un intercambiador de flujo cruzado con ventiladores como elemento refrigerante. Como segunda opción se evalúa la posibilidad de utilizar un intercambiador de flujo paralelo por tubos concéntricos con los fluidos en contracorriente (del tipo *Hairpin Heat Exchanger*)

En el intercambiador de flujo cruzado aire-aceite que enfría mediante ventiladores, que impulsa aire a temperatura ambiente como refrigerante. Se hace pasar el fluido caliente a través de tubos de manera que su flujo sea perpendicular a la dirección del aire impulsado por el ventilador. El aire es dirigido hacia los tubos mediante unas placas que guían su flujo. El equipo cuenta con aletas que mejoran la eficiencia de intercambio de calor.

Los módulos del condensador frigorífico del que se dispone son de la marca Pecomark, modelo UPH-160/192-1200/VMD. Cada módulo tiene las siguientes dimensiones: 1,3 m x 0,83 m x 0,45 m. Construidos con tubería de cobre de 7 mm y aleta de aluminio, disposición al tresbolillo con separación aleta de 2,5 mm y sentido de la entrada de aire horizontal.

En la Figura 10 se muestra un equipo de estas características que consta de dos módulos y por tanto de dos ventiladores.



Figura 10. Condensador frigorífico de dos módulos (Fuente: <https://suministrosclimafrio.es>).

Teniendo en cuenta sus dimensiones, el número de tubos, el caudal máximo del ventilador y las temperaturas de entrada y salida de aire y del fluido base, es capaz de disipar una potencia máxima teórica de unos 28,2kW en el mejor de los casos, inferior a la necesaria para el enfriamiento del fluido de manera continua, por lo que se necesitaría, al menos, contar con dos módulos.

Además, se consideró que debido a la cantidad de calor que era necesario disipar no era adecuado para su uso en el interior del edificio donde se dispondría la instalación, ya que elevaría considerablemente la temperatura de la sala, pudiendo afectar a otros usuarios y ensayos. Por otro lado, la gran longitud del tubo de 7 mm por el que fluye el NF caliente haría aumentar considerablemente la pérdida de carga de la instalación.

El intercambiador de flujo paralelo agua-aceite por tubos concéntricos del tipo *hairpin* se muestra en la Figura 11. En este caso el calor para enfriar el NF es absorbido por un líquido que actúa de refrigerante. Ambos fluidos fluyen en contracorriente por tubos concéntricos. El fluido caliente a enfriar tiene que fluir por el exterior del tubo para poder medir su temperatura a lo largo de la sección, para valorar el intercambio de calor producido, es decir que el NF fluiría por la sección anular del intercambiador y el agua por el tubo interior.



Figura 11. HRS DTI intercambiador industrial tipo *hairpin* (Fuente: <https://www.hrs-heatexchangers.com>).

En el caso de utilizar este tipo de intercambiador, se considera la posibilidad de utilizar como fluido refrigerante agua o aceite. Esta última opción nos permitiría precalentar el nanofluido con

el consecuente ahorro de energía en el calentamiento previo del mismo, antes de iniciar un nuevo ciclo. Se calcula la longitud necesaria de tubo como característica limitante. A partir de los cálculos realizados inicialmente y tras un análisis más exhaustivo de la empresa HRS fabricante de este tipo de intercambiadores el cálculo de la longitud necesaria muestra que para enfriar con aceite es necesario contar con 24 módulos de longitud aproximada de 6 m, lo cual no es factible, debido a su peso y dimensiones. Sin embargo, el uso de agua como líquido refrigerante, el cual es más eficiente permite el uso de un solo módulo de dichas dimensiones. En la Tabla 6 se muestran las tablas comparativas con las características de ambos intercambiadores. La información restante se puede consultar en el catálogo.

Tabla 6. Datos para el cálculo de las dimensiones del intercambiador usando aceite o agua como líquido refrigerante (facilitados por la empresa HRS). La configuración axb se interpreta como a=intercambiadores conectados en paralelo y b=intercambiadores conectados en serie.

Intercambiador aceite-aceite			
Lado tubo: aceite térmico		Lado camisa: aceite térmico	
T entrada (°C)	100	T entrada (°C)	250
T salida (°C)	180	T salida (°C)	110
Caudal másico (kg/h)	1100	Caudal másico (kg/h)	600
ΔP (bar)	2,5	ΔP (bar)	1,2
Configuración axb	1x24	Configuración axb	1x24

Intercambiador agua-aceite			
Lado tubo: agua		Lado camisa: aceite térmico	
T entrada (°C)	20	T entrada (°C)	250
T salida (°C)	51,3	T salida (°C)	110
Caudal másico (kg/h)	1200	Caudal másico (kg/h)	460
ΔP (bar)	0,05	ΔP (bar)	0,1
Configuración axb	1x2	Configuración axb	1x2

El diámetro del tubo interno es de 25 mm con una pared de 1 mm y el diámetro de la camisa es de 38,1 mm con un espesor de tubo de 1,5 mm. La longitud total del tubo intercambiador es de unos 11 m dispuestos en dos tubos conectados en paralelo, de manera que el espacio que ocupa el intercambiador en el laboratorio, teniendo en cuenta el codo y las peanas es de unos 6 m.

El intercambiador de calor adquirido por tanto es de la marca HRS, modelo HRS DTI 38/25 6.0 304/326L H. Por el tubo interior fluye el agua que actúa de líquido refrigerante a una temperatura de entrada de 20°C. Por el canal que queda entre la pared externa del tubo interior y de la camisa fluye el aceite térmico a enfriar. En las paredes de este tubo se dispone de termorresistencias de contacto para la evaluación de la temperatura del fluido a lo largo de la sección de enfriamiento. La tecnología de corrugación del intercambiador aumenta la transferencia térmica en comparación con el uso de tubos lisos y reduce el posible ensuciamiento. En la camisa del intercambiador hay

una junta de expansión que absorbe la dilatación diferencial entre el tubo interior y exterior. Es un equipo adecuado para aplicaciones con fluidos que contienen sólidos de viscosidad media-alta.

Posición de los sensores de temperatura en la superficie del tubo en la zona de enfriamiento

El perfil de temperatura del nanofluido por el interior del intercambiador se mide utilizando 10 termorresistencias de contacto dispuestas en la superficie exterior, por donde fluye el aceite térmico. Estas se encuentran conectadas al mismo sistema de adquisición de datos, citado anteriormente. Suponiendo que la máxima variación de temperatura del líquido se produce en la entrada del aceite térmico, se ha decidido disponer las sondas de temperatura tal y como se muestran en la Tabla 5.

Tabla 7. Disposición de las sondas de temperatura en la zona de enfriamiento.

	<i>Posición termorresistencias</i>									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% L	0,07	0,14	0,21	0,28	0,35	0,47	0,58	0,70	0,81	0,93
L_i (cm)	77,0	154,0	231,0	308,0	385,0	512,6	640,2	767,8	895,4	1023,0

Para comprobar la temperatura a la entrada y la salida de la zona de cristalización del NePCM y del agua refrigerante, se dispone de un total de cuatro termopares tipo K que van sumergidos transversalmente al flujo del aceite y del agua respectivamente.

Las características de los sensores de temperatura empleados se definen en el apartado 2 ANEXO en el que se puede consultar sus principales características.

1.10.4. Diseño de los depósitos

Depósito principal

El depósito se diseña con forma cilíndrica, con tapa superior e inferior en forma de casquete esférico para evitar cantos vivos y 3 mm de espesor de chapa.

Las dimensiones se decidieron según el volumen necesario y la facilidad de manejo del tanque. El diámetro se fijó en 0,5 m por lo que la altura para albergar aproximadamente 100 litros de fluido debe ser de 0,51 m como mínimo, por lo que se decidió una altura de 0,6 m.

Los elementos con los que cuenta este depósito se indican a continuación en detalle:

- La válvula de bola de llenado inicial se coloca en la tapa superior, mediante una conexión G 1'' ½ .
- Conexión tipo G 1 ½'' para la comunicación con el depósito secundario, necesario en caso de realizar ciclos de calentamiento-enfriamiento en discontinuo. Este se sitúa también en la tapa superior. Ambos depósitos se conectan mediante una válvula de bola que permite o impide la comunicación entre ambos.
- Salida del fluido hacia la instalación, situada en la parte más baja del depósito, mediante conexión G 1'' ½ . Se ha añadido la posibilidad de vaciar el contenido del depósito en caso de necesidad, mediante la instalación de una conexión tipo T de diámetro X y acero inoxidable. La válvula de salida es de tipo bola del mismo diámetro que la tubería de salida y la conexión tipo T.
- La entrada desde la instalación para su recirculación para ajustar caudal de entrada en la sección de medida y que se sitúa a una altura aproximada de 40 cm desde la tapa semiesférica inferior. Conexión G 1'' ½ .
- El depósito cuenta con una válvula de conexión al exterior para evitar su presurización en la parte más alta del tanque. Conexión G 1''.
- El testigo de nivel se trata de un tubo transparente de teflón de diámetro 6 mm unido a los extremos superior e inferior del depósito y conectado mediante una conexión de G 1/4''.
- Medida de la temperatura del fluido en el interior del tanque con un termopar tipo K en el seno del fluido. Se ha aprovechado la conexión superior del testigo a nivel haciendo uso de una conexión en T de diámetro 1/2''.
- Medida de la temperatura de seguridad y presión, ambos conectados mediante una unión en T al casquete superior del depósito. Conexión utilizada G 1/4''.

En el apartado 3 PLANOS se puede consultar el plano enviado al taller para su construcción según se especifica en el mismo.

Depósito secundario

El depósito secundario, al igual que el anterior tiene forma cilíndrica y las tapas superior e inferior tienen forma de casquete esférico. En este caso el espesor de chapa es de 2 mm.

El volumen necesario es de 75 litros por lo que la altura y diámetro es de 0,6 m y 0,4 m respectivamente.

Los elementos y conexiones de este depósito se indican a continuación:

- Conexión tipo G 1" ½ para la comunicación con el depósito principal, necesario en caso de realizar ciclos de calentamiento-enfriamiento en discontinuo. Este se sitúa en la tapa inferior mediante una válvula de bola.
- El testigo de nivel se trata de un tubo transparente de teflón de 6 mm de diámetro unido a los extremos superior e inferior del depósito y conectado mediante una conexión de ½".
- La entrada de aceite recirculado se sitúa en el lateral del. Conexión G 1".
- En el casquete superior tiene una conexión tipo G 1" Macho que lo conecta con el exterior. En este caso se conectará a una tubería flexible de aluminio que permite que caiga el aceite a una bombona de plástico en caso de condensación del aceite en este depósito.

En el apartado 3 PLANOS se puede consultar el plano detallado del depósito secundario.

1.10.5. Esquema de la instalación

En primer lugar, se muestra el esquema de la instalación detallando el camino de flujo del aceite térmico según el uso de la instalación: uso continuo o discontinuo. Como ya se ha comentado anteriormente el régimen de uso de la misma dependerá de la naturaleza del NePCM-NFs y temperaturas de fusión y recristalización de las NPs empleadas.

Uso de la instalación en continuo

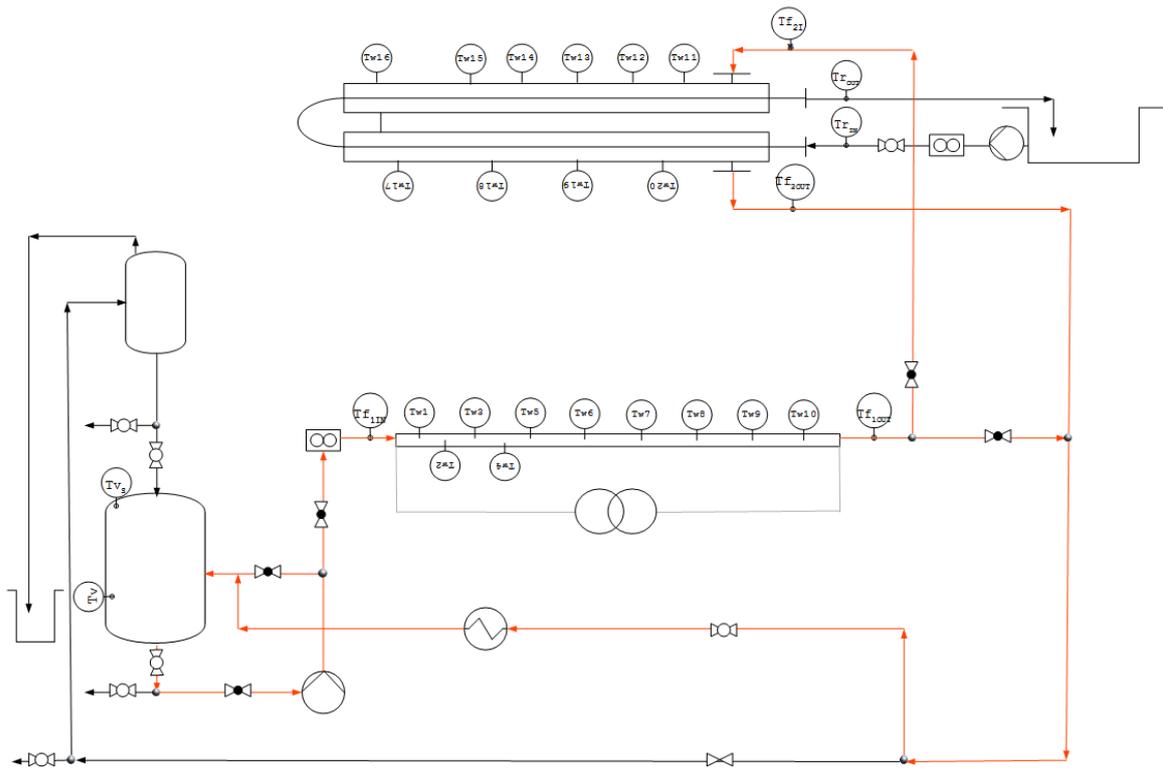


Figura 12. Esquema de la instalación, uso en continuo.

El aceite térmico es impulsado por la bomba desde el depósito principal. El caudal de trabajo se elige según el valor de Reynolds. El caudal medido por el caudalímetro se puede terminar de ajustar de una forma fina y manual mediante la apertura o cierre de la válvula que permite el retorno al depósito principal. El fluido pasa por la zona de calentamiento, la cual se encuentra conectada en sus extremos a una fuente de alimentación que genera el calor necesario para que se produzca la fusión de las NPs metálicas en suspensión. De la zona de calentamiento, se lleva a la zona de enfriamiento o intercambiador de calor tipo *hairpin*, donde se refrigera con agua hasta la temperatura final de recristalización. El agua de refrigeración y su caudal se ajustan de manera que se asegura que no se produce la evaporación de agua. El aceite que sale del intercambiador pasa por el precalentador antes de retornar al depósito principal de salida.

Uso de la instalación en discontinuo

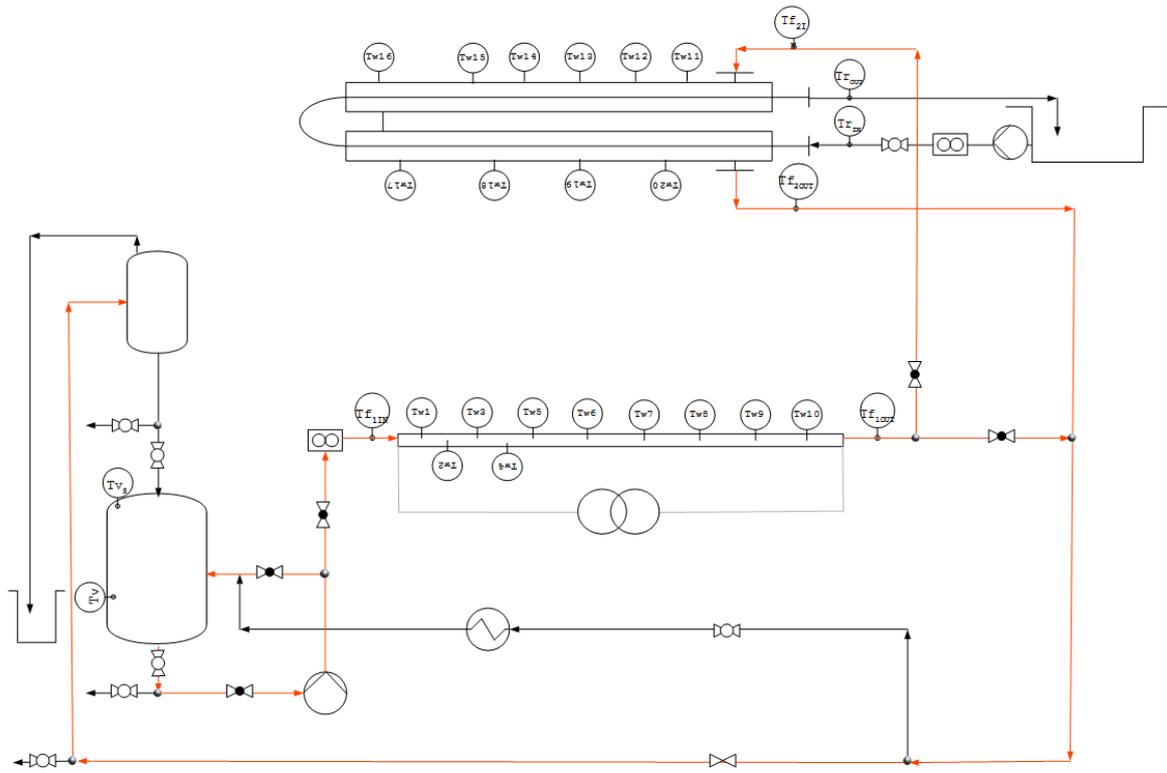


Figura 13. Esquema de la instalación, uso en discontinuo.

En el caso de uso discontinuo, el aceite impulsado por la bomba, pasa por la zona de calentamiento y por el intercambiador. La diferencia con su uso continuo es que no necesita pasar por el precalentador, si no que pasa al depósito secundario, una vez finalizado el ensayo. La válvula que une ambos depósitos permanece cerrada.

Por último, se muestra el esquema general de la instalación hidráulica diseñada más en detalle.

Se observa en el esquema, los puntos de control de temperatura, que como ya se ha comentado anteriormente consta de 10 termorresistencias Pt100 de contacto en cada una de las secciones. Se registra también de manera continua la temperatura del fluido y del agua a la entrada de la sección de medida y del intercambiador, mediante termopares tipo K. Por último, se controla la temperatura del aceite térmico en el depósito, mediante termopares tipo K, uno inmerso en el fluido y otro de seguridad en la parte alta del depósito.

A continuación, en el apartado 1.10.6, se describe en detalle, los componentes de la misma.

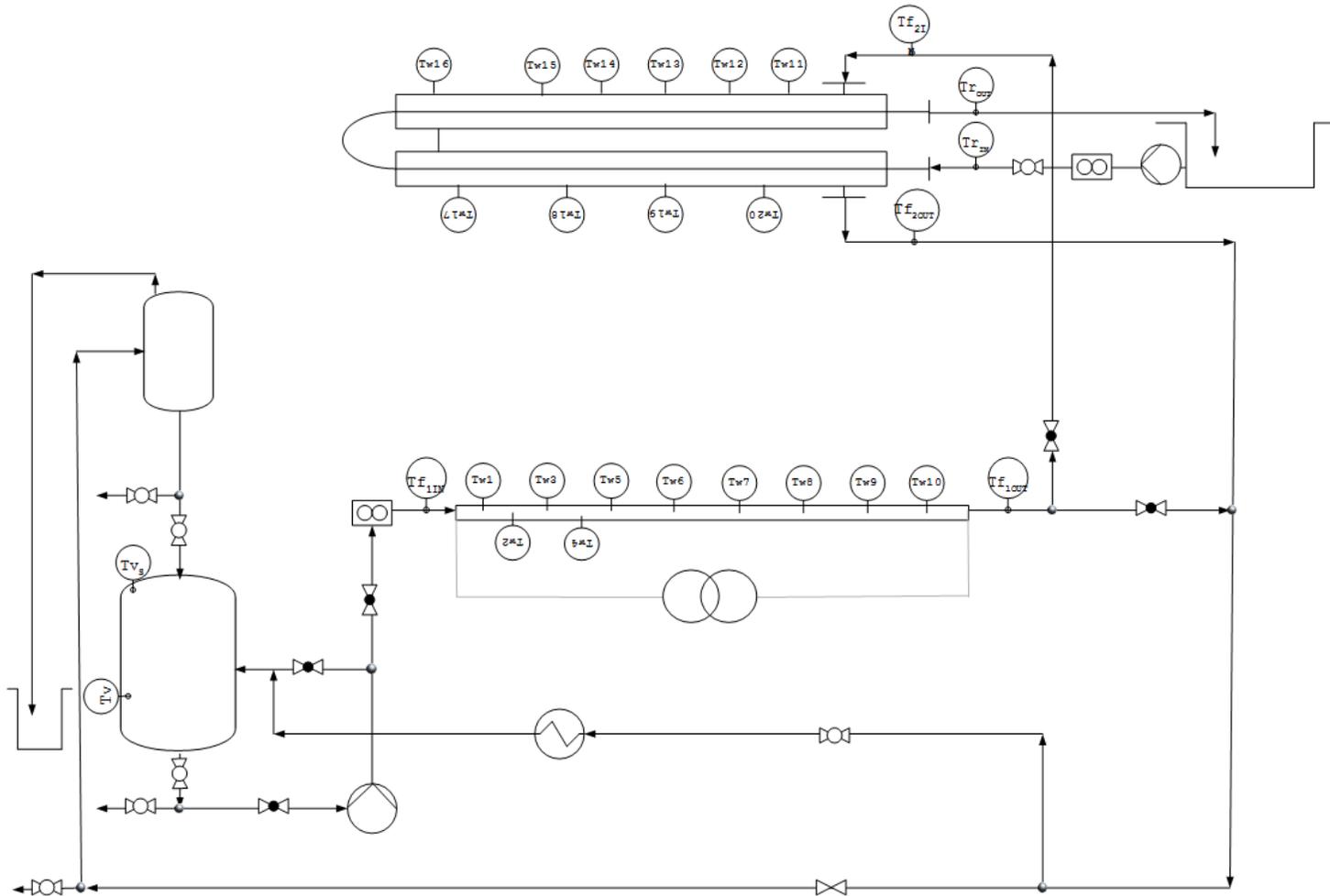


Figura 14. Esquema de la instalación.

1.10.6. Resumen de los componentes

A continuación, se describe las características más interesantes de todos los componentes de la instalación diseñada.

Depósito principal

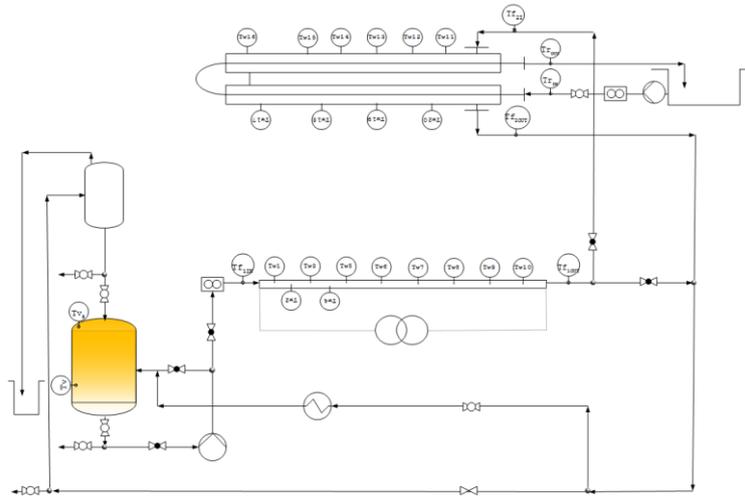


Figura 15. Esquema de la instalación. Depósito principal.

El depósito se diseña con forma cilíndrica, con tapa superior e inferior en forma de casquete. La chapa empleada cuenta con 3 mm de espesor.

El material de construcción es acero inoxidable 304, con un volumen total aproximado de 100 litros con la idea de albergar al menos 80 litros de fluido.

Los elementos con los que cuenta este depósito se indican a continuación.

- La válvula de bola para su llenado con el NF,
- Comunicación con el depósito secundario, necesario en caso de realizar ciclos de calentamiento-enfriamiento en discontinuo,
- Salida del fluido hacia la instalación, situada en la parte más baja del depósito,
- La entrada desde la instalación para su recirculación, situada en el lateral del cilindro,
- El depósito cuenta con una válvula de conexión al exterior para evitar su presurización en la parte más alta del tanque,
- El testigo de nivel,
- Medida de la temperatura del fluido en el interior del tanque con un termopar tipo K y,
- Medida de la temperatura de seguridad y presión.

Tal y como se observa en la Figura 16 fue necesario aislar este elemento de la instalación y parte del circuito hasta la entrada del aceite térmico a la sección de medida, para así minimizar las pérdidas de calor del fluido durante la experimentación. De esta manera se llega a alcanzar mayor temperatura en este punto.



Figura 16. Imagen del depósito principal en la instalación.

Bomba centrífuga

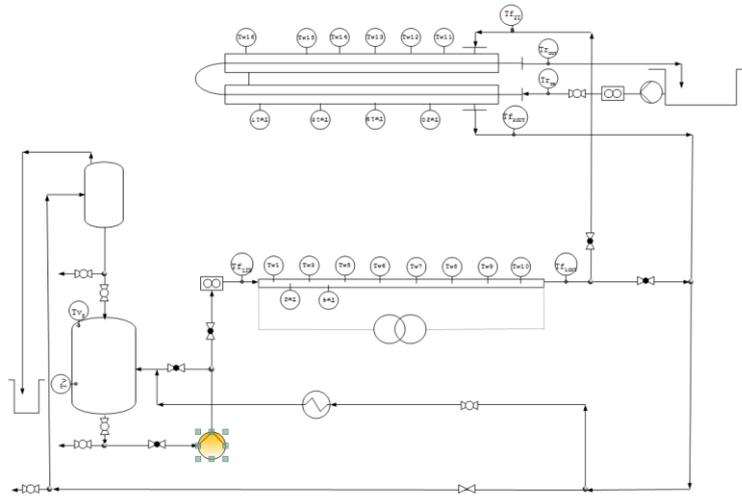


Figura 17. Esquema de la instalación. Bomba centrífuga.

El fluido es impulsado por una bomba centrífuga desde el depósito hacia la sección de calentamiento de la instalación.

La bomba seleccionada se trata de una bomba con cuerpo de voluta horizontal de una etapa con dimensiones y características generales según EN 733. En la Figura 18 se observa una imagen de la bomba en la instalación.

La bomba centrífuga de voluta adquirida de la marca SIHI SuperNova ZTN-032160 está especialmente diseñada para el bombeo de aceites transmisores de calores minerales y sintéticos que trabajan a alta temperatura.

Las características que la hacen adecuada para su uso se describen a continuación.

Tabla 8. Datos técnicos de la bomba centrífuga.

Caudal	2-15 m ³ /h
H	25-45 m
Potencia	1,32 kW
Velocidad máxima	2900 min ⁻¹
Temperatura máxima de trabajo	350°C

Para ajustar el caudal de aceite se ha instalado un variador de frecuencia en el cuadro eléctrico. Además, debido a que se necesita que la bomba impulse el fluido con caudales próximos a 0,4 m³/h y el caudal mínimo al que trabaja esta bomba es de 2 m³/h, ha sido necesario instalar un bypass de recirculación al depósito principal, con una válvula de pistón. Se alcanza así la velocidad de aceite térmico requerida en la sección de calentamiento.

De igual manera, la bomba tiene que ser capaz de solventar la pérdida de carga de la instalación, calculada en apartados anteriores.



Figura 18. Imagen de la bomba centrífuga en la instalación

El cierre suave de las válvulas de globo a la salida de la bomba y a lo largo de la instalación, permiten la regulación de caudal de aceite impulsado por la bomba y evita que se produzca el fenómeno de golpe de ariete.

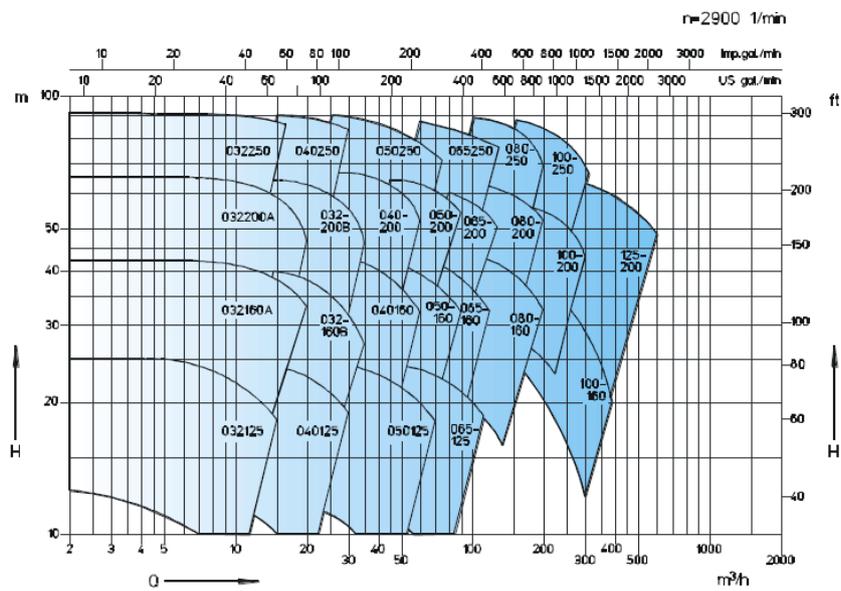


Figura 19. Gráfico de rendimiento de la bomba SIHI ZTND-032160.

Caudalímetro

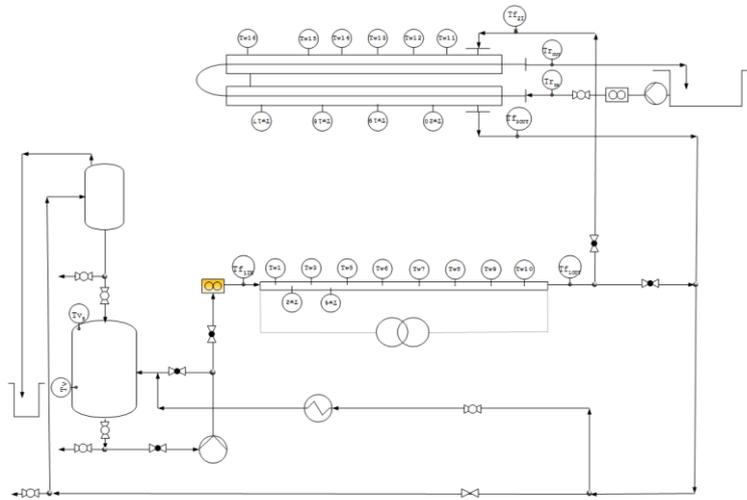


Figura 20. Esquema de la instalación. Caudalímetro.

El caudalímetro que mide el flujo de aceite térmico a la entrada de la sección de medida permite controlar la velocidad tal de fluido, de manera que se asegure el régimen turbulento. Este equipo tiene que soportar por tanto temperaturas próximas a 300°C. La marca ROTA YOKOGAWA nos proporcionó un caudalímetro especialmente diseñado para la medida del caudal de aceites térmicos a elevada temperatura.

Este rotámetro construido en acero inoxidable se usa especialmente para fluidos agresivos de alta viscosidad y que fluyen en régimen turbulento. El equipo se monta en vertical, con la dirección de flujo hacia arriba, tal y como se observa en la Figura 21.

Dentro del tubo de metal cónico hay un flotador guiado concéntricamente y que transmite al indicar del valor de caudal. El rotámetro es capaz de medir caudales entre 2 y 24 l/min.

La señal de caudal se recoge mediante un sistema de adquisición de datos Agilent 34972 de manera continua durante el experimento, para luego valorar los resultados obtenidos.

Los datos técnicos se resumen a continuación, para la consulta de más información se anexa la hoja de especificaciones.

Tabla 9. Datos técnicos del caudalímetro.

Caudal	2-24 l/min
Temperatura máxima de trabajo	370°C



Figura 21. Imagen del caudalímetro en la instalación.

Fuente de alimentación

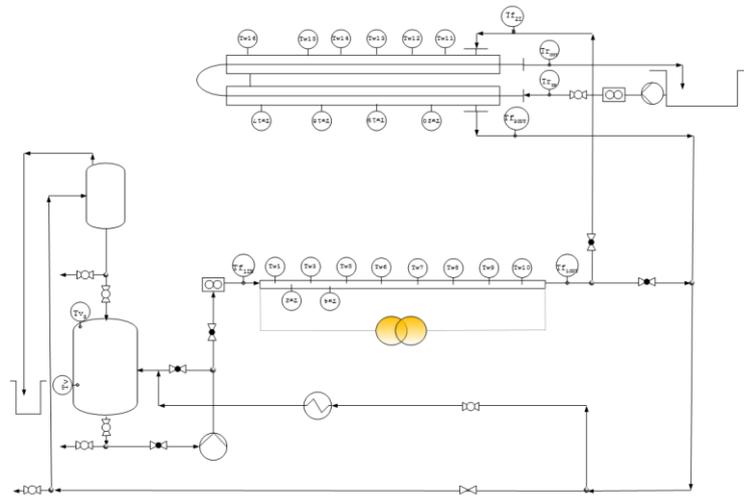


Figura 22. Esquema de la instalación. Fuente de alimentación.

La fuente de alimentación utilizada para calentar las paredes de la zona de medida es de la firma EA-Elektro-Automatik EA-PSI 900 3U 10kW.

La fuente de alimentación de laboratorio de esta serie cuenta con un menú de navegación sencillo de utilizar, interactivo y eficiente.

Todos los modelos de la serie están equipados con un *auto-range* que permite trabajar, o bien con un elevado voltaje, de manera que se ajusta la corriente o a la inversa. La potencia de consigna se alcanza automáticamente siguiendo alguno de estos ajustes, lo que permite trabajar en muy diversas aplicaciones.

Tabla 10. Datos técnicos de la fuente de alimentación.

Voltage de salida	0-80V
Corriente de salida	0-340A
Potencia máxima de salida	10000W
Eficiencia	93%

La Figura 23 se muestra una imagen del equipo en la instalación. Se puede observar, que su conexión con los bornes de la sección de medida se ha realizado con placas de aluminio, las cuales se han aislado parcialmente con un tubo de teflón.



Figura 23. Imagen de la fuente de alimentación en la instalación.

Intercambiador de tubos concéntricos y flujo de agua-aceite en contracorriente

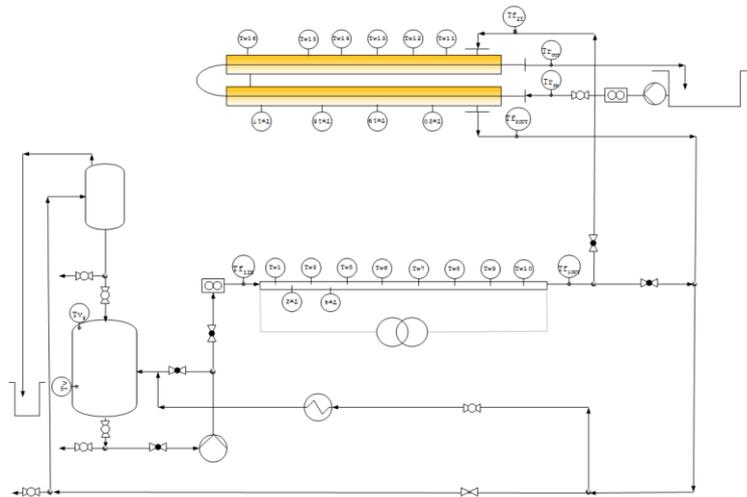


Figura 24. Esquema de la instalación. Intercambiador de calor agua-aceite.

Se ha instalado un intercambiador de calor de doble tubo en acero inoxidable 304/316L para enfriar el NF desde la temperatura final de fusión hasta la temperatura final de recristalización. El agua refrigerante fluye a través de los tubos interiores y el aceite térmico fluye a través de la camisa, ambos fluidos en contracorriente.

La tecnología de corrugación con la que cuenta mejora tanto la transferencia de calor como la eficiencia del equipo respecto a los tubos lisos.

Las dimensiones y características del equipo se muestran a continuación.

Tabla 11. Datos técnicos del intercambiador de calor.

Diámetro interno (espesor)	25 mm (1 mm)
Diámetro de la camisa (espesor)	38,1 mm (1,5 mm)
Longitud <i>Hairpin</i>	6 m aproximadamente

En la Figura 25 se muestra una imagen del equipo en la instalación. En uno de los extremos cuenta con un sistema de fuelles que absorben las deformaciones de los tubos que se producen debido a las diferencias de temperatura de los fluidos que circulan por el interior.



Figura 25. Imagen del intercambiador de calor en la instalación.

Pre calentador

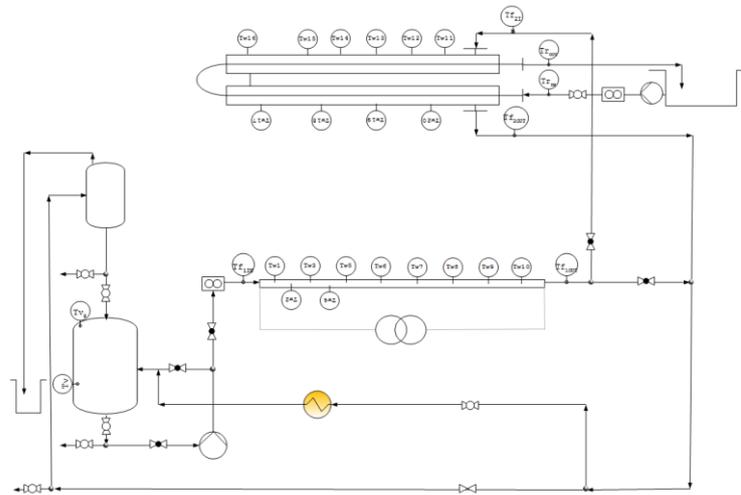


Figura 26. Esquema de la instalación. Pre calentador.

Este equipo es el encargado de ayudar al precalentamiento el NF hasta la temperatura previa a la fusión de las NPs, temperatura que debe alcanzar el fluido a la entrada de la sección de medida.

El calefactor Watlow modelo CVLC737C5 tiene una potencia máxima de 18 kW y puede soportar temperaturas de trabajo de hasta 650°C, aunque su temperatura máxima de trabajo está limitada por la temperatura de evaporación del aceite térmico.

En la Figura 27 se muestra una foto del equipo en la instalación. La salida del aceite caliente vuelve al depósito principal por el *bypass* que a su vez permite regular el caudal de entrada a la sección de medida.

Tabla 12. Datos técnicos del precalentador.

Potencia	18kW
Temperatura máxima	650°C
Material de la carcasa	Acero inoxidable 306
Espesor material aislante	25mm



Figura 27. Imagen del precalentador en la instalación.

Depósito secundario

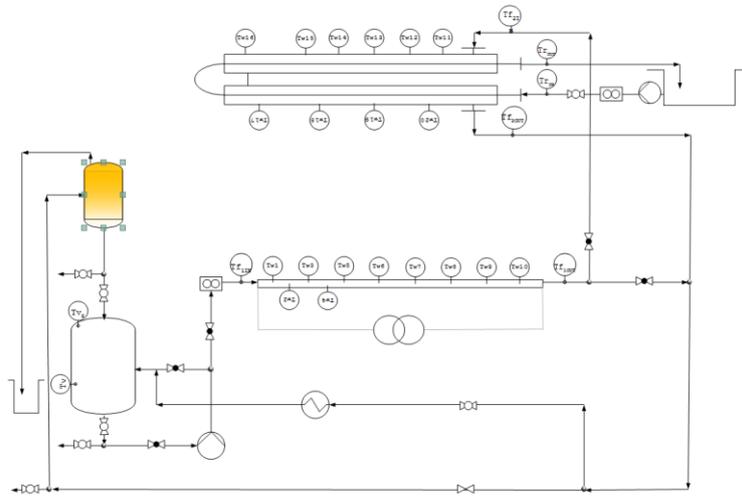


Figura 28. Esquema de la instalación. Depósito secundario.

Fue necesario contar con un depósito auxiliar en la instalación, a utilizar cuando el régimen de trabajo fuera discontinuo. Esto se produce por la llamada temperatura de subenfriamiento de algunas NPs, que es tan grande, que no permite volver a calentar rápidamente el NF hasta la temperatura de comienzo de fusión desde la temperatura de solidificación con la que cuenta a la salida del intercambiador.

El depósito secundario se diseña con forma cilíndrica y tapas superior e inferior en forma de casquete. La chapa empleada cuenta con 2 mm de espesor.

El material de construcción es acero inoxidable 304, con un volumen total aproximado de 75 litros.

Los elementos con los que cuenta este depósito se indican a continuación. Todos ellos se pueden observar en la imagen del depósito que se muestra en la Figura 29.

- La entrada de aceite recirculado se sitúa en el lateral del depósito,
- El testigo de nivel se trata de un tubo transparente de teflón de 6 mm de diámetro unido a los extremos superior e inferior del depósito y conectado mediante una conexión de 1/4", y
- Comunicación con el depósito secundario, necesario en caso de realizar ciclos de calentamiento-enfriamiento en discontinuo.



Figura 29. Imagen depósito secundario en la instalación.

Termopares tipo K

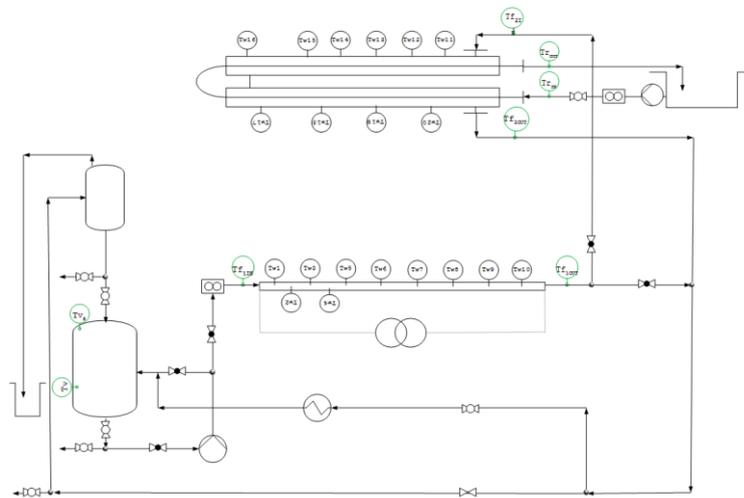


Figura 30. Esquema de la instalación. Termopares tipo K.

Estos equipos se utilizan para la medida de la temperatura de fluidos, de manera que se encuentran inmersas en las tuberías (tipo K).

Cuentan con una varilla de 1,5 mm de diámetro y vaina de acero inoxidable 310.

Tabla 13. Datos técnicos de los termopares tipo K

Rango de medida	-40 a 1100°C
Precisión	±1,5°C

Los valores de temperatura se registran de manera continua mediante un sistema de adquisición de datos en el que está conectado también el caudalímetro y las termorresistencias de contacto.





Figura 31. Imágenes de los termopares tipo K en la instalación.

Termorresistencias de contacto

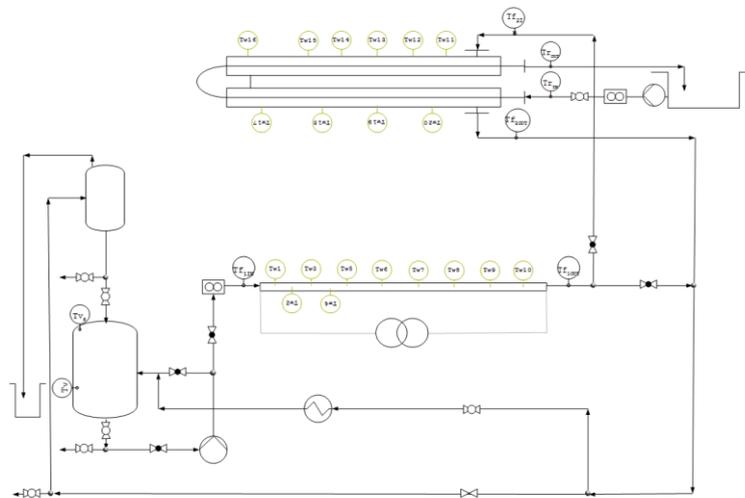


Figura 32. Esquema de la instalación. Termorresistencias de contacto.

Las termorresistencias en contacto con las superficies de la sección de calentamiento y de enfriamiento utilizan un sensor de gran precisión de platino, de manera que la resistencia del material aumenta cuando aumenta la temperatura. El sensor resistor de platino es un material muy estable. Esta característica y su conexión de cuatro hilos al sistema de adquisición de datos permite una elevada precisión en la medida de temperatura.

Tabla 14. Datos técnicos de las termorresistencias de contacto

Rango de medida	-50 a 500°C
Tipo de sensor	Pt100 (100 Ohms @ 0°C)
Dimensiones	2 x 2,3 mm
Precisión 1/3 DIN	$\pm (0,1^{\circ}\text{C} + 0,5\%T)$

En la Figura 33 se muestra una imagen de las termorresistencias dispuestas en la sección de calentamiento. Así mismo, se muestra las guías y regletas utilizadas para la organización de los cables que las conectan al sistema de adquisición de datos. De igual manera, se han dispuesto en la zona de enfriamiento.



Figura 33. Imágenes de las termorresistencias de superficie en la zona de calentamiento de la instalación.

Sistema de adquisición de datos Agilent 34972A

Se cuenta con un sistema de adquisición de datos capaz de la conexión de tres módulos de 22 canales cada uno. Este equipo es capaz de medir voltaje continuo/discontinuo, temperatura medida por termopares y termorresistencias de 2 y 4 hilos, corriente alterna o continua y frecuencia.

Para nuestra instalación es necesario contar con dos módulos para la adquisición de los datos de temperatura aportados por las 20 termorresistencias de 4 hilos con los que cuenta la instalación y un tercer modulo para el registro de las demás señales: 8 termopares tipo K y los valores de caudal de aceite y agua. Los datos se registran cada 5 segundos y se pueden consultar durante los experimentos gracias a su conexión a un ordenador. Así se puede decidir rápidamente el cambio de alguno de los parámetros en caso de necesidad.

Tabla 15. Datos técnicos del sistema de adquisición de datos Agilent 34972.

Precisión para RTD	$\pm 0,06^{\circ}\text{C}$
Precisión para TC K	$\pm 1^{\circ}\text{C}$
Velocidad de adquisición	250 canales/s

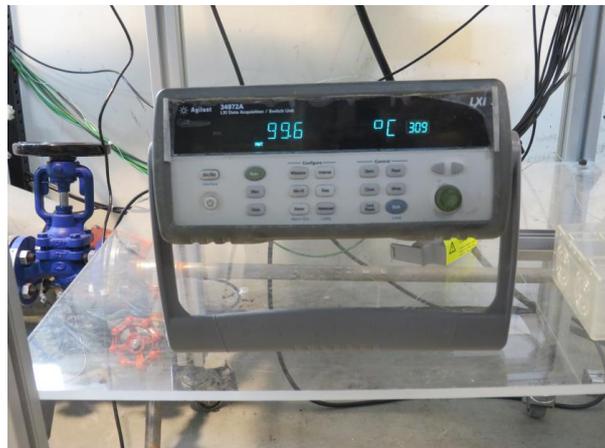


Figura 34. Imagen del Sistema de adquisición de datos en la instalación.

Válvulas

Se ha utilizado tres tipos diferentes de válvulas en la instalación:

- Válvula de compuerta y válvulas de bola, que permiten abrir o cerrar el flujo de aceite totalmente, según el uso de la instalación se realice en continuo o discontinuo. Se dispone de una válvula de bola en el circuito de refrigeración.
- Válvulas de pistón, que permite el ajuste fino de los caudales de aceite en la instalación.

Las válvulas de pistón suministradas por la casa SAIDI, gracia a su accionamiento manual con volante, permiten la regulación controlada del caudal de fluidos a muy alta temperatura, como es nuestro caso. Son similares, en su desempeño, a las válvulas tipo globo convencional, pero a diferencia de estas, las válvulas de tipo pistón pueden ser instaladas de manera vertical. Las válvulas de pistón tienen un sistema de sellos y unos anillos que no permiten que haya fuga hacia el exterior.

Tabla 16. Datos técnicos de las válvulas de pistón

Material de construcción	Fundición nodular
Rango de medida	-10 a 400°C

Para el sellado de las juntas de toda la instalación se ha utilizado juntas de grafito *Klinger*. Son juntas que aguantan temperaturas de trabajo de hasta 500°C y sellan de manera efectiva tanto gases como líquidos con tornillos de baja carga.



Figura 35. Imágenes de las válvulas de pistón en la instalación.

Tubería de la sección de medida

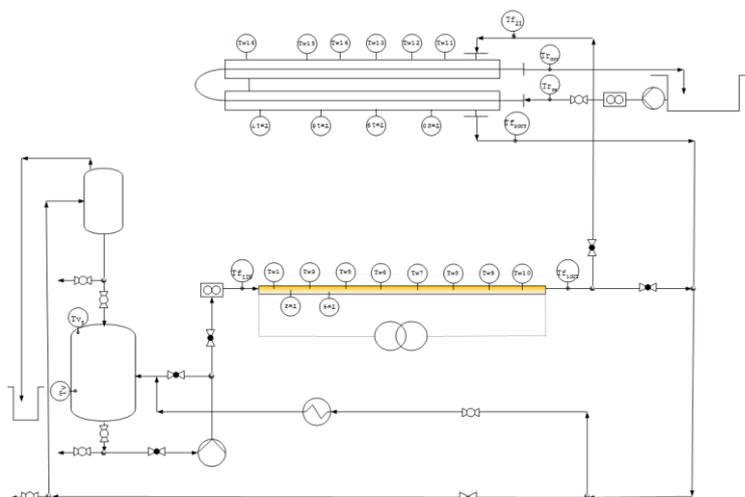


Figura 36. Esquema de la instalación. Tubo de la zona de calentamiento.

La zona de calentamiento consiste en un tubo, por el interior del cual, fluye el NF. Este tubo de acero inoxidable 316L, que está conectado en sus extremos con los bornes de la fuente de alimentación, se aísla del resto de la instalación eléctricamente mediante dos juntas de PTFE extrudido. Este material es un excelente dieléctrico y es capaz de aguantar hasta 260°C.

La Figura 37 se muestra una imagen de la sección de calentamiento de la instalación.

Las características y dimensiones del tubo que conforma la sección de medida se muestran a continuación. El trayecto por donde fluye el aceite desde la zona de calentamiento hasta el intercambiador se construye de tubería del mismo tipo, para evitar cambios en la velocidad en este tramo.

Tabla 17. Datos técnicos del tubo de la zona de calentamiento

Material de construcción	Acero inoxidable 316L
Temperatura máxima	920°C
Diámetro interno	7 mm
Diámetro externo	10 mm

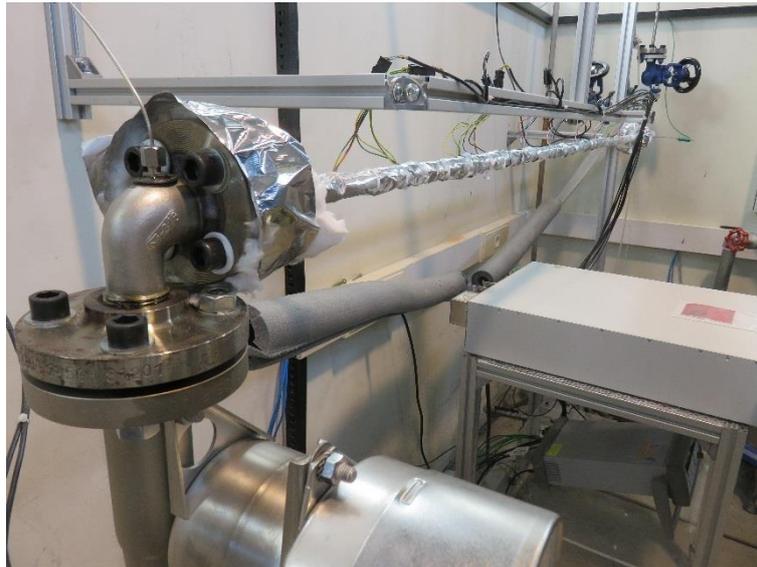


Figura 37. Imagen de la sección de calentamiento en la instalación.

Tuberías del resto de la instalación

El resto de la instalación se construye con tubería de 1/2'' de acero inoxidable 304, material que es capaz de aguantar hasta 840°C. Se utiliza el mismo material para uniones en T y codos.

Circuito de agua refrigerante

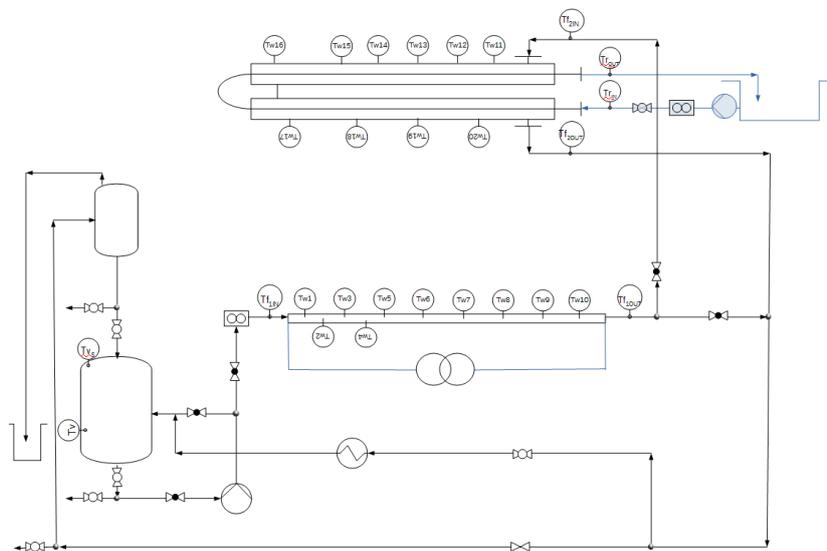


Figura 38. Esquema de la instalación. Circuito de agua.

El agua que refrigera el aceite térmico en el intercambiador de calor se bombea mediante una bomba centrífuga desde un depósito abierto que contiene 1 m^3 de agua. Este volumen es suficiente como para realizar ensayos de 2 horas sin que se produzcan problemas de refrigeración. El caudal, el cual está conectado al sistema de adquisición de datos, se controla mediante una válvula de bola.

El caudal de agua a la entrada del intercambiador se regula para que el intercambio sea lo más efectivo posible, pero siempre sin alcanzar temperaturas del agua superiores a 80°C . El agua entra a temperatura ambiental.

1.11. Descripción de los ensayos experimentales

Una vez construida la instalación, se realizaron pruebas previas a los ensayos experimentales para asegurar que no existían fugas en la instalación y que el sistema de adquisición de datos, así como las sondas de medida de temperatura y fuente de alimentación funcionaban correctamente.

A continuación, se realizaron las pruebas experimentales programadas según el objetivo de este proyecto y que ya se han comentado en apartados anteriores: los ensayos experimentales se realizan con aceite térmico y se comprueba que funciona correctamente tanto en su uso continuo como en uso discontinuo. Se realizó, por tanto, pruebas para ambos regímenes de trabajo.

El ensayo de la instalación en continuo se realizó a la potencia máxima de operación de la instalación en bucle cerrado. El objetivo principal fue determinar la temperatura máxima de trabajo, la cual permite que se mantengan unas condiciones estables de temperatura y caudal para su flujo en continuo. Este ensayo se realizó para dos valores de Reynolds diferentes y dos temperaturas. De esta manera se comprobó que la instalación permite estimar de manera experimental el coeficiente de transmisión de calor en la zona de calentamiento.

Se realizó el ensayo de la instalación en discontinuo, en las que se consiguió definir las condiciones requeridas para la fusión y recristalización del NF de Sn, ya que este NePCM cuenta con una temperatura muy elevada de subenfriamiento. Este ensayo nos permitió determinar el tiempo máximo de ensayo y la estabilidad de las medidas de temperatura de la zona de calentamiento y enfriamiento.

La relación de ensayos programados y variables experimentales, como son el número de Reynolds y la temperatura de entrada a la sección de medida, se muestran a continuación en la Tabla 18.

Tabla 18. Condiciones de ensayos experimentales programados.

Experimento	Régimen de trabajo	Número de Reynolds	T (°C)
1	Continuo	15000	200
2	Continuo	15000	190
3	Continuo	20000	200
4	Continuo	20000	190
5	Discontinuo	20000	T _{máxima}

Tabla 19. Características del tubo de la sección de calentamiento utilizadas en los cálculos.

D (mm)	7
D_{out} (mm)	10
k_{tube}(W/mK)	21
L (m)	2

1.12. Resultados experimentales

Los resultados de los ensayos experimentales y los cálculos realizados para la obtención del coeficiente de transmisión de calor del aceite térmico de manera experimental se muestran en los apartados correspondientes a cada experimento.

Cabe mencionar que los datos experimentales $T_{w,out}(z)$ se han corregido según los valores de temperatura obtenidos en un ensayo de enfriamiento. Esta corrección es necesario realizarla ya que existe una fuente de error importante de las temperaturas experimentales: por un lado, no se conoce la recta de calibración de cada sensor de temperatura en el rango entre 200 y 300°C; y por otro lado, la colocación de los mismos y su mejor o peor contacto con la superficie de la tubería, influye en la bondad de la temperatura medida. El procedimiento seguido para aplicar la corrección y las suposiciones que se han tenido en cuenta, se explican a continuación.

- I. En primer lugar, se obtuvieron los datos experimentales de temperatura de las termorresistencias en contacto con la superficie del tubo de la zona de calentamiento durante el enfriamiento, desde la temperatura máxima de ensayo.
- II. Se aceptaron las siguientes suposiciones como válidas, para asumir que, durante el enfriamiento, la temperatura de la pared es constante a lo largo del tubo.
 - a. La sección de calentamiento está lo suficientemente bien aislada para suponer que las pérdidas de temperatura con el ambiente son prácticamente nulas.
 - b. La distancia entre cada punto de medida es suficientemente pequeña y la velocidad del fluido en el interior del tubo es lo suficientemente rápida, para que la temperatura del fluido en el interior del tubo sea constante a lo largo de la sección de medida.
 - c. El tubo es lo suficientemente delgado para que no haya gradientes de temperatura en el fluido en el interior del tubo en cada punto de medida.
 - d. La temperatura real de la superficie es la temperatura media de las 10 temperaturas medidas en toda la superficie de la tubería.
- III. De esta manera se aplicó la corrección calculada para cada temperatura medida en la superficie de la sección de calentamiento.
- IV. Tras el uso de la corrección de la temperatura experimental se obtuvieron resultados que se consideran lógicos según el ensayo realizado.

- a. En primer lugar, la variación de temperatura medida asciende a lo largo de la sección, ya que se está aplicando calor mediante la fuente de alimentación conectada a los bornes de la sección de calentamiento. Este calentamiento se comprueba mediante la medida de la temperatura con los termopares tipo K dispuestos a la entrada y salida de la tubería. En la Figura 39 se muestra los datos de temperatura en el tubo antes y después de aplicar la corrección.

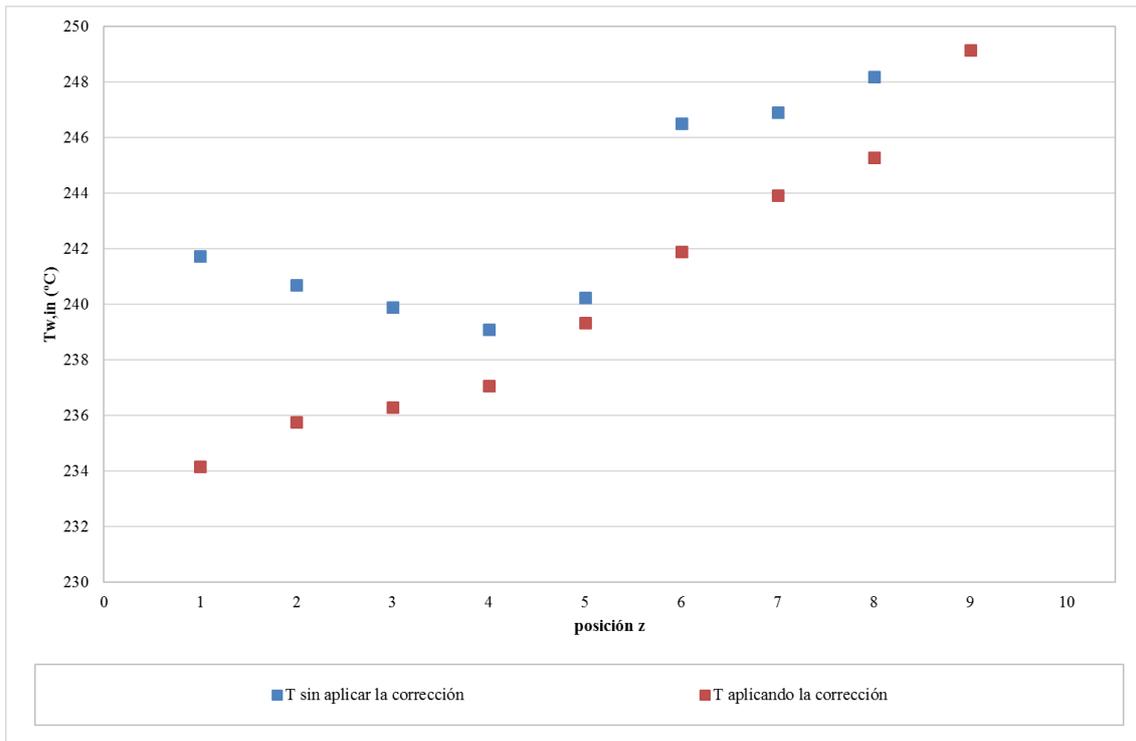


Figura 39. Temperatura de la pared del tubo de la sección de medida antes y después de aplicar la corrección.

- b. La variación del coeficiente global de transmisión de calor es menor a lo largo de la sección de medida. Se considera que las condiciones del fluido no cambian tanto debido a la proximidad de los puntos locales y la naturaleza del ensayo.

Tabla 20. Datos del coeficiente global de transferencia de calor del experimento 1.

z_i (m)	0,14	0,28	0,42	0,56	0,7	0,932	1,164	1,396	1,628	1,86
h experimental (W/m²K) antes de aplicar la corrección	2828	3091	3381	3726	3838	3431	3796	4095	4145	4533
h experimental (W/m²K) aplicando la corrección	3236	3269	3427	3569	3526	3606	3763	4042	3931	4038

1.12.1. Experimento 1

En este apartado de los experimentos 1, 2, 3 y 4, que se realiza la medida de temperatura en continuo, se muestra las condiciones y resultados de los ensayos mediante una serie de tablas, el contenido de las cuales se resume a continuación.

- La primera tabla muestra los datos experimentales.
- La segunda tabla muestra los cálculos para la obtención del valor de Nusselt experimental, teniendo en cuenta las características del aceite térmico a la temperatura del fluido local, calculada a lo largo del tubo (z).
- La siguiente tabla muestra los cálculos para la obtención del Nusselt teórico propuesto por Gnielinski. Para la comparación con el valor de Nusselt experimental se ha calculado el ratio Nusselt experimental/Nusselt teórico.
- Por último, la última tabla de cada experimento muestra los cálculos para la obtención del Nusselt teórico propuesto por Dittus-Boelter y el ratio que compara este valor con el obtenido experimentalmente.

Tabla 21. Datos del experimento 1.

T_{flIN} (°C)	201,6										
T_{flOUT} (°C)	228,5										
Q (l/min)	4,99										
z_i(m)	0,14	0,28	0,42	0,56	0,7	0,932	1,164	1,396	1,628	1,86	
T_{w,out} (z) (°C)	241,8	240,7	239,9	239,1	240,3	246,5	246,9	248,2	251,1	252,2	

Tabla 22. Cálculos del experimento 1.

Kratio Ecuación [10]	1,43										
q (W/m²) Ecuación [11]	9898 3	9914 1	9929 8	9945 3	9960 8	9986 1	10011 0	10035 6	10059 9	10083 8	
q' (W/m)	2177	2180	2184	2187	2190	2196	2202	2207	2212	2218	
T_r(z) (°C) Ecuación [8]	203, 4	205, 3	207, 2	209, 1	211, 0	214, 1	217,2	220,3	223,5	226,6	

Características del fluido a la temperatura $T_f(z)^*$										
k_f (W/mK)	0,10 5	0,10 5	0,10 5	0,10 5	0,10 5	0,10 4	0,104	0,104	0,103	0,103
C_p (J/KgK)	2206	2213	2220	2227	2234	2246	2258	2269	2281	2293
ρ (kg/m³)	882, 4	881, 0	879, 6	878, 1	876, 7	874, 4	872,0	869,7	867,3	865,0
μ (mPa·s)	0,83	0,81	0,80	0,79	0,77	0,75	0,73	0,72	0,70	0,68
h (W/m²K)	3236	3269	3427	3569	3526	3606	3763	4042	3931	4038
Nu experimental Ecuación [3]	214, 9	217, 6	228, 4	238, 3	235, 8	241, 9	253,2	27,8	266,1	274,1

*Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de las características del fluido se han obtenido ajustando los datos que se muestran en la hoja técnica del Therminol 66 (ver apartado 2.1 página 101).

Tabla 23. Comparación con el valor de Nusselt teórico propuesto por Gnielinski. Experimento 1.

S (m²)	3,8·10 ⁻⁵									
ε (mm)	0,0024									
f Ecuación [6]	0,0275									
Re Ecuación [4]	16128	1637 4	1662 2	1687 0	1712 0	1753 6	1795 5	1837 7	1880 2	1922 9
Pr Ecuación [5]	17,3	17,1	16,9	16,7	16,5	16,2	15,9	1,77	15,4	15,1
Nu teórico Ecuación [1]	171,9	17,0	176,0	178,1	180,1	183,5	186,9	190,3	193,7	197,1
h (W/m²K)	2588	2614	2640	2666	2692	2735	2778	2822	2862	2903
Nu_{exp}/Nu_{teor}	1,25	1,25	1,30	1,34	1,31	1,32	1,35	1,43	1,37	1,40

Tabla 24. Comparación con el valor de Nusselt teórico propuesto por Dittus-Boelter. Experimento 1.

Nu teórico	167,2	168,5	169,7	170,9	172,2	174,2	176,3	178,3	180,3	182,3
Ecuación [2]										
h (W/m²K)	2517	2532	2546	2560	2574	2597	2620	2642	2664	2686
Nu_{exp}/Nu_{teor}	1,29	1,29	1,35	1,39	1,37	1,39	1,44	1,53	1,48	1,50

1.12.2. Experimento 2

Al igual que en el experimento 1, los cálculos y resultados experimentales se muestran en diferentes tablas, el contenido del cual se puede consultar en el apartado 0. en la página 84.

Tabla 25. Datos del experimento 2.

T_{FIN} (°C)	190,9									
T_{FIOUT} (°C)	222,1									
Q (l/min)	4,99									
z_i(m)	0,14	0,28	0,42	0,56	0,7	0,932	1,164	1,396	1,628	1,86
T_{w,out} (z) (°C)	241,0	239,7	238,4	237,9	238,9	245,5	246,0	247,8	251,0	252,4

Tabla 26. Cálculos del experimento 2.

Kratio	1,43									
Ecuación [10]										
q (W/m²)	11379	11401	11423	11445	11466	11502	11537	11571	11605	11638
Ecuación [11]	3	5	5	3	9	3	2	5	2	4
q' (W/m)	2502	2507	2512	2517	2522	2529	2537	2545	2552	2559
T_f(z) (°C)	193,1	195,2	197,4	199,6	201,8	205,4	209,0	212,6	216,3	219,9
Ecuación [8]										

Características del fluido a la temperatura $T_f(z)^*$										
k_f (W/mK)	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,105	0,105	0,104	0,104	0,104
C_p (J/KgK)	2167	2175	2184	2192	2200	2213	2227	2241	2254	2268
ρ (kg/m³)	890,1	888,5	886,8	885,2	883,6	880,9	878,2	875,5	872,8	870,0
μ (mPa·s)	0,91	0,89	0,87	0,86	0,84	0,81	0,79	0,76	0,74	0,72
h (W/m²K)	2865	2931	3104	3212	3224	3301	3455	3666	3600	3711
Nu experimental Ecuación [3]	188,6	193,3	205,1	212,6	213,8	219,7	230,7	245,6	242,0	250,3

*Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de las características del fluido se han obtenido ajustando los datos que se muestran en la hoja técnica del Therminol 66 (ver apartado 2.1 página 101).

Tabla 27. Comparación con el valor de Nusselt teórico propuesto por Gnielinski. Experimento 2.

S (m²)	$3,8 \cdot 10^{-5}$									
ε (mm)	0,0024									
f Ecuación [6]	0,0285									
Re Ecuación [4]	14790	1568	1534 8	1562 9	1591 2	1638 5	1686 2	1734 3	1782 8	1831 6
Pr Ecuación [5]	18,6	18,3	18,0	17,8	17,5	17,1	16,7	16,4	16,0	15,7
Nu teórico Ecuación [1]	164,1	166, 5	168,9	171,4	173,8	177,8	181,8	185,9	189,9	193,9
h (W/m²K)	2493	2525	2557	2588	2620	2672	2723	2774	2825	2875
Nu_{exp}/Nu_{teor}	1,15	1,16	1,21	1,24	1,23	1,24	1,27	1,32	1,27	1,30

Tabla 28. Comparación con el valor de Nusselt teórico propuesto por Dittus-Boelter. Experimento 2.

Nu teórico	160,4	161,8	163,3	164,7	166,1	168,5	170,9	173,3	175,6	178,0
Ecuación [2]										
h (W/m²K)	2436	2453	2471	2488	2505	2532	2560	2587	2613	2639
Nu_{exp}/Nu_{teor}	1,18	1,19	1,26	1,29	1,29	1,30	1,35	1,42	1,38	1,41

1.12.3. Experimento 3

Al igual que en el experimento 1, los cálculos y resultados experimentales se muestran en diferentes tablas, el contenido del cual se puede consultar en el apartado 0. en la página 84.

Tabla 29. Datos del experimento 3.

T_{FIN} (°C)	202,7										
T_{FIOUT} (°C)	225,6										
Q (l/min)	6,47										
z_i(m)	0,14	0,28	0,42	0,56	0,7	0,932	1,164	1,396	1,628	1,86	
T_{w,out} (z) (°C)	238,0	237,2	236,1	235,0	236,0	241,8	242,1	243,1	245,8	246,7	

Tabla 30. Cálculos del experimento 3.

Kratio Ecuación [10]	1,43										
q (W/m²) Ecuación [11]	10913 7	10928 5	10943 1	10957 7	10972 1	10995 9	11019 3	11042 5	11065 4	11088 0	
q' (W/m)	2400	2403	2407	2410	2413	2418	2423	2428	2433	2438	
T_r(z) (°C) Ecuación [8]	204,3	205,9	207,5	209,1	210,7	213,4	216,0	218,7	221,3	224,0	
Características del fluido a la temperatura T_f(z)*											
k_f (W/mK)	0,105	0,105	0,105	0,105	0,105	0,104	0,104	0,104	0,104	0,103	
C_p (J/KgK)	2209	2215	2221	2227	2233	2243	2253	2263	2273	2283	
ρ (kg/m³)	881,7	880,5	879,3	878,1	876,9	874,9	872,9	870,9	868,9	866,9	
μ (mPa·s)	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,76	0,74	0,73	0,71	0,69	
h (W/m²K)	4253	4225	4466	4685	4594	4701	4861	5260	5009	5122	
Nu experimental Ecuación [3]	282,8	281,3	297,8	312,9	307,2	315,2	326,7	354,4	338,3	346,8	

*Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de las características del fluido se han obtenido ajustando los datos que se muestran en la hoja técnica del Therminol 66 (ver apartado 2.1 página 101).

Tabla 31. Comparación con el valor de Nusselt teórico propuesto por Gnielinski. Experimento 3.

S (m²)	$3,8 \cdot 10^{-5}$									
ε (mm)	0,0024									
f Ecuación [6]	0,0265									
Re Ecuación [4]	21061	2133 3	2160 6	2188 0	2215 5	2261 3	2307 4	2353 8	2400 4	2447 2
Pr Ecuación [5]	17,2	17,1	16,9	16,7	16,6	16,3	16,1	15,8	15,6	15,3
Nu teórico Ecuación [1]	222,6	224,7	226,9	229,1	231,3	234,9	238,6	242,2	245,8	249,5
h (W/m²K)	3348	3376	3403	3431	3459	3505	3550	3595	3640	3684
Nu_{exp}/Nu_{teor}	1,27	1,25	1,31	1,37	1,33	1,34	1,37	1,46	1,38	1,4

Tabla 32. Comparación con el valor de Nusselt teórico propuesto por Dittus-Boelter. Experimento 3.

Nu teórico Ecuación [2]	206,6	207,9	209,2	210,5	211,7	213,9	216,0	218,1	220,3	222,4
h (W/m²K)	3107	3122	3137	3152	3166	3191	3214	3238	3261	3284
Nu_{exp}/Nu_{teor}	1,37	1,35	1,42	1,49	1,45	1,47	1,51	1,62	1,54	1,56

1.12.4. Experimento 4

Al igual que en el experimento 1, los cálculos y resultados experimentales se muestran en diferentes tablas, el contenido del cual se puede consultar en el apartado 0. en la página 84.

Tabla 33. Datos del experimento 4.

T_{FIN} (°C)	189,5										
T_{FIOUT} (°C)	212,1										
Q (l/min)	6,44										
z_i(m)	0,14	0,28	0,42	0,56	0,7	0,932	1,164	1,396	1,628	1,86	
T_{w,out} (z) (°C)	226,4	225,7	224,4	0,0	224,7	230,0	230,6	231,6	234,2	235,0	

Tabla 34. Cálculos del experimento 4.

Kratio Ecuación [10]	1,43										
q (W/m²) Ecuación [11]	10592 2	10607 3	10622 3	10637 2	10652 0	10676 3	10700 4	10724 2	10747 8	10771 1	
q' (W/m) Ecuación [12]	2329	2333	2336	2339	2342	2348	2353	2358	2364	2369	
T_r(z) (°C) Ecuación [8]	191,1	192,7	194,2	195,8	197,4	200,0	202,6	205,2	207,9	210,5	
Características del fluido a la temperatura T_f(z)*											
K_f (W/mK)	0,107	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,105	0,105	0,105	0,105	
C_p (J/KgK)	2160	2166	2172	2178	2184	2193	2203	2213	2223	2232	
ρ (kg/m³)	891,5	890,4	889,2	888,0	886,9	884,9	883,0	881,0	879,1	877,1	
μ (mPa·s)	0,93	0,91	0,90	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81	0,80	0,78	
h (W/m²K)	3835	3813	4041	4194	4120	4248	4341	4656	4471	4585	
Nu experimental Ecuación [3]	252,1	250,9	266,3	276,7	272,2	281,4	288,2	309,8	298,2	306,5	

*Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de las características del fluido se han obtenido ajustando los datos que se muestran en la hoja técnica del Therminol 66 (ver apartado 2.1 página 101).

Tabla 35. Comparación con el valor de Nusselt teórico propuesto por Gnielinski. Experimento 4.

S (m²)	3,8·10 ⁻⁵									
ε (mm)	0,0024									
f Ecuación [6]	0,027									
Re Ecuación [4]	18762	19020	19279	19539	19800	20235	20674	21115	21559	22005
Pr Ecuación [5]	18,8	18,6	18,4	18,2	18,0	17,7	17,4	17,1	16,9	16,6
Nu teórico Ecuación [1]	205,8	207,9	210,1	212,2	214,4	218,0	221,6	225,2	228,8	232,4
h (W/m²K)	3131	3159	3188	3216	3245	3291	3338	3384	3430	3476
Nu_{exp}/Nu_{teor}	1,22	1,21	1,27	1,30	1,27	1,29	1,30	1,38	1,30	1,3

Tabla 36. Comparación con el valor de Nusselt teórico propuesto por Dittus-Boelter. Experimento 4.

Nu teórico Ecuación [2]	195,0	196,3	197,6	198,9	200,2	202,3	204,4	206,5	208,6	210,7
h (W/m²K)	2968	2983	2999	3014	3029	3054	3079	3104	3128	3152
Nu_{exp}/Nu_{teórico}	1,29	1,28	1,35	1,39	1,36	1,39	1,41	1,50	1,43	1,45

A continuación, en la Tabla 37 se muestra el resumen de los resultados experimentales obtenidos. Se presentan el número de Reynolds a la entrada de la sección, el coeficiente global de transmisión de calor experimental medio y el ratio medio de Nusselt experimental vs Nusselt teórico de Gnielinski para toda la sección de medida.

Tabla 37. Resumen de los resultados experimentales realizados en continuo.

Experimento	Reynolds experimental	h experimental (W/m ² K)	Nu _{exp} /Nu _{teórico} Gnielinski
1	16128	3641	1.33
2	14790	3307	1.24
3	21061	4718	1.35
4	18762	4231	1.29

1.12.5. Experimento 5

Este ensayo consistió en comprobar el comportamiento de la instalación en régimen discontinuo, para la medida de las características térmicas de NFs con elevada temperatura de subenfriamiento, como es el caso del NePCMs de Sn. Este NF tiene una temperatura de inicio de fusión de las NPs de 220°C y el cambio de fase finaliza a una temperatura próxima a 235°C. Por tanto, el objetivo fue evaluar si mediante el ensayo en discontinuo, se pueden alcanzar las siguientes condiciones:

- Temperatura algo menor de 220°C a la entrada de la sección de medida.
- Temperatura próxima o algo superior a 235°C a la salida de la sección de medida.
- Tiempo en el que se mantienen estas condiciones y por tanto tiempo de ensayo.

El ensayo se describe a continuación. En primer lugar, con la instalación trabajando en continuo, se calentó el aceite térmico hasta una temperatura próxima a 220°C a la entrada de la sección de medida. Se comprobó que el salto térmico de aceite que se producía, gracias a la fuente de alimentación era tal, que la temperatura medida a la salida se aproximaba a 235°C. Una vez alcanzado estos valores se paró la recirculación de aceite, de manera que el fluido se recogía en el depósito secundario y se comprobó durante cuánto tiempo se mantuvieron estas condiciones.

En la Tabla 38 se detallan los valores experimentales al principio y al final del experimento. En la Figura 40 se puede observar la variación de temperatura durante el tiempo que dura el ensayo.

Tabla 38. Resultados del experimento 5. Ensayo en discontinuo.

Hora (mm:ss)	T _{FIN} (°C)	T _{FIOUT} (°C)
34:10	213,4	234,6
37:50	209,5	233,6

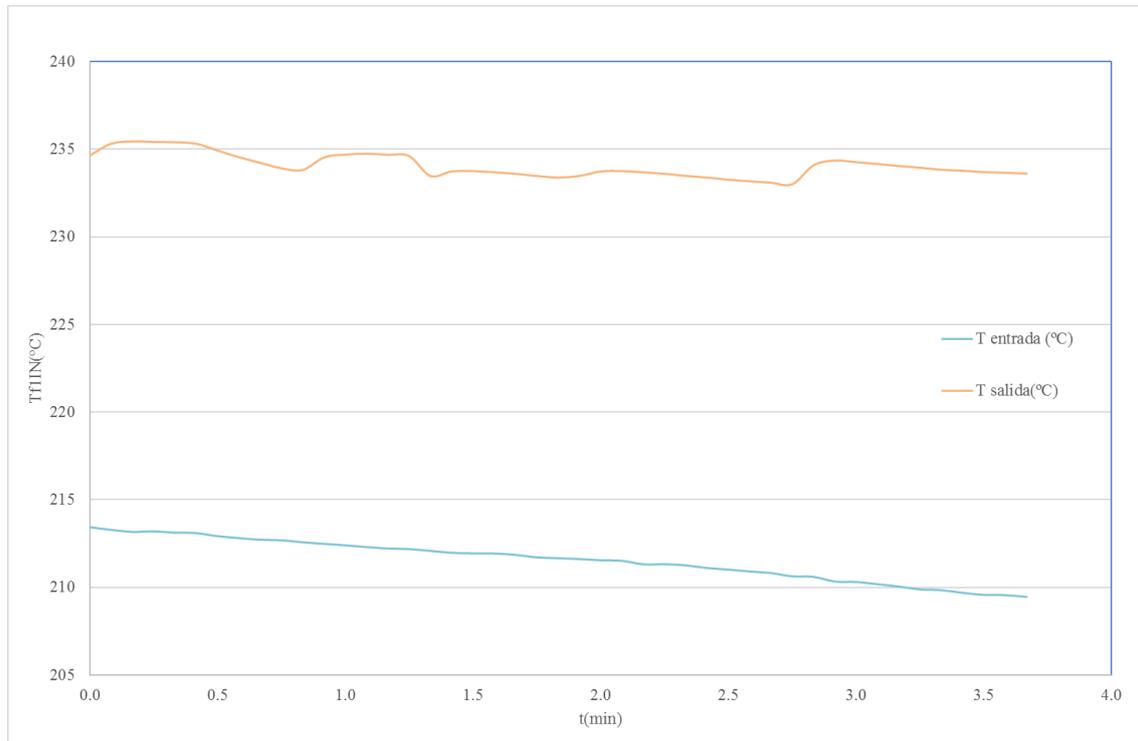


Figura 40. Resultado del experimento 5. Ensayo en discontinuo

1.13. Conclusiones

Las conclusiones extraídas de los resultados experimentales se resumen a continuación.

- ✓ Se ha diseñado una instalación termohidráulica para la estimación del coeficiente de transferencia de calor de NePCMs basados en aceite térmico, el cual se utiliza en aplicaciones industriales a elevada temperatura.
- ✓ Se ha podido realizar las primeras pruebas experimentales de la instalación termohidráulica para la estimación del coeficiente de transferencia de calor del Therminol 66 en condiciones dinámicas.
- ✓ Los equipos seleccionados para el diseño de la instalación permiten la realización de ensayos con aceite térmico a elevada temperatura (200-300°C).
- ✓ La instalación funciona correctamente en continuo si la temperatura de subenfriamiento no es demasiado elevada.
- ✓ La instalación funciona correctamente en caso de realizarse el ensayo en discontinuo.
- ✓ Se han obtenido saltos de temperatura de más de 30°C del aceite térmico con la fuente de alimentación conectado a los bornes del tubo metálico. Este salto de temperatura es

suficiente para que se produzca la fusión de las NPs metálicas dispersas en aceite térmico a lo largo de la sección de calentamiento.

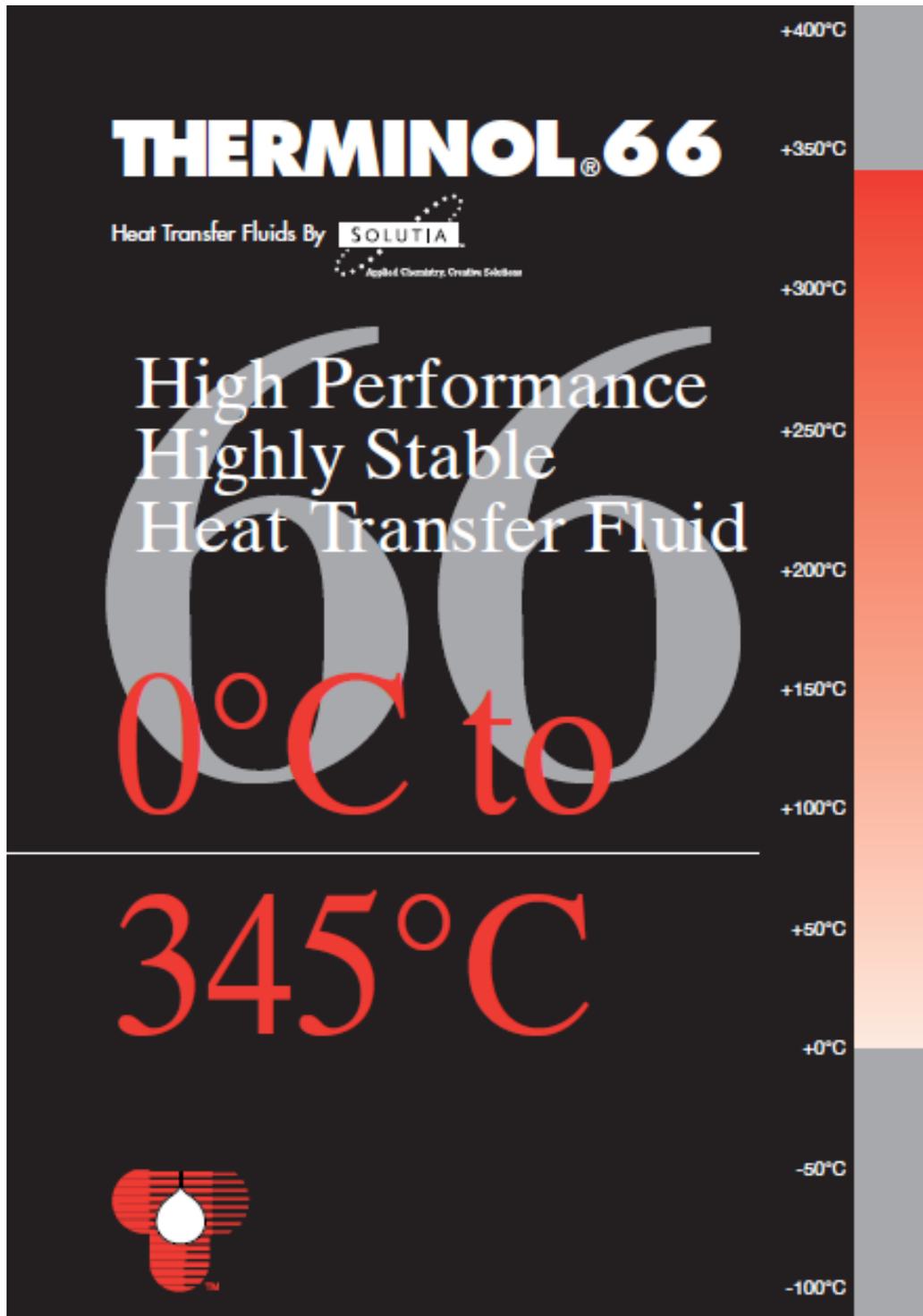
- ✓ El intercambiador permite enfriar un NF de Sn desde su temperatura final de fusión hasta su temperatura final de recristalización.
- ✓ La instalación está preparada para trabajar en discontinuo y es capaz de alcanzar las condiciones que requiere las NePCMs de Sn para conseguir la fusión de las NPs metálicas en la sección de calentamiento.
- ✓ Si se trabaja en régimen discontinuo, al evitar el paso del aceite a través del precalentador, la temperatura del aceite térmico a la entrada de la sección de medida va disminuyendo en el transcurso del ensayo. Sin embargo, se puede considerar que las temperaturas de entrada y salida se mantienen bastante constantes en valores máximos durante aproximadamente 3,5 minutos.
- ✓ Los errores en la toma de datos de temperatura durante el experimento, afecta a los resultados obtenidos, llegando a no obtener resultados lógicos según la naturaleza del experimento. Por este motivo ha sido necesario realizar correcciones en la toma de temperatura de la superficie de la sección de medida.
- ✓ Los resultados experimentales se ajustan mejor a la correlación teórica propuesta por Gnielinski, que a la correlación propuesta por Dittus-Boelter.
- ✓ El valor del coeficiente global de transferencia de calor global experimental difiere del teórico propuesto por Gnielinski entre un 24 y un 35%.
- ✓ Debido a que mediante la corrección de los datos de temperatura, se ha mejorado los resultados experimentales obtenidos, se propone una serie de mejoras de la instalación para ensayos futuros:
 - Es importante conocer la calibración de las termorresistencias antes de su colocación en la superficie del tubo en el intervalo de temperatura de trabajo. Esta se debería realizar en un horno adecuado, por comparación con una temperatura medida mediante un patrón.
 - De la misma manera, se aconseja realizar la calibración de los termopares tipo K que miden la temperatura en el seno del fluido a lo largo de la conducción.
 - Para saber la bondad de los resultados se debería tener en cuenta la precisión de las sondas de temperatura empleadas en el ensayo.

2. ANEXO

ÍNDICE DEL ANEXO

2.1. Datos técnicos del Therminol® 66	101
2.2. Datos técnicos de la bomba centrífuga	105
2.3. Datos técnicos del caudalímetro	125
2.4. Datos técnicos de la fuente de alimentación.....	149
2.5. Datos técnicos del precalentador	157
2.6. Datos técnicos de los termopares tipo K	161
2.7. Datos técnicos de las termorresistencias de contacto	163
2.8. Datos técnicos del intercambiador de calor	165
2.9. Datos técnicos del equipo de adquisición de datos	169
2.10. Datos técnicos de las válvulas de pistón	197
2.11. Datos técnicos de la tubería de la sección de medida*	199

2.1. Datos técnicos del Therminol® 66



THERMINOL 66

Therminol 66 is a high performance highly stable synthetic heat transfer fluid offering extended life and very low top-up rates resulting in reduced running costs and minimal downtime for operations at temperatures up to 345°C.

Therminol 66 derives its outstanding performance from the unique stability of the polyphenyl structure.

Intended for use in systems operating at or near atmospheric pressure, Therminol 66 offers potential savings in both capital and operating costs.

Therminol 66 is in use world-wide for many process heating and waste heat recovery applications: resin manufacture, phthalic anhydride distillation, polyester film and fibre production, deodorising fatty acids, phenol production, polyamide polymerisation and extrusion, preheating combustion air in the steel and petrochemical furnaces.

Thermal Stability

The thermal stability of a heat transfer fluid is one of the most important considerations in the selection of a fluid for operation under specific heat transfer conditions. Therminol 66 has made its reputation for its outstanding stability in operation.

Fluid decomposition, both for mineral oil and synthetic hydrocarbon based heat transfer fluids, generally results in the formation of volatile products (low boilers) and polymeric high viscosity fractions (high boilers). The relative proportion of low and high boiler formation and solubility of the high boiling fractions may vary widely, and are critical factors when evaluating fluid performance, predicting top-up costs and the overall risk of deposits or coking.

The chemical composition of Therminol 66 has been carefully selected to minimise the formation of low boilers and eliminate the risk of insoluble high boiler formation and fouling, provided proper attention is given to system design, and operation is within the maximum bulk and film temperatures specified below.

Typical Physical, Chemical and Thermal Properties of Therminol 66

Composition		Hydrogenated terphenyl
Appearance		Clear pale yellow liquid
Max. bulk temperature		345°C
Max. film temperature		375°C
Kinematic viscosity @ 40°C	DIN 51562 - 1	29.64 mm ² /s (cSt)
Density @ 15°C	DIN 51757	1011 kg/m ³
Flash point (Closed cup)	DIN EN 22719	170°C
Fire point	ISO 2592	216°C
Autoignition temperature	DIN 51794	399°C
Pour point	ISO 3016	-32°C
Boiling point @ 1013 mbar		359°C
Coefficient of thermal expansion		0.0009/°C
Moisture content	DIN 51777 - 1	< 150 ppm
Total acidity	DIN 51568 - 1	< 0.02 mg KOH/g
Chlorine content	DIN 51577 - 3	< 10 ppm
Copper corrosion	EN ISO 2160	<< 1a
Average molecular weight		252

Note: Values quoted are typical values obtained in the laboratory from production samples. Other samples might exhibit slightly different data. Specifications are subject to change. Write to Solitalia for current sales specifications.

THERMINOL 66

Properties of Therminol®66 vs Temperatures

Temperature °C	Density kg/m ³	Thermal Conductivity W/m.K	Heat Capacity kJ/kg.K	Viscosity		Vapour pressure (absolute) kPa ^a
				Dynamic mPa.s	Kinematic mm ² /s ^a	
0	1021.5	0.118	1.495	1324.87	1297.01	-
10	1014.9	0.118	1.529	344.26	339.20	-
20	1008.4	0.118	1.562	123.47	122.45	-
30	1001.8	0.117	1.596	55.50	55.51	-
40	995.2	0.117	1.630	29.50	29.64	-
50	988.6	0.116	1.665	17.64	17.84	-
60	981.9	0.116	1.699	11.53	11.74	-
70	975.2	0.115	1.733	8.06	8.26	0.01
80	968.5	0.115	1.768	5.93	6.12	0.02
90	961.8	0.114	1.803	4.55	4.73	0.03
100	955.0	0.114	1.837	3.60	3.77	0.05
110	948.2	0.113	1.873	2.92	3.08	0.08
120	941.4	0.112	1.908	2.42	2.58	0.12
130	934.5	0.111	1.943	2.05	2.19	0.18
140	927.6	0.111	1.978	1.75	1.89	0.27
150	920.6	0.110	2.014	1.52	1.65	0.40
160	913.6	0.109	2.050	1.34	1.46	0.58
170	906.6	0.108	2.086	1.18	1.30	0.83
180	899.5	0.107	2.122	1.06	1.17	1.17
190	892.3	0.107	2.158	0.96	1.06	1.62
200	885.1	0.106	2.195	0.86	0.97	2.23
210	877.8	0.105	2.231	0.78	0.89	3.02
220	870.4	0.104	2.268	0.72	0.82	4.06
230	863.0	0.103	2.305	0.66	0.77	5.39
240	855.5	0.102	2.342	0.61	0.71	7.10
250	847.9	0.100	2.379	0.57	0.67	9.25
260	840.3	0.099	2.417	0.53	0.63	11.95
270	832.5	0.098	2.455	0.49	0.59	16.31
280	824.6	0.097	2.492	0.46	0.56	19.46
290	816.6	0.096	2.531	0.44	0.54	24.55
300	808.5	0.095	2.569	0.41	0.51	30.73
310	800.3	0.093	2.608	0.39	0.49	38.22
320	792.0	0.092	2.647	0.37	0.47	47.20
330	783.5	0.091	2.686	0.35	0.45	57.94
340	774.8	0.089	2.726	0.34	0.43	70.68
350	765.9	0.088	2.766	0.32	0.42	85.74
360	756.9	0.086	2.806	0.31	0.41	103.42
370	747.7	0.085	2.847	0.30	0.39	124.09
380	738.2	0.084	2.889	0.28	0.38	148.13

Note: Values quoted are typical values obtained in the laboratory from production samples. Other samples might exhibit slightly different data. Specifications are subject to change. Write to Solida for current sales specifications.

Physical Property Formulae

$$\text{Density (kg/m}^3\text{)} = -0.614254 \cdot T \text{ (}^\circ\text{C)} - 0.000321 \cdot T^2 \text{ (}^\circ\text{C)} + 1020.62$$

$$\text{Heat capacity (kJ/kg.K)} = 0.003313 \cdot T \text{ (}^\circ\text{C)} + 0.0000008970785 \cdot T^2 \text{ (}^\circ\text{C)} + 1.496005$$

$$\text{Thermal Conductivity (W/m.K)} = -0.000033 \cdot T \text{ (}^\circ\text{C)} - 0.00000015 \cdot T^2 \text{ (}^\circ\text{C)} + 0.118294$$

$$\text{Kinematic Viscosity (mm}^2\text{/s)} = e^{\left(\frac{585.375}{T \text{ (}^\circ\text{C)} + 62.5} - 2.2895\right)}$$

$$\text{Vapour Pressure (kPa)} = e^{\left(\frac{-3094.51}{T \text{ (}^\circ\text{C)} + 340} + 17.0271\right)}$$

THERMINOL 66**The Therminol® Range**

Therminol 66 is one of the Solutia synthetic heat transfer fluids covering an operating range from -85°C to 400°C, suitable for most process heating and cooling or heat recovery applications, and capable of operation at or near atmospheric pressure within their recommended operating temperature range.

As a user's process temperature demands change there is always a Therminol fluid capable of meeting the new requirements. In addition, the Therminol fluids are often interchangeable allowing conversion by a simple top-up procedure where this is preferred.

Solutia also has a standard DP-DPO eutectic, Therminol VP1 .

Asia

Solutia Singapore Pte. Ltd.
101 Thomson Road - #15-00 United Square Singapore
307591
Tel: (+65) 355 7231 - Fax: (+65) 254 3138

Latin America

Solutia Brasil Ltda.
Rua Gomes de Carvalho 1306 - 60 andar - conj. 61 e 62
CEP : 04547-005 • Vila Olimpia - Sao Paulo, SP, Brazil
Phone: (+55) 11-5087 3000 - Fax: (+55) 11-5087 3030

North America

Solutia Inc.
10300 Olive Boulevard - PO Box 66760
St Louis, MO 63166-6760 - USA
Tel: (+1) 314 674 10 00

People's Republic of China

Solutia Chemical Co. Ltd., Suzhou
9th floor, Kings Tower
16 Shi Shan Road - Suzhou New District - Suzhou, PRC 215011
Phone: (+86) 512 8258167 - Fax: (+86) 512 8250417

Quality Control Certification

Solutia has obtained ISO 9002/BS 5750 quality control certification (1/6/1989) reference n° FM 1970 for Therminol 66. This registration means that plant procedures, quality control systems, material sampling, product storage, handling, packaging, shipping, product literature and characteristic data, record keeping and other company procedures are in line with the quality requirements of the ISO 9002 standards and its other national equivalents.

This is your quality assurance.

Health, Safety and Environmental Information

Please contact us for the Material Safety Data Sheet, or if any other information concerning health, safety and environmental issues is required during the filling or operation of your heat transfer system with this product.

**Europe**

Solutia Europe S.A./N.V.
Rue Laid Burniat 3 - Parc Scientifique - Fleming
B-1348 Louvain-la-Neuve (Sud) - Belgium
Tel: (+32) 10 48 15 47 - Fax: (+32) 10 48 14 86
<http://www.solutia.com>

Please contact us for more information :

Therminol is a trademark of Solutia. Therminol has now been adopted as a world-wide brand for the Solutia Heat Transfer Fluid range. Fluids known previously under the Santotherm and Gilotherm brands are identical in composition and performance to the corresponding Therminol brand fluids.

2.2. Datos técnicos de la bomba centrífuga

Volute pumps

for heat carrier oils up to 350 °C

SIHI[®] SuperNova

ZTND 032-125 . . . 200-500



TECHNICAL DATA

Output:	max. 1000 m ³ /h
Delivery head:	max. 95 m
Speed:	max. 3600 rpm
Temperature:	max. 350 °C
Casing pressure:	PN 16
Shaft sealing:	radial seal rings or mechanical seal
Flange connection:	DIN EN 1092-2 PN 16 / 25 ¹⁾
Direction of rotation:	clockwise, when looking at the pump from the drive end

APPLICATION

Volute pumps of the series ZTN have been specially developed for handling of mineral and synthetic heat transfer oils. The pumps may be used in installations with positive or negative suction pressure.

Especially to be emphasised is the application in plants of:

The chemical industry:

heating of agitators, reactors, drying plants, polymerisation plants, plants for conveying high-viscous products and producing plastic materials and synthetic fibres.

The rubber and plastic industry:

heating of calendars, melting pots, power presses for plastics, automatic injection moulding machines, production of PVC adhesive tape.

The food industry:

heating of baking and fish-frying ovens, distillation of fatty acids and glycerine, fat softening plants, production of potato chips and milk powder.

The paper industry and laundries:

calendar rolls, production of corrugated cardboard, heating of washing machines, mangles and dryers.

DESIGN

Horizontal, single-stage volute pumps with the dimensions and nominal ratings to 24255/EN 733 in back pull out design* which permits the removal of the complete bearing unit toward the drive end without removing the pump casing from the pipe work. If a spacer coupling is installed it is also unnecessary to disconnect the motor.

The programme comprises 38 pump sizes, but only three shaft assemblies are required owing to the unit construction system. Within each shaft assembly, shafts, shaft sealing, impeller fastenings, bearing bracket and bearing covers are interchangeable.

The DIN 4754 regulations are complied with.

Should heat carrier seepage occur from the shaft seal, it is ensured that the leakage will be drained off and collected completely.

¹⁾ from size 150315 to 200500

* due to additional sizes the performance range is increased to higher output rates.

133.65660.55.01 E



CONSTRUCTION

Casing pressure:

Maximal 16 bar from 0 °C to 120 °C
Maximal 13 bar from 120 °C to 300 °C
Maximal 10 bar from 300 °C to 350 °C
Intermediate values can be obtained by interpolation.

Please note:

Technical rules and safety regulations.

Max. Casing pressure = Inlet pressure + zero head

Admissible inlet pressure (system pressure) = 5 bar when using shaft sealing 002.

Admissible inlet pressure = admissible casing pressure when using shaft sealing GBC.

Flange location:

Axial suction flange, discharge flange radially upwards.

Flanges:

The flanges comply with DIN EN1092-2/PN 16, resp. PN 25. Flanges drilled to according to ANSI (previous ASA) 150 can be supplied.

Hydraulic:

Designation of this construction type: A, B, D

Bearing:

One grease-lubricated grooved ball bearing resp. 2 inclined ball bearings (the first grease filling is made in the factory) and one internal liquid flushed sleeve bearing.
Designation of this construction type: A

Direction of rotation:

Clockwise, when looking at the pump from the drive end.

Shaft sealing:

Code 002: several radial shaft seal rings arranged in series; uncooled

Code GBC: unbalanced bellows mechanical seal seal face materials cast chromium steel/carbon elastomer FPM (Viton)

PUMP TECHNOLOGY ZTN P II44
08/2015

Material design:

ITEM	COMPONENTS	MATERIAL						EXECUTION	
		EN mat.-number	EN mat.-denomination	DIN mat.-number	DIN mat.-denomination	US denomination		1B	2B (1)
						ASTM Standard	AISI		
10.20	Volute casing	EN-JS 1025	EN-GJS-400-18-LT	0.7043	GGG-40.3	A 395		X	
		1.0619	GP 240 GH	1.0619	GS-C 25	A 216 Gr WCB			X
16.10	Casing cover	EN-JS 1025	EN-GJS-400-18-LT	0.7043	GGG-40.3	A 395		X	
		1.0619	GP 240 GH	1.0619	GS-C 25	A 216 Gr WCB			X
21.00	Shaft	1. 1191	C 45 E	1.1191	Ck 45 K + N	A 576 Gr 1045	1045	X	X
		1.4021	X 20 Cr 13	1.4021	X 20 Cr 13	A 276 Type 420	420	X (2)	X
23.00	Impeller								
33.00	Bearing bracket	EN-JL 1040	EN-GJL 250	0.6025	GG-25	A 278 Class 30		X	X
36.00	Bearing cover								
42.13	Radial seal rings	FPM (Viton)						X	X
43.30	Mechanical seal	chrome cast / carbon FPM (Viton)						X	X
44.10	Casing for mech. seal	1. 1191	C 45 E	1.1191	Ck 45 K + N	A 576 Gr 1045	1045	X	X
44.11	Seal of the shaft casing								
54.51	Sleeve bearing	carbon						X	X

(1) For sizes 200400 and 200500.

(2) For sizes 150315, 150400, 150500, 200250 and 200315.

Casing gasket:

The casing is sealed by flat gaskets of graphite. Designation of this construction type: 2

Motor power:

Using commercial electric motors, type of construction IM B3.

To determine the drive power we recommend the following safety margin:

Up to 4 kW: 25% 4 to 7,5 kW: 20% above 7,5 kW: 15%

The following maximum speeds are to be observed:

max. speed n = 3600 rpm	size		max. speed n = 3000 rpm	size		max. speed n = 1800 rpm	size		max. speed n = 1500 rpm	size	
t = 120 °C	032125	050200	t = 120 °C	032250	040250	t = 120 °C	040315	150315	t = 120 °C	150500	
	032160	065125		040250	050315		150400	200315			
	032200	065160		050250	065315		200250	200400			
	040125	065200		065250	080315			200500			
	040160	080160		080250	100315						
	040200	080200		100250	125250						
	050125	100160		125200	150200						
050160	100200	150250	150250								
t = 350 °C	032125	050200	t = 350 °C	032250	040250	t = 350 °C	040315	150250	t = 350 °C	150315	
	032160	065125		040250	050315		150400	150400			
	032200	065160		050250	065315			150500			
	040125	080200		065200	080315			200250			
	040160	100160		065250	100315			200315			
	040200			080160	125200			200400			
	050125			080250	125250			200500			
050160		100200	150200								
		100250	150250								

The maximum speeds result from the permissible peripheral speeds of the impellers or from the shaft load admissible at higher temperatures, respectively.

Bearing bracket / pump size:

Bracket 25	032125 032160 032200 032250 040125 040160 040200 040250 050125 050160 050200 050250 065125 065160 065200 080160
Bracket 35	040315 050315 065250 065315 080200 080250 080315 100160 100200 100250 100315 125200 125250 150200 150250
Bracket 45	150315 150400 150500 200250 200315 200400 200500

General remarks:

For horizontal volute pumps CLOSE COUPLED construction with STANDARD motor for nominal performances and flange connections as per EN 733 refer to our series ZTK.

For INLINE pumps with the same drive unit, consisting of bearing bracket with bearing, stub shaft and mechanical seal, casing cover, impeller and impeller nut, refer to our series ZTI.

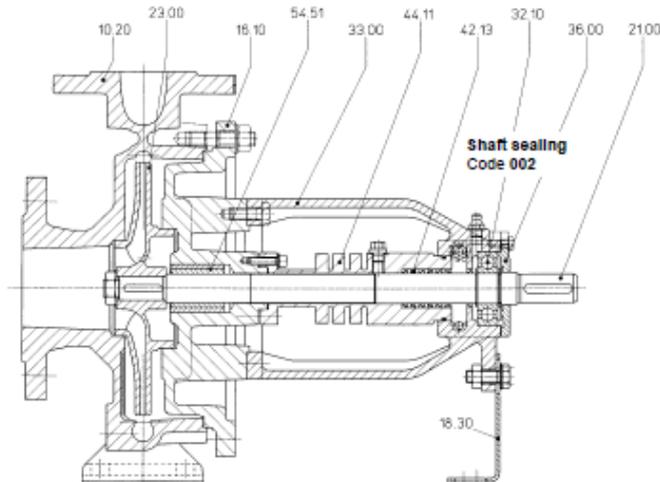
For equipping hot media systems a complete programme is available for a flow range between 1-600 m³/h consisting of the range:

- ZEN volute pumps to EN 22858, t_{max} 230 °C PN 40. Hot water design.
- ZDN volute pumps to EN 22858, t_{max} 207 °C PN 25. Hot water design.
- ZHN volute pumps to EN 733, t_{max} 180 °C PN 16. Hot water design.
- ZLI volute pumps to EN 733 as INLINE construction, t_{max} 150 °C PN 25. Hot water design.

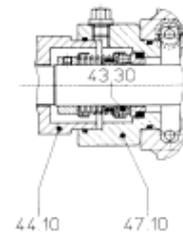
Technical documentation on these programmes will readily be supplied on request.

SECTIONAL DRAWING AND NOMENCLATURE

ZTN 032125 ... 150250

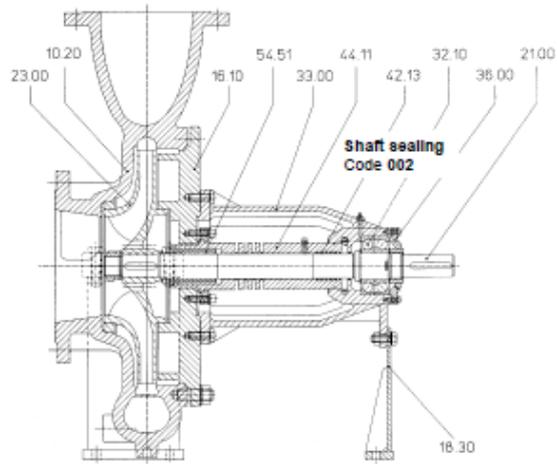


Shaft sealing
Code GBC

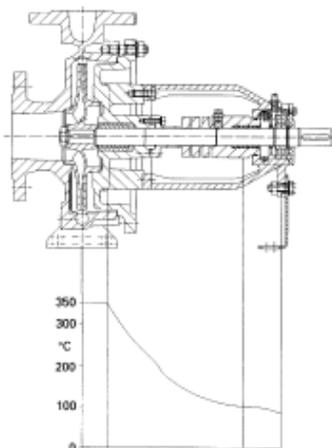


- 10.20 volute casing
- 16.10 casing cover
- 18.30 supporting foot
- 21.00 shaft
- 23.00 Impeller
- 32.10 grooved ball bearing
- 33.00 bearing bracket
- 36.00 bearing cover
- 42.13 radial seal ring
- 43.30 mechanical seal
- 44.10 shaft seal casing
- 44.11 shaft seal casing
- 47.10 sealing cover
- 54.51 sleeve bearing

ZTN 150315 ... 200500



Heat barrier / shaft sealing / bearing

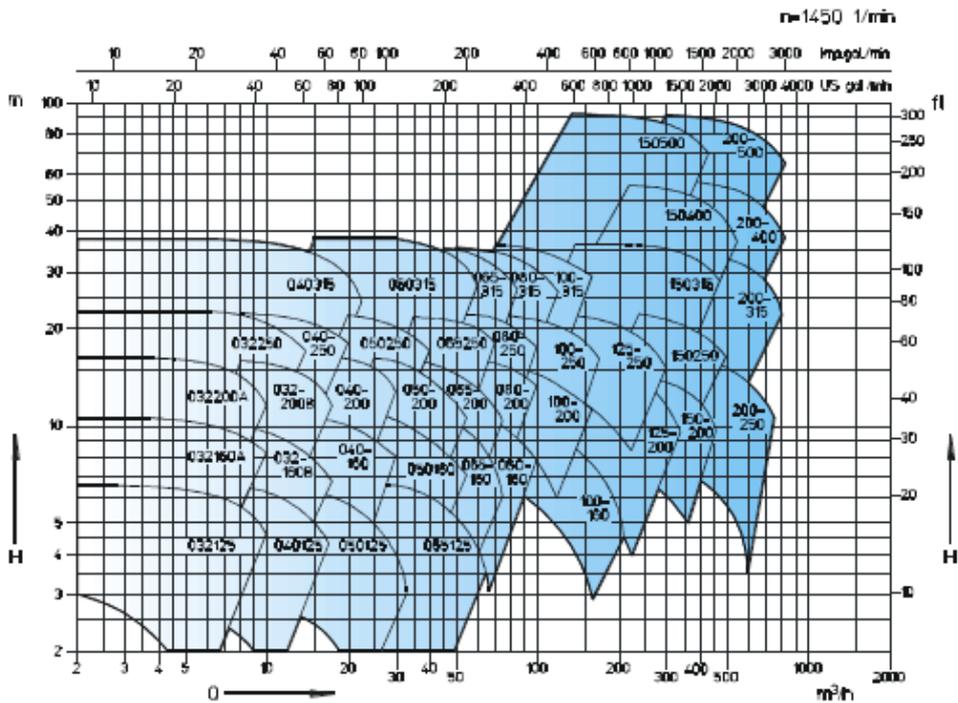
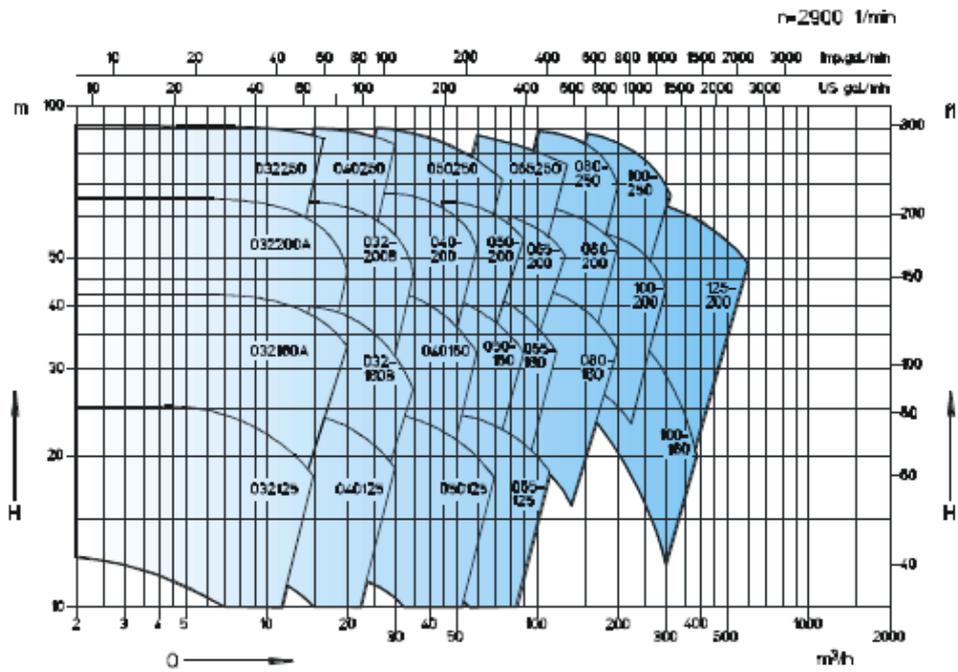


Heat transfer installations have achieved a high level of technical development. Consequently the requirements on pumps handling heat transfer oils have increased regarding operating safety, environmental protection, maintenance and operating costs. The Sterling SIHI ZTN pump, based on many years of experience and on the latest technical know-how, fully complies with these requirements.

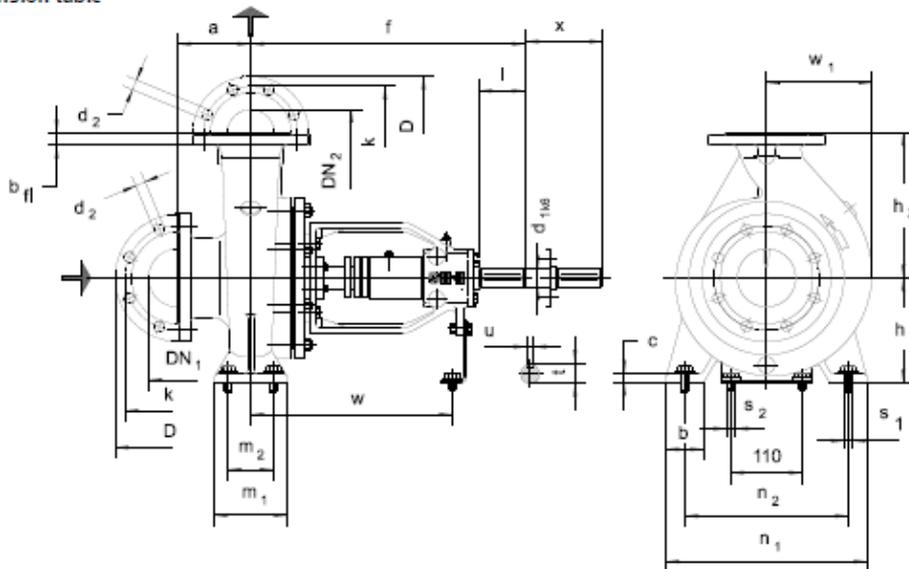
By the heat barrier with integrated throttle gap, located behind the cover, a favourable drop in temperature toward the drive side is achieved (see opposite drawing). Heat losses at the product side are effectively prevented (saving of energy). The reduced temperature allows the use of simple, uncooled type of shaft sealing. As the lubricating properties of heat transfer oils for antifriction bearings are not specially good, a liquid flushed sleeve bearing has been fitted at the Impeller side and an antifriction bearing, not in contact with the heat carrier, has been fitted behind the shaft sealing. By this arrangement noiseless operation and long working life have been achieved.

Performance graph

50 Hz



Dimension table

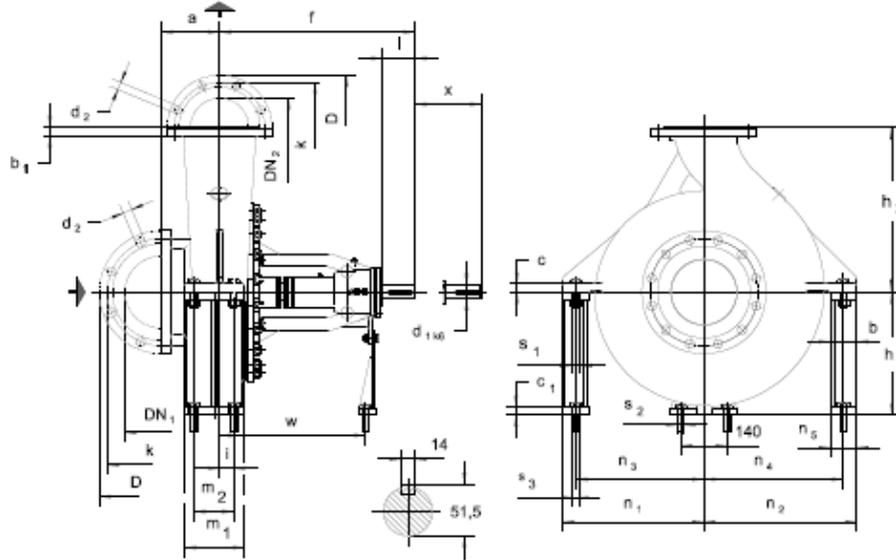


All dimensions in mm.

size	DN ₂	DN ₁	a	b	c	f	h ₁	h ₂	m ₁	m ₂	n ₁	n ₂	s ₁	s ₂	w	w ₁	x	d ₁	l	t	u						
032125	32	50	80	50	15	360	112	140	100	70	190	140	M12		267	105											
032160							132	160															240	190	120		
032200							160	180															265	212	127		
032250 ¹⁾							180	225															320	250	160		
040125	40	50	80	50	15	360	112	140	100	70	210	160	M12		267	108											
040160							132	160															240	190	128		
040200							160	180															265	212	140		
040250							180	225															320	250	164		
040315 ¹⁾	125	65	18	470	225	250	125	95	345	280	340	204	32	80	35	10											
050125	50	65	100	50	15	360	132	160	100	70	240	190	M12		267	120	100										
050160							180	180															265	212	130		
050200							160	200															320	250	150		
050250							180	225															320	250	169		
050315 ¹⁾	125	65	17	470	225	280			345	280	340	210	32	80	35	10											
065125	65	80	100	65	15	360	160	180	125	95	280	212	M12		267	140											
065160							180	200															320	250	147		
065200							180	225															320	250	166		
065250							200	250															360	280	183		
065315 ¹⁾	80	18	470	225	280	160	120	400	315	340	220	32	80	35	10												
080160	80	100	125	65	15	360	180	225	125	95	320	250	M12		267	165											
080200							200	250															345	280	180		
080250							200	280																	200		
080315 ¹⁾							250	315															400	315	235		
100160 ¹⁾	100	125	80	18	470	200	280	160	120	360	280	M16		340	140												
100200																							200	280	360	280	202
100250																							225				212
100315 ¹⁾																							250	315	400	315	242
125200 ¹⁾	125	150	140			250	315			400	315	M16		340	140												
125250																							355				236
150200 ¹⁾	150	200	160	100	20	280	400	200	150	550	450	M20		274	190												
150250 ¹⁾																							500	400			170

¹⁾ Transnom pump sizes, not included in DIN 24255/ EN 733. Flanges drilled according to ANSI 150 can be supplied.
 * Slots suitable for bolts with dimensions indicated. Bolts are not included in the bare shaft pump standard scope of supply.

Dimension table



All dimensions in mm.

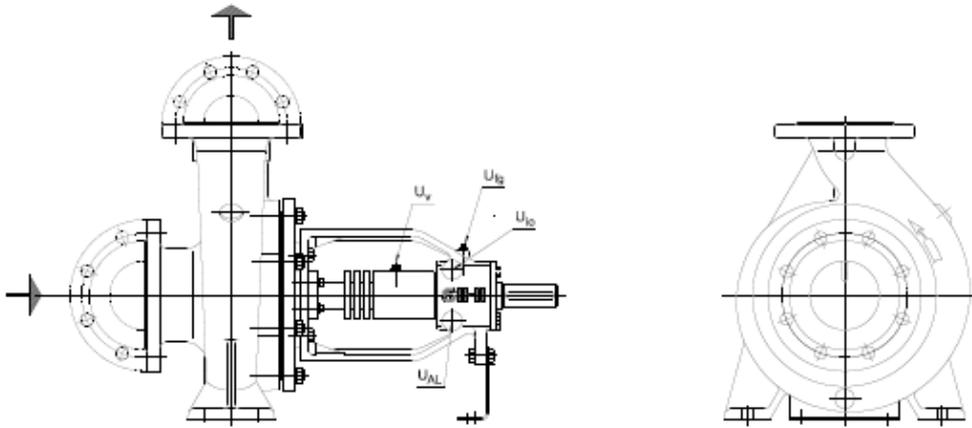
size	DN ₂	DN ₁	a	f	h ₁	h ₂	m ₁	m ₂	l	l	x	d ₁	w	c	c ₁	s ₁	s ₂ *	s ₃ *	n ₁	n ₂	n ₃	n ₄	D, n ₅
150315 ¹⁾	150	200	180	670	315	400	160	100	35	110	180	48	500	25	23	M20	M12	M20	320	360	290	330	80
150400 ¹⁾					355	450	380	420											340	380			
150500 ¹⁾					400	500	425	460											385	420			
200250 ¹⁾	200	250	200	670	335	425	180	120	45	110	180	48	500	25	23	M20	M12	M20	340	410	300	370	80
200315 ¹⁾					355	450	360	420											320	380			
200400 ¹⁾					375	500	400	480											360	440			
200500 ¹⁾	425	560	220	160	50	475	575	425	525	100													

¹⁾ Transnom pump sizes, not included in DIN 24255/ EN 733. Flanges drilled according to ANSI 150 can be supplied.

* Slots suitable for bolts with dimensions indicated. Bolts are not included in the bare shaft pump standard scope of supply.

Flange connection according to DIN EN 1092-2 PN 16 Execution material 1B	DIN EN 1092-2 PN 25													
	Execution material 1B					Execution material 2B								
DN ₂ /DN ₁	32	40	50	65	80	100	125	150	200	150	200	250	200	250
D	140	150	165	185	200	220	250	285	340	300	360	425	360	425
k	100	110	125	145	160	180	210	240	295	250	310	370	310	370
bx	18	19	19	19	19	19	19	19	20	20	22	24,5	30	32
Tolerances										+4,5		+1,5		
										-4,0		-1,5		
d ₁ x number	19x4	19x4	19x4	19x4	19x8	19x8	19x8	23x8	23x12	28x8	28x12	31x12	26x12	30x12

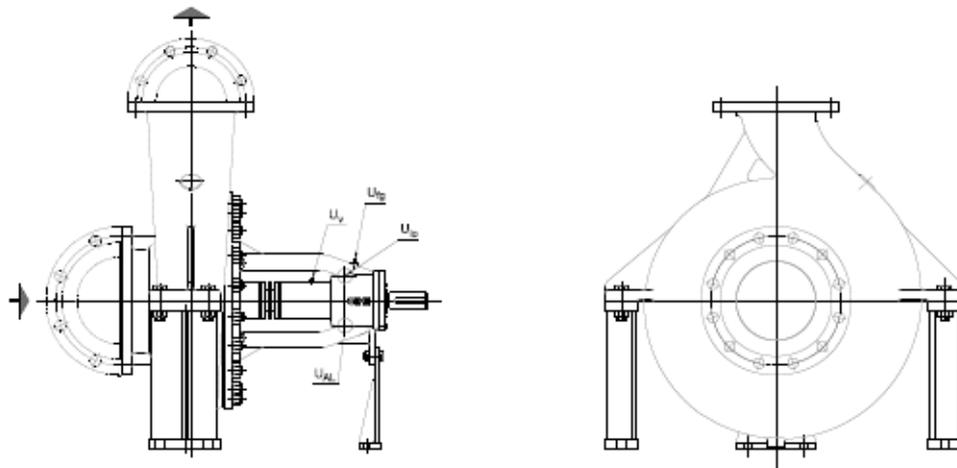
Connections for bearing brackets 25 and 35



U_{lg} : Grease filling connection.
 U_{lo} : Sealing liquid connection.
 U_{AL} : Drainage for leakage.
 U_v : Vent connection

Size	U _{lg}	U _v	U _{lo}	U _{AL}
032125				
032160				
032200				
032250				
040125				
040160				
040200				
040250				
040315				
050125				
050160				
050200				
050250				
050315				
065125				
065160	G 1/8	G 1/8	G 1/4	G 1/4
065200				
065250				
065315				
080160				
080200				
080250				
080315				
100160				
100200				
100250				
100315				
125200				
125250				
150200				
150250				

Connections for bearing bracket 45

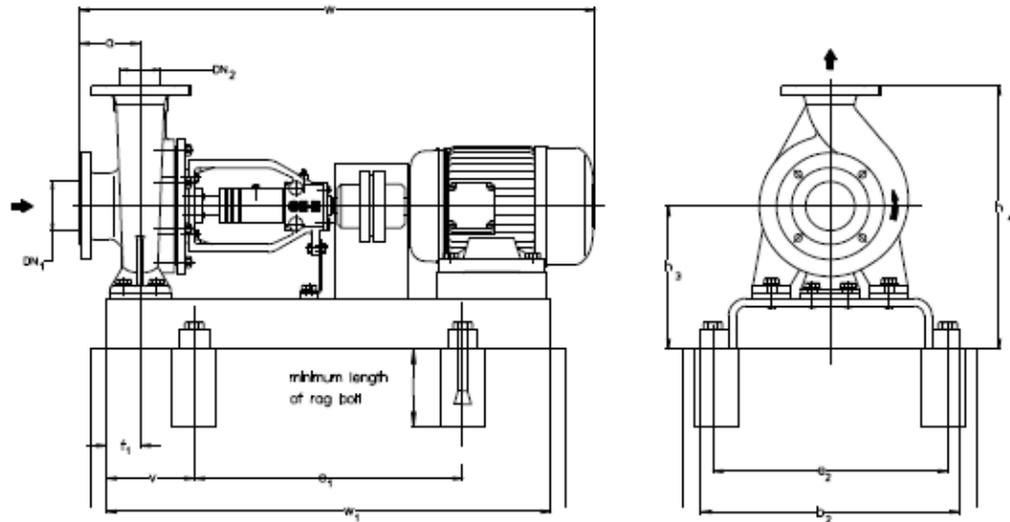


U_g : Grease filling connection.
 U_s : Sealing liquid connection.
 U_{AL} : Drainage for leakage.
 U_v : Vent connection.

Size	U _g	U _v	U _s	U _{AL}
150315				
150400				
150500				
200250	G 1/8	G 1/8	G 1/4	G 1/4
200315				
200400				
200500				

Foundation plan

n = 1450 rpm



Dimensions in mm.

Dimensional tolerances admissible (base plates) for welded parts according to DIN 8570 B

size	motor		base plate No.	coupling	pump	weight		DN ₂	DN ₁	a	b ₂	e ₁	e ₂	v	f ₁	h ₃	h ₄	w*	w ₁	rag bolt DIN 934
	size	kW				kg	Unit kg													
032125	71	0.25	8008	B08	32	51	32	50	80	297	400	285	120	80	152	202	682	640	M12x100	
	71	0.37				52														
032160	71	0.37	S270	B88	41	59	40	65	80	380	420	320	115	80	197	357	716	650	M16x200	
	80	0.55				72														
032200	80	0.55	S301	B88	39	70	50	65	100	390	480	350	125	80	225	405	774	730	M20x400	
	80	0.75				78														
032250	90L	1.50	S383	B80	52	80	50	65	100	490	600	440	160	75	280	485	736	920	M20x400	
	80	0.75				103														
	90B	1.10				106														
	90L	1.50				108														
040125	71	0.25	S270	B88	34	61	40	65	80	380	420	320	115	80	177	317	682	650	M16x200	
	71	0.37				62														
040160	80	0.55	S301	B88	39	65	50	65	100	390	480	350	125	80	197	357	716	730	M20x400	
	71	0.37				69														
040200	80	0.55	S383	B80	43	79	50	65	125	490	600	440	160	75	280	485	736	920	M20x400	
	80	0.75				82														
040250	90L	1.50	S434	B95	57	84	50	65	125	540	680	490	170	75	305	555	704	1000	M20x400	
	90B	1.10				111														
	90L	1.50				113														
	100L	2.20				123														
040315	100L	3.00	S434	B95	87	153	50	65	125	540	680	490	170	75	305	555	970	1000	M20x400	
	100L	3.00				154														
050125	112M	4.00	S434	B95	90	199	50	65	125	540	680	490	170	75	305	585	1067	1000	M20x400	
	132S	5.50				199														
050160	71	0.37	S270	B88	35	63	50	65	100	380	420	320	115	80	197	357	736	650	M16x200	
	80	0.55				67														
050200	80	0.55	S301	B88	44	80	50	65	100	390	480	350	125	80	225	405	736	730	M20x400	
	80	0.75				83														
050250	90B	1.10	S383	B80	43	82	50	65	125	490	600	440	160	75	280	485	736	920	M20x400	
	90L	1.50				84														
	100L	2.20				94														
	90L	1.50				113														
050315	100L	2.20	S434	B95	57	123	50	65	125	540	680	490	170	75	305	585	794	1000	M20x400	
	100L	3.00				124														
050315	112M	4.00	S434	B95	90	157	50	65	125	540	680	490	170	75	305	585	991	1000	M20x400	
	132S	5.50				202														
050315	132M	7.50	S434	B95	90	205	50	65	125	540	680	490	170	75	305	585	1093	1000	M20x400	
	132M	7.50				205														

Foundation plan

n = 1450 rpm

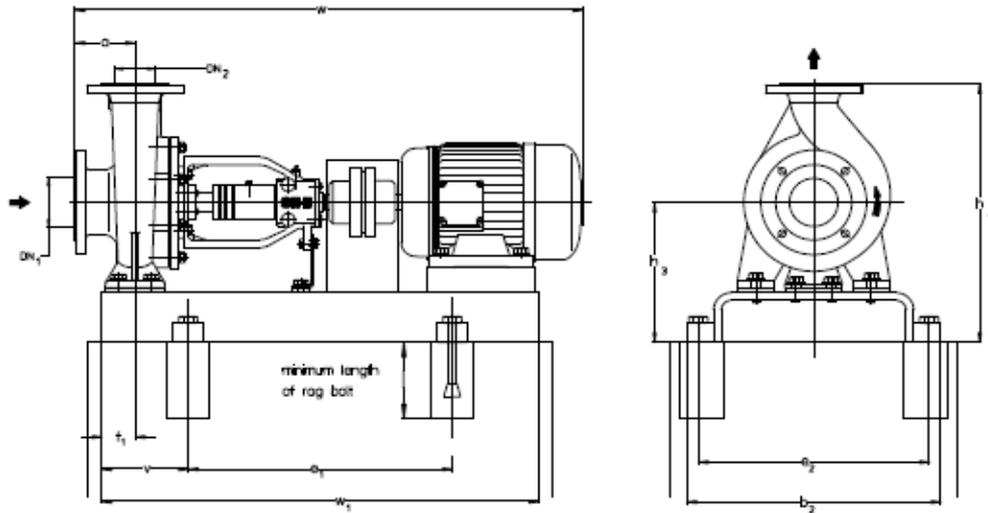
size	motor size	motor kW	base plate No.	coupling **	pump kg	Unit kg	DNb	DNi	a	bz	ez	ez	v	fs	hs	hx	w*	wn	req bolt DIN 520	
065125	80	0.55	S342	B88	39	83	65	80	100	450	540	400	140	80	240	420	736	820	M20x400	
	80	0.75				86											794			
	90S	1.10				89											736			
065160	80	0.75	S383	B80	45	94	80	100	450	540	400	140	80	240	440	704	820	M20x400		
	90S	1.10				92										704				
	90L	1.50				94										704				
065200	100L	2.20	S434	B80	48	105	80	100	490	600	440	160	75	280	485	835	920	M24x400		
	90S	1.10				102										835				
	90L	1.50				104										835				
065250	100L	2.20	S434	B80	78	114	80	100	540	680	480	170	90	280	530	945	1000	M24x400		
	112M	4.00				115										945				
	100L	2.20				162										945				
065315	132M	5.50	S488	B05	94	190	80	125	610	840	550	205	325	605	805	1042	1250	M24x400		
	132S	5.50				231										1042				
	132M	7.50				234										1042				
080160	150M	11.00	S383	B110	94	250	80	100	610	840	550	205	325	605	805	1087	1250	M24x400		
	160L	15.00				280										1087				
	80	0.75				102										781				
080200	90S	1.10	S383	B88	51	105	80	100	490	600	440	160	75	280	485	819	920	M20x400		
	90L	1.50				107										819				
	100L	2.20				118										819				
080250	100L	3.00	S434	B05	71	127	80	100	490	600	440	160	75	280	510	880	1000	M24x400		
	90L	1.50				137										880				
	100L	2.20				138										880				
080315	100L	3.00	S488	B80	84	183	80	125	610	840	550	205	300	580	865	970	1250	M24x400		
	112M	4.00				192										970				
	132S	5.50				193										970				
100160	132S	5.50	S434	B05	104	221	80	125	540	680	480	170	90	280	560	1067	1000	M20x400		
	100L	2.20				224										1067				
	100L	3.00				241										1067				
100200	132M	7.50	S488	B110	104	244	80	125	540	680	480	170	90	280	560	1093	1000	M20x400		
	132S	5.50				260										1093				
	132M	7.50				260										1093				
100250	160M	11.00	S488	B110	106	290	80	125	610	840	550	205	325	605	805	1185	1250	M24x400		
	160L	15.00				320										1185				
	100L	2.20				163										1185				
100315	100L	3.00	S434	B80	80	164	80	125	540	680	480	170	90	280	560	971	1000	M20x400		
	112M	4.00				192										971				
	132S	5.50				192										971				
125200	132S	5.50	S488	B05	80	228	80	125	610	840	550	205	325	605	805	1082	1250	M24x400		
	132M	7.50				229										1082				
	160M	11.00				245										1082				
125250	160M	11.00	S488	B110	106	262	80	125	610	840	550	205	325	605	805	1108	1250	M24x400		
	160L	15.00				292										1108				
	160M	18.50				304										1108				
150200	160L	15.00	S805	B110	102	320	80	150	140	610	840	550	205	350	665	1282	1250	M24x400		
	160M	18.50				342										1282				
	160L	22.00				358										1282				
150250	180L	22.00	S806	B125	109	385	80	150	180	730	840	670	110	380	780	1324	1250	M24x400		
	200L	30.00				395										1324				
	180M	18.50				330										1324				
150315	180L	22.00	S806	B125	134	377	80	150	180	730	840	670	110	380	780	1344	1250	M24x400		
	200L	30.00				421										1344				
	225S	37.00				487										1344				
200400	225M	45.00	S806	B140	134	487	80	150	180	730	840	670	110	380	780	1402	1250	M24x400		
	200L	30.00				487										1402				
	225M	45.00				487										1402				
150315																				
150400																				
150500																				
200250																				
200315																				
200400																				
200500																				

Foundation plans with base plates and fittings on request

* Motor protection type IP 55, dimensions depend on the motor manufacturer. Some sizes are not corresponding to the drawing in small details. Foundation plan for 60 Hz on request.

Foundation plan

n = 2900 rpm



Dimensions in mm.

Dimensional tolerances admissible (base plates) for welded parts according to DIN 8570 B

size	motor size	KW	base plate No.	coupling **	pump weight kg	Unit kg	DN ₂	DN ₁	a	b ₂	e ₁	e ₂	v	f ₁	f ₂	f ₃	w*	w ₁	rag bolt DIN 929
032125	71	0.55	8008	B88	32	52	32	50	80	297	400	265	120	60	152	292	882	840	M12x100
	80	0.75				55											718		
	80	1.10				67											774		
	90L	1.50				69											774		
032160	80	1.10	8270	B80	41	72	32	50	80	360	420	320	115	60	197	357	718	730	M16x200
	90L	1.50				80											774		
	90L	2.20				82											815		
	100L	3.00				92											836		
032200	112M	4.00	8342	B95	39	93	32	50	100	450	540	400	140	60	212	372	895	820	M20x400
	132S	5.50				130											912		
	132S	7.50				80											774		
	90L	2.20				90											815		
032250	100L	3.00	8301	B80	39	91	32	50	100	390	480	350	125	60	225	405	774	730	M16x200
	112M	4.00				128											836		
	132S	5.50				147											912		
	132S	7.50				175											1088		
032250	132S	7.50	8383	B95	52	167	32	50	100	490	600	440	160	75	260	485	1150	920	M20x400
	160M	11.00				175											1020		
	160M	15.00				148											932		
	160M	15.00				167											1050		
040125	80	1.10	8270	B88	34	65	32	40	85	360	420	320	115	60	177	317	718	850	M16x200
	90L	1.50				70											774		
	90L	2.20				71											815		
	100L	3.00				82											836		
040180	90L	1.50	8301	B80	39	78	32	40	85	390	480	350	125	60	197	357	778	730	M16x200
	90L	2.20				80											815		
	100L	3.00				90											836		
	112M	4.00				91											836		
040200	132S	5.50	8342	B95	43	128	32	40	85	450	540	400	140	60	212	372	912	820	M20x400
	132S	7.50				138											1030		
	160M	11.00				159											1030		
	160M	15.00				153											1030		
040250	100L	3.00	8301	B80	43	94	32	40	85	390	480	350	125	60	225	405	817	730	M16x200
	112M	4.00				95											858		
	132S	5.50				132											932		
	132S	7.50				158											1050		
040250	160M	15.00	8383	B95	57	153	32	40	85	490	600	440	160	75	260	485	932	920	M20x400
	160M	11.00				172											1050		
	160M	15.00				218											1112		
	160L	18.50				218											1000		

Foundation plan

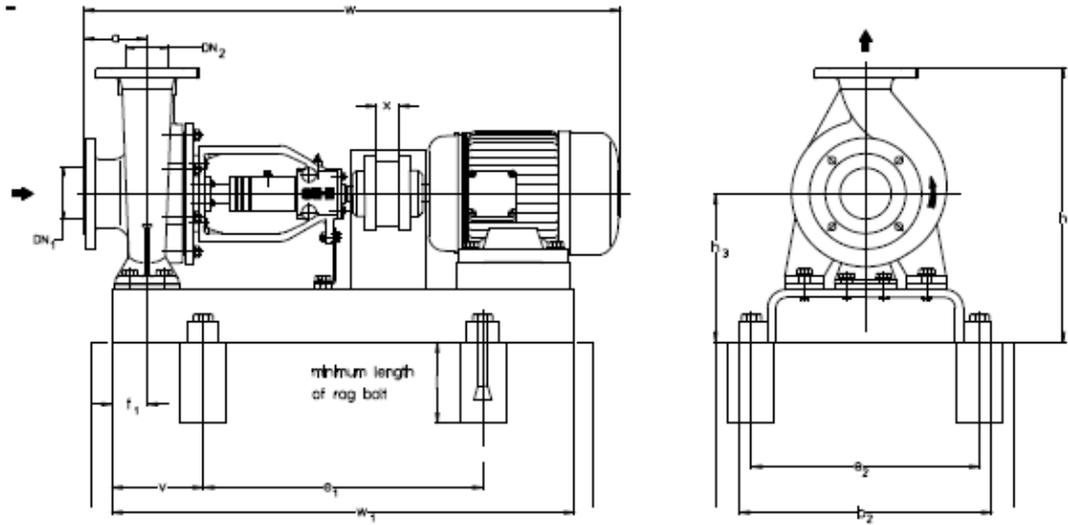
n = 2900 rpm

size	motor size	motor kW	base plate No.	coupling **	pump weight kg	unit weight kg	DN ₂	DN ₁	a	b ₂	e ₁	e ₂	v	f ₁	h ₂	h ₄	w*	w ₁	rag bolt DIN 5298				
050125	90S	1.50	8301	888	35	74	50	85	100	390	480	350	125	60	197	357	794	730	M16x200				
	90L	2.20				76														85			
	100L	3.00	86																				
	112M	4.00	87																				
	132S	5.50	8342	895		124														85	820	M20x400	
90L	2.20	8301	880	44	85	50				85	100	390	480	350	125	60	225	405	835	730	M16x200		
100L	3.00				95																	85	
112M	4.00	96																					
132S	5.50	133																					
160M	11.00	8383	159		85																	820	M20x400
100L	3.00	8301	880	43	94		50	85	100			390	480	350	125	60	225	425	858	730	M16x200		
112M	4.00				95																	85	
132S	5.50	132																					
132S	7.50	158																					
160M	11.00	8383	163		85																	920	
160M	15.00	8344	163	85	1020																		
160M	11.00	8383	895	57	172	50				85	100	490	800	440	160	75	280	485	1112	920	M20x400		
160M	15.00				229																	85	
180M	22.00	216																					
180M	15.00	229																					
180M	15.00	8383	206		85		1000																
180M	22.00	B110	216	85	1140																		
200L	30.00	B436	B125	206	1140																		
065125	100L	3.00	8342	880	39		99	65	80			100	450	540	400	140	60	240	420	856	820	M20x400	
	112M	4.00					100																85
	132S	5.50					128																
	132S	7.50				134																	
	132S	5.50				895	45			160	85												920
132S	7.50	160																					
160M	11.00	8383	895	48	163	65	80			100	400		800	440	160	75	280	485	1112	1000	M20x400		
160M	15.00				207																	85	
160M	11.00	229																					
160M	15.00	287																					
180L	18.50	B434	B110		244			85	1140														
180M	22.00	B125	B125	244	85			1220															
180L	18.50	B435	B110	257	85			1294															
180M	22.00	B110	B110	257	85			1342															
200L	30.00	B436	B125	324	85			1270															
200L	37.00	B436	B125	401	85			1250															
225M	45.00	B486	B125	401	85	1250																	
080160	132S	7.50	8383	895	51	147	80	100	125	490	800	440	160	75	280	485	1075	920	M20x400				
	160M	11.00				166														85			
	160M	15.00				210																	
	160L	18.50				223																	
	160M	22.00				B434														B110	202	85	1190
160M	15.00	8435	895	71	237	80				100	125	540	740	400	200	75	280	510	1247	1140	M20x400		
160L	18.50				250																	85	
180M	22.00	317																					
200L	30.00	317																					
200L	37.00	B436	B125		317																	85	1367
160M	22.00	8486	895	84	282		80	100	125			610	840	550	205	90	300	580	1367	1250	M24x400		
200L	30.00				342																	85	
200L	37.00	407																					
225M	45.00	407																					
250M	55.00	B607	B140		629																	85	1527
250M	55.00	B607	B140	629	85	1400																	
100160	160L	18.50	8435	895	80	246				100	125	140	740	840	400	200	90	280	560	1367	1270	M20x400	
	180M	22.00				259																	85
	200L	30.00	326																				
	200L	37.00	326																				
	160L	18.50	8435	895		79	245	100	125														140
180M	22.00	258			85																		
200L	30.00	325																					
200L	37.00	402																					
225M	45.00	B436	B125	402	85		1367																
200L	30.00	8486	895	89	347	100	125						140	610	840	550	205	90	325	605	1382	1250	
200L	37.00				412					85													
225M	45.00	834																					
250M	55.00	834																					
280S	75.00	8609A	B160		903					85	1542												
280M	90.00	8609A	B160	953	85			1400															
125200	250M	55.00	8607	B140	102			847	125	150	140	730		940	670	230	90	350	665	1542	1400	M24x400	
	280S	75.00						916															85
	280M	90.00	966																				
250M	55.00	8607	B140	102	847			125				150		140	744	1200	696	300	90	380	660	1542	1800
280S	75.00				916	85																	
280M	90.00	966																					

* Motor protection type IP 55, dimensions depend on the motor manufacturer.
Some sizes are not corresponding to the drawing in small details.
Foundation plan for 60 Hz on request

Foundation plan for units with spacer type coupling

n = 1450 rpm



Dimensions in mm.
Dimensional tolerances admissible (base plates) for welded parts according to DIN 8570 B

size	motor size	motor kW	base-plate No.	coupling	pump kg	weight unit kg	DN _s	DN _n	a	b ₂	e ₁	e ₂	v	f ₁	h ₂	h ₃	x	w ^a	w _n	rag bolt DIN 529							
032125	71	0.25	8241	H80	32	83	32	50	80	330	480	290	125	80	177	317	100	780	730	M16x200							
	71	0.37				8301				76	390	350	197		357												
032160	80	0.55	8272		39	78			39	50	80	360	540	320	140	80		225	405		814	820	M20x400				
	80	0.75			8301	81						83	834	920													
032200	90S	1.10	8383		52	105			52	50	100	490	600	440	160	75		260	485		872	834	920	M20x400			
	90L	1.50			108	110						933															
032250	100L	2.20	8383		57	125			57	50	100	490	600	440	160	75		260	485	892	933	920	M20x400				
	100L	3.00			171	172						1068	1000														
040125	71	0.25	8241		H80	34			65	40	65	80	330	480	290	125		80	177	317	100	780	730	M16x200			
	71	0.37							8301				73	390	350	140			780	730							
040160	80	0.55	8272			39			78			39	65	80	360	540		320	140	80		197	357		814	820	M20x400
	80	0.75				8301			81						83	872		920									
040200	90S	1.10	8342	43		89	43	65	100			450	540	400	140	80	240	420	834	820		M20x400					
	90L	1.50		92		94						892	920														
040250	100L	2.20	8383	57		113	57	65	100			490	600	440	160	75	260	485	902	933		920	M20x400				
	100L	3.00		115		125						1068	1000														
040315	112M	4.00	8434	87		171	87	65	125			540	660	490	170	75	305	555	1068	1000		M20x400					
	132S	5.50		172		207						1068	1140														
050125	71	0.37	8301	H80		35	70	50	65			100	390	480	350	125	80	197	357	100		800	730	M16x200			
	80	0.55					8272						74	360	320	834		820									
050160	80	0.75	8342		44	90	44			65	100	450	540	400	140	80	240	420	892		820	M20x400					
	90S	1.10			89	89						834	920														
050200	90L	1.50	8383		43	92	43			65	100	490	600	440	160	75	260	485	892		920	M20x400					
	100L	2.20			94	104						892	920														
050250	100L	3.00	8383		57	115	57			65	125	490	600	440	160	75	260	485	933		920	M20x400					
	112M	4.00			126	126						933	920														
050315	112M	4.00	8434		90	175	90			65	125	540	660	490	170	75	305	585	1068		1000	M20x400					
	132S	5.50			175	210						1068	1140														
050315	132M	7.50	8435		90	213	90			65	125	540	740	490	200	75	305	585	1165		1140	M20x400					
	132M	7.50			213	213						1165	1140														

Foundation plan for units with spacer type coupling

n = 1450 rpm

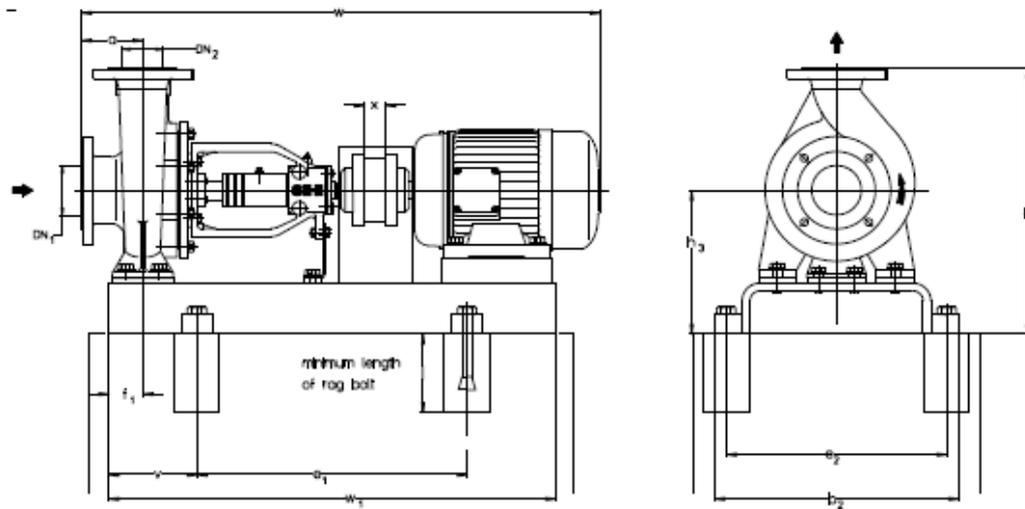
size	motor size	motor kW	base plate No.	coupling	weight pump kg	weight unit kg	DNb	DNh	a	bo	en	eo	v	fb	fs	fu	x	w*	wn	tag bolt DIN 529	
065125	80	0.55	8342	H80	39	85	65	80	100	450	540	400	140	60	240	420	100	834	820	M20x400	
	80	0.75				88												832			
	90S	1.10				91												834			
065160	80	0.75	8342	H80	45	91	65	80	100	450	540	400	140	60	240	440	100	84	820	M20x400	
	90S	1.10				94												802			
	90L	1.50				96												933			
065200	100L	2.20	8383	H80	48	106	65	80	100	490	600	440	160	75	260	485	100	104	920	M20x400	
	90S	1.10				104												932			
	90L	1.50				106												973			
065250	100L	2.20	8434	H80	78	117	65	80	100	540	660	490	170	90	280	530	100	104	1000	M20x400	
	100L	3.00				162												1083			
	112M	4.00				163												1104			
065315	132S	5.50	8435	H95	94	198	65	80	100	610	840	550	205	90	325	605	140	1180	1250	M24x400	
	132S	5.50				233												1205			
	132M	7.50				236												1231			
080160	160M	11.00	8486	H110	104	252	65	80	100	610	840	550	205	90	325	605	140	1252	1250	M24x400	
	160L	15.00				252												1385			
	80	0.75				104												899			
080200	80S	1.10	8383	H80	51	107	65	80	100	490	600	440	160	75	260	485	100	899	920	M20x400	
	90L	1.50				107												957			
	100L	2.20				109												998			
080250	100L	3.00	8434	H80	71	144	65	80	100	540	660	490	170	90	280	510	100	1067	1000	M20x400	
	100L	1.50				155												1108			
	100L	3.00				156												1129			
080315	112M	4.00	8435	H95	91	191	65	80	100	610	840	550	205	90	300	580	140	1205	1140	M24x400	
	132S	5.50				194												1205			
	112M	4.00				195												1231			
100160	132S	5.50	8486	H95	84	229	65	80	100	610	840	550	205	90	350	665	140	1205	1250	M24x400	
	132M	7.50				226												1231			
	132S	5.50				243												1205			
100200	132M	7.50	8486	H95	104	246	65	80	100	610	840	550	205	90	350	665	140	1231	1250	M24x400	
	160M	11.00				252												1323			
	160L	15.00				252												1385			
100250	100L	2.20	8434	H80	80	184	65	80	100	540	660	490	170	90	280	560	140	1108	1000	M20x400	
	100L	3.00				165												1129			
	112M	4.00				165												1205			
100315	132S	5.50	8435	H95	89	200	65	80	100	610	840	550	205	90	325	605	140	1205	1140	M24x400	
	100L	2.20				183												1108			
	100L	3.00				184												1129			
125200	112M	4.00	8435	H95	89	200	65	80	100	610	840	550	205	90	325	605	140	1144	1250	M24x400	
	132S	5.50				228												1220			
	132M	7.50				231												1248			
125250	132M	7.50	8486	H95	102	244	65	80	100	610	840	550	205	90	350	665	140	1338	1250	M24x400	
	160M	11.00				247												1400			
	160L	15.00				254												1462			
150200	160M	11.00	8605	H95	102	260	65	80	100	610	840	550	205	90	350	665	140	1348	1400	M24x400	
	160L	15.00				260												1338			
	160L	15.00				290												1400			
150250	132M	7.50	8606	H110	109	251	65	80	100	610	840	550	205	90	350	665	140	1248	1250	M24x400	
	160M	11.00				257												1338			
	160L	15.00				297												1400			
150315	132M	7.50	8607	H125	134	279	65	80	100	610	840	550	205	90	380	780	140	1268	1400	M24x400	
	160M	11.00				306												1358			
	160L	15.00				337												1423			
150400	160L	15.00	8606	H110	134	349	65	80	100	610	840	550	205	90	380	780	140	1482	1250	M24x400	
	160L	15.00				351												1420			
	160L	15.00				363												1482			
200250	160L	15.00	8607	H125	134	392	65	80	100	610	840	550	205	90	380	780	140	1482	1400	M24x400	
	160L	15.00				392												1482			
	200L	30.00				436												1540			
150315																					
150400																					
150500																					
200250																					
200315																					
200400																					
200500																					

Foundation plans with base plates and fittings on request

* Motor protection type IP 55, dimensions depend on the motor manufacturer. Some sizes are not corresponding to the drawing in small details. Foundation plan for 60 Hz on request

Foundation plan for units with spacer type coupling

n = 2900 rpm



Dimensions in mm.
Dimensional tolerances admissible (base plates) for welded parts according to DIN 8570 B

size	motor size	motor kW	base plate No.	coupling **	weight pump kg	weight unit kg	DNb	DN1	a	b2	e1	e2	v	f1	fb	fb	x	w*	wn	rod bolt Din 529																
032125	71	0.55	S241	H80	32	64	32	50	80	330	480	290	125	80	177	317	100	780	730	M16x200																
	80	0.75				72				380	540	320	140					83	814		820															
	90L	1.50				75																872	820													
	90L	2.20				77																														
032160	80	1.10	S272	H80	41	80	32	50	80	380	540	320	140	80	197	357	100	814	820	M16x200																
	90L	1.50				83												872			820															
	90L	2.20				85																913	920													
	100L	3.00				95												934			920															
112M	4.00	96	993	920																																
132S	5.50	S303	H95		39	98	390	600	350	160	80	225	405	1010	920	1128	1020	M20x400																		
132S	7.50			127		380													540	320	140	83	913	820												
90L	2.20	S272	H80	39	83		390	600	350	160	80	240	420	1010	920	1128	1020	M20x400																		
100L	3.00				93	450													680	400	180	83	913	820												
112M	4.00	94	490	740	440		200	83	913	820																										
132S	5.50	S303				H95					39	127	490	600	440	160	80	240	420	1010	920	1128	1020	M20x400												
132S	7.50		158	540	680		490	170	75	260		485													100	1148	1000	1030	920	1190	1140	M20x400				
180M	11.00	S344	H95			52					203		540	680	490	170	75	260	485	100	1148	1000	1030	920									M20x400			
180M	15.00			149	80		540	680	490	170	75	260													485	100	1148	1000	1030	920	1190	1140		M20x400		
032250	180M	11.00	S434	H95		52							184	540	680	490	170	75	260	485	100	1148	1000	1030									920		M20x400	
180M	15.00	184																																		
040125	80	1.10	S272	H80	34	73	40	65	80	380	540	320	140	80	177	317	100	814	820	M16x200																
	90L	1.50				75												872			820															
	90L	2.20				78																913	920													
	100L	3.00				88																		872	820											
040160	90L	1.50	S272	H80	39	81	40	65	80	380	540	320	140	80	177	317	100	814	820	M16x200																
	90L	2.20				83												872			820															
	100L	3.00				93																913	920													
	112M	4.00				94																		872	820											
040160	132S	5.50	S303	H95	39	127	40	65	80	390	600	350	160	80	197	357	100	814	820	M16x200																
	132S	7.50				158												872			820															
	180M	11.00				S344																H95	52	162	450	680	400	180	80	240	420	1010	920	1128	1020	M20x400
	100L	3.00																						104												
112M	4.00	105	540	680	490	170	75	260	485	100	1148	1000	1030	920	1190	1140	M20x400																			
132S	5.50	S303																H95	43	131	390	600	350	160	80	225	405	1030	920	1128	1020	M20x400				
132S	7.50		160	450	680	400	180	80	240	420	1010	920	1128	1020	M20x400																					
180M	11.00	S344	H95													57	154	490	600	440	160	80	240	420	1030	920	1128	1020	M20x400							
180M	15.00			160	540	680	490	170	75	260	485	100	1148	1000	1030		920													1190	1140	M20x400				
040250	132S	7.50	S383	H95												57		189	490	740	440	200	80	240	420	1030	920	1128	1020				M20x400			
180M	11.00	189			540	680	490	170	75	260	485	100	1148	1000	1030		920	1190												1140	M20x400					
180M	15.00	S434	H95	57												219			490	740	440	200	80	240	420	1030	920	1128	1020			M20x400				
180L	18.50				219																															

Foundation plan for units with spacer type coupling

n = 2900 rpm

size	motor		base plate No.	coupling **	weight		DN ₂	DN ₁	a	b ₂	e ₁	e ₂	v	f ₁	h ₃	h ₄	x	w*	w ₁	reg bolt DIN 529								
050125	90S	1.50	8272	H80	35	77	50	85	100	360	540	320	140	60	197	357	100	892	820	M16x200								
	90L	2.20				79				361	600	325	160					182	342	933	920	M12x100						
	100L	3.00	89	390		600				350	180	197	367					954	920	M16x200								
	112M	4.00	90	450		540				400	140	240	420					892	820	M20x400								
050160	132S	5.50	8303	H95	44	123	65	80	100	390	600	350	160	75	225	405	100	1030	920	M16x200								
	90L	2.20				95				490	740	440	200					240	440	933	920	M20x400						
	100L	3.00	8342	H80		106				540	540	400	140					182	342	1148	1020							
	112M	4.00	8303	H95		106				390	600	350	160					225	405	1030	920	M16x200						
	132S	5.50				132				490	740	440	200					240	440	933	920	M20x400						
	132S	7.50	8344	H95		161				540	680	400	180					240	420	1148	1020							
050200	100L	3.00	8342	H80	43	104	65	80	100	450	540	400	140	75	260	485	100	1188	1140									
	112M	4.00				105				490	740	440	200					280	505	1210	1140							
	132S	5.50	8303	H95		131				390	600	350	160					225	425	1030	920	M16x200						
	132S	7.50				160				450	680	400	180					240	440	1148	1020							
	160M	11.00	8344	H95		195				490	740	440	200					240	440	1148	1020							
	160L	18.50	8385	H95		189				540	680	400	170					280	505	1210	1140							
050250	160M	15.00	8434	H95	57	219	65	80	100	490	840	400	200	90	300	550	140	1480	1420	M24x400								
	160L	18.50	8385	H110		238				540	740	400	200					280	505	1210	1140							
	180M	22.00	8435	H110		298				610	940	550	240					300	550	1480	1420							
	200L	30.00	8435	H25		362				730	1060	670	230					325	575	1510	1400							
	100L	3.00	8342	H80		39				100	80	100	125					450	540	400	140	75	260	485	100	1188	1140	
	112M	4.00								101								490	740	440	200					280	505	1210
132S	5.50	8383	H95	136	390		600	440	160	60				240	1030	920	M20x400											
132S	7.50			142	490		600	440	160	60				240	1030	920	M20x400											
132S	5.50	8344	H95	45	162		450	680	400	180				240	440	1020												
132S	7.50				182		490	680	400	180				240	440	1148	1020											
160M	11.00	8344	H95		210	490	740	440	200	75	260	485	1140															
160M	15.00	8385	H95		229	540	840	400	215	280	530	1422	1270															
160L	18.50	8436	H95		297	610	940	550	240	300	550	1480	1420															
180M	22.00	8436	H110		296	730	1060	670	230	325	575	1510	1400															
065125	100L	3.00	8342	H80	39	100	80	100	125	450	540	400	140	75	260	485	100	1188	1140									
	112M	4.00				101				490	740	440	200					280	505	1210	1140							
	132S	5.50	8383	H95		136				390	600	440	160					60	240	1030	920	M20x400						
	132S	7.50				142				490	600	440	160					60	240	1030	920	M20x400						
	132S	5.50	8344	H95		45				162	450	680	400					180	240	440	1020							
	132S	7.50								182	490	680	400					180	240	440	1148	1020						
160M	11.00	8344	H95	210	490		740	440	200	75	260	485	1140															
160M	15.00	8385	H95	229	540		840	400	215	280	530	1422	1270															
160L	18.50	8436	H95	297	610		940	550	240	300	550	1480	1420															
180M	22.00	8436	H110	296	730		1060	670	230	325	575	1510	1400															
065160	100L	3.00	8342	H80	39	100	80	100	125	450	540	400	140	75	260	485	100	1188	1140									
	112M	4.00				101				490	740	440	200					280	505	1210	1140							
	132S	5.50	8383	H95		136				390	600	440	160					60	240	1030	920	M20x400						
	132S	7.50				142				490	600	440	160					60	240	1030	920	M20x400						
	132S	5.50	8344	H95		45				162	450	680	400					180	240	440	1020							
	132S	7.50								182	490	680	400					180	240	440	1148	1020						
160M	11.00	8344	H95	210	490		740	440	200	75	260	485	1140															
160M	15.00	8385	H95	229	540		840	400	215	280	530	1422	1270															
160L	18.50	8436	H95	297	610		940	550	240	300	550	1480	1420															
180M	22.00	8436	H110	296	730		1060	670	230	325	575	1510	1400															
065200	100L	3.00	8342	H80	39	100	80	100	125	450	540	400	140	75	260	485	100	1188	1140									
	112M	4.00				101				490	740	440	200					280	505	1210	1140							
	132S	5.50	8383	H95		136				390	600	440	160					60	240	1030	920	M20x400						
	132S	7.50				142				490	600	440	160					60	240	1030	920	M20x400						
	132S	5.50	8344	H95		45				162	450	680	400					180	240	440	1020							
	132S	7.50								182	490	680	400					180	240	440	1148	1020						
160M	11.00	8344	H95	210	490		740	440	200	75	260	485	1140															
160M	15.00	8385	H95	229	540		840	400	215	280	530	1422	1270															
160L	18.50	8436	H95	297	610		940	550	240	300	550	1480	1420															
180M	22.00	8436	H110	296	730		1060	670	230	325	575	1510	1400															
065250	100L	3.00	8342	H80	39	100	80	100	125	450	540	400	140	75	260	485	100	1188	1140									
	112M	4.00				101				490	740	440	200					280	505	1210	1140							
	132S	5.50	8383	H95		136				390	600	440	160					60	240	1030	920	M20x400						
	132S	7.50				142				490	600	440	160					60	240	1030	920	M20x400						
	132S	5.50	8344	H95		45				162	450	680	400					180	240	440	1020							
	132S	7.50								182	490	680	400					180	240	440	1148	1020						
160M	11.00	8344	H95	210	490		740	440	200	75	260	485	1140															
160M	15.00	8385	H95	229	540		840	400	215	280	530	1422	1270															
160L	18.50	8436	H95	297	610		940	550	240	300	550	1480	1420															
180M	22.00	8436	H110	296	730		1060	670	230	325	575	1510	1400															
080160	132S	7.50	8434	H95	51	164	80	100	125	540	860	400	170	75	260	485	100	1095	1000									
	160M	11.00				165				490	740	440	200					280	505	1210	1140							
	160M	15.00	8385	H95		213				390	600	440	160					60	240	1030	920	M20x400						
	160L	18.50	8435	H110		232				490	740	440	200					280	505	1210	1140							
	180M	22.00				210				390	600	440	160					60	240	1030	920	M20x400						
	160M	15.00	8435	H95		210				490	740	440	200					75	260	485	1140							
160L	18.50	8436	H95	244	540	840	400	215	280	530	1422	1270																
180M	22.00	8436	H110	258	610	940	550	240	300	550	1480	1420																
080200	200L	30.00	8487	H125	71	354	80	100	125	610	840	550	205	90	300	580	140	1447	1250	M24x400								
	200L	37.00	8487	H125		354				610	840	550	205					300	580	1447	1250	M24x400						
	180M	22.00	8488	H110		264				490	740	440	200					280	505	1210	1140							
	200L	30.00	8487	H125		368				610	840	550	240					300	580	1447	1250	M24x400						
	200L	37.00	8487	H125		451				730	1060	670	230					325										

2.3. Datos técnicos del caudalímetro

General Specifications

Model RAMC
Metal Short-stroke ROTAMETER

GS 01R01B02-00E-E

The short-tube Rotameter is used for measurement of flow rates of liquids and gases. Its special application is in turbulent, opaque or aggressive fluids. The instrument is mounted in a vertical pipeline with flow direction upwards. Inside the special shaped conical metal tube, a float is guided concentrically. The position of this float is magnetically transmitted to the indicator. The indicators are exchangeable without influencing the accuracy.

FEATURES

- Different process connections like flanges according to EN and ASME
- All wetted parts in stainless steel or PTFE
- Flow range water: 0.0025 to 130 m³/h
- Flow range air: 0.075 to 1400 m³/h (+20 °C, 1,013 bar abs)
- Measuring accuracy acc. standard VDI/VDE 3513 sheet 2 (q₀ = 50 %) at calibration conditions
- Float damping to avoid float bouncing with gas applications
- Optional heat tracing (with steam or fluid heat carrier)
- Indicator in steel or aluminum, protection class IP66/67
- Mechanical indicator without additional power supply
- Microprocessor controlled transmitter with 24 V, 115 V or 230 V power supply
- Intrinsically safe version (Ex i): ATEX, IECEx, FM (C/US), NEPSI, PESO, EAC
- Flame proof version (Ex d): ATEX, IECEx, NEPSI, PESO, KOSHA, EAC, TS
- Dust explosion proof: ATEX, IECEx, NEPSI, TS
- Ex for non-electrical RAMC: ATEX, EAC
- FMEDA report available for SIL application
- Limit switches, also available as "fail-safe" version
- Electronic transmitter as standard with digital display with the following features:
 - Flow indication (totalizer, actual, percent)
 - Indication of different volume- and mass flow units
 - Possibility of user calibration in the field
 - Float blocking indication function
 - Adjustable signal output damping
 - Error message indication
 - Temperature measurement in the electronic transmitter
 - HART® 5/7-Communication



RAMC with housing type 90



RAMC with housing type 91

Contents	
Features	page 1
Standard Specifications	page 2
Hazardous Area Specifications	page 5
Planning and Installation Hints	page 10
Model Specifications	page 11
Options	page 12
Process Connection Table for Metal Tubes	page 15
Flow Table for Metal Tubes	page 16
Process Connection and Flow Table for Metal Tubes with PTFE-lining	page 17
Temperature Limitations, Standard and Intrinsically Safe	page 18
Minimum Ambient Temperature	page 19
Pressure Temperature (PT)-Rating	page 20
Dimensions and Weights	page 21

2

STANDARD SPECIFICATIONS

RoHS Directive 2011/65/EU:
RoHS conform according to EN 50581

MEASURING TUBE**Materials of wetted parts:**

- Stainless steel AISI 316L (1.4404)
- PTFE (if selected)
- Gasket for process connection R4 or T4: Aramide fibres with NBR binder
- Other materials on request

Fluids to be measured:

Clean liquids, gas and steam

Measuring range:

See table 10 and 11

Measuring turndown ratio:

10:1

Process connections/ Stainless steel:**Flanges:**

- Acc. to EN 1092-1
 - DN100 to DN150 PN16
 - DN15 to DN100 PN40
 - DN50 to DN80 PN63
 - DN15 to DN50 PN100
- Acc. to ASME B 16.5 (AISI 316/316L dual certified)
 - ½" to 6" Class 150 raised face
 - ½" to 6" Class 300 raised face
 - ½" to 3" Class 600 raised face
- Flange facing roughness
 - Form B1: RA 3.2 to 6.3
 - Form B2: RA 0.8 to 3.2
 - ASME: RA 3.2 to 6.3
- Threaded connection:
 - Male acc. to DIN 11851
 - NPT-female
 - G-female
 - Clamp acc. to DN25, 1" to DN100, 4"

Process pressure:

Depends on process connection, see table 9 and 11 higher pressure (up to 700 bar) on request

Process temperature:

- Wetted parts made of stainless steel: -196 °C to +370 °C
- Wetted parts made of PTFE: -80 °C to +130 °C

See fig. 1a to fig. 1c

Measuring accuracy at calibration conditions:

Table 1

Material of wetted parts	Size	Measuring accuracy acc. standard VDI/VDE 3513 sheet 2 (q ₁ =50 %)
SS	DN15 to DN100	1.6 %
SS	DN125 to DN150	2.5 %
PTFE	DN15 to DN100	2.5 %

Calibration conditions:

Water, 1 to 2 bar, +15 °C to +25 °C

Pressure Equipment Directive (PED):

- Tubes:
 - Modul: H
 - Fluid Group: 1 (dangerous fluids)
 - Produced acc. to category: III
 - Classification: Table 6 of PED directive (piping)
- Heating (options /T1 to /T6):
 - Art. 4 section 3: (Volume < 1 L)
 - Fluid Group: 2 (non-dangerous fluids)
 - Classification: Table 2 of PED directive (vessels)

Installation:

- Mounting direction: vertical
- Flow direction: upwards
- Mounting length: see table 9 and 11
- Straight pipe inlet length: DN80/100 at least 5D, not necessary for smaller sizes

Weight:

See table 17

Canadian Registration Numbers (CRN)

Available upon request

MECHANICAL INDICATOR, type -T**Principle:**

The flow values is indicated by a pointer with the aid of a magnet enclosed in the float and a magnet in the indicator unit which follows the movements of the float.

Indicator housing:

- Materials:
 - Housing type 90: stainless steel 1.4404/316L
 - Housing type 91: aluminum, Polyurethane, yellow, RAL 1021 acc. to EN 13195 material: AC 44200
 - Both housing types with safety-glass window
- Degree of protection:
 - IP66/67
 - NEMA 4, 4X, 6 (not for Ex d housing)

Scales:

- Standard: removable aluminium plate with scale (double scale as option)
- Marking: direct readable units or percentage of Q_{max}.

Transportation- and Storage condition:

-40 °C to +110 °C

ELECTRONIC TRANSMITTER, type -E, -H, -J**Standard type -E:**

- Power supply:
 - 4-wire units with galvanic isolation:
 - 230 V AC +10 %/ -15 %, 50/60 Hz, fuse 0.063 A, time lag. (5x20) mm
 - 115 V AC +10 %/ -15 %, 50/60 Hz, fuse 0.125 A, time lag. (5x20) mm
 - 2/3-wire units: U = 14 to 30 V DC
 - Output signal:
 - 4-wire units:
 - 0 to 20 mA
 - 4 to 20 mA
 - Pulse output (option /CP): max. frequency 4 Hz
 - 3-wire units:
 - 0 to 20 mA
 - 4 to 20 mA
 - 2-wire units: 4 to 20 mA
- The 20 mA point is selectable between 60 % and 100 % of scale end value.
- Load resistance:
 - 4-wire units: ≤ 500 Ω
 - 2/3-wire unit: ≤ (U - 14 V)/ 20 mA, max. 500 Ω

HART[®]-communication type (Code -H, -J):

- Power supply:
 - 2-wire units: U = 14 to 30 V DC
- Output signal:
 - 2-wire units: 4 to 20 mA
- Load resistance:
 - HART[®]-version: 250 to 500 Ω

Digital display:
8 digits, 7 segment LC-display character height 6 mm

Process-/ Ambient temperature:
The dependency of the process temperature from the ambient temperature is shown in fig. 1a to fig. 1c.
The internal temperature of the electronic transmitter can be indicated on the display or checked via HART® communication.

Measurement of the internal transmitter temperature:

- Range: -25 °C to +70 °C
- Accuracy: ± 5 °C

Transportation- and Storage condition:
-40 °C to +70 °C

Linearity¹⁾:
± 0.2 % of 20 mA

Hysteresis¹⁾:
± 0.1 % of 20 mA

Repeatability¹⁾:
± 0.1 % of 20 mA

Influence of power supply¹⁾:
± 0.1 % of 20 mA

Temperature coefficient of the output signal¹⁾:
± 0.5 % /10 °C of 20 mA

AC-part of output signal¹⁾:
± 0.15 % of 20 mA

Long-term stability¹⁾:
± 0.2 % per year

Max. output signal:
21.5 mA

Output signal in case of failure:
≤ 3.6 mA (acc. NE 43)

Response time (99 %):
About 1.5 s with damping 1 s

Electromagnetic compatibility (EMC):
Acc. EN 61326-1, Class A, Table 2 and EN 61326-2-3:
Criterion A, restriction: HF-immunity between 500 MHz and 750 MHz: criterion B

Device safety acc. EN 61010-1:

- Over voltage category: II (acc. to EN 60664-1)
- Pollution degree: I
- Safety class: 115 V, 230 V AC power supply, safety class I
24V DC power supply, safety class III

POWER SUPPLY FOR ELECTRONIC TRANSMITTER, option /UT

Type:
Power supply with galvanically separated input and output; RN221N-B1, HART®-compatible

Supply voltage:
20 to 250 V DC/ AC 50/60 Hz

Maximum load:
700 Ω

Output signal:
4 to 20 mA

CABLE GLAND for transmitter -E, -H, -J

Size:

- Standard: M16x1.5 for housing type 90
- Standard: M20x1.5 for housing type 91
- Option /A13: thread M20x1.5
- Option /A5: thread NPT ½"

Cable diameter:
6 to 9 mm

Maximum cross section of core:
Ø 1.5 mm²

¹⁾ referenced to 20 °C ambient temperature

LIMIT SWITCHES IN STANDARD VERSION, option /K1 to /K3

Type:
Inductive proximity switch SC3.5-N0
acc. to EN 60947-5-6

Nominal voltage:
8 V DC

Output signal:
≤ 1 mA or ≥ 3 mA

LIMIT SWITCHES IN FAIL-SAFE VERSION, option /K6 to /K10

Type:
Inductive proximity switch SJ3.5-SN; SJ3.5-S1N
acc. to EN 60947-5-6

Nominal voltage:
8 V DC

Output signal:
≤ 1 mA or ≥ 3 mA

HYSTERESIS OF LIMIT SWITCHES

Min-contact/ Max-contact:

- Pointer movement: = 0.8 mm
- Float movement: = 0.8 mm

Minimum distance between 2 contacts:
= 2 mm

CABLE GLAND, option /K1 to /K10

Size:

- Standard: M16x1.5 for housing type 90
- Standard: M20x1.5 for housing type 91
- Option /A13: thread M20x1.5
- Option /A5: thread NPT ½"

Cable diameter:

6 to 9 mm

Maximum cross section of core:

Ø 1.5 mm²

POWER SUPPLY FOR LIMIT SWITCHES, option /W□□

Type:
Acc. to EN 60947-5-6

- KFA5-SR2-Ex*-W (115 V AC); * = 1 or 2
- KFA6-SR2-Ex*-W (230 V AC); * = 1 or 2
- KFD2-SR2-Ex*-W (24 V DC); * = 1 or 2

Fail-safe

- KHAG-SH-Ex1 (115/230 V AC), 1 channel
- KFD2-SH-Ex1 (24 V DC), 1 channel

Power supply:

- 230 V AC ± 10 %, 45 to 65 Hz
- 115 V AC ± 10 %, 45 to 65 Hz
- 24 V DC ± 25 %

Relay output:

1 or 2 potential-free changeover contact(s)

Switching capacity:

Max. 250 V AC, max. 2 A

Note:

If fail-safe limit switch option /K6 or /K7 is ordered, for the power supply option /W2E or /W4E must be selected.
If fail-safe limit switch option /K8, /K9 or /K10 is ordered, for the power supply option /W2F or /W4F must be selected.

4

SWITCHING LEVELS FOR LIMIT SWITCHES**Table 2** Limit switch as Min, Max, Min-Max, Min-Min and Max-Max contact in standard version

		Option /K1	Option /K2	Option /K3
Function	Pointer	Signal	Signal	Signal
		SC3,5-N0	SC3,5-N0	SC3,5-N0
MAX	above LV	—	1 mA	1 mA
	below LV	—	3 mA	3 mA
Function	Pointer	Signal	Signal	Signal
		SC3,5-N0	SC3,5-N0	SC3,5-N0
MIN	above LV	3 mA	—	3 mA
	below LV	1 mA	—	1 mA

Note: LV = Limit Value

Table 3 Limit switch as Min, Max and Min-Max contact in fail-safe version

		Option /K6	Option /K7	Option /K8
Function	Pointer	Signal	Signal	Signal
		SJ3,5-SN	SJ3,5-SN	SJ3,5-SN
MAX	above LV	—	1 mA	1 mA
	below LV	—	3 mA	3 mA
	fail-safe	—	1 mA	1 mA
Function	Pointer	Signal	Signal	Signal
		SJ3,5-SN	SJ3,5-SN	SJ3,5-SN
MIN	above LV	3 mA	—	3 mA
	below LV	1 mA	—	1 mA
	fail-safe	1 mA	—	1 mA

Note: LV = Limit Value

Table 4 Limit switch as Min-Min contact in fail-safe version

		Option /K9
Function	Pointer	Signal
		SJ3,5-S1N
MIN	above LV	3 mA
	below LV	1 mA
	fail-safe	1 mA
Function	Pointer	Signal
		SJ3,5-SN
MIN	above LV	3 mA
	below LV	1 mA
	fail-safe	1 mA

Note: LV = Limit Value

Table 5 Limit switch as Max-Max contact in fail-safe version

		Option /K10
Function	Pointer	Signal
		SJ3,5-SN
MAX	above LV	1 mA
	below LV	3 mA
	fail-safe	1 mA
Function	Pointer	Signal
		SJ3,5-S1N
MAX	above LV	1 mA
	below LV	3 mA
	fail-safe	1 mA

Note: LV = Limit Value

FOLLOWING IEC 61508

RAMC with fail-safe limit switches (/K6 to /K10):
Suitable for application in safety functions up to and including SIL2.

RAMC with standard limit switches (/K1 to /K3):
Suitable for application in safety functions up to and including SIL1.

Details see FMEDA report.

FOLLOWING ISO 13849-1

Safety Metrics available for:

- RAMC with fail-safe limit switches (/K6 to /K10)
- RAMC with standard limit switches (/K1 to /K3)

Details see FMEDA report.

APPROVALS IN EAEU AND CIS COUNTRIES**Eurasian Conformity (EAC)**

RAMC complies to applicable Technical Regulations valid in EAEU countries Russia, Belarus, Kazakhstan, Armenia and Kyrgyzstan, option /VE.

- TR CU 004
- TR CU 020
- TR CU 032
- TR CU 012 can be added for hazardous area applications (options /GF1, /GS1, /GC1).

Pattern Approval certificate of Measuring Instruments

RAMC has Pattern Approval certificates and is registered as a measuring instrument in Kazakhstan, Uzbekistan and Russia.

- Option /QR2 for Kazakhstan
- Option /QR3 for Uzbekistan
- Option /VR for Russia

An additional Primary verification certificate is available for Russia with option /QR, only in combination with option /VR.

HAZARDOUS AREA SPECIFICATIONS

Table 6 Overview hazardous area certified instruments:

Location	Europe				Global				USA / Canada	India	Korea	China	Russia, Belarus, Kazakhstan, Armenia, Kyrgyzstan	Taiwan
Certificate	ATEX				IECEX				FM	PESO	KOSHA	NEPSI	EAC	TS
Electronic transmitter, Code -E, -H, -J														
Protection	ia	ic	ia/ib	-	ia	-	ia/ib	IS/NI	ia	-	-	-	ia	-
Option	/KS1	/KS3	/KS2	-	/ES1	-	/ES2	/FS1	/KS1+/Q11	-	-	-	/GS1	-
Comments	-	*)	*)	-	-	-	*)	*)	-	-	-	-	-	-
See page	6	6	9	-	6	-	9	6	-	-	-	-	6	-
Limit switches														
Protection	ia	ic	ia/ib	-	ia	-	ia/ib	IS/NI	-	-	-	-	ia	-
Option	/KS1	/KS3	/KS2	-	/ES1	-	/ES2	/FS1	-	-	-	-	/GS1	-
Comments	-	*)	*)	-	-	-	*)	-	-	-	-	-	-	-
See page	7	7	9	-	7	-	9	7	-	-	-	-	7	-
Complete RAMC														
Protection	d/ib	-	-	-	db/ib	-	-	-	d	d	ia	d/DIP	d	-
Option	/KF1	-	-	-	/KC1	/EF1	-	-	/KF1+/Q11	/EF1+/KC	/NS1	/NF1	/GF1	/GC1
Comments	*)	-	-	-	*)	*)	-	-	*)	*)	-	*)	*)	*)
See page	7	-	-	-	10	8	-	-	8	8	7	8	8	10
Power supplies for intrinsically safe components (see page 9)														
Option /UT	yes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Option /W1A,B	yes	-	-	-	yes	yes	yes	yes	yes	yes	no	yes	yes	-
Option /W2A,B	yes	-	-	-	yes	yes	yes	yes	yes	yes	no	yes	yes	-
Option /W4A,B	yes	-	-	-	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	-
Option /W2E,F	yes	-	-	-	yes	yes	no	no	no	no	no	yes	yes	-
Option /W4E,F	yes	-	-	-	yes	yes	no	no	no	no	yes	yes	yes	-
Notation	IS = Intrinsically Safe; NI = Nonincandive; DIP = Dust Ignition Proof													
Comment ¹⁾	Dust proof by RAMC housing													
Comment ²⁾	For use in category 3G													
Comment ³⁾	Same certification for USA and Canada													
Comment ⁴⁾	Only for USA; power supply free selectable													
Comment ⁵⁾	Only with housing 91													
Comment ⁶⁾	Only indicator type -T without limit switches													

6

HAZARDOUS AREA APPROVALS FOR ELECTRONIC TRANSMITTER, type -E, -H, -J**Attention:**

The approvals for hazardous areas only apply to the defined conditions according to the temperature class. The maximum ambient temperature of the transmitter or limit switches must not be exceeded by the heat transfer of the liquid.

Table 7 Entity parameters of electronic transmitter

Option	U _i in V	I _i in mA	P _i in W	C _i in nF	L _i in mH	max. T _a in °C
/KS1/2/3	30	101	1.4	4.16	0.15	70
/ES1/2	30	101	1.4	4.16	0.15	70
/FS1	30	100	1.4	40	0.15	70
/NS1	30	101	1.4	4.16	0.15	70
/GS1	30	101	1.4	4.16	0.15	70

Intrinsically safe electronic transmitter with ATEX-approval, option /KS1**Certificate:**

PTB 12 ATEX 2003 X

Output signal:

- 4 to 20 mA (2-/3-wire unit)
- 0 to 20 mA (3-wire unit)

Explosion proof:

Ex ia IIC T6 Gb; group II; category 2G

Entity parameter:

See table 7

Intrinsically safe electronic transmitter with IECEx-approval, option /ES1**Certificate:**

IECEx PTB 12.0020 X

Output signal:

- 4 to 20 mA (2-/3-wire unit)
- 0 to 20 mA (3-wire unit)

Explosion proof:

Ex ia IIC T6 Gb; group II; category 2G

Entity parameter:

See table 7

Intrinsically safe electronic transmitter with ATEX-approval for use in category 3G, option /KS3**Output signal:**

- 4 to 20 mA (2-/3-wire unit)
- 0 to 20 mA (3-wire unit)

Explosion proof:

Ex ic IIC T6 Gc; group II; category 3G

Entity parameter:

See table 7

Intrinsically safe/ nonincendive electronic transmitter with FM-approval (USA + Canada), option /FS1**Certificate:**

No.: 3027471-/3027471C

Output signal:

4 to 20 mA (2-wire unit)

Explosion proof:

- Intrinsically safe Cl. I, Div. 1, GP. A, B, C, D T6
- Intrinsically safe Cl. 1, Zone 0, AEx ia IIC T6
- Nonincendive Cl. I, Div. 2, GP. A, B, C, D T6

Entity parameter of electronic transmitter:

See table 7

Intrinsically safe electronic transmitter with PESO-approval (India), option /KS1 with /Q11

Same data as ATEX-certified type, option /KS1.

Certificate:

PESO Ref. No.: P3339351/1

Intrinsically safe electronic transmitter with EAC-approval Russia, Belarus, Kazakhstan, Armenia and Kyrgyzstan, option /GS1**Certificate:**

RU C-DE.ГБ08.В.01183

Output signal:

- 4 to 20 mA (2-/3-wire unit);
- 0 to 20 mA (3-wire unit)

Explosion proof:

0ExiallCT6 X

Entity parameter:

See table 7

HAZARDOUS AREA APPROVALS FOR INTRINSICALLY SAFE LIMIT SWITCHES, option /K1 to /K10

Intrinsically safe limit switches with ATEX-approval, option /K1 to /K10 with /KS1

Certificate:

- PTB 99 ATEX 2219X (SC3.5-NO), /K1 to /K3
- PTB 00 ATEX 2049X (SJ 3.5-S.N), /K6 to /K10

Explosion proof:

Ex ia IIC T6, group II category 2G

Entity parameter:

See certificate

Intrinsically safe limit switches with ATEX-approval for use in category 3G, option /K1 to /K10 with /KS3

Explosion proof:

Ex ic IIC T6 X, group II category 3G

Entity parameter:

- See specification of SC3,5-NO Blue (P&F)* (/K1 to /K3)
 - See specification of SJ3,5-SN (P&F)* (/K6 to /K10)
- * P&F = Pepperl & Fuchs

Intrinsically safe limit switches with IECEx-approval, option /K1 to /K10 with /ES1

Certificate:

- IECEx PTB11.0091 (SC3.5-NO) (/K1 to /K3)
- IECEx PTB11.0092 (SJ 3.5-S.N) (/K6 to /K10)

Explosion proof:

Ex ia IIC T6 Gb

Entity parameter:

See certificate

Intrinsically safe/nonincendive limit switches with FM-approval (USA), option /K1 to /K10 with /FS1

Explosion proof:

- IS: Cl. I, II, III, Div. 1, Gp. ABCDEFG, T6, Ta = +60 °C,
- NI: Cl. I, Div. 2, Gp. ABCD, T5, Ta = +50 °C, Cl. II, Div. 1, Gp. EFG Cl. III, Div. 1

Entity parameter:

- See FM-control drawing 116-0165 for IS
- See FM-control drawing 116-0155 for NI

Intrinsically safe limit switches with EAC-approval Russia, Belarus, Kazakhstan, Armenia and Kyrgyzstan, option /K1 to /K10 with /GS1

Certificate:

RU C-DE.ГБ08.B.01183

Explosion proof:

0Ex ia IIC T6...T1 X

Entity parameter:

See certificate

Intrinsically safe limit switches with NEPSI-approval (China), option /K1 to /K10 with /NS1

Certificate:

- GYJ16.1391X (/K1 to /K3)
- GYJ16.1392X (/K6 to /K10)

HAZARDOUS AREA APPROVALS FOR COMPLETE ELECTRICAL RAMC

Intrinsically safe RAMC with NEPSI-approval (China), option /NS1

Certificate:

GYJ15.1064

Electronic transmitter:

- Output signal:
 - 4 to 20 mA (2-/3-wire unit);
 - 0 to 20 mA (3-wire unit)
- Explosion proof: Ex ia IIC T6

Ambient temperature:

-40 °C to +70 °C

Entity parameter:

See table 7

Limit switches:

- Option /K1 to /K3 acc. to certificate GYJ16.1391X
- Option /K6 to /K10 acc. to certificate GYJ16.1392X

Flame proof and dust proof RAMC with ATEX-approval, option /KF1

Certificate:

IBExU 05 ATEX 1086

Flame proof:

Ex db IIC T1..T6 Gb; group II; category 2G

Dust proof:

Ex tb IIIC TX Db IP6X; group III; category 2D

Max. surface temperature TX: corresp. process temperature

Housing:

Painted aluminium casting, type 91

Output signal with electronic transmitter -E, -H, -J:

- 4 to 20 mA (2-/3-wire unit);
- 0 to 20 mA (3-wire unit)

Power supply with electronic transmitter -E, -H, -J:

2- or 3-wire unit

Limit switches:

Options /K1 to /K10 possible

Ambient temperature:

-20 °C to +60 °C

Minimum process temperature:

-20 °C

Threads for cable glands:

- Standard: M20x1.5
- Option /A5: NPT ½"

Temperature classification:

See table 8

Flame proof and dust proof RAMC with IECEx-approval, option /EF1

Certificate:

IECEx IBE12.0007

Flame proof:

Ex db IIC T1..T6 Gb

Dust proof:

Ex tb IIIC TX Db IP6X

Max. surface temperature TX: corresp. process temperature

Housing:

Painted aluminium casting, type 91

Output signal (with electronic transmitter -E, -H, -J):

- 4 to 20 mA (2- or 3-wire unit);
- 0 to 20 mA (3-wire unit)

Power supply (with electronic transmitter -E, -H, -J):

2- or 3-wire unit

Limit switches:

Options /K1 to /K10 possible

Ambient temperature:

-20 °C to +60 °C

Minimum process temperature:

-20 °C

8

Threads for cable glands:

- Standard: M20x1.5
- Option /A5: NPT ½"

Temperature classification:

See table 8

Flame proof and dust proof RAMC with PESO-approval (India), option /KF1 with /Q11

Same data as ATEX-certified certified type, option /KF1.

Certificate:

PESO Ref. No.: P432024/1

Flame proof RAMC with KOSHA-approval (Korea), option /EF1 with /KC**Certificate:**

12-AV4BO-0721X

Flame proof:

Ex d IIC T1...T6

Option /EF1 in combination with /KC must be selected.

Temperature classification:

See table 8

Flame proof RAMC with EAC-approval (Russia, Belarus, Kazakhstan, Armenia and Kyrgyzstan), option /GF1**Certificate:**

RU C-DE.T508.B.01183

Flame proof:

1Ex d IIC T1...T6

Housing:

Painted aluminium casting, type 91

Output signal with electronic transmitter -E, -H, -J:

- 4 to 20 mA (2-/3-wire unit)
- 0 to 20 mA (3-wire unit)

Power supply with electronic transmitter -E, -H, -J:

2- or 3-wire unit

Limit switches:

Options /K1 to /K10 possible

Ambient temperature:

-40 °C to +60 °C

Minimum process temperature:

-20 °C

Threads for cable glands:

- Standard: M20x1.5
- Option /A5: NPT ½"

Temperature classification:

See table 8

Flame proof and dust proof RAMC with NEPSI-approval (China), option /NF1**Certificate:**

GYJ18.1039X

Flame proof:

Ex d IIC T1-T6 Gb

Dust proof:

Ex tD A21 IP67 T80°C

Housing:

Painted aluminium casting type 91

Output signal with electronic transmitter -E, -H, -J:

- 4 to 20 mA (2-/3-wire unit)
- 0 to 20 mA (3-wire unit)

Power supply with electronic transmitter -E, -H, -J:

2- or 3-wire unit

Limit switches:

Options /K1 to /K10 possible

Ambient temperature:

-20 °C to +60 °C

Minimum process temperature:

-20 °C

Threads for cable glands:

- Standard: M20x1.5
- Option /A5: NPT ½"

Temperature classification:

See table 8

Flame proof and dust proof RAMC with Taiwan Safety Mark**Registration Document**

ML041200702782

Option /EF1 must be selected.

Same data as IECEx-certified type (/EF1)

For export to Taiwan please contact your Yokogawa representative regarding Taiwan Safety Mark.

Table 8 Temperatur rating for Ex d devices

Temp. class	Max. Process temperature		
	No extension	On extension	On extension with insulation
T6	85 °C	85 °C	85 °C
T5	100 °C	100 °C	100 °C
T4	120 °C	135 °C	135 °C
T3	120 °C	200 °C	200 °C
T2	120 °C	300 °C	300 °C
T1	120 °C	370 °C	350 °C

INTRINSICALLY SAFE COMPONENTS WITH DUST-PROOF

Intrinsically safe electronic transmitter with/without limit switches in dust proof indicator ATEX-certified, option /KS2

Approval:

- PTB 12 ATEX2003X (Intrinsically safe electronic transmitter)
- PTB 99 ATEX2219X (Intrinsically safe limit switch SC3.5-N0)
- PTB 00 ATEX2049X (Intrinsically safe limit switch SJ 3.5-S.N)
- IBEExU 05 ATEX1086 (Dust proof)

Output signal electronic transmitter:

- 4 to 20 mA (2-/3-wire unit)
- 0 to 20 mA (3-wire unit)

Explosion proof:

Ex ia IIC T6 Gb; group II; category 2G

Dust proof:

Ex tb IIIC TX Db IP6X; group III; category 2D
Max. surface temperature TX: corresponding process temperature

Entity parameter:

- See table 7 for electronic transmitter (/KS1)
- See certificates for limit switches

Housing:

Painted aluminium casting, type 91

Ambient temperature:

-20 °C to +60 °C

Minimum process temperature:

-20 °C

Threads for cable glands:

- Standard: M20x1.5
- Option /A5: NPT ½"

Intrinsically safe electronic transmitter with/without limit switches in dust proof indicator IECEx-certified, option /ES2

Approval:

- IECEx PTB12.0020X (Intrinsically safe electronic transmitter)
- IECEx PTB11.0091X (Intrinsically safe limit switch SC3.5-N0)
- IECEx PTB11.0092X (Intrinsically safe limit switch SJ 3.5-S.N)
- IECEx IBE12.0007 (Dust proof)

Output signal electronic transmitter:

- 4 to 20 mA (2-/3-wire unit)
- 0 to 20 mA (3-wire unit)

Explosion proof:

Ex ia IIC T6 Gb; group II; category 2G

Dust proof:

Ex tb IIIC TX Db IP6X; group II; category 2D
Max. surface temperature TX: corresponding process temperature

Entity parameter:

- See table 7 for electronic transmitter (/ES1)
- See certificates for limit switches

Housing:

Painted aluminium casting, type 91

Ambient temperature:

-20 °C to +60 °C

Minimum process temperature:

-20 °C

Threads for cable glands:

- Standard: M20x1.5
- Option /A5: NPT ½"

POWER SUPPLIES FOR INTRINSICALLY SAFE COMPONENTS

Power Supply for the intrinsically safe electronic transmitter, option /UT

Type:

Power supply with galvanically separated input and output
RN221N-B1, HART®-compatible

Approval:

- ATEX: PTB 00 ATEX 2018
- Other certificates available on request.

Supply voltage:

20 to 250 V DC/AC 50/60 Hz

Maximum load impedance:

700 Ω

Output signal:

4 to 20 mA

Control circuit:

Intrinsically safe [Ex ia] IIC; group II; category (1)GD

Entity parameters:

See certificate

Power supply for intrinsically safe limit switches, option W□□

Type:

Acc. to EN 60947-5-6:

- KFA5-SR2-Ex*-W (115 V AC), * = 1 or 2
- KFA6-SR2-Ex*-W (230 V AC), * = 1 or 2
- KFD2-SR2-Ex*-W (24 V DC), * = 1 or 2

Fail-safe:

- KHA6-SH-Ex1 (115/230 V AC), fail-safe, 1 channel
- KFD2-SH-Ex1 (24 V DC), fail-safe, 1 channel

Approvals:

- KFA5-SR2-Ex*-W: ATEX: PTB 00 ATEX 2081
FM: ID 3011578
IECEX: PTB11.0031
EAC: RUJ C-П.Г.Б05.Б.00718
NEPSI:GYJ17.1283
- KFA6-SR2-Ex*-W: ATEX: PTB 00 ATEX 2081
FM: ID 3011578
IECEX: PTB11.0031
EAC: RUJ C-П.Г.Б05.Б.00718
NEPSI:GYJ17.1283
- KHA6-SH-Ex1: ATEX: PTB 00 ATEX 2043
EAC: RUJ C-П.Г.Б05.Б.00718
- KFD2-SR2-Ex*-W: ATEX: PTB 00 ATEX 2080
FM: ID 3011578
IECEX: PTB11.0034
EAC: RUJ C-П.Г.Б05.Б.00718
NEPSI:GYJ17.1284
- KFD2-SH-Ex1: ATEX: PTB 00 ATEX 2042
EAC: RUJ C-П.Г.Б05.Б.00718

Control circuit (ATEX):

[Ex ia] IIC; group II; category (1)GD

Entity parameter:

See certificate

10

HAZARDOUS AREA APPROVALS FOR COMPLETE MECHANICAL RAMC**ATEX registered RAMC, option /KC1**

Archive No.:

IBExU 099/15

Explosion proof:

II 2GD IIC TX

Max. surface temperature:

TX: corresponding process temperature

Ambient temperature:

-40 °C to +90 °C

Max. process temperature

- Standard: +220 °C
- Indicator on distance: +370 °C

RAMC with EAC-approval, option /GC1

Approval:

RU C-DE,ГЕО8.В.01183

Explosion proof:

• II Gb IIC T* X

• III Db IIIC T* °C X

Max. surface temperature:

TX: corresponding process temperature

Ambient temperature:

-40 °C to +90 °C

Max. process temperature:

- Standard: +220 °C
- Indicator on distance: +370 °C

PLANNING AND INSTALLATION HINTS

- The user is responsible for the use of the flowmeters regarding suitability and use as designed.
- The actual operation pressure must be lower as the specified pressure limits of the Rotameter.
- Make sure that the wetted parts are resistant against the process fluid.
- Ambient- and process temperature must be lower than the specified maximum values.
- If dirt accumulation is to be expected, we recommend installing a bypass pipe.
- To avoid float bouncing in case of gas application notice the recommendations of VDI/VDE 3513 Sheet 3.
- To avoid mutual magnetic influence in case of parallel design of several Rotameters please make sure that the distance between the tube middle axes is at least 300 mm. The distance to other ferric materials should be at least 250 mm.
- Avoid static magnetic fields next to the Rotameter.

Specify the following when ordering:

- Model, suffix code and option code
- Fluid name, process temperature, fluid density, process pressure, fluid viscosity
- For gases: condition of the scale (st. or actual)
- Options: Tag No.: customer specific notes

For your special application please use the Yokogawa Sizing Software FlowConfigurator.

MODEL SPECIFICATIONS

Model	Suffix code	Description	Restrictions
RAMC01 RAMC23 RAMC02		Size DN15 (1/2") Size DN20 (3/4") Size DN25 (1")	for D4, D6, A1, A2, A3, T4, R4, T6, G6 for D4, D6, A1, A2, A3, T4, R4, T6, G6 for D4, D6, A1, A2, A3, S2, S4, S5, T4, R4, T6, G6
RAMC03 RAMC04 RAMC05 RAMC06		Size DN32 (1 1/4") Size DN40 (1 1/2") Size DN50 (2") Size DN65 (2 1/2")	for D4, D6, A1, A2, A3, S4, T6, G6 for D4, D6, A1, A2, A3, S4, S5, T6, G6 for D4, D5, D6, A1, A2, A3, S2, S4, T4, R4 for D4, D5, A1, A2, A3, S2, S4, T4, R4, T6, G6
RAMC08 RAMC09 RAMC10 RAMC12 RAMC15 RAMCNN		Size DN80 (3") Size 3 1/2" Size DN100 (4") Size DN125 (5") Size DN150 (6") Without measuring tube	for D4, D5, A1, A2, A3, S2, S4 for A1, A2 for D2, D4, A1, A2, S2, S4 for D2, A1, A2, S2 for D2, A1, A2
Process connection	-D2 -D4 -D5 -D6 -A1 -A2 -A3 -T6 -G6 -R4 -S2 -S4 -T4 -S5 -NN	EN flange PN16, process connection dimension + facing acc. to EN 1092-1 Form B1 EN flange PN40, process connection dimension + facing acc. to EN 1092-1 Form B1 EN flange PN63, process connection dimension + facing acc. to EN 1092-1 Form B1 EN flange PN100, process connection dimension + facing acc. to EN 1092-1 Form B1 ASME flange class 150, process connection dimension + facing acc. to ASME B 16.5 ASME flange class 300, process connection dimension + facing acc. to ASME B 16.5 ASME flange class 600, process connection dimension + facing acc. to ASME B 16.5 NPT PN40 female thread G PN40 female thread Rp removable female thread Thread acc. to DIN 11851 TRI-CLAMP® PN10, PN16 acc. to DIN 32676 NPT removable female thread Rosista flange PN10 Without process connection	
Material of wetted parts	SS PF NN	Stainless steel Teflon lining Without wetted parts	Only with RAMCNN
Cone/Float	-nnnn -NNNN	See tables 10 and 11 Without measuring tube/without float	Only with RAMCNN
Indicator/Transmitter	-T -E -H -J -N	Mechanical Indicator Indicator with transmitter Indicator with transmitter, HART® 5 (Includes Software Tag HART® 5) Indicator with transmitter, HART® 7 (Includes Software Tag HART® 7) Without indicator	Only with output 424 8 digits for tag; 24 digits for long tag; Only with output 424 8 digits for tag; 32 digits for long tag; Only with housing NN
Housing type	90 91 NN	Housing SS Housing Al, yellow painted Without housing	Only with Indicator -N
Power supply/Output	240 244 140 144 430 434 424 NNN	230 V AC; 4-wire; 0 to 20 mA 230 V AC; 4-wire; 4 to 20 mA 115 V AC; 4-wire; 0 to 20 mA 115 V AC; 4-wire; 4 to 20 mA 24 V DC; 3-wire; 0 to 20 mA 24 V DC; 3-wire; 4 to 20 mA 24 V DC; 2-wire; 4 to 20 mA Without power supply	Only with indicator -E; not with limit switches Only with indicator -E Only with indicator -E Only with indicator -E, -H, -J Only with indicator -T or -N

12

OPTIONS

Options	Code	Description	Restriction
Indicator	/A5	Thread for cable gland ASME NPT 1/2" female	Not with /A13
	/A12	US-engineering units	Only for Indicator -E and -H; not with -J because already available as standard
	/A13	Thread for cable gland ISO M20x1.5 female	Only for housing 90
	/A16	Indicator on 95 mm extension	Only for housing 90, 91
	/A20	Scale for type T66	Not with hazardous approval type; not with Indicator
	/A21	Scale and EEPROM for type E66, H66, G66	Not with hazardous approval type not with Indicator; not with /A16
	/A22	Scale for type T90, T91	Not with hazardous approval type; not with Indicator
	/A23	Scale and EEPROM for type E90, H90, G90, J90, E91	Not with hazardous approval type; not with Indicator; not with /A16
/A25	Pressure balance element	Not with /KS2, /ES2, /KF1, /EF1, /NF1, /GF1 and housing 91 with /A5 or /A13	
	/A26	Indicator for -40 °C ambient temperature	Not with /K1, /K2, /K3, /K9, /K10, /KF1, /EF1, /NF1, /KS2, /ES2, power supply 14□ + 24□; /FS1
Marking	/B0	Tag plate (1.4404/316L) on flange and marking on scale	Plate 9x40 mm; max. 45 digits
	/B1	Tag plate (1.4404/316L) fixed by wire and marking on scale	Plate 9x40 mm; max. 45 digits
	/B4	Neutral version	Not with hazardous approval type
	/B8	Customer provided marking on label	
	/B10	Percent scale	
	/B9	Customer specific notes on scale	Max. 45 digits
/BD	Dual scale	Adjustment only for the first mentioned fluid	
Limit switches	/K1	MIN-contact	Not for power supply 14□ + 24□
	/K2	MAX-contact	Not for power supply 14□ + 24□
	/K3	MIN-MAX-contact, MIN-MIN-contact, MAX-MAX-contact	Not for power supply 14□ + 24□
	/K6	MIN-contact "fail-safe" version	Not for power supply 14□ + 24□
	/K7	MAX-contact "fail-safe" version	Not for power supply 14□ + 24□
	/K8	MIN-MAX-contact "fail-safe" version	Not for power supply 14□ + 24□
	/K9	MIN-MIN-contact "fail-safe" version	Not for power supply 14□ + 24□
/K10	MAX-MAX-contact "fail-safe" version	Not for power supply 14□ + 24□	
Pulse output	/CP	Pulse output isolated	Only for power supply 140, 144, 240, 244; not with limit switches
Flange Facing	/D10	Form B2 acc. to EN 1092-1	Only for EN-flanges (D2, D4)
	/D11	Form D acc. to EN 1092-1	Only for EN-flanges (D2, D4)
Damping	/SD	Float damping system	Only for SS; not for cone 81, 82; only for gas application
Flange protection	/QK	Flange covers	Only for flanges A1, A2, A3, D2, D4, D5, D6
Heat tracing	/T1	Heat trace connection female thread G 1/2" PN40	Heating is only for metallic instruments "SS" available
	/T2	Heat trace connection EN flange DN15 PN40 Form B1	Heating is only for metallic instruments "SS" available
	/T3	Heat trace connection EN flange DN25 PN40 Form B1	Heating is only for metallic instruments "SS" available
	/T4	Heat trace connection ASME flange 1/2" Class 150RF	Heating is only for metallic instruments "SS" available
	/T5	Heat trace connection ASME flange 1" Class 150 RF	Heating is only for metallic instruments "SS" available
	/T6	Heat trace connection female thread NPT 1/2" PN40	Heating is only for metallic instruments "SS" available
Housing Coating	/X1	Single layer epoxy coating system for housing type 91; Cover green RAL 6001, Bottom green RAL 6001	Not for housing 90; not with /K1 or /GC1
	/X2	High Anti Corrosion coating (3 layers) for housing type 91; /A16 will also be coated; Cover yellow RAL 1021, Bottom white RAL 9001	Not for housing 90; not with /K1 or /GC1
Power supply for electronic transmitter	/UT	RN221N-B1, 20 to 250 V DC/AC, Ex 1, HART® compatible	Only for Indicator -E, -H, -J, only ATEX or standard, only for output 424
Power supply for limit switches (transmitter relay)	/W1A	KFA5-SR2-Ex1.W/ 115 V AC, 1 channel	Only for limit switches /K1, /K2, /K3
	/W1B	KFA5-SR2-Ex2.W/ 115 V AC, 2 channel	Only for limit switches /K1, /K2, /K3
	/W2A	KFA6-SR2-Ex1.W/ 230 V AC, 1 channel	Only for limit switches /K1, /K2, /K3
	/W2B	KFA6-SR2-Ex2.W/ 230 V AC, 2 channel	Only for limit switches /K1, /K2, /K3
	/W2E	KHA6-SH-Ex1/ 115/230 V AC, 1 channel, fail-safe	Only for limit switches /K6, /K7
	/W2F	2x KHA6-SH-Ex1/ 115/230 V AC, 1 channel, fail-safe	Only for limit switches /K6, /K9, /K10
	/W4A	KFD2-SR2-Ex1.W/ 24 V DC, 1 channel	Only for limit switches /K1, /K2, /K3
	/W4B	KFD2-SR2-Ex2.W/ 24 V DC, 2 channel	Only for limit switches /K1, /K2, /K3
/W4E	KFD2-SH-Ex1/ 24 V DC, 1 channel, fail-safe	Only for limit switches /K6, /K7	
/W4F	2x KFD2-SH-Ex1/ 24 V DC, 1 channel, fail-safe	Only for limit switches /K6, /K9, /K10	

Options	Code	Description	Restriction
Test and certificates	/H1	Oil + fatfree for wetted surfaces acc. to ASTM G99-03 level B	Only for metallic pressurized parts Not for connection RAMC01-T6SS-□ □ S0-...; RAMC01-G8SS-□ □ S0-...; not for /T□; not with /P15 or /P16 See Individual options See Individual options See Individual options; not with /P15 or /P16 See Individual options; not with /P15 or /P16 Only for SS wetted part material; not for connection RAMC01-T6SS-□ □ S0-...; RAMC01-G8SS-□ □ S0-...; not for /T□ Only RAMC□-A1SS, RAMC□-A2SS, RAMC□-A3SS; not for /T□ Only RAMC□-A1SS, RAMC□-A2SS, RAMC□-A3SS; not for /T□; only with /RTA or /P20 See Individual options; only with /P15 or /P16 Not for /T□; not with /P15 or /P16
	/P2	Certificate of compliance with the order acc. to EN 10204-2.1	
	/P3	Similar to /P2 + Test report acc. to EN 10204-2.2	
	/P6	Material certificate acc. to EN 10204-3.1	
	/PM3	PAMI test (3 points: Process connection Inlet, measuring tube, process connection outlet)	
	/PP	Pressure test report flow tube acc. to EN 12266-1	
	/PT	Flow table for conversion to other fluids	
	/P9	Dye penetration test acc. to EN ISO 3452-1 at the welding of the process connection, with certificate	
	/P10	Combination of /P3 + /P6 + /PP	
	/P11	Combination of /P3 + /P6 + /PM3	
	/P12	Combination of /P3 + /P6 + /P9 + /PP	
	/P13	Combination of /P3 + /P6 + /P9 + /PM3 + /PP + /WP	
	/P14	Dye penetrant test of flange welding acc. to ASME V	
		/P15	
	/P16	ASME B31.3 compliance Category M FLUID SERVICE	
	/P20	Combination of ASME package /P14, /WPA, /RTA	
	/WP	Welding documentation acc. to ISO 3834-2	
	/WPA	Welding and certificates acc. to ASME BPVC, IX,	
	/RTA	X-ray test acc. to ASME BPVC V	
Hazardous area approvals	/KS1	ATEX intrinsically safe "ia"	Only for power supply 424, 430, 434, 429; for indicator -T Only with limit switches Only for power supply 424, 430, 434; for indicator -T only with limit switches; only for housing 91 Only for power supply 424, 430, 434; for indicator -T only with limit switches Only for power supply 424, 430, 434; for indicator -T only with limit switches Only for power supply 424, 430, 434; for indicator -T only with limit switches; only for housing 91 Only for power supply 424 (electronic transmitter); for indicator -T only with limit switches Only for power supply 424, 430, 434; for indicator -T only with limit switches; not with indicator -J; only with /CN Only for power supply 424, 430, 434; only with /VE or /VR; for indicator -T only with limit switches Only for power supply 424, 430, 434; for indicator -T only with limit switches; only with housing 91; only in combination with /KC Only for power supply 424, 430, 434; for indicator -T only with limit switches; only for housing 91; only with /CN Only for power supply 424, 430, 434; for indicator -T only with limit switches; only for housing 91; only with /VE or /VR Only for indicator -T without limit switches Only for indicator -T without limit switches; only with /VE or /VR Only with option /KS1 or /KF1
	/KS2	ATEX intrinsically safe "ia" + dust proof "tb"	
	/KS3	ATEX intrinsically safe "ia" for use in category 3G	
	/ES1	IECEx intrinsically safe "ia"	
	/ES2	IECEx intrinsically safe "ia" + dust proof "tb"	
	/FS1	FM intrinsically safe/ nonincendive electr. transmitter (USA/ Canada), FM intrinsically safe/ nonincendive limit switches (USA)	
	/NS1	NEPSI intrinsically safe approval (China)	
	/GS1	EAC intrinsically safe "ia"	
	/KF1	ATEX flame proof "d"/ dust proof "tb"	
	/EF1	IECEx flame proof "d"/ dust proof "tb" in combination with /KC: KOSHA flame proof "d" (Korea)	
	/NF1	NEPSI flame proof "d"/ dust proof approval (China)	
	/GF1	EAC flame proof "d"	
	/KC1	ATEX non-electrical type	
	/GC1	EAC non-electrical type	
	/Q11	PESO intrinsically safe "ia" or PESO flame proof "d"	
Country-specific delivery	/VE	EAC-mark for EAEU countries	Not with /Q11 Not with /Q11 Not with /Q11; for explosion proof see /EF1 Not with /Q11
	/VR	EAC-mark and Pattern Approval marking for Russia	
	/KC	KC-mark for Korea	
	/CN	China RoHS mark	
Country-specific application	/QR	Primary verification certificate valid in Russia	Only with /VR see page 4, only with /VE
	/QR2	Primary verification certificate and Pattern Approval valid in Kazakhstan	
	/QR3	Primary verification certificate and Pattern Approval valid in Uzbekistan	

14

Options	Code	Description	Restriction
User's Manuals	/En /Dn	Quantity of instruction manuals in English Quantity of instruction manuals in German	n = 1 to 9 selectable ¹⁾ n = 1 to 9 selectable ¹⁾
Special order	/Z	Special design must be specified separately. If /Z is selected, several Suffix of Model-Suffix Code can be changed to Z.	
¹⁾ If no User's Manual is selected, only a DVD with User's Manuals is shipped with the flowmeter.			

PROCESS CONNECTION TABLE FOR METAL TUBES

Table 9

Pos.	EN-Flange incl. option /D10 & /D11												ASME-Flange RF												Male thread		Clamp		Female thread		Female thread		Flange		Measuring tube/ float combination				
	Form B1						Form B2						Class 150						Class 300						Class 600		DIN1851		Clamp		NPT/ Rp		NPT/ G			Roskita			
	Code	L ¹⁾	D2	Code	L ¹⁾	D4	Code	L ¹⁾	D6	Code	L ¹⁾	D6	Code	L ¹⁾	A1	Code	L ¹⁾	A2	Code	L ¹⁾	A3	Code	L ¹⁾	S2	Code	L ¹⁾	S4	Code	L ¹⁾	1/4R4	Code	L ¹⁾	1/4G6	Code		L ¹⁾	S5	Code	L ¹⁾
1	-	-	DN15	250	-	-	1/2"	-	-	1/2"	-	-	1/2"	-	-	1/2"	-	-	1/2"	-	-	1/2"	-	-	DN25, 1"	250	PN16	1/2"	250	PN25	1/2"	250	PN40	1/2"	250	PN10	1/2"	250	43 S0
			DN20	250	-	-	3/4"	-	-	3/4"	-	-	3/4"	-	-	3/4"	-	-	3/4"	-	-	3/4"	-	-	DN32	250	PN16	3/4"	250	PN25	3/4"	250	PN40	3/4"	250	PN10	3/4"	250	44 S0
			DN25	250	-	-	1"	-	-	1"	-	-	1"	-	-	1"	-	-	1"	-	-	1"	-	-	DN40, 1 1/2"	250	PN16	1"	250	PN25	1"	250	PN40	1"	250	PN10	1"	250	47 S0
			DN32	250	-	-	1 1/4"	-	-	1 1/4"	-	-	1 1/4"	-	-	1 1/4"	-	-	1 1/4"	-	-	1 1/4"	-	-	DN40, 1 1/2"	250	PN16	1 1/4"	250	PN25	1 1/4"	250	PN40	1 1/4"	250	PN10	1 1/4"	250	51 S0
			DN40	250	-	-	1 1/2"	-	-	1 1/2"	-	-	1 1/2"	-	-	1 1/2"	-	-	1 1/2"	-	-	1 1/2"	-	-	DN40, 1 1/2"	250	PN16	1 1/2"	250	PN25	1 1/2"	250	PN40	1 1/2"	250	PN10	1 1/2"	250	
2	-	-	DN15	250	-	-	1/2"	-	-	1/2"	-	-	1/2"	-	-	1/2"	-	-	1/2"	-	-	1/2"	-	-	DN25, 1"	250	PN16	1/2"	250	PN25	1/2"	250	PN40	1/2"	250	PN10	1/2"	250	53 L1; 53 M1
			DN20	250	-	-	3/4"	-	-	3/4"	-	-	3/4"	-	-	3/4"	-	-	3/4"	-	-	3/4"	-	-	DN32	250	PN16	3/4"	250	PN25	3/4"	250	PN40	3/4"	250	PN10	3/4"	250	54 M1; 54 S1
			DN25	250	-	-	1"	-	-	1"	-	-	1"	-	-	1"	-	-	1"	-	-	1"	-	-	DN40, 1 1/2"	250	PN16	1"	250	PN25	1"	250	PN40	1"	250	PN10	1"	250	57 L1; 57 M1
			DN32	250	-	-	1 1/4"	-	-	1 1/4"	-	-	1 1/4"	-	-	1 1/4"	-	-	1 1/4"	-	-	1 1/4"	-	-	DN40, 1 1/2"	250	PN16	1 1/4"	250	PN25	1 1/4"	250	PN40	1 1/4"	250	PN10	1 1/4"	250	57 S1; 61 L1
			DN40	250	-	-	1 1/2"	-	-	1 1/2"	-	-	1 1/2"	-	-	1 1/2"	-	-	1 1/2"	-	-	1 1/2"	-	-	DN40, 1 1/2"	250	PN16	1 1/2"	250	PN25	1 1/2"	250	PN40	1 1/2"	250	PN10	1 1/2"	250	61 M1; 61 S1
3	-	-	DN15	250	-	-	1/2"	-	-	1/2"	-	-	1/2"	-	-	1/2"	-	-	1/2"	-	-	1/2"	-	-	DN50, 2"	250	PN16	1"	250	PN16	1"	250	PN40	1"	250	PN10	1"	250	62 L1; 62 M1
			DN25	250	-	-	3/4"	-	-	3/4"	-	-	3/4"	-	-	3/4"	-	-	3/4"	-	-	3/4"	-	-	DN50, 2"	250	PN16	3/4"	250	PN16	3/4"	250	PN40	3/4"	250	PN10	3/4"	250	62 V1
			DN32	250	-	-	1"	-	-	1"	-	-	1"	-	-	1"	-	-	1"	-	-	1"	-	-	DN50, 2"	250	PN16	1"	250	PN16	1"	250	PN40	1"	250	PN10	1"	250	63 L2; 64 L2
			DN40	250	-	-	1 1/4"	-	-	1 1/4"	-	-	1 1/4"	-	-	1 1/4"	-	-	1 1/4"	-	-	1 1/4"	-	-	DN50, 2"	250	PN16	1 1/4"	250	PN16	1 1/4"	250	PN40	1 1/4"	250	PN10	1 1/4"	250	63 M2; 64 M2
			DN50	250	-	-	1 1/2"	-	-	1 1/2"	-	-	1 1/2"	-	-	1 1/2"	-	-	1 1/2"	-	-	1 1/2"	-	-	DN50, 2"	250	PN16	1 1/2"	250	PN16	1 1/2"	250	PN40	1 1/2"	250	PN10	1 1/2"	250	63 S2; 64 S2
4	-	-	DN15	250	-	-	1/2"	-	-	1/2"	-	-	1/2"	-	-	1/2"	-	-	1/2"	-	-	1/2"	-	-	DN65, 3"	300	PN10	2"	300	PN10	2"	300	PN40	2"	300	PN10	2"	300	64 V2
			DN25	250	-	-	3/4"	-	-	3/4"	-	-	3/4"	-	-	3/4"	-	-	3/4"	-	-	3/4"	-	-	DN65, 3"	300	PN10	3/4"	300	PN10	3/4"	300	PN40	3/4"	300	PN10	3/4"	300	67 L5; 67 M5
			DN32	250	-	-	1"	-	-	1"	-	-	1"	-	-	1"	-	-	1"	-	-	1"	-	-	DN65, 3"	300	PN10	1"	300	PN10	1"	300	PN40	1"	300	PN10	1"	300	67 S5; 71 L5
			DN40	250	-	-	1 1/4"	-	-	1 1/4"	-	-	1 1/4"	-	-	1 1/4"	-	-	1 1/4"	-	-	1 1/4"	-	-	DN65, 3"	300	PN10	1 1/4"	300	PN10	1 1/4"	300	PN40	1 1/4"	300	PN10	1 1/4"	300	71 M5; 71 S5
			DN50	250	-	-	1 1/2"	-	-	1 1/2"	-	-	1 1/2"	-	-	1 1/2"	-	-	1 1/2"	-	-	1 1/2"	-	-	DN65, 3"	300	PN10	1 1/2"	300	PN10	1 1/2"	300	PN40	1 1/2"	300	PN10	1 1/2"	300	72 L5; 72 M5
5	-	-	DN15	250	-	-	1/2"	-	-	1/2"	-	-	1/2"	-	-	1/2"	-	-	1/2"	-	-	1/2"	-	-	DN100, 4"	250	PN10	3"	250	PN10	3"	250	PN40	3"	250	PN10	3"	250	72 S5; 72 V5
			DN25	250	-	-	3/4"	-	-	3/4"	-	-	3/4"	-	-	3/4"	-	-	3/4"	-	-	3/4"	-	-	DN100, 4"	250	PN10	3/4"	250	PN10	3/4"	250	PN40	3/4"	250	PN10	3/4"	250	73 L8; 73 V8
			DN32	250	-	-	1"	-	-	1"	-	-	1"	-	-	1"	-	-	1"	-	-	1"	-	-	DN100, 4"	250	PN10	1"	250	PN10	1"	250	PN40	1"	250	PN10	1"	250	74 L8; 74 V8
			DN40	250	-	-	1 1/4"	-	-	1 1/4"	-	-	1 1/4"	-	-	1 1/4"	-	-	1 1/4"	-	-	1 1/4"	-	-	DN100, 4"	250	PN10	1 1/4"	250	PN10	1 1/4"	250	PN40	1 1/4"	250	PN10	1 1/4"	250	77 L8; 77 V8
			DN50	250	-	-	1 1/2"	-	-	1 1/2"	-	-	1 1/2"	-	-	1 1/2"	-	-	1 1/2"	-	-	1 1/2"	-	-	DN100, 4"	250	PN10	1 1/2"	250	PN10	1 1/2"	250	PN40	1 1/2"	250	PN10	1 1/2"	250	
6	-	-	DN100	250	-	-	4"	-	-	4"	-	-	4"	-	-	4"	-	-	4"	-	-	4"	-	-	DN125	300	PN16	4"	300	PN16	4"	300	PN40	4"	300	PN16	4"	300	81 11
			DN125	250	-	-	5"	-	-	5"	-	-	5"	-	-	5"	-	-	5"	-	-	5"	-	-	DN125	300	PN16	5"	300	PN16	5"	300	PN40	5"	300	PN16	5"	300	82 11
			DN150	250	-	-	6"	-	-	6"	-	-	6"	-	-	6"	-	-	6"	-	-	6"	-	-	DN125	300	PN16	6"	300	PN16	6"	300	PN40	6"	300	PN16	6"	300	

¹⁾ L = face to face length
²⁾ Accuracy 2.5 % instead of 1.6 % (q₁= 50 %)
³⁾ Only with option /A16 available

FLOW TABLES FOR METAL TUBES

Table 10

Pos	Measuring range for water and liquids						Measuring range for air and gases					
	Recommended combination			Alternative combination			Recommended combination			Alternative combination		
	Max. flow m³/h ¹⁾	Pressure loss ²⁾ mbar	Conne- Float- combin. Code	Viscosity ³⁾ mPa·s	Pressure loss ⁴⁾ mbar	Conne- Float- combin. Code	Max. flow m³/h ¹⁾	Pressure loss ²⁾ mbar	Conne- Float- combin. Code	Max. flow m³/h ¹⁾	Pressure loss ²⁾ mbar	Conne- Float- combin. Code
1	0.025	0.11	43 S0	10	-	-	0.75	0.7	0.44	43 S0	45	-
	0.04	0.18	44 S0	40	80	-	1.2	1.1	0.7	44 S0	45	-
	0.063	0.28	47 S0	40	80	-	1.8	1.7	1.05	47 S0	45	-
	0.1	0.44	51 S0	40	80	-	3	2.8	1.75	51 S0	45	-
	0.13	0.57	53 L1	12	50	-	4	3.6	2.3	53 L1	13	-
	0.16	0.7	-	-	-	53 M1	5.5	5	3.2	-	53 M1	21
2	0.22	1.0	54 L1	12	50	-	-	-	-	-	-	-
	0.25	1.1	53 S1	40	100	54 M1	6.5	6	3.8	54 L1	13	-
	0.32	1.4	-	-	-	57 L1	9	8.5	5	-	54 M1	21
	0.4	1.8	54 S1	40	50	57 M1	10	9	5.7	57 L1	13	-
	0.5	2.2	-	-	-	61 L1	14	13	8	-	57 M1	21
	0.63	2.8	57 S1	40	50	61 M1	16	15	9	61 L1	13	-
	0.8	3.5	-	-	-	62 L1	22	20	12	-	61 M1	21
	1.0	4.4	61 S1	40	100	62 M1	25	23	14	62 L1	13	-
	1.6	7.0	62 S1	40	100	-	34	32	20	-	62 S1	45
	2.2	10.1	-	-	-	62 V1	50	45	28	-	62 S1	45
3	1.3	5.7	63 L2	17	50	-	40	36	23	63 L2	19	-
	2.1	9.2	-	-	-	64 L2	50	47	29	-	63 M2	23
	2.5	11.0	63 S2	42	30	64 M2	60	55	35	64 L2	19	-
	4	17.6	64 S2	42	10	-	85	80	50	-	64 M2	23
	6	26.4	-	-	-	64 V2	120	110	70	-	64 S2	47
	3.2	14	67 L5	13	50	-	100	90	57	67 L5	16	-
4	5.0	22	-	-	-	71 L5	130	120	75	-	67 M5	25
	6.3	28	67 S5	47	30	-	160	150	90	71 L5	16	-
	8.5	37	-	-	-	72 L5	200	190	115	-	71 M5	25
	10	44	71 S5	47	5	72 M5	250	230	140	72 L5	16	-
	16	70	72 S5	47	5	-	340	320	200	-	-	-
	25	110	-	-	-	72 V5	500	470	290	-	72 M5	25
5	25	110	73 V8	60	10	-	550	500	320	73 L8	30	-
	40	176	74 V8	60	10	-	850	800	500	74 L8	30	-
	63	277	77 V8	60	10	-	1400	1300	800	77 L8	30	-
	100	440	81 L1	70	10	-	-	-	-	-	-	-
6	190	572	82 L1	70	10	-	-	-	-	-	-	-

¹⁾ Pressure loss at the float with water or air.
²⁾ For higher viscosity the specified precision is no more guaranteed.
³⁾ Flow is referred to +20 °C and 1.013 bar abs.
⁴⁾ Flow in US Gallons per minute at +70 °F.
⁵⁾ Flow referred to 0 °C and 1.013 bar abs at operation conditions of +20 °C and 1.013 bar abs.
⁶⁾ Flow in Standard cubic foot per minute referred to +60 °F and 14.7 PSI at operation conditions of +70 °F und 14.7 PSI abs.

For your special application please use the Yokogawa Sizing Software "FlowConfigurator".

PROCESS CONNECTION- AND FLOW-TABLE FOR TUBES WITH PTFE-LINING

Table 11

Pos.	Process connection						Measuring range for water and liquids				Measuring range for air and gases				
	EN-Flange		ASME-Flange RF				Max. Flow m³/h ¹⁾ gpm ²⁾	Conc. Fluor. combination	Pressure loss ³⁾ mbar	Visc. coeff. ⁴⁾ mPa·s	Max. flow		Conc. Fluor. combination	Pressure loss ⁵⁾ mbar	
	PN16 Code	PN40 Code	L ⁶⁾ mm	Class 150 Code	L ⁷⁾ mm	Class 300 Code					L ⁸⁾ mm	m³/h ¹⁾			LIN ⁹⁾ scfm ^e
2	-	D2	D4	A1	A2	mm	0.1	51 A1	16	50	3.5	3.3	2	51 A1	20
		-	-	-	-	250	0.16	52 A1	16	50	5	4.7	2.9	52 A1	20
		-	DN15	3/4"	1"	250	0.25	53 A1	16	50	8.5	8	5	53 A1	20
		-	DN25	1"	1"	250	0.4	54 A1	16	50	13	12	7.5	54 A1	20
3	-	-	-	-	-	250	0.63	57 A1	16	50	1	20	18	57 A1	20
		-	-	-	-	250	1	61 V1	18	50	34	32	20	61 V1	22
		-	DN25	1 1/4"	1 1/2"	250	1.6	62 A2	20	30	50	47	29	62 A2	25
		-	DN40	1 1/2"	1 1/2"	250	2.5	63 A2	20	10	85	80	50	63 A2	25
4	-	-	-	-	-	250	4	63 V2	22	50	4	-	-	-	-
		-	-	-	-	270	4	64 A5	20	30	130	120	75	64 A5	25
		-	DN50	2 1/4"	2 1/2"	270	6.3	67 A5	20	30	200	190	115	67 A5	25
		-	DN65	3"	3"	270	10	71 A5	20	5	350	330	200	71 A5	25
5	-	-	-	-	-	250	16	71 V5	22	10	16	-	-	-	-
		-	-	-	-	270	16	72 V8	25	10	500	470	290	72 V8	27
		-	DN100	3 1/4"	4"	270	25	73 V8	25	10	850	800	500	73 V8	27
		-	DN80	4"	4"	270	40	74 V8	25	10	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	250	63	77 V10	30	10	63	-	-	-	-
		-	DN100	4"	4"	270	63	77 V10	30	10	-	-	-	-	-

1) Pressure loss at the float with water or air.
 2) As from this viscosity the specified precision is no more guaranteed.
 3) Flow is referred to +20 °C and 1 bar abs.
 4) Flow in US Gallons per minute at +70 °F.
 5) Flow referred to 0 °C and 1.013 bar abs at operation conditions of +20 °C and 1.013 bar abs.
 6) Flow in Standard cubic feet per minute referred to +60 °F and 14.7 PSI at operation conditions of +70 °F and 14.7 PSI abs.
 7) L = mounting length

For your special application please use the Yokogawa Sizing Software "FlowConfigurator".

TEMPERATURE LIMITATIONS, STANDARD AND INTRINSICALLY SAFE

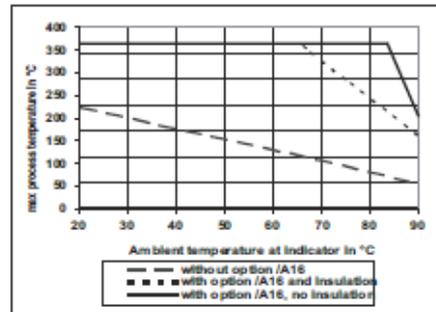


fig. 1a RAMC: • Type 90 / 91 without limit switch

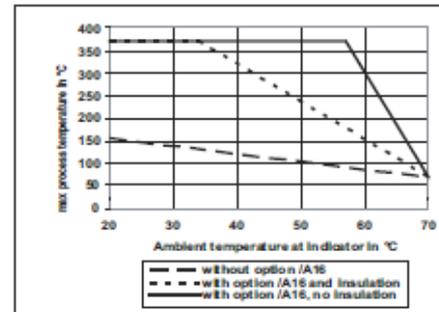


fig. 1b RAMC: • Type E90, H90, J90, E91, H91, J91 and limit switches (in case of intrinsic safe limit switches the maximum ambient temperature is limited by the temperature class according to the certificate or for option /FS1 by the control drawing).

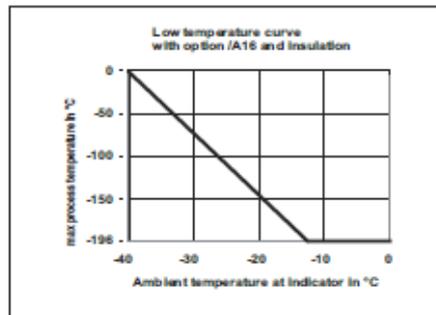


fig. 1c RAMC: • All indicator types

The temperature graphs are reference values for size DN100. They may be influenced negative by trapped heat, external heat sources or radiated heat and influenced positive for smaller sizes.

Insulation means stone wool between tube and indicator, not touching the indicator. The indicator shall not be insulated.

Units with electronic transmitter can show the temperature of the internal transmitter on the display or HART®-type can show and supervise the internal temperature by HART®-communication.

Units with PTFE-lining are usable up to +130 °C.

For units with explosion proof certification the temperature limits according the certificate of conformity must be regarded (see also page 5 to 10).

MINIMUM AMBIENT TEMPERATURE

Table 12

Flowmeter	Model code	Minimum ambient temperature
RAMC with mechanical Indicator	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□	-25 °C; -40 °C with option /A26 ¹⁾
RAMC with standard limit switches /K1, /K2, /K3	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /K1, /K2, /K3	-25 °C
RAMC with fail-safe limit switches /K6, /K7, /K8	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /K6, /K7, /K8	-25 °C; -40 °C with option /A26 ¹⁾
RAMC with fail-safe limit switches /K9, /K10	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /K9, /K10	-25 °C
RAMC with electronic transmitter	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□	-25 °C
	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□	-25 °C
	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□	-25 °C; -40 °C with option /A26 ¹⁾
	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□	-25 °C; -40 °C with option /A26 ¹⁾
RAMC Intrinsically safe type	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /KS1	-25 °C; -40 °C with option /A26 ¹⁾
	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /KS1, /K1, /K2, /K3	-25 °C
	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /KS1, /K6, /K7, /K8	-25 °C; -40 °C with option /A26 ¹⁾
	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /KS1, /K9, /K10	-25 °C
	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /KS3	-25 °C; -40 °C with option /A26 ¹⁾
	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /KS3, /K1, /K2, /K3	-25 °C
	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /KS3, /K6, /K7, /K8	-25 °C; -40 °C with option /A26 ¹⁾
	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /KS3, /K9, /K10	-25 °C
	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /ES1	-25 °C; -40 °C with option /A26 ¹⁾
	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /ES1, /K1, /K2, /K3	-25 °C
	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /ES1, /K6, /K7, /K8	-25 °C; -40 °C with option /A26 ¹⁾
	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /ES1, /K9, /K10	-25 °C
	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /FS1, /K1, /K2, /K3, /K9, /K10	-25 °C
	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /FS1, /K6, /K7, /K8	-25 °C; -40 °C with option /A26 ¹⁾
RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /FS1, /...	-25 °C	
RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /FS1, /...	-25 °C	
RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /FS1, /...	-25 °C	
RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /NS1, /...	-25 °C; -40 °C with option /A26 ¹⁾	
RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /GS1	-25 °C; -40 °C with option /A26 ¹⁾	
RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /GS1, /K1, /K2, /K3, /K6, /K7, /K8, /K9, /K10	-25 °C; -40 °C with option /A26 ¹⁾	
RAMC flame proof or dust proof type	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /KF1, /...	-20 °C
	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /EF1, /...	
	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /NF1, /...	
	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /KS2, /...	
RAMC flame proof type	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /GF1, /...	-40 °C
RAMC non-electrical type	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /KC1, /...	-40 °C
	RAMC□□-□□□□-□□□□-□□□□□□ /GC1, /...	

¹⁾ Below -25 °C the LC-display will not work. Also the push buttons should not be used below -25 °C!

20

PRESSURE TEMPERATURE (PT)-RATING

The pressure relevant temperature limits of the RAMC are:

-196 to +370 °C for units with SS wetted parts

-80 to +130 °C for units with PTFE wetted parts.

These limits are reduced by metrological boundary conditions (see temperature curves and table).

Table 13

Process connection		Process pressure p(T) in bar									
Code	Description	-196 °C	RT(20 °C)	50 °C	100 °C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	350 °C	370 °C
A1 ¹⁾	Flange ASME Class 150 RF	19	19	18.4	16.2	14.8	13.7	12.1	10.2	8.4	7.4
A2 ¹⁾	Flange ASME Class 300 RF	49.6	49.6	48.1	42.2	38.5	35.7	33.4	31.6	30.3	24.8
A3 ¹⁾	Flange ASME Class 600 RF	99.3	99.3	96.2	84.4	77	71.3	66.8	63.2	60.7	49.5
D2	Flange EN PN16	16	16	15.6	15.1	13.7	12.7	11.9	11.0	10.5	10.2
D4	Flange EN PN40	40	40	38.9	37.9	34.4	31.8	29.9	27.6	26.4	25.7
D5	Flange EN PN63	63	63	61.5	59.7	54.3	50.1	47.1	43.5	41.7	40.5
D6	Flange EN PN100	100	100	97.8	94.7	86.1	79.5	74.7	69.0	66.1	64.2
T4/R4	Internal thread 1/2" (RAMC01-...)	25	25	25	25	20	20	20	20		
T4/R4	Internal thread 3/8" (RAMC23-...)	25	25	25	25	20	20	20	20		
T4/R4	Internal thread 1" (RAMC02-...)	16	16	16	16	16	16	16	16		
T4/R4	Internal thread 2" (RAMC05-...)	10	10	10	10	10	10	10	10		
T4/R4	Internal thread 2 1/2" (RAMC06-...)	10	10	10	10	10	10	10	10		
T6/R6	Internal thread 1/2" (RAMC01-...)	40	40	40	40	40	40	40	40		
T6/R6	Internal thread 3/8" (RAMC23-...)	40	40	40	40	40	40	40	40		
T6/R6	Internal thread 1" (RAMC02-...)	40	40	40	40	40	40	40	40		
T6/R6	Internal thread 1 1/2" (RAMC03-...)	40	40	40	40	40	40	40	40		
T6/R6	Internal thread 1 1/2" (RAMC04-...)	40	40	40	40	40	40	40	40		
T6/R6	Internal thread 2 1/2" (RAMC06-...)	40	40	40	40	40	40	40	40		
Code	Description	-	RT(20 °C)	50 °C	100 °C	140 °C	-	-	-	-	-
S2	Fitting DIN 11851 (RAMC02-...)		40	40	40	40					
S2	Fitting DIN 11851 (RAMC05-...)		25	25	25	25					
S2	Fitting DIN 11851 (RAMC06-...)		25	25	25	25					
S2	Fitting DIN 11851 (RAMC08-...)		25	25	25	25					
S2	Fitting DIN 11851 (RAMC10-...)		25	25	25	25					
S2	Fitting DIN 11851 (RAMC12-...)		16	16	16	16					
S4	TRI-CLAMP® DIN 32676 (RAMC02-...)		25	25	25	25					
S4	TRI-CLAMP® DIN 32676 (RAMC03-...)		25	25	25	25					
S4	TRI-CLAMP® DIN 32676 (RAMC04-...)		25	25	25	25					
S4	TRI-CLAMP® DIN 32676 (RAMC05-...)		16	16	16	16					
S4	TRI-CLAMP® DIN 32676 (RAMC08-...)		10	10	10	10					
S4	TRI-CLAMP® DIN 32676 (RAMC10-...)		10	10	10	10					
S5	Flange Rosista (RAMC02-...)		10								
S5	Flange Rosista (RAMC04-...)		10								

¹⁾ Dual certified AISI 316/316L

DIMENSIONS AND WEIGHTS

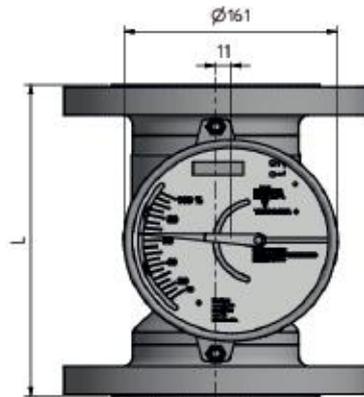


fig. 2a Front view housing type 90 (SS)

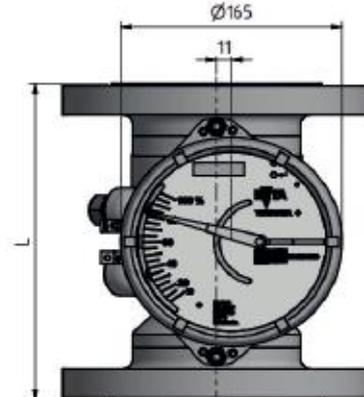


fig. 2b Front view housing type 91 (Al)

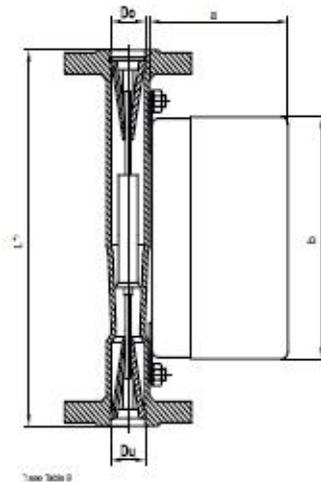


fig.3 SS metering tube

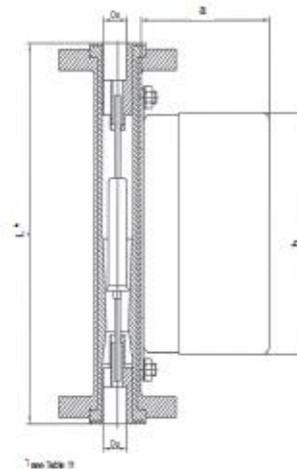


fig.4 SS metering tube with PTFE-lining

Table 14 Housing types

	a in mm	b in mm
Housing type 90	104	161
Housing type 91 standard	110	165
Housing type 91 flame proof, option L3F1	118	165

22

Table 15

Inner diameter of stainless steel flanges				Inner diameter of flanges with PTFE-lining			
Pos. ¹⁾	Size		Du - Do in mm	Pos. ¹⁾	Size		Du - Do in mm
1	DN15 to DN50	½" to 1"	20.7	—	—	—	—
2	DN15 to DN50	½" to 2"	20.7	2	DN15 to DN25	¾" to 1"	23.5
3	DN25 to DN50	1" to 2"	29.5	3	DN25 to DN50	1½" to 1½"	36.0
4	DN50 to DN100	2" to 3"	65.5	4	DN50 to DN80	2½" to 3"	66.0
5	DN80 to DN150	3" to 6"	88.2	5	DN80 to DN100	3½" to 4"	92.0
6	DN100 to DN150	4" to 6"	110.0	6	DN100	4"	110.0

¹⁾ See table 9, 10, 11

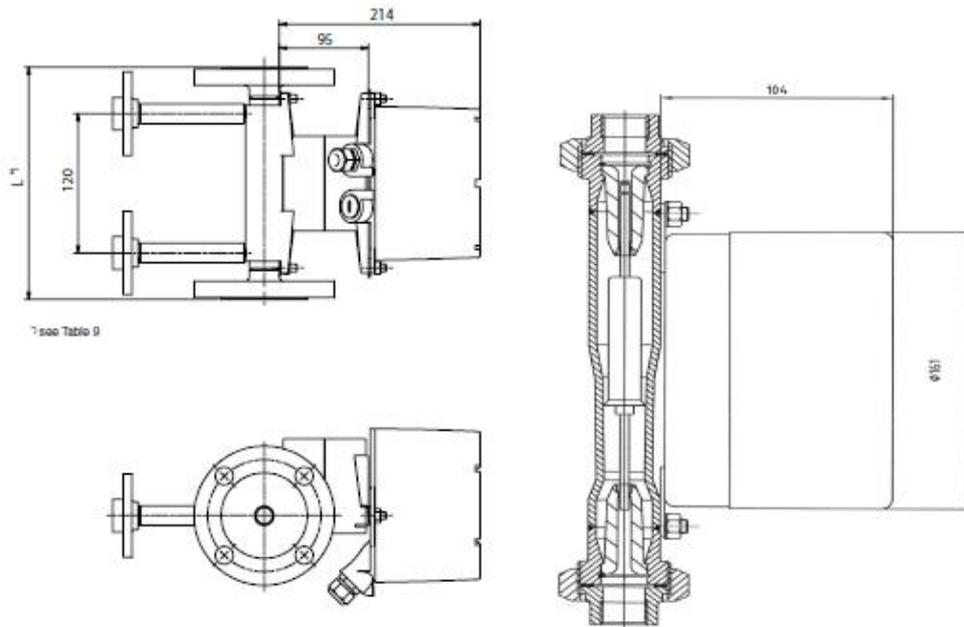


fig. 6 RAMC type transmitters /T16 and /T2

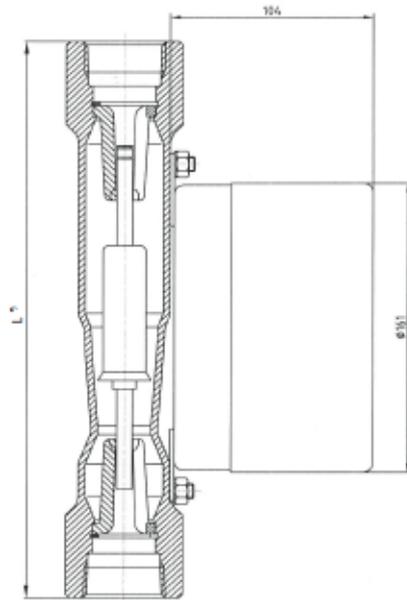


fig. 7 RAMC with connection T6/G6

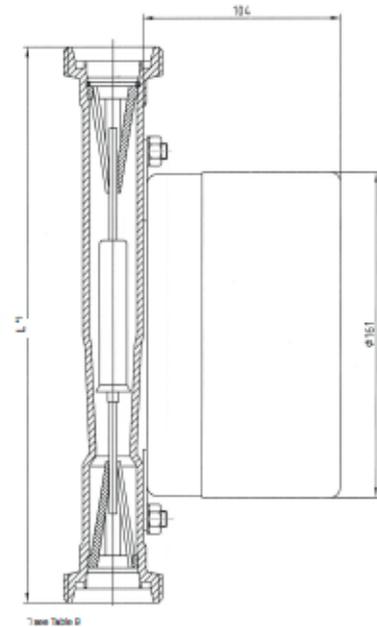


fig. 8 RAMC with connection S2

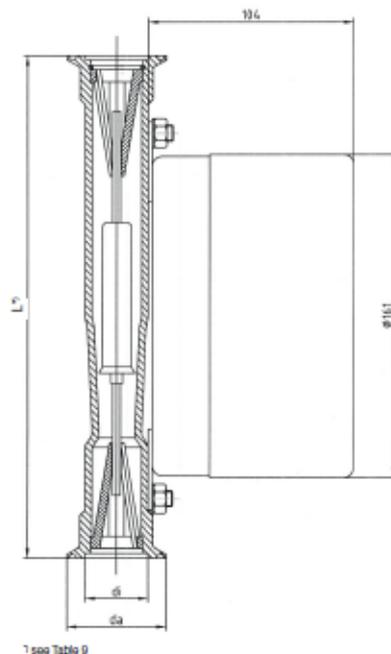


fig. 9 RAMC with connection S4

Table 16 Diameter for connection sizes S4

Pos. ¹⁾	Size	di in mm	da in mm
1	DN25, 1"	36	50.5
	DN32	36	50.5
	DN40, 1½"	36	50.5
2	DN25, 1"	36	50.5
	DN32	36	50.5
	DN40, 1½"	36	50.5
3	DN50, 2"	47.8	64
4	DN65, 3"	72.1	91
5	DN100, 4"	97.6	119

¹⁾ See table 9 and 11

Table 17 Weights

Pos. ¹⁾	Weight in kg
1	3 to 5
2	3 to 5
3	6.5 to 8
4	8.6 to 11
5	13 to 16
6	17 to 20

¹⁾ See table 9, 10, 11

Indicator on distance (option /A16) additional 1 kg

24

REGISTERED TRADEMARKS

Rotameter® is a trademark of Rota Yokogawa GmbH & Co. KG, a subsidiary of Yokogawa Electric Corporation, Japan.
In the United Kingdom Rotameter™ is a trademark of Emerson Electric Co.

HART®: Registered trademark of HART® Communication Foundation, Austin, TX, USA
TRI-CLAMP®: Registered trademark of Ladish & Co., Inc., Kenosha, USA

<p>YOKOGAWA ELECTRIC CORPORATION Headquarters 2-9-32, Nakacho, Musashino-shi, Tokyo, 180-8750 JAPAN Phone : 81-422-52-2222 Branch Sales Offices Osaka, Nagoya, Hiroshima, Korshiki, Fukuoka, Kitakyuiku</p>	<p>YOKOGAWA ELECTRIC CIS LTD. Gribovskiy per 13 Building 2, 4th Floor 129090, Moscow, RUSSIA Phone : 7-495-737-7899 Fax : 7-495-737-7899</p>	<p>YOKOGAWA INDIA LTD. Plot No.96, Electronic City Complex, Hosur Road, Bangalore - 560 100, INDIA Phone : 91-80-4159-4000 Fax : 91-80-2852-1442</p>
<p>YOKOGAWA CORPORATION OF AMERICA Head Office 12530 West Airport Blvd., Sugar Land, Texas 77478, USA Phone : 1-281-340-3000 Fax : 1-281-340-3838 Georgia Office 2 Dart Road, Norcross, Georgia 30285, USA Phone : 1-800-888-6400/ 1-770-253-7000 Fax : 1-770-254-0928</p>	<p>YOKOGAWA CHINA CO., LTD. 3F Tower D, No. 599 West Tianshan Rd., Shanghai CHINA, 200335 Phone : 86-21-62296282 Fax : 86-21-62287999</p>	<p>YOKOGAWA AUSTRALIA PTY. LTD. Tower A, 112-118 Talavera Road, Macquarie Park NSW 2113, AUSTRALIA Phone : 61-2-9870-4110 Fax : 61-2-9870-1111</p>
<p>YOKOGAWA AMERICA DO SUL LTDA. Praça Acapulco, 31 - Santa Amara, São Paulo/SP, BRASIL - CEP-04675-190 Phone : 55-11-5681-2400 Fax : 55-11-5681-4434</p>	<p>YOKOGAWA ELECTRIC KOREA CO., LTD. (Yokogawa B/D, Yangpyeong-dong 4-Ga), 21, Seonyu-ro 45-gil, Yeongdeungpo-gu, Seoul - 150-899, KOREA Phone : 82-2-2628-6000 Fax : 82-2-2628-6400</p>	<p>YOKOGAWA MIDDLE EAST & AFRICA B.S.C.(C) P.O. Box 1 0070, Minawa, Building 577, Road 2516, Bualweh 225, Muharraq, Kingdom of SAUDI ARABIA Phone : 97 3-47 259100 Fax : 973-17330100</p>
<p>YOKOGAWA EUROPE B. V. Euroweg 2, 3825 HD Amersfoort, THE NETHERLANDS Phone : 31-89-4641000 Fax : 31-89-4641111</p>	<p>YOKOGAWA ENGINEERING ASIA PTE. LTD. 5 Bedok South Road, Singapore 469270, SINGAPORE Phone : 65-6241-9933 Fax : 65-6241-2000</p>	

2.4. Datos técnicos de la fuente de alimentación



EA-PSI 9000 3U 3.3 KW - 150 KW
HOCHLEISTUNGS-DC-LABORNETZGERÄTE / HEAVY DUTY LABORATORY DC POWER SUPPLIES



U

I

P

R

OVP

OCP

OPP

OTP





19"





MS



ABCC



WC



IEEE



EA-PSI 9200-210 3U

- > Mehrphaseneingang 340...480 V_{AC}
- > Hoher Wirkungsgrad bis 95,6%
- > Ausgangsleistungen: 0...3,3 kW, 0...6 kW, 0...8,8 kW, 0...10 kW, 0...16 kW, erweiterbar bis 160 kW
- > Ausgangsspannungen: 0...40 V bis 0...1600 V
- > Ausgangsströme: 0...30 A bis 0...610 A
Erweiterbar bis 0...6100 A
- > Flexible, leistungsgeregelte Ausgangsstufe
- > Diverse Schutzfunktionen (OVP, OCP, OPP, OTP)
- > Intuitives TFT-Touch-Panel mit Anzeige für alle Werte, Zustandsanzeigen und Meldungen
- > Fernfühleingang mit automatischer Erkennung
- > Galvanisch getrennte, analoge Schnittstelle mit
 - U / I / P programmierbar mit 0...10 V oder 0...5 V
 - U / I Monitorausgang mit 0...10 V oder 0...5 V
- > Integrierter, echter Funktionsgenerator
- > Photovoltaik-Quellen-Simulation
- > Innenwiderstandsregelung
- > Temperaturregelter Lüfter zur Kühlung
- > 40 V-Modelle gemäß SELV nach EN 60960
- > USB-Schnittstelle serienmäßig
- > EMV TÜV-geprüft nach IEC 61000-8-2:2008 Klasse B
- > Optionale, digitale Schnittstellenmodule, alternativ fest installierter IEEE/GPIB-Port
- > SCPI-Befehlsprache

Allgemeines
Die mikroprozessorgesteuerten Hochleistungs-Labornetzgeräte der Serie EA-PSI 9000 3U bieten dem Anwender mittels benutzerfreundlicher, interaktiver Menüführung viele Funktionen und Features serienmäßig, die das Arbeiten mit diesen Geräten erheblich erleichtern.

So lassen sich Benutzerprofile und Funktionsabläufe leicht konfigurieren und abspeichern, wodurch die Reproduzierbarkeit einer Prüfung oder anderer Anwendungen erhöht wird.

Um die Gesamtleistung zu erhöhen, können Schränke mit bis zu 150 kW in bis zu 42 HE nach Kundenwunsch konfiguriert werden. Siehe auch Seite 148.

- > Multi-phase Input 340...480 V_{AC}
- > High efficiency up to 95,6%
- > Output power ratings: 0...3.3 kW, 0...6 kW, 0...8.8 kW, 0...10 kW, 0...16 kW, expandable up to 160 kW
- > Output voltages: 0...40 V up to 0...1600 V
- > Output currents: 0...30 A up to 0...610 A
Expandable up to 0...6100 A
- > Flexible, power regulated output stage
- > Various protection circuits (OVP, OCP, OPP, OTP)
- > Intuitive TFT touch panel with display for values, status and notifications
- > Remote sensing with automatic detection
- > Galvanically isolated, analog interface with
 - U / I / P programmable via 0...10 V or 0...5 V
 - U / I monitoring via 0...10 V or 0...5 V
- > Integrated true function generator
- > Photovoltaic array simulation
- > Internal resistance simulation and regulation
- > Temperature controlled fans for cooling
- > 40 V models according to SELV (EN 60960)
- > USB port integrated
- > EMC TÜV approved for IEC 61000-8-2:2008 Class B
- > Optional, digital interface modules or alternatively installed IEEE/GPIB port
- > SCPI command language supported

General
The microprocessor controlled high efficiency laboratory power supplies of series EA-PSI 9000 3U offer multiple functions and features in their standard version. User-friendly, interactive menu navigation makes the use of this equipment remarkably easy and most effective.

User and process profiles can be edited, saved and archived so that the reproducibility of a test or other application is improved.

In order to achieve even higher output power, cabinets with up to 150 kW and up to 42U size can be configured to suit the user's requirements. Also see page 148.

30

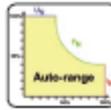
Inhaber und Auftraggeber vorbehalten / Subject to modification without notice, errors and omissions excepted
© EA-Electro-Automatik GmbH, 2015

EA-PSI 9000 3U 3.3 KW - 150 KW
HOCHLEISTUNGS-DC-LABORNETZGERÄTE / HEAVY DUTY LABORATORY DC POWER SUPPLIES



Leistung

Alle Modelle haben eine flexible, leistungsgerechte Ausgangsstufe, die bei hoher Ausgangsspannung den Strom oder bei hohem Ausgangsstrom die Spannung so reduziert, daß die maximale Ausgangsleistung nicht überschritten wird. Der Leistungswert ist hierbei einstellbar.
 So kann mit nur einem Gerät ein breites Anwendungsspektrum abgedeckt werden.



Power

All models are equipped with a flexible auto-ranging output stage which provides a higher output voltage at lower output current, or a higher output current at lower output voltage, always limited to the max. nominal output power. The power set value is adjustable with these models. Therefore, a wide range of applications can already be covered by the use of just one single unit.

Eingang

Die Geräte besitzen alle eine aktive Leistungsfaktorkorrektur (PFC) und sind für den Einsatz an einem Drehstromnetz mit 340 V bis 460 V AC ausgelegt. Alternativ können Geräte mit 15 kW oder daraus kombinierte Systeme mit AC-Eingang für Sternschaltung mit 588...796 V AC plus MP geliefert werden.

Input

The device are equipped with an active Power Factor Correction circuit and are designed for a usage on a three-phase supply with 340 V - 460 V AC. Alternatively, models with 15 kW or cabinets based on these models can be delivered with input range 588...796 V AC (plus central point) upon request.

DC-Ausgang

Zur Verfügung stehen Geräte mit DC-Ausgangsspannungen zwischen 0...40 V und 0...1500 V, Ströme zwischen 0...40 A und 0...510 A und Leistungen von 0...3.3 kW, 0...5 kW, 0...6.6 kW, 0...10 kW oder 0...15 kW. Der Ausgang befindet sich auf der Rückseite der Geräte.

DC output

DC output voltages between 0...40 V and 0...1500 V, output currents between 0...40 A and 0...510 A and output power ratings of 0...3.3 kW, 0...5 kW, 0...6.6 kW, 0...10 kW or 0...15 kW are available. The output terminal is located on the rear panel.

Schutzfunktionen

Um die angeschlossenen Verbraucher vor Beschädigung zu schützen, können eine Überspannungsschwelle (OVF), eine Überstromschwelle (OCP), sowie eine Überleistungsschwelle (OPP) eingestellt werden. Bei Erreichen eines dieser Werte wird der DC-Ausgang abgeschaltet und es wird eine Alarmmeldung in der Anzeige, sowie auf den Schnittstellen ausgegeben. Weiterhin gibt es einen Übertemperaturschutz, der den DC-Ausgang bei Überhitzung abschaltet.

Protective features

For protection of the equipment connected, it is possible to set an overvoltage protection threshold (OVF), as well as one for overcurrent (OCP) and overpower (OPP). As soon as one of these thresholds is reached for any reason, the DC output will be immediately shut off and a status signal will be generated on the display and via the interfaces. There is furthermore an overtemperature protection, which will shut off the DC output if the device overheats.

Fernführung (Sensing)

Der serienmäßig vorhandene Fernfühlungseingang (Sense) kann direkt am Verbraucher angeschlossen werden, um den Spannungsabfall auf den Lastleitungen bis zu einem gewissen Grad zu kompensieren. Das Gerät erkennt selbständig wenn die Senseleitungen angeschlossen sind und regelt die Ausgangsspannung direkt am Verbraucher.

Remote sensing

The standard sensing input can be connected directly to the load in order to compensate voltage drops along the power cables up to a certain level. If the sensing input is connected to the load, the power supply will adjust the output voltage automatically to make ensure the accurate required voltage is available at the load.

Anzeige- und Bedienelemente

Istwerte und Sollwerte von Ausgangsspannung, -strom und -leistung werden auf einem Grafikdisplay übersichtlich dargestellt. Die LCD-Anzeige ist berührungsempfindlich und ermöglicht intuitive Bedienung aller Funktionen des Gerätes mit nur einem Finger. Mittels Drehknöpfen oder auch per Direkteingabe über eine Zehnertastatur können Spannung, Strom, Leistung und der Innenwiderstand eingestellt werden. Sie dienen außerdem dazu Einstellungen im Menü vornehmen zu können. Zum Schutz gegen Fehlbedienung können die Bedienelemente gesperrt werden.

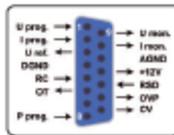
Display and controls

Set values and actual values of output voltage, output current and output power are clearly represented on the graphic display. The LC display is touch sensitive and can be intuitively used to control all functions of the device with just a finger. Set values of voltage, current, power or resistance (internal resistance simulation) can be adjusted using the rotary knobs or entered directly via a numeric pad.

To prevent unintentional operations, all operation controls can be locked.

Analogschnittstelle

Eine galvanisch getrennte Analogschnittstelle befindet sich auf der Rückseite des Gerätes. Sie verfügt über analoge Steuereingänge für 0...10 V oder 0...5 V um Spannung, Strom und Leistung von 0...100% zu programmieren. Ausgangsspannung und Ausgangsstrom können über analoge Monitorausgänge mit 0...10 V oder 0...5 V ausgelesen werden. Weiterhin gibt es einige Statuseingänge und -ausgänge.



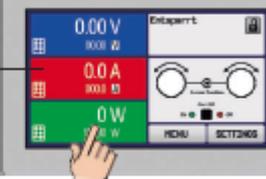
Analog Interface

There is a galvanically isolated analog interface terminal, located on the rear of the device. It offers analog inputs to set voltage, current and power from 0...100% through control voltages of 0 V...10 V or 0 V...5 V. To monitor the output voltage and current, there are analog outputs with voltage ranges of 0 V...10 V or 0 V...5 V. Also, several inputs and outputs are available for controlling and monitoring the device status.

EA-PSI 9000 3U 3.3 KW - 150 KW
HOCHLEISTUNGS-DC-LABORNETZGERÄTE / HEAVY DUTY LABORATORY DC POWER SUPPLIES

Anzeige- und Bedienelemente

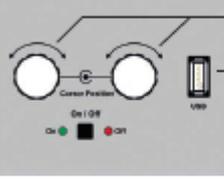
Anzeige mit Touch-Oberfläche
Display with touch panel



Display and control panel

Drehknöpfe zur komfortablen Einstellung von Werten
Knobs for comfortable value adjustment

USB-Anschluss zum Laden und Speichern von Funktionen
USB port for loading and saving functions



Funktionsgenerator

Alle Modelle dieser Serie verfügen über einen echten Funktionsgenerator, der typische Funktionen, wie unten in der Grafik dargestellt, generieren und entweder auf die Ausgangsspannung oder den Ausgangsstrom anwenden kann. Dieser kann komplett am Gerät über das Touch-Panel konfiguriert und gesteuert werden, oder aber auch per Fernsteuerung über eine der digitalen Schnittstellen.

Die vordefinierten Funktionen bieten alle nötigen Parameter der jeweiligen Funktion, wie der Y-Offset, Zeit bzw. Frequenz oder die Amplitude, zur freien Einstellung durch den Anwender.

Function generator

All models within this series include a true function generator which can generate typical functions, as displayed in the figure below, and apply them to either the output voltage or the output current. The generator can be completely configured and controlled by using the touch panel on the front of the device, or by remote control via one of the digital interfaces.

The predefined functions offer all necessary parameters to the user, such as Y offset, time / frequency or amplitude, for full configuration ability.








Dreieck
Triangle

Rechteck
Rectangle

Trapezoid
Trapezoid

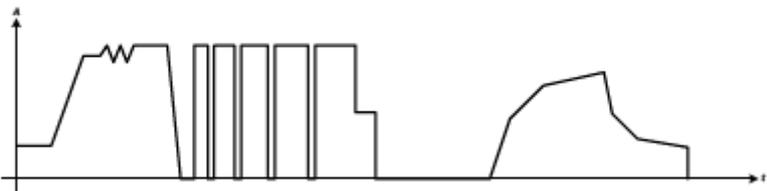
Sinus
Sine

Rampe
Ramp

DIN 40839

Zusätzlich zu den Standardfunktionen, die auf einem sogenannten Arbiträrgenerator basieren, ist dieser arbiträre Generator offen zugänglich, um komplexe Abfolge für z. B. Produktprüfungen aus bis zu 100 Sequenzen erstellen und ablaufen lassen zu können. Diese Sequenzen können mittels USB-Stick und dem USB-Port am Bedienfeld gespeichert und geladen werden, um so einen schnellen Wechsel zwischen verschiedenen Test- bzw. Prüfsequenzen zu ermöglichen.

Im Bild unten wird ein fiktives Beispiel für eine komplexe Funktion aus 40 Sequenzen gezeigt, wie sie für den Arbiträrgenerator am Gerät oder extern erstellt und geladen bzw. gespeichert werden kann.



Wellenhin gibt es einen XY-Generator mit dem sich mehrere zusätzliche Funktionen realisieren lassen. Da sind zum Einen die Funktionen UI und IU, die über frei anwenderdefinierbare Tabellen (ladbar als CSV-Datei von USB-Stick) umgesetzt werden und zum Anderen eine durch anwenderdefinierbare Eckdaten generierte PV-Kennlinie.

Weitere Kennlinien können durch Firmwareupdates fest integriert werden.

There is furthermore a XY generator, which is used to generate other functions like UI or IU, which are defined by the user in form of tables (CSV file) and then loaded from USB drive.

For photovoltaics related tests, a PV curve can be generated and used from user-adjustable key parameters. Even more characteristics can be installed for user selection by applying future firmware updates.



32

Inhalt und Änderungen vorbehalten / Subject to modification without notice, errors and omissions excepted

© EA-Electro-Automation GmbH, 2018

EA-PSI 9000 3U 3.3 KW - 150 KW
HOCHLEISTUNGS-DC-LABORNETZGERÄTE / HEAVY DUTY LABORATORY DC POWER SUPPLIES



Erweiterbarkeit
 Die Einzelgeräte können in verschiedenen Kombinationen, auch in Schränken bis 42 HE, nach Kundenwünschen konfiguriert werden, um Gesamtleistungen bis zu 150 kW ermöglichen. Parallelschaltung der Einzeleinheiten ist die Standardanwendung hierbei und es gibt eine Summenbildung der Leistung, des Stromes und der Spannung über den serienmäßig vorhandenen Master-Slave-Bus. Reihenschaltung ist bis zu einer gewissen Ausgangsspannung auch machbar. Siehe auch Seite 148.



Extensibility
 The single units can be combined into various configurations upon request, also in cabinets of up to 42U, in order to build systems of up to 150 kW total power. Parallel connection is the standard connection mode and there will be total formation of power, voltage and current on the main unit, by using the standard built-in master-slave bus. Series connection is also possible up to a certain voltage. Also see page 148.

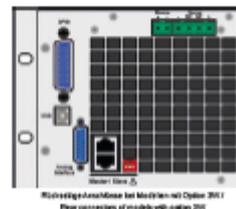
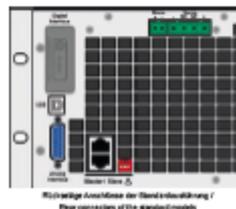
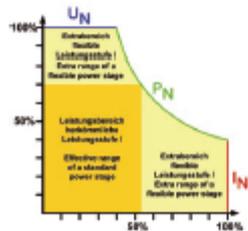
Überwachungsfunktion
 Alle Modelle bieten Überwachungsfunktionen (Supervision) für Strom und Spannung. Diese sind konfigurierbar, um eine Über- oder Unterspannung zu überwachen und ggf. eine Meldung auszulösen:
 - Meldungen wirken sich nicht auf den Ausgang aus und werden, solange sie anstehen, nur auf der Anzeige eingeblendet
 - Warnungen bleiben hingegen auch dann bestehen, wenn die Werte wieder im normalen Bereich sind und müssen dann vom Anwender quittiert werden
 - Alarmer schalten den Ausgang direkt ab und können zudem akustisch signalisiert werden

Supervision features
 All models offer supervision features for voltage and current steps. The supervision is configurable to monitor voltage or current over- and undershooting. As a reaction, the device can generate a notification of selectable type:
 - Signals are displayed only; even if the fault is still active, without affecting the output.
 - Warnings remain active and must be acknowledged after the fault is removed.
 - Alarms will shut off the output instantly and can also be signalled acoustically.

- Optionen**
- Digitale Schnittstellenmodule für RS232, CANopen, Modbus TCP, Profibus, ProfinetIO, DeviceNet oder Ethernet. Für diese Schnittstellen steht ein Steckplatz auf der Rückseite der Geräte (nur Standardmodelle) zur Verfügung, so daß Nachrüstung oder Wechsel der Schnittstellen problemlos möglich sind. Die Schnittstellen werden vom Gerät automatisch eingebunden. Siehe Seite 130.
 - 3-Wege-Schnittstelle (3W) mit einem fest installierten GPIB-Steckplatz statt des Standardlots für nachrüstbare Schnittstellenmodule
 - High Speed - Höhere Regeldynamik (siehe auch Seite 152) *
 - Wasserkühlung **

- Options**
- Digital interface modules for RS232, CANopen, Modbus TCP, Profibus, ProfinetIO, DeviceNet or Ethernet. The interface slot is located on the rear panel (standard models only), making it easy for the user to plug in a new interface or to replace an existing one. The interface will be automatically detected by the device and requires no or only little configuration. See page 130.
 - Three-way Interface (3W) with a rigid GPIB port installed instead of the default slot for retrofittable interface modules
 - High Speed ramping (see page 152) *
 - Water Cooling **

Digitale Schnittstellen / Digital interfaces



* Nicht für alle Spannungskategorien - Bitte für Highspeed anfragen
 ** Standardmäßig nur verfügbar für Modelle bis 200 V, darüber hinaus bitte anfragen

* Not available for all voltages - please quote for availability
 ** Generally available for models up to 200 V, for other models upon request

 EA-PSI 9000 3U 3.3 KW - 150 KW HOCHLEISTUNGS-DC-LABORNETZGERÄTE / HEAVY DUTY LABORATORY DC POWER SUPPLIES		
Technische Daten	Technical Data	Serie / Series EA-PSI 9000 3U
Eingang AC	Input AC	
- Spannung standard	- Voltage standard	340...400 V, 3ph-3ph
- Frequenz	- Frequency	45...60 Hz
- Leistungsfaktor	- Power factor	>0.99
Ausgangsspannung DC	Output voltage DC	
- Genauigkeit	- Accuracy	<±0.1%
- Stabilität bei 0-100% Last	- Load regulation 0-100%	<±0.05%
- Stabilität bei ±10% ΔU _{in}	- Line regulation ±10% ΔU _{in}	<±0.02%
- Ausregelung 10-100% Last	- Regulation 10-100% load	<2 ms
- Anstiegszeit 10-90%	- Slew rate 10-90%	Max. 30 ms
- Überspannungsschutz	- Overvoltage protection	Einstellbar: 0...110% U _{max} / adjustable: 0...110% U _{max}
- Entladefunktion (Leerlauf) bei DC = aus	- No load discharge time on DC off	100% U auf / to +90 V: weniger als 10 s / less than 10 s
Ausgangsstrom	Output current	
- Genauigkeit	- Accuracy	<±0.2%
- Stabilität bei 0-100% ΔI _{out}	- Load regulation 0-100% ΔI _{out}	<±0.15%
- Stabilität bei ±10% ΔU _{in}	- Line regulation ±10% ΔU _{in}	<±0.05%
Ausgangsleistung	Output power	
- Genauigkeit	- Accuracy	<±1%
Überspannungskategorie	Overvoltage category	2
Schutzvorrichtungen	Protection	OT, OVP, OPP, PF, OCP +
Spannungsfestigkeit	Isolation	
- Eingang zu Gehäuse	- Input to enclosure	2500 V DC
- Eingang zu Ausgang	- Input to output	2500 V DC
- Ausgang zu Gehäuse (PE)	- Output to enclosure (PE)	Abhängig vom Modell, siehe Modelltabellen / Depending on model, see tables
Verschmutzungsgrad	Pollution degree	2
Schutzklasse	Protection class	1
Anzeige und Bedienangeinheit	Display and panel	Grafikdisplay mit Touchpanel / Graphics display with touch panel
Digitale Schnittstellen	Digital interfaces	
- Eingebaut	- Built-in	to USB Typ B für Kommunikation / to USB type B for communication to GPIB (optional mit Option SW) / to GPIB (optional with option SW)
- Steckplatz	- Slot	to erweiterbare Steckmodule (nur Basismodelle) / to retrofittable plug-in modules (standard models only)
Analoge Schnittstelle	Analog interface	Eingebaut, 15-polige Sub-D-Buchse / built-in, 15-pole D-Sub, female
- Eingangsreichweite	- Input range	0...5 V oder 0...10 V (umschaltbar) / 0...5 V or 0...10 V (switchable)
- Genauigkeit U / I	- Accuracy U / I	0...10 V: <±0.2% 0...5 V: <±0.4%
- Programmlösung	- Programming resolution	Siehe Tabellen unten / see tables below
Reihenschaltung	Series operation	Bedingt möglich, abhängig von der Isolation des DC- gegen PE / Possible, but depending on the isolation of DC- against PE
Parallelschaltung	Parallel operation	Ja, über echtes Master-Slave, bis zu 10 Einheiten / Yes, with true master-slave, up to 10 units
Normen	Standards	EN 61326, IEC 1010, EN 61010 EMV TÜV-geprüft nach / EMC TÜV approved according to IEC 61000-6-3:2005 IEC 61000-6-3:2006 Class B
Kühlung	Cooling	Lüfter (optional: Wasser) / Fans (optional: water)
Betriebstemperatur	Operation temperature	0...50 °C
Lagertemperatur	Storage temperature	-20...70 °C
Relative Luftfeuchtigkeit	Relative humidity	<80%, n.c.
Betriebshöhe	Operation altitude	<2000 m
Abmessungen (B x H x T) **	Dimensions (W x H x D) **	19" 3 HE / 3U 829 mm

(*) Nur bei den, nicht über alle! Gehäuse typ, not over all
(**) Bitte Seite 103 / see page 103

EA-PSI 9000 3U 3.3 KW - 150 KW
HOCHLEISTUNGS-DC-LABORNETZGERÄTE / HEAVY DUTY LABORATORY DC POWER SUPPLIES

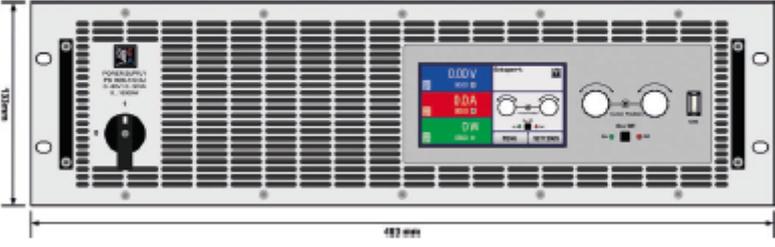


Technische Daten	Technical Data	PSI 9045-170 3U	PSI 9090-170 3U	PSI 9206-70 3U	PSI 9399-60 3U
Ausgangsspannung DC	Output voltage DC	0...40 V	0...80 V	0...200 V	0...360 V
- Rippleföigkeit ¹	- Ripple ²	<200 mV _{pp} <16 mV _{rms}	<200 mV _{pp} <16 mV _{rms}	<300 mV _{pp} <40 mV _{rms}	<320 mV _{pp} <55 mV _{rms}
- Fernfühlungsregulierung	- Sensing compensation	-1 V	-2 V	-5 V	-7.5 V
Isolation	Isolation				
- Negativer Ausgang ↔ PE	- Negative output ↔ PE	±400 V DC	±400 V DC	±400 V DC	±400 V DC
- Positiver Ausgang ↔ PE	- Positive output ↔ PE	±400 V DC	±400 V DC	±500 V DC	±900 V DC
Ausgangsstrom	Output current	0...170 A	0...170 A	0...70 A	0...40 A
- Rippleföigkeit ¹	- Ripple ²	<60 mA _{avg}	<80 mA _{avg}	<22 mA _{avg}	<18 mA _{avg}
Ausgangsleistung	Output power	0...3300 W	0...5000 W	0...5000 W	0...5000 W
Wirkungsgrad	Efficiency	-93%	-93%	-95%	-93%
Programmierauföesung U	Programming resolution U	±2 mV	±4 mV	±8 mV	±15 mV
Programmierauföesung I	Programming accuracy I	±40 mV	±80 mV	±200 mV	±380 mV
Programmierauföesung I	Programming resolution I	±7 mA	±7 mA	±3 mA	±2 mA
Programmierauföesung I	Programming accuracy I	±340 mA	±340 mA	±140 mA	±90 mA
Gewicht ³	Weight ³	-17 kg	-17 kg	-17 kg	-17 kg
Artikelnummer ⁴	Article number ⁴	06230350	06230351	06230352	06230353
Technische Daten	Technical Data	PSI 9505-30 3U	PSI 9750-20 3U	PSI 9640-340 3U	PSI 9940-510 3U
Ausgangsspannung DC	Output voltage DC	0...500 V	0...750 V	0...40 V	0...40 V
- Rippleföigkeit ¹	- Ripple ²	<350 mV _{pp} <70 mV _{rms}	<300 mV _{pp} <300 mV _{rms}	<320 mV _{pp} <25 mV _{rms}	<320 mV _{pp} <25 mV _{rms}
- Fernfühlungsregulierung	- Sensing compensation	-10 V	-15 V	-1 V	-1 V
Isolation	Isolation				
- Negativer Ausgang ↔ PE	- Negative output ↔ PE	±725 V DC	±725 V DC	±400 V DC	±400 V DC
- Positiver Ausgang ↔ PE	- Positive output ↔ PE	±1000 V DC	±1000 V DC	±400 V DC	±400 V DC
Ausgangsstrom	Output current	0...30 A	0...20 A	0...340 A	0...510 A
- Rippleföigkeit ¹	- Ripple ²	<16 mA _{avg}	<16 mA _{avg}	<160 mA _{avg}	<120 mA _{avg}
Ausgangsleistung	Output power	0...5000 W	0...5000 W	0...6600 W	0...10000 W
Wirkungsgrad	Efficiency	-95.5%	-94%	-93%	-93%
Programmierauföesung U	Programming resolution U	±21 mV	±31 mV	±2 mV	±2 mV
Programmierauföesung I	Programming accuracy U	±500 mV	±750 mV	±40 mV	±40 mV
Programmierauföesung I	Programming resolution I	±2 mA	±1 mA	±14 mA	±21 mA
Programmierauföesung I	Programming accuracy I	±60 mA	±40 mA	±660 mA	±1 A
Gewicht ³	Weight ³	-17 kg	-17 kg	-24 kg	-24 kg
Artikelnummer ⁴	Article number ⁴	06230354	06230355	06230356	06230360
Technische Daten	Technical Data	PSI 9685-340 3U	PSI 9290-160 3U	PSI 9366-80 3U	PSI 9599-60 3U
Ausgangsspannung DC	Output voltage DC	0...80 V	0...200 V	0...360 V	0...500 V
- Rippleföigkeit ¹	- Ripple ²	<320 mV _{pp} <25 mV _{rms}	<300 mV _{pp} <40 mV _{rms}	<320 mV _{pp} <55 mV _{rms}	<350 mV _{pp} <70 mV _{rms}
- Fernfühlungsregulierung	- Sensing compensation	-2 V	-5 V	-7.5 V	-10 V
Isolation	Isolation				
- Negativer Ausgang ↔ PE	- Negative output ↔ PE	±400 V DC	±400 V DC	±400 V DC	±725 V DC
- Positiver Ausgang ↔ PE	- Positive output ↔ PE	±400 V DC	±600 V DC	±500 V DC	±1000 V DC
Ausgangsstrom	Output current	0...340 A	0...140 A	0...80 A	0...60 A
- Rippleföigkeit ¹	- Ripple ²	<160 mA _{avg}	<44 mA _{avg}	<35 mA _{avg}	<32 mA _{avg}
Ausgangsleistung	Output power	0...10000 W	0...10000 W	0...10000 W	0...10000 W
Wirkungsgrad	Efficiency	-93%	-95%	-93%	-95%
Programmierauföesung U	Programming resolution U	±4 mV	±8 mV	±15 mV	±21 mV
Programmierauföesung I	Programming accuracy U	±60 mV	±200 mV	±260 mV	±500 mV
Programmierauföesung I	Programming resolution I	±14 mA	±5 mA	±4 mA	±3 mA
Programmierauföesung I	Programming accuracy I	±660 mA	±380 mA	±160 mA	±120 mA
Gewicht ³	Weight ³	-24 kg	-24 kg	-24 kg	-24 kg
Artikelnummer ⁴	Article number ⁴	06230357	06230358	06230359	06230360

¹ Ripple (V_{pp}) gemessen bei 50° mit BWL 200kHz, PP (V_{pp}) gemessen bei 50° mit BWL 200kHz / 10kHz; ripple measured at 50° with BWL 200kHz, PP value measured at 50° with BWL 200kHz
² Gewicht der Standardversion, Modifiziert mit Optionen können abweichen / Weight of standard version, modified with options may vary
³ Artikelnummer der Standardversion, Modifiziert mit Optionen können abweichen / Article number of the standard version, modified with options may vary

EA-PSI 9000 3U 3.3 KW - 150 KW HOCHLEISTUNGS-DC-LABORNETZGERÄTE / HEAVY DUTY LABORATORY DC POWER SUPPLIES					
Technische Daten	Technical Data	PSI 9750-60 3U	PSI 91000-30 3U	PSI 9000-510 3U	PSI 9200-210 3U
Ausgangsspannung DC	Output voltage DC	0...750 V	0...1000 V	0...80 V	0...300 V
- Rauschwert ¹⁾	- Ripple ¹⁾	<600 mV _{pp} <300 mV _{rms}	<1800 mV _{pp} <350 mV _{rms}	<320 mV _{pp} <55 mV _{rms}	<300 mV _{pp} <40 mV _{rms}
- Fernfühlungsausgleich	- Sensing compensation	-15 V	-20 V	-2.5 V	-6 V
Isolation	Isolation				
- Negativer Ausgang ↔ PE	- Negative output ↔ PE	±725 V DC	±725 V DC	±400 V DC	±400 V DC
- Positiver Ausgang ↔ PE	- Positive output ↔ PE	±1000 V DC	±1000 V DC	±400 V DC	±800 V DC
Ausgangstrom	Output current	0...40 A	0...30 A	0...510 A	0...210 A
- Rauschwert ¹⁾	- Ripple ¹⁾	<32 mA _{rms}	<22 mA _{rms}	<240 mA _{rms}	<66 mA _{rms}
Ausgangsleistung	Output power	0...10000 W	0...10000 W	0...15000 W	0...15000 W
Wirkungsgrad	Efficiency	-94%	-95%	-93%	-95%
Programierauflösung U	Programming resolution U	±0.1 mV	±0.1 mV	±0 mV	±0 mV
Programmiergenauigkeit U	Programming accuracy U	±750 mV	±1 V	±0 mV	±200 mV
Programierauflösung I	Programming resolution I	±0 mA	±0 mA	±0.1 mA	±0 mA
Programmiergenauigkeit I	Programming accuracy I	±0 mA	±0 mA	±1.1 A	±0.20 mA
Gewicht ²⁾	Weight ²⁾	-24 kg	-24 kg	-30 kg	-30 kg
Artikelnummer ³⁾	Article number ³⁾	08230361	08230362	08230364	08230365
Technische Daten	Technical Data	PSI 9300-120 3U	PSI 9500-80 3U	PSI 9750-60 3U	PSI 91000-30 3U
Ausgangsspannung DC	Output voltage DC	0...390 V	0...500 V	0...750 V	0...1000 V
- Rauschwert ¹⁾	- Ripple ¹⁾	<320 mV _{pp} <55 mV _{rms}	<350 mV _{pp} <70 mV _{rms}	<600 mV _{pp} <100 mV _{rms}	<2400 mV _{pp} <400 mV _{rms}
- Fernfühlungsausgleich	- Sensing compensation	-7.5 V	-10 V	-15 V	-30 V
Isolation	Isolation				
- Negativer Ausgang ↔ PE	- Negative output ↔ PE	±400 V DC	±725 V DC	±725 V DC	±725 V DC
- Positiver Ausgang ↔ PE	- Positive output ↔ PE	±600 V DC	±1000 V DC	±1000 V DC	±1500 V DC
Ausgangstrom	Output current	0...120 A	0...90 A	0...80 A	0...30 A
- Rauschwert ¹⁾	- Ripple ¹⁾	<50 mA _{rms}	<48 mA _{rms}	<48 mA _{rms}	<26 mA _{rms}
Ausgangsleistung	Output power	0...15000 W	0...15000 W	0...15000 W	0...15000 W
Wirkungsgrad	Efficiency	-93%	-95%	-94%	-95%
Programierauflösung U	Programming resolution U	±15 mV	±0.1 mV	±0.1 mV	±0.1 mV
Programmiergenauigkeit U	Programming accuracy U	±300 mV	±0.03 mV	±750 mV	±1.5 V
Programierauflösung I	Programming resolution I	±0 mA	±0 mA	±0 mA	±0 mA
Programmiergenauigkeit I	Programming accuracy I	±0 mA	±180 mA	±120 mA	±0 mA
Gewicht ²⁾	Weight ²⁾	-30 kg	-30 kg	-30 kg	-30 kg
Artikelnummer ³⁾	Article number ³⁾	08230366	08230367	08230368	08230369

¹⁾ RMS-Wert gemessen bei 100 kHz mit BWL 20 Hz, PP-Wert gemessen bei 100 kHz mit BWL 20 Hz / RMS value measured at 100 kHz with BWL 20 Hz, PP value measured at 100 kHz with BWL 20 Hz
²⁾ Gewicht der Standardversion, Modelle mit Option können abweichen / Weight of standard version, models with options may vary
³⁾ Artikelnummer der Standardlieferung, Modelle mit Option 200 angeben / Article number of the standard version, models with option 200 included have different article numbers



36

Änderungen vorbehalten / Subject to modification without notice, errors and omissions accepted
 © EA-Electro-Automatik GmbH, 2015

EA-PSI 9000 3U 3.3 KW - 150 KW
HOCHLEISTUNGS-DC-LABORNETZGERÄTE / HEAVY DUTY LABORATORY DC POWER SUPPLIES

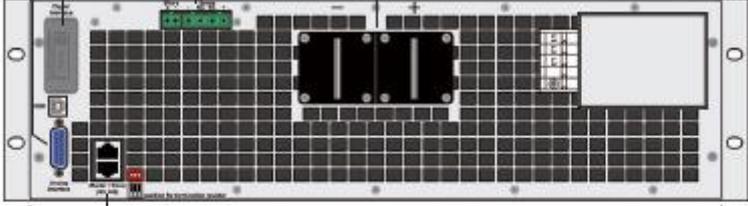


USB- und Analogschnittstelle
 USB and analog interface

Einschub für dig Schnittstellen
 Slot for digital interfaces

Anschluß Share-Bus & Sense
 Terminals for Share bus & sensing

DC-Ausgang
 DC output



Anschlüsse für Master-Slave-Bus
 Connectors for master-slave

448mm

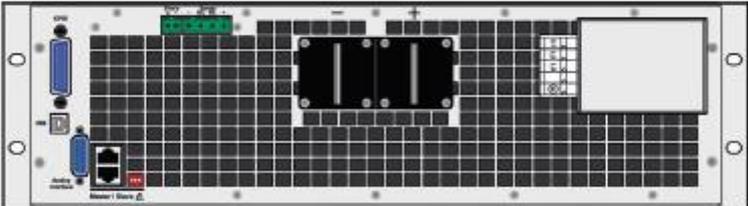
Rückansicht Standardmodell / Rear view of base model

USB- und Analogschnittstelle
 USB and analog interface

Einschub für dig Schnittstellen
 Slot for digital interfaces

Anschluß Share-Bus & Sense
 Terminals for Share bus & sensing

DC-Ausgang
 DC output



Rückansicht mit Option 3W / Rear view with option 3W



4 mm
60 mm
8 mm

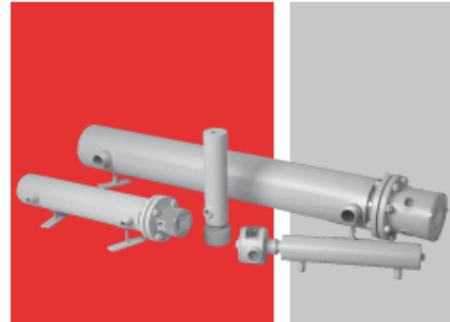
Interieur und Änderungen vorbehalten / Subject to modification without notice, errors and omissions excepted
 © EA-Elektro-Automatik GmbH, 2019

37

2.5. Datos técnicos del precalentador

Circulation Heaters

Heaters Designed to Heat Forced-Circulation Air, Gases or Liquids



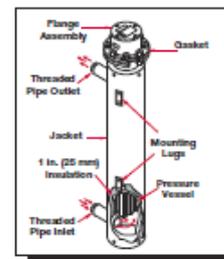
Circulation heaters provide a ready-made means to install electric heating with a minimal amount of time and labor. This is accomplished by combining heating elements, vessel, insulation, terminal enclosure, mounting brackets and inlet and outlet connections into a complete assembly.

Made from National Pipe Thread (NPT) screw plug or ANSI flange heater assemblies combined with a pressure vessel (tank), circulation heaters are designed to heat forced-circulation air, gases or liquids. Ideal for either in-line or side-arm operations, these assemblies direct fluids past FIREBAR® or WATROD™ heating elements, to deliver fast response and even heat distribution.

Watlow® meets virtually all circulation heater assembly needs. Watlow circulation heaters can be made from a wide range of heating element sheath materials, wattages, vessel sizes and materials, pressure ratings, terminal enclosures and controls.

Performance Capabilities

- Watt densities up to 120 W/in² (18.6 W/cm²)
- Wattages to three megawatts
- UL® and CSA component recognition up to 600VAC (FIREBAR to 480VAC)
- Ratings to ANSI Class 600 pressure class
- Incoloy® sheath temperatures up to 1600°F (870°C)
- Passivated 316 stainless steel sheath temperatures up to 1200°F (650°C)
- Steel sheath temperatures to 750°F (400°C)
- Copper sheath temperatures to 350°F (175°C)
- Up to 3000psi design pressure



Features and Benefits

A variety of screw plug and flange units available

- Provides a wide selection of WATROD and FIREBAR elements to meet specific application requirements

ANSI B16.5 Class 150 on 4 or 6 inch FIREBAR element flanges and 30 inches or above on WATROD element flanges

- Meets recognized agency standards

Maximum available nozzle connection is approximately 15 feet end-to-end. (WATROD only)

- Minimizes vessel diameter and wall thickness

FIREBAR assemblies pack more wattage in a smaller heater bundle

- Replaces larger flanges with round tubular elements, with a smaller package

Compacted MgO insulation filled elements

- Maximizes dielectric strength, heat transfer and life



HAN-CIR-0411

©1990, 2011 Watlow Electric Manufacturing Company, all rights reserved.

Features and Benefits *(Continued)*

1 inch (25 mm) thermal insulation rated to 750°F (400°C)

- Reduces heat loss from the vessel

Heavy-gauge steel jacket (shroud)

- Protects thermal insulation and heating vessel and comes with protective primer coating

All catalog units are rated to ANSI pressure Class 150

- Provides pressure vessels (tanks) that are either carbon or 316 stainless steel

Pressure vessels are rated for up to and including ANSI pressure class 2500 (application review required)

- Provides pressure vessels (tanks) available in carbon steel, 304 or 316 stainless steel materials
- Includes schedule 40, standard and 80 pipe used in the pressure vessel construction

Heaters provided with NPT or ANSI Class 150 nozzle connection

- Makes installation easy. Inlet and outlet nozzle connections are threaded MNPT on 8 in. (203 mm) and smaller tanks. Class 150 flanged connections on 10 in. (254 mm) and larger tanks

Mounting lugs are welded onto the tank wall of all 2½ in. (64 mm) NPT and larger units

- Provides mounting support

General purpose, moisture resistant, moisture/explosion resistant enclosures available

- Offers easy access to terminal wiring

Flange mounting holes

- Staddles centerline to comply with industry standards

UL® and CSA component recognition under file numbers E52951 and 31388 respectively

- Meets industry safety standards

Typical Applications

Water:

- Deionized
- Demineralized
- Clean
- Potable
- Process
- Industrial water rinse tanks
- Hydraulic oil, crude, asphalt
- Lubricating oils at API specified watt densities
- Heat transfer oil
- Paraffin
- Caustic cleaners
- Nitrogen, hydrogen and other air/gas systems
- Superheating steam

Options

Stand-off Terminal Enclosures

Stand-off terminal enclosures help protect terminal enclosures against excessive temperatures.

ASME Pressure Vessel Code Welding

Flange or screw plug assemblies can be provided with an ASME Section VIII or Section I, Div. I pressure vessel stamp upon request.

Branch Circuits

Branch circuits are designed for 48 amperes per circuit maximum. Contact a Watlow representative for circuit requirements other than those listed in the stock charts.

Certified Assemblies

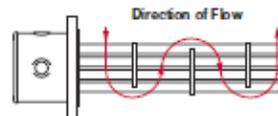
CSA, ATEX or IEC Ex certified moisture and/or explosion resistant terminal enclosures protect wiring in hazardous gas environments. These terminal enclosures, covered under CSA file number 61707, ATEX certificate # KEMA 07ATEX0172X or IEC Ex certificate # IEC Ex CSA 09.0010 are available on WATROD flange heaters. For additional information contact a Watlow representative.

To order, specify **CSA or ATEX or IEC Ex certified enclosure**, process temperature (°F), maximum ambient temperature, maximum **working pressure** of application (psig), **media** being heated and heater **mounting orientation** (horizontal or vertical) and **flange size**.

Thermostats (Electro-mechanical Type)

To provide process temperature control, Watlow offers optional single- and double-pole thermostats. Thermostats are typically mounted in the terminal enclosure. Optional side mounting on vessel also available.

Baffles



Baffles mounted on the heating element bundle enhance and/or modify liquid or gas flow for better heat transfer.

For critical sheath temperature and low flow conditions, baffles may be required.

Contact a Watlow representative for details.

Thermocouples

To sense process or element sheath temperature, ANSI Type J or K thermocouples are available.



Options (Continued)

Screw Plug and Flange Standard Sizes

Type	Sizes (in.)
NPT Screw Plugs	1 1/4, 2 1/2
ANSI flanges	3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14

Sheath Materials

The following sheath materials are available on WATROD and FIREBAR heating elements:

Standard Sheath Materials

WATROD	Incoloy® 316 SS Steel Copper
FIREBAR	Incoloy®

Made-to-Order Sheath Materials

WATROD	304 SS Monel®
FIREBAR	304 stainless steel

Wattages and Voltages

Watlow routinely supplies circulation heaters from 120 to 600VAC (WATROD to 600VAC) as well as wattages from 500 watts to three megawatts. If required, Watlow will configure circulation heaters with voltages and wattages outside these parameters.

For more information on special voltage and wattage configurations, contact a Watlow representative.

Weatherproof Protective Steel Jacket (Shroud)

To protect circulation heaters from weather or wash-down conditions, fully welded (weatherproof) or partially welded (standard) outer protective steel jackets are available. Standard steel, or made-to-order 304 or 316 stainless steel can be supplied. Jacket diameter is dependent upon thermal insulation thickness.

To order, specify **protective steel jacket, material type and weatherproof**, if desired.

Pressure Vessels

All catalog pressure vessel (tank) materials consist of schedule 40 pipe and 150# class forged fittings and are made from one of the following materials:

- Carbon steel
- 316 stainless steel

All catalog pressure vessels (tanks) are steel unless otherwise noted.

316 stainless steel pressure vessels (tanks) are passivated on all wetted surfaces. Available from Assembly Stock on 2 1/2 inch NPT and 4 or 6 inch ANSI flange circulation heaters.

Made-to-order units can be made in a variety of materials, flange sizes and pressure classes.

To order, specify **pressure vessel (tank) size, material and pressure class**.

Ratings to ANSI class 2500 pressure class are available for high-pressure applications.

Passivated Finish

For critical applications, passivation will remove free iron from all wetted surfaces.

Contact a Watlow representative for details.

Gaskets

Rubber, asbestos-free and spiral wound gaskets are available for all heater flange, and inlet and outlet flange sizes.

Watlow recommends ordering spares in case replacement becomes necessary.

To order, specify **gasket type, flange size/rating and process operating temperature**.

Inlet and Outlet Nozzle Connections

All inlet and outlet materials are compatible with the pressure vessel material and pressure class rating.

Vessel sizes from 1 1/4 to 8 inches are typically configured with Male National Pipe Thread (MNPT) nozzles. Optional NPT and flange sizes can be supplied to mate with existing piping.

10 inch and larger vessels are supplied with Class 150 inlet and outlet flanges. Optional flanges up to Class 2500 can be provided.

To order, specify **type, size and pressure class** rating for both inlet and outlet nozzle/flange connections.

Support Saddles

To mate with an existing installation, customized support saddle(s) and/or mounting lugs are available for horizontal or vertical mounting

To order, specify **mounting lugs or support saddles** and supply a dimensional drawing.

High-Temperature Thermal Insulation

To further minimize heat loss, the pressure vessel's standard one inch thermal insulation wrap may be replaced with thicker and/or higher temperature insulation.

For more information, contact your Watlow representative.

To order, specify **insulation thickness, standard or high temperature insulation and temperature rating**.

Vessels may be supplied with a primer coating without insulation.

To order, specify **no insulation**.



Ordering Information

Part Number

① Stock Plug or ANSI Flange Part Number	② Optional Terminal Enclosure	③ Optional Process Sensor	④ Sheath Limit Sensor

① Stock Plug or ANSI Flange Part Number
Insert Part Number
Note: Catalog part numbers include optional enclosures and process sensors. To order optional enclosures or sensors, substitute the appropriate suffix.

② Optional Terminal Enclosure
S = General purpose enclosure
W = Moisture resistant enclosure
E = Explosion resistant enclosure
C = Moisture/explosion resistant enclosure
Note: Catalog listings include either a general purpose enclosure or moisture/explosion resistant enclosure. Substitute enclosure options are noted.

③ Optional Process Sensor
1 = 30 to 110°F (-1 to 43°C), SPST
2 = 30 to 250°F (-1 to 121°C), SPST
3 = 175 to 550°F (79 to 288°C), SPST
4 = 40 to 110°F (-1 to 43°C), DPST
5A = 60 to 250°F (16 to 121°C), DPST (FIREBAR)
7A = 100 to 500°F (38 to 288°C), DPST (FIREBAR)
J = Type J process thermocouple in thermowell
K = Type K process thermocouple in thermowell

④ Sheath Limit Sensor
HJ = Type J high-limit thermocouple, horizontal mount
TJ = Type J high-limit thermocouple, vertical/housing at top
BJ = Type J high-limit thermocouple, vertical/housing at bottom
HK = Type K high-limit thermocouple, horizontal mount
TK = Type K high-limit thermocouple, vertical/housing at top
BK = Type K high-limit thermocouple, vertical/housing at bottom
Note: Heater orientation is critical to accurate sensing of limit conditions. Use the appropriate code to indicate heater mounting orientations.

Watlow® and FIREBAR® are registered trademarks of Watlow Electric Manufacturing Company.
 WATROD™ is trademark of Watlow Electric Manufacturing Company.
 Incoloy® is a registered trademark of Special Metals Corporation.
 UL® is a registered trademark of Underwriter's Laboratories, Inc.

**To be automatically connected to the nearest North American Technical Sales Office:
 1-800-WATLOW2 • www.watlow.com • inquiry@watlow.com**

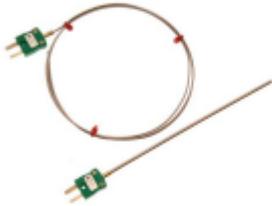
International Technical Sales Offices: Australia, +61 3 9335 6449 • China, +86 21 3532 8532 • France, +33 1 41 32 79 70
 Germany, +49 (0) 72 53 / 94 00-0 • Italy, +39 024588841 • Japan, +81 3 3518 6630 • Korea, +82 2 2628 5770
 Malaysia, +60 3 8076 8745 • Mexico, +52 442 217 6235 • Singapore, +65 6773 9488 • Spain, +34 91 675 12 92
 Taiwan, +886 7 288 5168 • United Kingdom, +44 (0) 115 964 0777

2.6. Datos técnicos de los termopares tipo K



ENGLISH

Datasheet
IEC Mineral Insulated Thermocouple with Miniature Type K Thermocouple Plug
Type 'K', either 0.5, 1.5, 2.0 or 3.0mm diameter with insulated hot junction (un-grounded)



3.0mm dia. probe



0.5mm dia. probe

- Mineral insulated Type 'K' Thermocouple
- 310 stainless steel sheath
- Highly flexible, sheath can be bent/formed to suit many applications and processes
- 0.5mm diameter fast response option, other diameters include 1.0, 1.5, 2.0 & 3.0mm
- Insulated hot junction
- Probe temperature range -40°C up to +1100°C
- Miniature plug termination (200°C)
- Conforms to IEC 584 specification

Specifications

Sensor type:	Type 'K' (Nickel Chromium/Nickel Aluminium) to IEC 584
Construction:	Flexible mineral insulated probe with 310 stainless steel sheath
Element/hot junction:	Single element, junction insulated from sheath (offers protection against spurious electrical signals)
Termination:	Miniature flat pin plug, colour coded 'green' in accordance IEC 584
Probe temperature range:	-40°C to +1100°C for 1.5, 2.0 & 3.0mm diameters -40°C to +750°C for 0.5 & 1.0mm diameter
Plug temperature range:	200°C

RS071/0816

310 stainless steel: Good corrosion & oxidation resistance to suit a wide range of processes, satisfactorily operates in sulphur bearing atmospheres
 Typical applications include brick & cement kilns, glass industry, heat treatment & annealing furnaces, power stations, flues, heat exchangers etc.

Order codes:

T/C Type	Probe Dia. (mm)	Probe Length (mm)	Sheath	Thermocouple junction	Allied code	RS order code
K	0.5	150	310SS	Insulated	70644212	444-1275
K	0.5	250	310SS	Insulated	70644213	444-1281
K	1.0	150	310SS	Insulated	70653222	787-7762
K	1.0	250	310SS	Insulated	70653223	787-7765
K	1.0	500	310SS	Insulated	70653224	787-7769
K	1.0	1000	310SS	Insulated	70653227	787-7778
K	1.5	150	310SS	Insulated	70643861	397-1450
K	1.5	250	310SS	Insulated	70643862	397-1472
K	1.5	500	310SS	Insulated	70653225	787-7771
K	1.5	1000	310SS	Insulated	70653226	787-7775
K	2.0	150	310SS	Insulated		136-5896
K	2.0	250	310SS	Insulated		136-5898
K	3.0	150	310SS	Insulated	70643863	397-1488
K	3.0	250	310SS	Insulated	70643864	397-1494
K	3.0	500	310SS	Insulated	70653229	787-7784
K	3.0	1000	310SS	Insulated	70653230	787-7787

RS071/0816

2.7. Datos técnicos de las termorresistencias de contacto

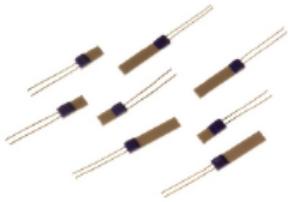



ENGLISH

Datasheet

Platinum Resistance Pt100 & Pt1000 Thin Film Detectors

Platinum Sensing Resistors – Thin Film (Pt100 & Pt1000 Ohm)



Pt100 Elements, Thin Film (100 Ohm)

- Pt100 elements to IEC751 Class A, B and 1/3DIN
- For use from -50°C to $+500^{\circ}\text{C}$
- Thin film construction
- Suitable for surface & immersion applications where protected
- Vibration resistant

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)
Construction:	Thin film, 10mm tails
Temperature range:	-50°C to $+500^{\circ}\text{C}$
Ice point resistance:	100 Ω
Fundamental interval (0°C to 100°C):	38.5 Ω (nominal)
Self-heating:	<0.5 $^{\circ}\text{C}/\text{mW}$
Thermal response:	0.1s
Stability:	$\pm 0.05\%$

Resistance	Dimensions (width x length)	Tolerance Class	Allied code	RS order code
Pt100	2 x 5.0mm	Class A	70646146	611-7788
Pt100	2 x 5.0mm	Class B	70646148	611-7801
Pt100	2 x 5.0mm	Class B	70642888	290-5070 (Packet of 5)
Pt100	2 x 10mm	Class A	70643577	362-9799
Pt100	2 x 10mm	Class B	70641762	237-1607
Pt100	2.0 x 10mm	1/3DIN	70643578	362-9812
Pt100	2.0 x 2.3mm	Class A	70643579	362-9834
Pt100	2.0 x 2.3mm	Class B	70643580	362-9840
Pt100	2.0 x 2.3mm	1/3DIN	70643581	362-9856

RS025/0816

Pt100 Elements (continued)

Resistance	Dimensions (width x length)	Tolerance Class	Allied code	RS order code
Pt100	1.2 x 1.6mm	Class A	70646834	666-7362
Pt100	1.2 x 1.6mm	Class B	70646831	666-7353
Pt100	1.0 x 3.0mm	Class A	70646833	666-7359
Pt100	1.0 x 3.0mm	Class B	70646832	666-7356
Pt100	2.0 x 5.0mm	1/3 Din	70656467	814-0162
Pt100	1.2 x 4.0mm	Class B	70656468	814-0165
Pt100	1.2 x 4.0mm	Class A	70656469	814-0169

Pt1000 Elements, Thin Film (1000 Ohm)

- Pt1000 elements to IEC 751 Class A and B
- For use from -50°C to $+500^{\circ}\text{C}$
- Thin film construction
- Suitable for surface & immersion applications where protected
- Vibration resistant

Specifications:

Sensor type:	Pt1000 (1000 Ohms @ 0°C)
Construction:	Thin film, 10mm tails
Temperature range:	-50°C to $+500^{\circ}\text{C}$
Ice point resistance:	1000 Ω
Fundamental interval (0°C to 100°C):	385 Ω (nominal)
Self-heating:	$<0.5^{\circ}\text{C}/\text{mW}$
Thermal response:	0.1s
Stability:	$\pm 0.05\%$

Resistance	Dimensions (width x length)	Tolerance Class	Allied code	RS order code
Pt1000	2.0 x 10.0mm	Class A	70643582	362-9907
Pt1000	2.0 x 10.0mm	Class B	70643583	362-9913
Pt1000	2.0 x 10.0mm	1/3 Din	70656472	814-0178
Pt1000	1.0 x 3.0mm	Class B	70656470	814-0171
Pt1000	1.25 x 1.7mm	Class B	70656471	814-0175

2.8. Datos técnicos del intercambiador de calor



INTERCAMBIADOR DE DOBLE TUBO INDUSTRIAL

HRS SERIE DTI



La Serie HRS DTI es un intercambiador de calor de doble tubo en acero inoxidable, diseñado para aplicaciones industriales y medioambientales. El producto fluye a través de los tubos interiores y el fluido de servicio fluye a través de la camisa. Como resultado de su geometría, la Serie DTI presenta una sección transversal continua de paso libre que permite procesar partículas grandes, lo que reduce en gran medida el riesgo de bloqueos del producto.

Con nuestra tecnología de corrugación, tanto la transferencia de calor como la eficiencia se incrementan con respecto a los intercambiadores de calor de tubo liso estándar. Además, se minimiza el posible ensuciamiento.



DATOS TÉCNICOS

APLICACIONES

Fluidos con fibras u otros sólidos
Fluidos de viscosidad media-alta

MATERIALES ESTÁNDAR DE FABRICACIÓN

Lado Servicio: Acero inoxidable AISI 304
Lado Producto: Acero inoxidable AISI 316L
Otras calidades disponibles a petición

CONEXIONES ESTÁNDAR

Lado Servicio: Brida
Lado Producto: Brida
Otras conexiones disponibles a petición

RANGO

ACABADO SUPERFICIE

Exterior: Mate
Interior: Mate

CONDICIONES DE DISEÑO

Lado Servicio: 10 bar/185°C
Lado Producto: 10 bar/185°C

CARACTERÍSTICAS

- Tubos corrugados para aumentar la transferencia de calor
- Junta de expansión que absorbe la dilatación diferencial entre la camisa y el segundo tubo interior
- Múltiples unidades pueden ir montadas e interconectadas sobre un bastidor con opción de chapa protectora y aislamiento térmico

MODELOS	LONGITUD (m)	ÁREA (m ²)	CONEXIÓN SERVICIO	CONEXIÓN PRODUCTO	CAUDAL MÁX SERVICIO (m ³ /hr)	CAUDAL MÁX PRODUCTO (m ³ /hr)	VOLUMEN SERVICIO (l)	VOLUMEN PRODUCTO (l)
DTI 51/25	3 - 6	0,4	DN40	DN15	13	4	8,2	2,5
DTI 64/38	3 - 6	0,6	DN40	DN25	17	10	10,3	5,7
DTI 76/51	3 - 6	0,9	DN40	DN40	18	18	14,1	11
DTI 104/64	3 - 6	1,1	DN65	DN50	43	29	29,7	16,9
DTI 104/76	3 - 6	1,3	DN65	DN65	33	41	21,5	24,8
DTI 129/104	3 - 6	1,8	DN80	DN80	37	77	26	46,4
DTI 168/129*	3 - 6	2,4	DN100	DN100	55	120	45,4	73,6

Áreas y volúmenes para modelos de 6 metros. * DTI 168/129: hasta 5 baras de presión en camisa.

CÓDIGO DE DISEÑO Y CUMPLIMIENTO

PD 5500, PED 2014/68/EU, ASME | Acorde a documentación TR CU 032, DOSH bajo demanda

HRS HEAT EXCHANGERS | hrs-heatexchangers.com | Oficina España | +34 968 676 157 | info@hrs-ha.com

FD07118 | HRS



UK Office: 10-12 Caxton Way, Watford Business Park, Watford, Herts. WD18 8JY
Spain office: C/Castillo de la Concepción, 14 – 30564 Lorquí (Murcia)
www.hrs-he.com

Detalles técnicos

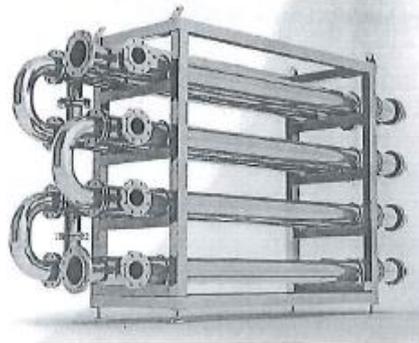
Propiedades de producto usadas para el diseño térmico: Aceite Térmico

Temperatura °C	Densidad kg/m ³	Calor espec. kcal/(kg·°C)	Cond. Térmica kcal/(h·m·°C)	Viscosidad (cP)	Factor. Comp. Fluido No Newt.
100.0	830.0	0.537	0.103	2.822	1.0
150.0	800.0	0.561	0.100	1.120	1.0
200.0	780.0	0.604	0.097	0.624	1.0
250.0	760.0	0.633	0.094	0.380	1.0
300.0	740.0	0.669	0.089	0.296	1.0

		Enfriamiento Directo		
Modelo		HRS DTI 38/25 6.0 304/316L H		
Flujo		contra-corriente		
Fluido		Agua		
Lado tubo	Configuración	1 x 2		
	T _{entrada}	°C	20.0	
	T _{salida}	°C	51.3	
Caudal P	kg/h	1 200.0		
ΔP _p	Bar	0.05		
Fluido		Aceite Térmico		
Lado camisa	Configuración	1 x 2		
	T _{entrada}	°C	250.0	
	T _{salida}	°C	110.0	
	Caudal S	kg/h	460.0	
	ΔP _s	bar	0.1	
Transferencia de calor	kcal/h (KW)	37 500 (43.6)		

Aclaración: "Configuración AxB" se interpreta como "A Intercambiadores Interconectados en paralelo, B Intercambiadores Interconectados en serie".

NOTA: Estos resultados dependen de las condiciones operativas y de las propiedades del producto mencionadas arriba. Desviaciones en las propiedades de producto (e.g. la viscosidad) y/o cambios en las condiciones de trabajo (e.g. el caudal de servicio) podrían cambiar las cifras en una u otra dirección.



HRS DTI Series intercambiador de calor de tubo en tubo, estándar industrial.

NOTA: El equipo de la imagen puede no corresponderse con la unidad ofertada.



UK Office: 10-12 Caxton Way, Watford Business Park, Watford, Herts. WD18 8JY
Spain office: C/Castillo de la Concepción, 14 – 30564 Lorquí (Murcia)
www.hrs-he.com

Ítem:	THE 1	
Tipo:	Intercambiador de calor de tubo en tubo	
Modelo:	HRS DTI 38/25 6.0 304/316L H	
Diámetro de la camisa:	Ø, 38.1 x 1.5 mm	
Diámetro de los tubos interiores:	Ø, 25 x 1 mm	
Longitud (peana-peana):	Aprox. 5 939 mm	
Material en lado tubo:	AISI 316L	
Material en lado camisa:	AISI 304	
Conexión lado tubo:	Compatible con brida EN1092-1 PN16 DN15	
Conexión lado camisa:	Compatible con brida EN1092-1 PN16 DN15	
	<u>Lado Camisa</u>	<u>Lado tubo</u>
Temperatura de diseño:	250/0 °C	250/0 °C
Presión de diseño lado tubo:	10 /-1 barg	10/-1 barg
Categoría de fluido:	II 2	II 2
Código de diseño:	PD5500	
PED 2014/68/UE:	Art. 4 Par. 3	
Shell:	acabado exterior pulido	
Tubos interiores:	corrugación tipo HARD	
Colocación:	Horizontal	
Interconexiones:	Incluidas, interconexiones bridadas	
Bastidor:	Incluido, tipo T Invertida acabado pulido	
Dimensiones globales:	Max. W 500 x H 700 x L 6500 mm	
Observaciones:	<p>Para evitar rotura por tensiones termo-mecánicas, es importante que se diseñe la línea de condensado de tal forma, que la evacuación del condensado de la camisa esté garantizada. Particularmente si el Intercambiador se instala en horizontal, es de gran importancia que se evite inundación de la camisa con condensado.</p> <p>La presencia de condensado frío en la camisa cuando entra vapor puede conllevar la rotura inmediata del Intercambiador.</p>	

Handwritten notes: "Hay que..." "65..." "Paso 22..."

2.9. Datos técnicos del equipo de adquisición de datos



34970A Data Acquisition/ Switch Unit Family

34970A

34972A

Notice: The 34972A will be discontinued on June 1, 2020. The last day to place order for this product is May 31, 2020. Keysight will continue to provide world-class support for this product for the standard period of 5 years.



At a fraction of the cost of other standalone data acquisition systems

- 3-slot mainframe with built-in 6½ digit DMM and
- 8 optional switch and control plug-in modules
- Measures and converts 11 different input signals: temperature with thermocouples, RTDs and thermistors; dc/ac volts; 2- and 4-wire resistance; frequency and period; dc/ac current
- IO options for easy connectivity to your PC:
- 34970A: GPIB, RS-232
- 34972A: LAN, USB
- Graphical Web interface for point and click monitor and control (34972A)
- USB flash drive support to copy/log data in standalone applications (34972A)
- Includes BenchVue DAQ software to configure and control tests, display results and collect data for further analysis

Table of Contents

Features	03
More Power and Flexibility than You Ever Imagined You Could Afford	06
The Keysight 34970A/34972A Offers Unequaled Versatility for Your Data Acquisition Applications	07
A powerful, flexible data acquisition system for automated test	10
ATE feature checklist	11
Low-cost, high-quality switching for automated test	12
Customize your Keysight 34970A/34972A with plug-in modules	13
34970A and 34972A Keysight modules-at-a-glance selection guide	13
Keysight Quality	14
Spec Interpretation Guide	15
34970A/34972A Accuracy Specifications \pm (% of reading + % of range)	16
Single Channel Reading Rates to I/O or Internal Memory	18
System Specifications	19
Modules Specifications	20
Multiplexer Selection Guide	21
34901A	21
34902A	22
34908A	22
34903A	23
34904A	23
34905A 50 Ω /34906A 75 Ω	24
34907A	25
Rack Mounting and Dimensions	26
Ordering Information	27

Features

Price and performance beyond compare

Go ahead and compare the Keysight Technologies, Inc. 34970A and 34972A Data Acquisition/Switch Units with other data acquisition systems currently available. You'll find it hard to come up with a system that offers the powerful measurement performance, flexibility, connectivity options and ease of use of the 34970A/34972A—even in systems costing three to five times as much.

What can you expect from a data acquisition system that's this affordable? Measurements you can trust

We took the measurement engine from our best-selling benchtop DMM and embedded it inside a 3-slot mainframe. You get the benefit of proven Keysight measurement performance, universal inputs with built-in signal conditioning, and modular flexibility, all in a low-cost, compact data acquisition package. The 34970A/34972A features 6½ digits (22 bits) of resolution, 0.004% basic dcV accuracy, and ultra-low reading noise. Combine that with scan rates of up to 250 channels/sec, and you've got the speed and accuracy you need to get the job done right the first time.

Built-in signal conditioning to get your job done

Whether you need to measure temperature, ac/dc volts, resistance, frequency, or current, the 34970A/34972A can handle it.

The internal autoranging DMM directly measures 11 different functions, eliminating the need for expensive external signal conditioning. And our unique design allows complete per channel configurability for maximum flexibility and quick, easy set up. It's like having an independent, high-performance DMM behind each channel.

Standard connectivity to the PC

Whether you use GPIB, RS-232, LAN or USB interfaces, the 34970A/34972A family offers easy connection to the PC. The 34970A offers traditional GPIB and RS-232 interfaces. The 34972A has built-in Gigabit LAN and USB 2.0 so you can connect to a modern PC without having to purchase any GPIB cards, cables or converter boxes. With the standard LAN connections you also get the added benefit of a graphical Web interface for easy configuration of measurements and monitoring of results using a standard Web browser.

Convenient data storage with USB flash drive

The 34972A also features a built-in USB memory port so that you can use a USB flash drive to upload BenchLink Data Logger configurations into the 34972A and collect data without being connected to a PC. Data can be logged directly to the USB flash drive, extending your instrument's memory, or copied from internal memory for transfer to a computer in another location.



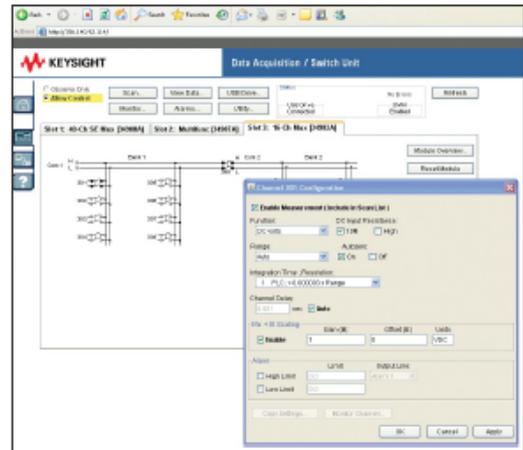
Easy to use graphical Web interface (34972A only)

The built-in graphical Web interface provides easy access and control of the instrument using a Java-enabled Web browser such as Internet Explorer. Using this interface you can configure measurements, define and execute scan lists, or monitor measurement results from anywhere on the network. Simply enter the instrument host name or IP address into the browser URL and gain access to the instrument's capabilities with simple point and click control right in your browser.

- Specify per channel measurement configuration
- Define and execute switch scans
- Open, close, or monitor switch positions
- Monitor measurement readings
- View and save data
- Send SCPI commands and view IO command log
- View error queue
- View instrument information like module configuration, relay counts, firmware revisions, and more

Additionally, since the Web interface is built into the instrument, you can access it on any operating system that supports a Web browser without having to install any special software.

Password protection and LAN lock out are also provided to limit access. The graphical Web interface makes it easy to configure measurements, set up and execute scans or troubleshoot your designs from anywhere on the network.



BenchVue DAQ software saves you time and money

Now you don't have to spend your valuable time writing or configuring software. Keysight BenchVue DAQ software gives you a familiar Microsoft Windows interface for test configuration and real-time data display and analysis. Even better, the data logging application is included with every standard Keysight 34970A/34972A.

Unequaled ease of use

From the simplified configuration to BenchVue DAQ, we put in extra time and energy so you don't have to. Simple things like on-module screw-terminal connectors, built-in thermocouple reference junctions, well-organized user documentation full of examples and hints, and a standard Getting Started kit that will have you making measurements in just a few minutes all add up to increased productivity, whether you use the instrument every day or only now and then.

Custom configurations that grow with you

Three module slots and eight switch/control modules allow you to customize the 34970A/34972A to meet your unique requirements. Buy only what you need—and add more modules later as your application grows.

34970A and 34972A are compatible

The 34972A LXI Data Acquisition/Switch Unit is an LXI version of the 34970A. It replaces the GPIB and RS-232 interfaces with modern connectivity for a direct connection to your PC or Laptop.

The 8 plug-in modules can be used with either unit—so all the measurements and wiring are compatible. The 34972A can be easily integrated into an existing test program with a simple change to the instrument address. Since the 34972A code is a superset of the 34970A code, once the instrument address is changed, the test program will run as normal.

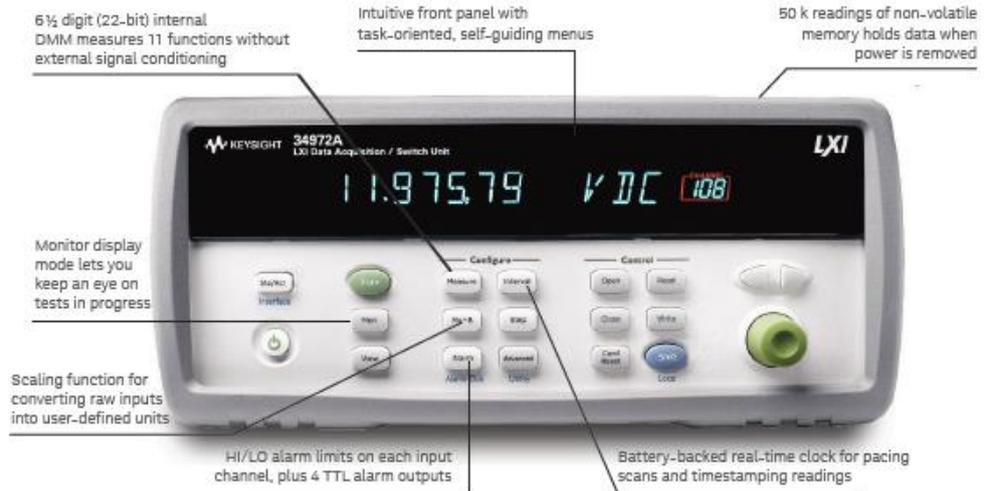
Example:

Change:
Set inst1.IO = ioMgr.Open("GPIB0::9::INSTR")

To:
Set inst1.IO = ioMgr.Open("TCPIP0::156.140.77.230::inst0::INSTR")

	34970A	34972A
Support 8 plug-in modules	●	●
LabView drivers	●	●
IVI-C, IVI-COM drivers	●	●
BenchLink Data Logger	●	●
Optional BenchLink Data Logger Pro	●	●
Graphical Web interface		●
Gigabit LAN		●
USB 2.0		●
USB memory port		●
GPIB	●	
RS-232	●	

More Power and Flexibility than You Ever Imagined You Could Afford



34972A



USB

USB memory port to log/transfer data to a USB flash drive

Built-in LAN and USB for instant connection to a PC

- Offers up to 96 matrix crosspoints or 120 single-ended channels
- 8 switch and control plug-in modules to choose from
- Keysight BenchLink Data Logger 3 Keysight VEE, IVI-C, IVI-COM and National Instruments Labview drivers included

34970A

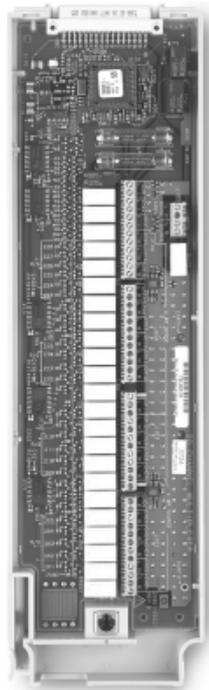


GPIB

34970A built-in GPIB and RS-232 interfaces

The Keysight 34970A/34972A Offers Unequaled Versatility for Your Data Acquisition Applications

In the past, you had to make a choice. On the one hand, you could choose the simple operation and low cost of a data logger. On the other hand, you had the flexibility and higher performance of a modular data acquisition system. The Keysight 34970A/34972A Data Acquisition/Switch Unit gives you the best of both worlds: a simple user interface with low per-channel cost, modular flexibility, standard connectivity and impressive measurement performance.



Whether you're an R&D engineer working on characterizing your latest design, or a manufacturing engineer building a test system or troubleshooting a process, the 34970A/34972A Data Acquisition/Switch Unit offers the best combination of price and measurement performance.

It's a data logger

Configured with a 20-channel relay multiplexer, the 34970A/34972A becomes a powerful, low-cost data logger for simple characterization applications. What's more, the 34972A with its LAN and USB interfaces is ideal for easy set up and control for data logging applications in remote locations. For more information on using the 34970A/34972A for data logging applications, see page 8.

It's a data acquisition front end

The 34970A/34972A is an automated test system with excellent measurement performance—it's got the accuracy, resolution, and speed you need. See page 10 for application information.

It's a switch system

Order the mainframe without the internal DMM and you've got an even lower cost, high-quality signal routing solution. See page 12 for details.

An Easy-to-Use Data Logger for Monitoring and Characterization Applications

Data loggers are used to monitor multiple signals (temperature, voltage, etc.) over extended periods of time to identify irregularities. Example applications include environmental chamber monitoring, component inspection, benchtop testing, process troubleshooting, and temperature profiling.

The Keysight 34970A/34972A is easy to use for a multitude of data logging and monitoring applications, either stand-alone or with a computer. Its flexible, modular design makes it scalable from 20 to 120 channels, and lets you add actuator, digital I/O, and analog output channels for simple control. Its small size, ruggedized features and USB memory port on the 34972A make it perfect for portable applications. Use GPIB (IEEE 488) or RS-232 interfaces in

the 34970A for legacy systems or use the 34972A with standard LAN and USB interfaces for simple connection to the PC and support of remote applications. The 34972A can be set up at remote locations and accessed through the Web interface on a network connection or through the USB port by copying instrument configurations and measurement data results to a USB flash drive.

Better measurements with fewer hassles

Tired of putting up with the mediocre measurement performance you get with most data loggers or plug-in data acquisition boards? The 34970A/34972A offers 6½ digits of resolution and 0.004% basic 1-year dcV accuracy.

Simplify Your Data Gathering with Keysight BenchVue DAQ Software

Do you want PC-based data logging capability, but don't want to spend hours programming? BenchVue DAQ software is the answer. This Windows-based application is designed to make it a snap to use your PC for gathering and analyzing measurements. Use it to set up your test, acquire and archive measurement data, and perform real-time display and analysis of the incoming measurements.

A familiar spreadsheet environment makes it easy to configure and control your tests. And a rich set of colorful graphics provides many options for analyzing and displaying your data—all with point-and-click ease. Set up multiple graphics using strip charts, histograms, bar and scatter charts, individual channel results, and more. And of course you can use BenchVue DAQ to easily move data to other applications for further analysis, or for inclusion in your presentations and reports.



And the 34970A/34972A measures and converts 11 different input signals:

- Temperature with thermocouples, RTDs, and thermistors
- dc and ac volts
- 2- and 4-wire resistance
- Frequency and period
- dc and ac current

What's more, each channel is independently configurable. This means you can configure channel 1—for dcV, channel 2 for a K-type thermocouple, and channels 3 and 13 for a 4-wire RTD measurement—all on the same module, all in a single scan. For custom linear conversions, use the Mx-B scaling function on any channel. You can even display a custom 3-character engineering label like RPM or PSI to identify your measurement units.

Versatile alarms

Alarms are available on a per-channel basis as well. Enter a high limit, a low limit, or both. The 34970A/34972A compares each reading to its limits and flags any out-of-range measurements. You can assign one of four TTL alarm outputs to any input channel to trigger external alarm lights, sirens, or send a TTL pulse to your control system, all without a PC connected.

Scanning made simple

The 34970A/34972A automatically builds a scan list that includes all configured inputs (even digital inputs from the Keysight 34907A multifunction module) in ascending order by channel number. You can pace scans by setting the 34970A/34972A's internal timer for automatic scanning at a specific interval, by manually pressing a front-panel button, or by sending a software command or external TTL trigger pulse.

Monitor any input

A special display mode monitors a selected input channel, continuously updating the display with new readings—even during a scan. Or, when using the 34972A with built-in LAN, the channels can be monitored over the network using the graphical Web interface. It's great for keeping an eye on a key input, or for troubleshooting your system before a test.

Non-volatile memory and USB flash drive adds convenience, portability

All readings are automatically time-stamped and stored in a nonvolatile 50,000 reading memory—enough memory to hold more than a week's worth of data (20 channels scanned every five minutes). The nonvolatile memory holds your data even after power is removed, so you can use the 34970A/34972A to collect data at a remote location for later uploading to a PC. Or if you need even more memory, the 34972A's USB port can be used to log data directly to a USB flash drive or to copy the data from the reading memory without being connected to a computer.

Data logging feature checklist

- From 1 to 120 channels of analog input
- Measurements include dc volts, ac volts, thermocouple, thermistor and RTD temperature measurements, 2- and 4-wire Ohms, dc current, ac current, frequency, and period
- 6½ digits (22 bits) of resolution with 0.004% basic 1-year dcV accuracy
- 50 k reading nonvolatile memory including time-stamp
- Scaling and alarms available on each channel
- Full-featured front panel for stand-alone configuration, troubleshooting, and data viewing
- BenchVue DAQ software for configuration and data analysis
- Nonvolatile storage for five complete instrument states
- Built-in LAN or USB interfaces to support remote data logging applications (34972A only)

A powerful, flexible data acquisition system for automated test

The 34970A/34972A gives you the resolution, accuracy, repeatability, and speed you've come to expect from a Keysight data acquisition system. It provides the measurement muscle you need, along with signal routing and control capability, in a flexible, modular format that can grow and change to match your varied applications.

Powerful measurements

The internal 6½ digit DMM brings the power and performance of a world-class stand-alone DMM to the 34970A/34972A, but at a fraction of the cost and in a fraction of the space. It's as accurate as the best bench DMM available: 0.004% basic 1-year dcV accuracy, 0.08% basic 1-year acV accuracy, and 0.01% basic 1-year resistance accuracy. Our patented Multi-slope III A-D technology offers incredible linearity (2 ppm of reading \pm 1 ppm of range) along with 22 bits of real resolution. And since it is an integrating A/D, it provides excellent noise rejection as well—a nice change from noisy PC plug-ins and sampling A/Ds. No more averaging lots of samples just to see the real data you wanted. And if you need high scan rates, the 34970A/34972A is capable of delivering fully converted measurements at speeds up to 250 ch/s.

The input section of the DMM is optically isolated and shielded from the 34970A/34972A's earth-referenced circuitry and computer interface, offering up to 300 V of input isolation. This is important for reducing ground loop and common mode voltage errors associated with long wiring runs and floating measurement sources.

Flexible functionality

The DMM is installed inside the chassis rather than in one of the slots, leaving all three mainframe slots free for switch and control modules. You can choose from eight different modules (see page 13) to get the precise functionality you need now—while giving you flexibility for future expansion.

The internal DMM gives you the flexibility to measure 11 types of inputs easily and inexpensively. The built-in signal conditioning and conversion routines turn raw inputs directly into real information. Each measurement channel is independently configurable, so you can set different measurement functions, scale factors and alarm limits, even on adjacent channels. Advanced measurement features such as offset compensation, variable integration time, and delay are also selectable on a per-channel basis.

Get better measurements with built-in signal conditioning

The Keysight 34970A/34972A architecture offers advantages over other data acquisition solutions which rely on external or plug-in signal conditioning modules for handling functions other than dcV:

- Minimizes external wiring and the resultant potential for noise and errors to enter your system
- Reduces hidden costs and overall system cost by avoiding unnecessary cables, breakout boxes and signal conditioning elements
- Simplifies your configuration—for faster, easier setup—with fewer connections and components
- Takes the guesswork out of error analysis.
- Measurement accuracies are specified to include all system-related errors
- Improves reliability, with fewer interconnects and fewer parts that can fail

Software drivers

Your months of test system software development time need not go to waste. Software drivers that support (C, C#, Visual Basic, Visual Studio), Keysight VEE and National Instruments LabView are available for the 34970A/34972A to make integration into your test system easy. Standard RS-232 and GPIB interfaces on the 34970A or LAN and USB on the 34972A and SCPI programming language make integration even easier.

ATE feature checklist

- 3-slot cardcage with 6½ digit (22 bit) internal DMM 0.004% basic 1-year dcV accuracy; 0.06% acV accuracy
- Up to 120 single-ended measurements or 96 matrix crosspoints in a 3½" high, half-rack instrument
- Eight switch and control modules include low-frequency and RF multiplexers, matrix and actuation switches, digital input and output, analog output, and event recording
- Scan rates up to 250 ch/s
- GPIB and 115 kbaud RS-232 interfaces standard (34970A)
- Graphical Web interface to speed up test development and monitor tests remotely (34972A)
- Software drivers available to support Keysight VEE and National Instruments LabView
- Relay maintenance feature for system maintenance



Compact 60-channel data acquisition system

Low-cost, high-quality switching for automated test

If you don't need the built-in measurement capability of the 34970A/34972A, save money by ordering it without the DMM. What you end up with is the lowest cost switch unit on the market. It's an ideal solution for routing test signals to and from your DUT and assorted instruments, including external DMMs, scopes, counters, and power supplies. Plus, you can add the DMM later if your needs change.

The functionality you need

We put a lot of thought into defining and designing the modules for the 34970A/34972A in order to cover a broad spectrum of switching and signal routing requirements with fewer modules. The result? Simplified ordering and easier configuration. And while we were at it, we improved performance and density. The 34970A/34972A modules can switch from microvolts to 300 volts, dc to 2 GHz, and with densities as high as 120 single-ended channels or 96 matrix crosspoints per frame. Plus, simple control capabilities like analog outputs, open collector digital outputs, and isolated Form-C relays for controlling higher-powered devices are available.



Low-cost switching system for automated testing

Easy scanning

The 34970A/34972A can easily scan with external instruments. It builds a scan list that includes all enabled low frequency multiplexer inputs. Scans are controlled with the external channel advance input, or with the front panel Step key.

Connect to the company network

With the 34972A's LAN interface, the instrument is easily connected to the company network to collect measurement data to a central database, remotely access the instrument's set up, or monitor measurement data from anywhere on the network.

Customize your Keysight 34970A/34972A with plug-in modules

A complete selection of plug-in modules gives you high quality measurement, switching, and control capabilities to choose from. Modules include both low-frequency and RF multiplexers, a matrix switch, a general-purpose switch, and a multifunction module that includes digital input/output, analog output, and totalizer capabilities. You can mix and match modules to get just the functionality you need right now—then change or add more channels later as your application grows.

Modules for the 34970A/34972A are designed to make your testing easier, faster, and more reliable. Here's how:

Higher throughput

Our unique architecture incorporates a high-performance microprocessor on each module, off loading the mainframe processor and minimizing backplane communications for faster throughput.

More channels in less space

Surface mount construction and a highly integrated design minimize the space required for relay drive and interface circuitry. High density on-module connectors save both board and connector space normally required by a terminal block. We use the latest technology to squeeze the most out of the remaining board space, giving you up to 40 single-ended channels in roughly the same space used by many data acquisition system terminal blocks.

Convenient connections

On-module screw-terminal connectors make wiring more convenient. Built-in strain relief cable routing and cable tie points keep your wiring secure and safe from accidental tugs and pulls. An internal analog bus routes signals from any of the low frequency multiplexers directly to the internal DMM, without the need for external connections.

Use the chart below to help you pinpoint the modules that meet your needs.

34970A and 34972A Keysight modules-at-a-glance selection guide

Model description	Type	Speed (ch/sec)	Max volts	Max amps	Bandwidth	Thermal offset	Comments	Page
34901A 20 ch Multiplexer + 2 current channels	2-wire armature (4-wire selectable)	60	300 V	1 A	10 MHz	< 3 μ V	Built-in cold junction reference 2 additional current channels (22 total)	21
34902A 16 ch Multiplexer	2-wire reed (4-wire selectable)	250 ^[1]	300 V	50 mA	10 MHz	< 6 μ V	Built-in cold junction reference	21
34903A 20 ch Actuator/GP Switch	SPDT/form C	120	300 V	1 A	10 MHz	< 3 μ V		23
34904A 4 x 8 Matrix	2-wire armature	120	300 V	1 A	10 MHz	< 3 μ V		23
34905A Dual 4 ch RF Mux 50 Ω	Common low (unterminated)	60	42 V	0.7 A	2 GHz	< 6 μ V	1 GHz bandwidth through BNC-to-SMB adapter cable	24
34906A Dual 4 ch RF Mux 75 Ω	Common low (unterminated)	60	42 V	0.7 A	2 GHz	< 6 μ V	1 GHz bandwidth through BNC-to-SMB adapter cable	24
34907A Multifunction Module	Two 8-bit digital I/O ports		42 V	400 mA			Open drain	25
	26-bit event counter		42 V		100 KHz		Selectable input threshold	
	Two 16-bit analog outputs		\pm 12 V	10 mA	dc		Max 40 mA total output per frame	
34908A 40 ch Single-Ended Mux	1-wire armature (common low)	60	300 V	1A	10 MHz	< 3 μ V	Built-in cold junction reference No four-wire measurements	21

[1] Up to 250 ch/sec to internal memory.
See scanning rates for measurement condition and rate on each instrument.

Keysight quality

We know you can't afford instrument downtime due to hardware failures and unscheduled maintenance. That's why our engineers designed reliability into the 34970A/34972A: A rugged enclosure, state-of-the-art surface mount construction throughout, reduced parts counts, and rigorous and thorough testing on all aspects of the product.

Take the guesswork out of relay maintenance

The 34970A/34972A uses our proprietary relay maintenance system to help you to predict relay end-of-life and avoid costly production line downtime. It automatically counts every individual switch closure and stores it in nonvolatile memory on each module. You can query the total number of cycles on any individual channel so you can schedule maintenance and avoid erratic end-of-life failures.



Spec interpretation guide

The following pages list the technical specifications for the Keysight 34970A/34972A Data Acquisition/Switch Unit and its modules. The explanations and examples below are helpful in understanding how to interpret these specifications:

- Measurement accuracy is specified as percent of reading plus percent of range, where reading is the actual measured value and range is the name of the scale (1 V, 10 V, etc.)—not the full scale value (1.2 V, 12 V, etc.).
- DMM measurement accuracies include all switching errors. Switching errors are also listed separately in the module specifications section. Temperature measurement accuracies include ITS-90 conversion errors. The thermocouple accuracies include the reference junction error as well.
- Accuracies are listed as either 24-hour, 90-day, or 1-year specifications. This refers to the length of time since the instrument's last calibration. Use the specification that matches your calibration cycle. The 24-hour specifications are useful for determining short-term relative performance.

Example 1: Basic dcV accuracy

Calculate the accuracy of the following measurement:

9 V dc input
10 V dc range
1-year accuracy specifications
Normal operating temperature (18 - 28°C)

From the following page, the 1-year accuracy is:
0.0035% of reading + 0.0005% of range

Which translates into:
 $(0.0035/100 \times 9 \text{ V}) + (0.0005/100 \times 10 \text{ V}) = 365 \mu\text{V}$

For a total accuracy of:
 $365 \mu\text{V}/9 \text{ V} = 0.0041\%$

Example 2: Extreme operating temperature

When the 34970A/34972A is used outside of its 18 - 28°C temperature range, there are additional temperature drift errors to consider. Assume the same conditions in Example 1, but at a 35°C operating temperature.

The basic accuracy is again:
0.0035% of reading + 0.0005% of range = 365 μV .

Now, multiply the 10 V temperature coefficient from the following page by the number of degrees outside of operating range for additional error:

$(0.0005\% \text{ reading} + 0.0001\% \text{ range})$

$/^\circ\text{C} \times (35 - 28^\circ\text{C}) =$

$(0.0005\% \text{ reading} + 0.0001\% \text{ range})$

$/^\circ\text{C} \times 7^\circ\text{C} =$

0.0035% reading + 0.0007% range = 385 μV

Total error is then:

$365 \mu\text{V} + 385 \mu\text{V} = 750 \mu\text{V}$ or 0.008%

Example 3: Thermocouple measurement accuracy

Calculating the total thermocouple reading error is easy with the 34970A/34972A—just add the listed measurement accuracy to the accuracy of your transducer. Switching, conversion, and reference junction errors are already included in the measurement specification. For this example, assume a J-type thermocouple input reading 150°C.

From the following page, total error is:

Thermocouple probe accuracy + 1.0°C

The probe vendor specifies accuracy of 1.1°C

or 0.4%, whichever is greater.

Total error is then:

$1.0^\circ\text{C} + 1.1^\circ\text{C} = 2.1^\circ\text{C}$ total, or 1.4%

Example 4: acV accuracy

The acV function measures the true RMS value of the input waveform, regardless of waveshape. Listed accuracies assume a sinewave input. To adjust accuracies for non-sinusoids, use the listed crest factor adder.

For this example, assume a $\pm 1 \text{ V}$ square wave input with 50% duty cycle and a 1 kHz frequency.

Accuracy for 1 V, 1 kHz sinusoid is:

0.06% reading + 0.04% range

A 50% duty cycle squarewave has a crest factor of

$\text{Peak value} / \text{RMS value} = 1 \text{ V} / 1 \text{ V} = 1$

From crest factor table, add:

0.05% of reading

The total accuracy is:

0.11% of reading + 0.04% of range = 1.5 mV or 0.15%

34970A/34972A accuracy specifications ±(% of reading + % of range)^[1]

Includes measurement error, switching error, and transducer conversion error

	Range ^[3]	Frequency, etc.	24 hour ^[2] 23 ±1°C	90 Day 23 ±5°C	1 Year 23 ±5°C	Temperature coefficient 0 - 18°C, 28 - 55°C
DC voltage						
	100.0000 mV		0.0030 - 0.0035	0.0040 - 0.0040	0.0050 - 0.0040	0.0005 - 0.0005
	1.000000 V		0.0020 - 0.0005	0.0030 - 0.0007	0.0040 - 0.0007	0.0005 - 0.0001
	10.00000 V		0.0015 - 0.0004	0.0020 - 0.0005	0.0035 - 0.0005	0.0005 - 0.0001
	100.0000 V		0.0020 - 0.0005	0.0035 - 0.0005	0.0045 - 0.0005	0.0005 - 0.0001
	300.000 V		0.0020 - 0.0020	0.0035 - 0.0030	0.0045 - 0.0030	0.0005 - 0.0003
True RMS AC voltage^[4]						
	All ranges from 100.0000 mV to 100.0000 V	3 Hz-5 Hz	1.00 - 0.03	1.00 - 0.04	1.00 - 0.04	0.100 - 0.004
		5 Hz-10 Hz	0.35 - 0.03	0.35 - 0.04	0.35 - 0.04	0.035 - 0.004
		10 Hz-20 kHz	0.04 - 0.03	0.05 - 0.04	0.06 - 0.04	0.005 - 0.004
		20 kHz-50 kHz	0.10 - 0.05	0.11 - 0.05	0.12 - 0.05	0.011 - 0.005
		50 kHz-100 kHz	0.55 - 0.08	0.60 - 0.08	0.60 - 0.08	0.060 - 0.008
		100 kHz-300 kHz ^[5]	4.00 - 0.50	4.00 - 0.50	4.00 - 0.50	0.20 - 0.02
	300.0000 V	3 Hz-5 Hz	1.00 - 0.05	1.00 - 0.08	1.00 - 0.08	0.100 - 0.008
		5 Hz-10 Hz	0.35 - 0.05	0.35 - 0.08	0.35 - 0.08	0.035 - 0.008
		10 Hz-20 kHz	0.04 - 0.05	0.05 - 0.08	0.06 - 0.08	0.005 - 0.008
		20 kHz-50 kHz	0.10 - 0.10	0.11 - 0.12	0.12 - 0.12	0.011 - 0.012
		50 kHz-100 kHz	0.55 - 0.20	0.60 - 0.20	0.60 - 0.20	0.060 - 0.020
		100 kHz-300 kHz ^[5]	4.00 - 1.25	4.00 - 1.25	4.00 - 1.25	0.20 - 0.05
Resistance^[6]						
	100.0000 Ω	1 mA current source	0.0030 - 0.0035	0.008 - 0.004	0.010 - 0.004	0.0005 - 0.0005
	1.000000 kΩ	1 mA	0.0020 - 0.0005	0.008 - 0.001	0.010 - 0.001	0.0005 - 0.0001
	10.00000 kΩ	100 μA	0.0020 - 0.0005	0.008 - 0.001	0.010 - 0.001	0.0005 - 0.0001
	100.0000 kΩ	10 μA	0.0020 - 0.0005	0.008 - 0.001	0.010 - 0.001	0.0005 - 0.0001
	1.000000 MΩ	5.0 μA	0.002 - 0.001	0.008 - 0.001	0.010 - 0.001	0.0010 - 0.0002
	10.00000 MΩ	500 nA	0.015 - 0.001	0.020 - 0.001	0.040 - 0.001	0.0030 - 0.0004
	100.0000 MΩ	500 nA 10 MΩ	0.300 - 0.010	0.800 - 0.010	0.800 - 0.010	0.1500 - 0.0002
Frequency and period^[7]						
	100 mV to 300V	3 Hz-5 Hz	0.10	0.10	0.10	0.005
		5 Hz-10 Hz	0.05	0.05	0.05	0.005
		10 Hz-40 Hz	0.03	0.03	0.03	0.001
		40 Hz-300 kHz	0.005	0.01	0.01	0.001
DC current (34901A only)						
	10.00000 mA	<0.1 V burden	0.005 - 0.010	0.030 - 0.020	0.050 - 0.020	0.002 - 0.0020
	100.0000 mA	<0.5 V	0.010 - 0.004	0.030 - 0.005	0.050 - 0.005	0.002 - 0.0005
	1.000000 A	<2 V	0.050 - 0.005	0.080 - 0.010	0.100 - 0.010	0.005 - 0.0010
True RMS AC current (34901A only)						
	10.00000 mA and ^[8]	3 Hz-5 Hz	1.00 - 0.04	1.00 - 0.04	1.00 - 0.04	0.100 - 0.005
	1.000000 A	5 Hz-10 Hz	0.30 - 0.04	0.30 - 0.04	0.30 - 0.04	0.035 - 0.005
		10 Hz-5 kHz	0.10 - 0.04	0.10 - 0.04	0.10 - 0.04	0.015 - 0.005
	100.0000 mA ^[9]	3 Hz-5 Hz	1.00 - 0.5	1.00 - 0.5	1.00 - 0.5	0.100 - 0.05
		5 Hz-10 Hz	0.30 - 0.5	0.30 - 0.5	0.30 - 0.5	0.035 - 0.05
		10 Hz-5 kHz	0.10 - 0.5	0.10 - 0.5	0.10 - 0.5	0.015 - 0.05
Temperature						
	Type	1-year accuracy ^[10]	Extended range 1-year accuracy ^[10]		Temp coefficient/°C	
Thermocouple^[10]						
	B	1100 to 1820°C	1.2°C	400 to 1100°C	1.8°C	
	E	-150 to 1000°C	1.0°C	-200 to -150°C	1.5°C	
	J	-150 to 1200°C	1.0°C	-210 to -150°C	1.2°C	
	K	-100 to 1200°C	1.0°C	-200 to -100°C	1.5°C	
	N	-100 to 1300°C	1.0°C	-200 to -100°C	1.5°C	0.03°C
	R	300 to 1760°C	1.2°C	-50 to 300°C	1.8°C	
	S	400 to 1760°C	1.2°C	-50 to 400°C	1.8°C	
	T	-100 to 400°C	1.0°C	-200 to -100°C	1.5°C	
RTD						
	RD from 49 Ω to 2.1 kΩ	-200 to 600°C	0.05°C			0.003°C
Thermistor						
	2.2 k, 5 k, 10 k	-80 to 150°C	0.05°C			0.002°C

[1] Specifications are for 1 hr warm-up and 6½ digits, Slow ac filter
 [2] Relative to calibration standards
 [3] 20% over range on all ranges except 300 Vdc and ac ranges and 1 Adc and ac current ranges
 [4] For sinewave input > 5% of range. For inputs from 1% to 5% of range and < 50 kHz, add 0.1% of range additional error
 [5] Typically 30% of reading error at 1 MHz, limited to 1 x 108 V Hz
 [6] Specifications are for 4- wire ohms function or 2-wire ohms using scaling to remove the offset. Without scaling, add 4 Ω additional error in 2-wire Ohms function
 [7] Input > 100 mV. For 10 mV to 100 mV inputs multiply % of reading error x 10
 [8] Specified only for inputs >10 mA
 [9] For total measurement accuracy, add temperature probe error
 [10] Thermocouple specifications not guaranteed when 34907A module is present. For < 1°C accuracy, a precision external reference is required.

Measurement characteristics^[7]

DC voltage	
Measurement Method	Continuously Integrating Multi-slope III A-D converter
A/D linearity	0.0002% of reading + 0.0001 % of range
Input resistance	
100 mV, 1 V, 10 V ranges	Selectable 10 MΩ or > 10,000 MΩ
100 V, 300 V ranges	10 MΩ ±1%
Input bias current	< 30 pA at 25°C
Input protection	300 V all ranges
True RMS AC voltage	
Measurement method	AC coupled True RMS – measures the AC component of the input with up to 300 Vdc of bias on any range
Crest factor	Maximum of 5:1 at Full Scale
Additional crest factor errors (non-sinewave)	Crest Factor 1-2 0.05 % of reading Crest Factor 2-3 0.15 % of reading Crest Factor 3-4 0.30 % of reading Crest Factor 4-5 0.40 % of reading
Input impedance	1 MΩ ±2% in parallel with 150 pF
Input protection	300 Vrms all ranges
Resistance	
Measurement method	Selectable 4-wire or 2-wire Ohms Current source referenced to LO input
Offset compensation	Selectable on 100 Ω, 1 kΩ, 10 kΩ ranges
Maximum lead resistance	10% of range per lead for 100 Ω and 1 kΩ ranges. 1 kΩ on all other ranges
Input protection	300 V on all ranges
Frequency and period	
Measurement method	Reciprocal counting technique
Voltage ranges	Same as AC Voltage function
Gate time	1s, 100 ms, or 10 ms
Measurement timeout	Selectable 3 Hz, 20 Hz, 200 Hz LF limit
DC current	
Shunt resistance	5Ω for 10 mA, 100 mA; 0.1 Ω for 1 A
Input protection	1 A 250 V fuse on 34901A module
True RMS AC current	
Measurement method	Direct coupled to the fuse and shunt. AC coupled True RMS measurement (measures the ac component only)
Shunt resistance	5 Ω for 10 mA; 0.1 Ω for 100 mA, 1 A
Input protection	1 A 250 V fuse on 34901A module
Thermocouple	
Conversion	ITS-90 software compensation
Reference junction type	Internal, Fixed, or External
Open thermocouple check	Selectable per channel. Open > 5 kΩ
Thermistor	
	44004, 44007, 44006 series
RTD	
	α = 0.00385 (DIN) and α = 0.00391
Measurement noise rejection 60 (50) Hz^[1]	
dc CMRR	140 dB
ac CMRR	70 dB
Integration time	
200 plc/3.33s (4s)	110 dB ^[2]
100 plc/1.67s (2s)	105 dB ^[2]
20 plc/333 ms (400 ms)	100 dB ^[2]
10 plc/167 ms (200 ms)	95 dB ^[2]
2 plc/33.3 ms (40 ms)	90 dB
1 plc/16.7 ms (20 ms)	60 dB
< 1 plc	0 dB

Operating characteristics^[4]

Single channel measurement rates ^[5]		
Function	Resolution ^[6]	34970A/34972A readings/sec
dcV, 2-wire resistance	6½ digits (10 plc)	6 (5)
	5½ digits (1 plc)	54 (47)
	4½ digits (0.02 plc)	500
Thermocouple	0.1 °C (10 plc)	6 (5)
	0.1 °C (1 plc)	52 (47)
	(0.02 plc)	280
RTD, thermistor	0.01 °C (10 plc)	6 (5)
	0.1 °C (1 plc)	49 (47)
	1 °C (0.02 plc)	200
acV	6½; Slow (3 Hz)	0.14
	6½; Med (20 Hz)	1
	6½; Fast (200 Hz)	8
	6½; ^[6]	100
	Frequency, period	6½; digits (1 s gate)
	5½; digits (100 ms)	9
	4½; digits (10 ms)	70

[1] For 1 kΩ unbalance in LO lead

[2] For power line frequency ±0.1%

[3] For power line frequency ±1% use 80 dB or ±3% use 60 dB

[4] Reading speeds for 60 Hz and (50 Hz) operation

[5] For fixed function and range, readings to memory, scaling and alarms off, AZERO OFF, USB datalogging OFF

[6] Maximum limit with de fault settling delays defeated

[7] Isolation voltage (ch-ch, ch-earth) 300 Vdc, ac rms

[8] 6½ digits = 22 bits, 5½ digits = 18 bits, 4½ digits = 15 bits

Single channel reading rates to I/O or internal memory

	34970A		34972A
	into memory readings/sec	to GPIB or RS232 readings/sec	to LAN, USB or memory readings/sec
Single channel ASCII readings	500	440	500
Single channel while changing scale (eg MEAS dcV 10/MEAS dcV 1)	25	25	25
Single channel while changing function (eg MEAS dcV/MEAS Ohms)	12	12	12

Scanning measurement rates to I/O or internal memory

	34970A		34972A
	into memory ch/sec	to GPIB or RS232 ch/sec	to LAN, USB or memory ch/sec
Scanning dcV or ohms channels			
34901A/34908A	60	60	60
34902A	250	210	240
34902A into and out of memory (using INIT, FETCh)	–	180	240
34902A with timestamp (using MEAS)	–	150	240
34902A with scaling and alarms	220	190	220
34902A dcV and ohms on alternate channels	80	80	80
Scanning acV channels⁽²⁾			
34901A/34908A	50	50	50
34902A	100	90	100
Scanning temperature - thermistor or TC channels			
34901A/34908A	50	50	50
34902A	160	150	160
Scanning digital in/totalizer channels			
34907A Digital Input	275	250	275
34907A Totalizer	240	210	240

Data out of memory⁽³⁾⁽⁴⁾

(FETCh of 50K readings)

(See footnotes for conditions below)

Single channel ⁽¹⁾⁽²⁾	34970A		34972A	
	over GPIB readings/sec	over RS232 readings/sec	over USB readings/sec	over LAN or memory readings/sec
Readings	800	600	55 K	120 K
Readings with timestamp	450	320	35 K	60 K
Readings with all format options ON	310	230	25 K	50 K

[1] Speeds are for 4 1/2 digits, delay 0, display off, USB data logging off, autozero off, auto-ranging off unless otherwise noted. Use MEAS command for best I/O performance. RS232 at 115 Kbaud.

[2] Maximum, with default delays defeated

[3] Assumes relative time format (time since start of scan)

[4] Typical rates assuming lightly loaded PC and limited other traffic on I/Os. LAN rates assume use of socket connection; VXI11 will be less.

[5] For fixed function and range, readings to memory, scaling/alarms/autozero off

Modules Specifications

The Keysight 34970A/34972A accuracy specifications already include the switching offset and reference junction errors shown below. These errors are listed separately for determining system error with external measurement devices.

Up to three modules, in any combination, can be inserted into a single mainframe. The 34970A/34972A's internal DMM

connections are accessible only through the 34901A, 34902A, and 34908A low-frequency multiplexers.

On-module screw terminals accept wire sizes from 16 gage to 22 gage. Twenty-gage wire is recommended for high channel count applications. The 34905A and 34908A RF Multiplexers use SMB connectors. A standard set of (10) BNC-to-SMB adapter cables is provided with each RF module for convenient BNC connections.

	Multiplexer			Actuator	Matrix	RF multiplexer		Multifunction	
	34901A	34902A ^[1]	34908A			34903A	34904A		34905A
General									
Number of channels	20 + 2	16	40	20	4 x 8	Dual 1 x 4		See page 25 for module specifications	
	2/4 wire	2/4 wire	1 wire	SPDT	2 wire	50 Ω	75 Ω		
Connects to internal DMM	●	●	●						
Scanning speed	60 ch/s	250 ch/s ^[1]	60 ch/s						
Open/close speed	120/s	120/s	70/s	120/s	120/s	60/s			
Input									
Voltage (dc, ac rms) ^[2]	300 V	300 V	300 V	300 V	300 V	42 V			
Current (dc, ac rms)	1 A	50 mA	1 A	1 A	1 A	0.7 A			
Power (W, VA)	50 W	2 W	50 W	50 W	50 W	20 W			
DC characteristics									
Offset voltage ^[3]	< 3 μV	< 6 μV	< 3 μV	< 3 μV	< 3 μV	< 6 μV			
Initial closed channel R ^[3]	< 1 Ω	< 1 Ω	< 1 Ω	< 0.2 Ω	< 1 Ω	< 0.5 Ω			
Isolation ch-ch, ch-earth	> 10 GΩ	> 10 GΩ	> 10 GΩ	> 10 GΩ	> 10 GΩ	> 1 GΩ			
AC characteristics									
Bandwidth ^[4]	10 MHz	10 MHz	10 MHz	10 MHz	10 MHz	2 GHz ^[5]	2 GHz ^[5]		
Insertion loss (dB)	10 MHz	—	—	—	—	-0.1	-0.1		
	100 MHz	—	—	—	—	-0.4	-0.4		
	500 MHz	—	—	—	—	-0.6	-0.5		
	1 GHz	—	—	—	—	-1	-1		
	1.5 GHz	—	—	—	—	-1.2	-1.5		
	2 GHz	—	—	—	—	-3	-2		
SWR	0-99.99 MHz	—	—	—	—	1.02	1.02		
	10-99.99 MHz	—	—	—	—	1.05	1.05		
	100-499.99 MHz	—	—	—	—	1.20	1.25		
	500-999.99 MHz	—	—	—	—	1.20	1.40		
	1-1.499 GHz	—	—	—	—	1.30	1.40		
	1.5-2 GHz	—	—	—	—	1.40	2.00		
ch-ch cross talk (dB) ^[4]	10 MHz	-45	-45	-18 ^[6]	-45	-33	-100	-85	
	100 MHz	—	—	—	—	—	-85	-75	
	500 MHz	—	—	—	—	—	-65	-65	
	1 GHz	—	—	—	—	—	-55	-50	
	1.5 GHz	—	—	—	—	—	-45	-40	
	2 GHz	—	—	—	—	—	-35	-35	
Risetime								< 300 ps	
Signal delay								< 3 ns	
Capacitance	HI - LO	< 50 pF	< 50 pF	< 50 pF	< 10 pF	< 50 pF	< 20 pF		
	LO - Earth	< 80 pF	< 80 pF	< 80 pF	< 80 pF	< 80 pF	—		
Volt-Hertz limit		10 ⁸	10 ⁸	10 ⁸	10 ⁸	10 ⁸	10 ¹⁰		
Other									
T/C cold junction accuracy ^[8]	(typical)	0.8°C	0.8°C	0.8°C ^[8]					
Switch life	No load (typical)	100 M	100 M	100 M	100 M	100 M	5 M	5 M	
	Rated load (typical) ^[7]	100 k	100 k	100 k	100 k	100 k	100 k	100 k	
Temperature	Operating	all cards: 0 to 55°C							
	Storage	all cards: -20 to 70°C							
Humidity	(non-condensing)	all cards: 40°C to 80% RH							
[1]	Not recommended for connection to ac line without external transient suppression. Up to 250 ch/s to internal memory. See scanning rates for measurement condition and rate on each instrument.			[4]	50 Ω source, 50 Ω load				
[2]	Channel-to-channel or channel-to-earth			[5]	Bandwidth direct to card SMB connectors				
[3]	Errors included in DMM measurement accuracy specifications			[6]	Isolation within channel 1 to 20 or 21 to 40 banks is -40 dB				
				[7]	Applies to resistive loads only				
				[8]	Thermocouple measurements not recommended with 34908A module due to common Io configuration				

Multiplexer selection guide

Choose between the broad functionality of the 34901A, the high speed scanning of the 34902A, or the single-ended density of the 34908A. These three modules are the only way to connect to the 34970A/34972A internal DMM. They can be used to scan with external instruments as well.

All multiplexer modules employ break-before-make scanning, ensuring only one closed channel (or channel pair) at a time. Multiple channel closures are allowed on the 34901A and 34902A modules when not configured for scanning.

The 34908A does not allow multiple channel closures at any time.

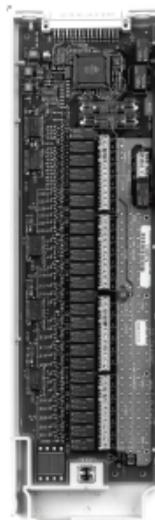
34901A

20-Channel General Purpose Multiplexer

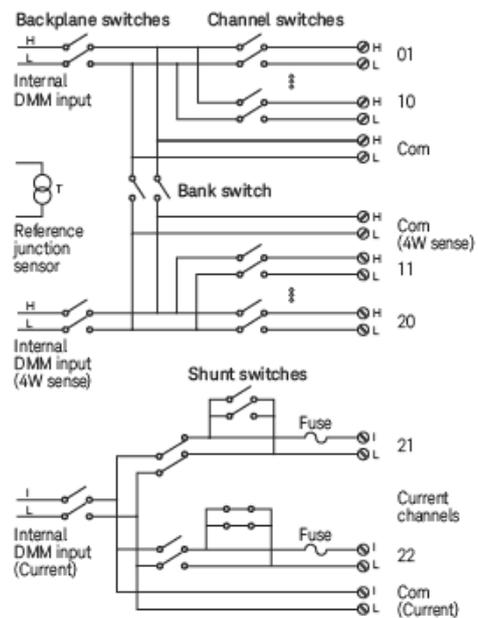
- 60 ch/s scanning
- Two- and four-wire scanning
- Built-in thermocouple reference junction
- 300 V switching

The Keysight 34901A is the most versatile multiplexer for general purpose scanning. It combines dense, multifunction switching with 60-channel/second scan rates to address a broad spectrum of data acquisition applications.

Two- and four-wire channels can be mixed on the same module. Two additional fused inputs (22 channels total) route up to 1 A of current to the internal DMM, allowing ac and dc current measurements without the need for external shunt resistors.



	34901A	34902A	34908A
Number of channels	20 + 2	16	40
Max scan speed	60 ch/s	250 ch/s	60 ch/s
Number of contacts	2 or 4	2 or 4	1
Temperature			
Thermocouple	•	•	•
2-wire RTD	•	•	•
4-wire RTD	•	•	•
Thermistor	•	•	•
dc Volts	•	•	•
ac Volts	•	•	•
2-wire Ohms	•	•	•
4-wire Ohms	•	•	•
Frequency	•	•	•
Period	•	•	•
dc current	•		
ac current	•		



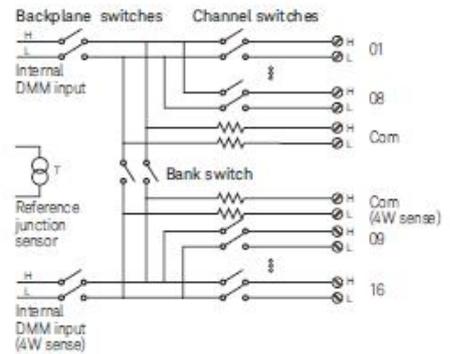
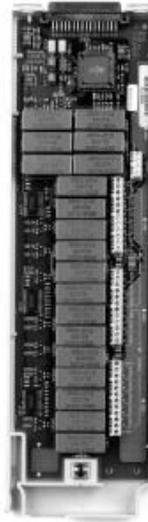
34902A

16-Channel High-Speed Multiplexer

- Scanning up to 250 ch/s
- Two- and four-wire scanning
- Built-in thermocouple reference junction

The Keysight 34902A employs reed relays to achieve scan rates up to 250 channels per second. Use this module for high-throughput automated test applications as well as high-speed data logging and monitoring tasks.

Sixteen two-wire inputs switch up to 300 V. Two- and four-wire channels may be mixed on the same module. User provided shunt resistors are required for current measurements.



Note: Not recommended for connection to ac line without external transient suppression.

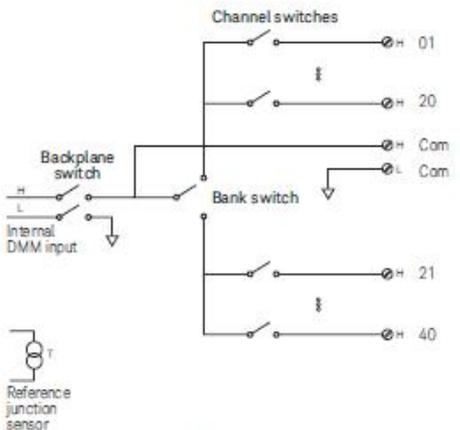
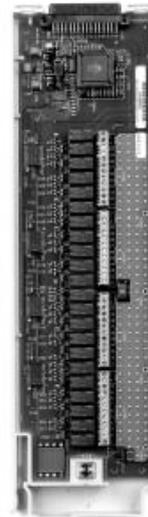
34908A

40-Channel Single-Ended Multiplexer

- 80 ch/s scanning
- Single-wire switching for common low applications
- Built-in thermocouple reference junction

Use the Keysight 34908A for the greatest density in common low applications, such as battery test, component characterization, and benchtop testing.

Each module switches 40 one-wire inputs. All two-wire internal measurements except current are supported. The module low connection is isolated from earth and can float up to 300 V.



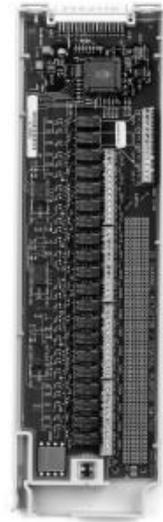
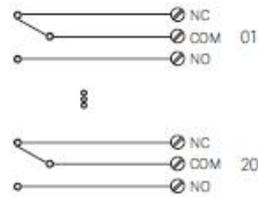
Note: Thermocouples must be electrically isolated from each other to avoid current loops and subsequent measurement errors.

34903A

20-Channel Actuator/General Purpose Switch

- SPDT (Form C) latching relays
- 300 V, 1 A actuation and control

This general purpose switch module has 20 independent single-pole, double-throw (SPDT) relays. Use it to cycle power to products under test, control indicator and status lights, and to actuate external power relays and solenoids. Combine it with matrix and multiplexer modules to build custom switch systems. Its 300 V, 1 A contacts can handle up to 50 W, enough for many power line switching applications.



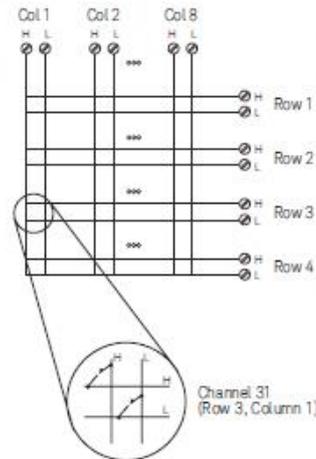
34904A

4x8 Two-wire Matrix Switch

- 32 two-wire crosspoints
- 300 V, 1 A switching

The Keysight 34904A gives you the most flexible connection path between your device under test and your test equipment, allowing different instruments to be connected to multiple points on your DUT at the same time.

Rows or columns may be connected between multiple modules to build 8x8, 4x16 or larger matrices, with up to 96 crosspoints in a single frame.



34905A 50 Ω

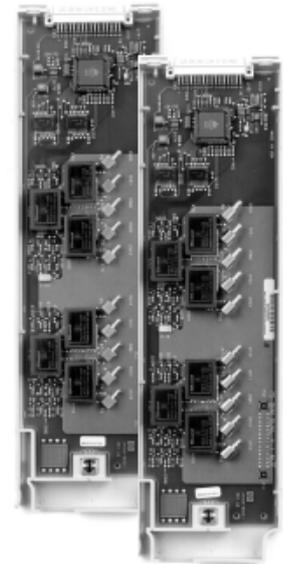
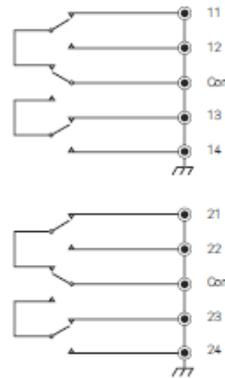
34906A 75 Ω

Dual 4-Channel RF Multiplexers

- 2 GHz bandwidth
- BNC to SMB adapter cables included

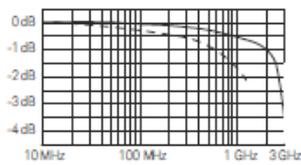
The Keysight 34905A and 34906A RF multiplexers offer broad-band switching capabilities for high frequency and pulsed signals. Use them to route test signals between your device under test and your signal generator, oscillo-scope, spectrum analyzer, or other instrumentation.

The RF multiplexers are arranged as two independent 1x4 multiplexers, each with a common shield and a switched center conductor. Connections can be made directly to SMB inputs with 2 GHz usable bandwidth, or to the BNC-to-SMB adapters provided with 1 GHz bandwidth. Multiple banks may be cascaded together for applications requiring even larger topologies—create a 16:1 multiplexer in a single frame.

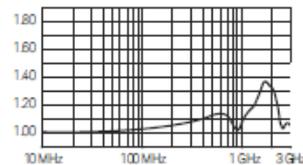


50 Ω MUX typical AC performance graphs

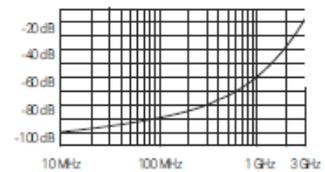
Insertion loss



VSWR

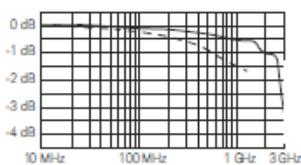


Crosstalk

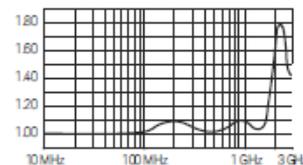


75 Ω MUX typical AC performance graphs

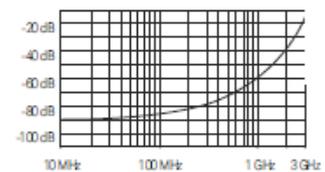
Insertion loss



VSWR



Crosstalk



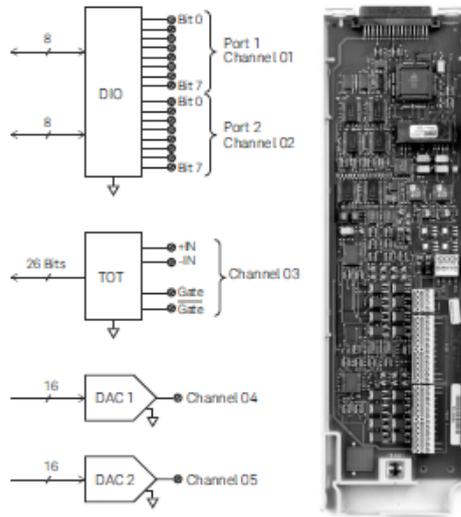
———— Direct to card
 - - - - - Using provided adapter cables

34907A

Multifunction Module

- 16 bits of digital input and output
- 100 kHz totalizer input
- Two ± 12 V analog outputs

The Keysight 34907A allows great flexibility for a variety of sense and control applications. It combines two 8-bit ports of digital input and output, a 100 kHz gated totalizer, and two ± 12 V analog outputs—all on a single earth-referenced module. The digital inputs and totalizer input may be included in a scan. Alarm limits for the digital and event counter inputs are evaluated continuously, capturing and logging alarm conditions even between scans.



Digital input/output

Use the digital outputs with an external power supply to control microwave switches and attenuators, solenoids, power relays, indicators, and more. Use the digital inputs to sense limit switch and digital bus status. There are no complex handshake modes; reads and writes are initiated either from the front panel or the bus.

Port 1, 2	8 bit, input or output, nonisolated
Vin(L)	< 0.8 V (TTL)
Vin(H)	> 2.0 V (TTL)
Vout(L)	< 0.8 V @ Iout = -400 mA
Vout(H)	> 2.4 V @ Iout = 1 mA
Vin(H) max	< 42 V with external open drain pull-up
Alarming	Maskable pattern match or state change
Speed	4 ms (max) alarm sampling
Latency	5 ms (typical) to 34970A alarm output
Read/write speed	95/s

Totalize input

Count events from devices like photo interrupters, limit switches, and Hall-effect sensors.

It keeps an updated total which can be read via the front panel or programmatically at any time. With 26 bits of resolution, it can count events at full speed for nearly 11 minutes without an overflow.

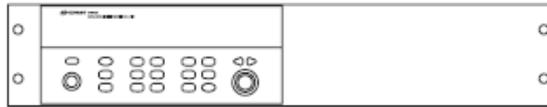
Max count	$2^{26} - 1$
Totalize input	100 kHz (max) Rising or falling edge, programmable
Signal level	1 Vp-p (min) 42 Vpk (max)
Threshold	0 V or TTL, jumper selectable
Gate Input	TTL-Hi, TTL-Lo, or none
Count reset	Manual or Read + Reset
Read speed	85/s

Analog output

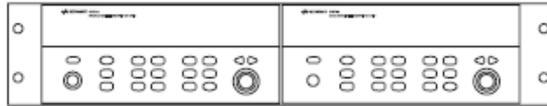
Use the two electronically calibrated analog outputs to source bias voltages to your device under test, to control your analog programmable power supplies, or use the outputs as setpoints for your control systems. The outputs are programmed directly in volts, either from the front panel or from the bus.

DAC 1, 2	± 12 V, nonisolated
Resolution	1 mV
IOUT	10 mA max
Settling time	1 ms to 0.01% of output
Accuracy	\pm (% of output + mV)
1 year $\pm 5^\circ\text{C}$	0.25% + 20 mV
Temp. coefficient	\pm (0.015% + 1 mV)/ $^\circ\text{C}$

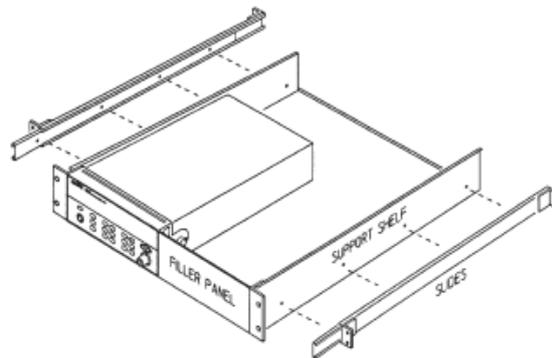
Rack mounting and dimensions



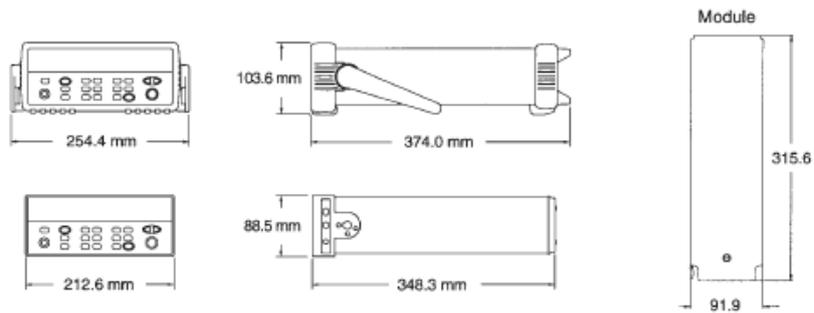
To rack mount a single instrument, order adapter kit 34190A.



To rack mount two instruments side-by-side, order 34191A 2U dual flange kit and 34194A dual lock link kit.



To install one or two instruments in a sliding support shelf, order shelf 5063-9255, and slide kit 1494-0015 (for single instrument, also order filler panel 5002-3999).



Ordering Information

Mainframe

34970A	Data Acquisition/Switch Unit with RS-232 and GPIB
34972A	Data Acquisition/Switch Unit with LAN and USB

Both mainframes include internal 6 1/2 digit DMM, test report, power cord, thermocouple, and screwdriver. Modules are purchased separately and are required to operate.

Option 001	Delete Internal DMM
Same as above but deletes DMM and Quick Start package.	
Order 34970-80010 to retrofit DMM at a later time.	
Option A6J	ANSI Z540 compliant calibration
Option 0B0	Delete manual set
Option AB0	Taiwan: Chinese manual
Option AB1	Korea: Korean manual
Option AB2	China: Chinese manual
Option ABA	English: English manual
Option ABD	Germany: German manual
Option ABE	Spain: Spanish manual
Option ABF	France: French manual
Option ABJ	Japan: Japanese manual
Option ABZ	Italy: Italian manual

Modules

34901A	20-Channel armature multiplexer
34902A	16-Channel reed multiplexer
34903A	20-Channel actuator/general purpose switch
34904A	4 x 8 Two-wire matrix switch
34905A	Dual 4-Channel RF multiplexer, 50 Ohms
34906A	Dual 4-Channel RF multiplexer, 75 Ohms
34907A	Multifunction module
34908A	40-Channel single-ended multiplexer

Accessories

11062A	Kelvin Clip Set
34307A	10-pack of J-type thermocouples
34308A	5-pack of 10 kΩ thermistors
34161A	Accessory pouch
34131A	Hard carrying case (transit case)
E5810A	LAN/GPIB gateway for use with 34970A
82357B	USB/GPIB converter for use with 34970A
34970-80010	DMM field installation kit. Fully calibrated with test report and Quick Start kit
34905-60001	Kit of 10 SMB-to-BNC adapter cables, 50 Ω
34906-60001	Kit of 10 SMB-to-BNC adapter cables, 75 Ω

USB adaptors—If you need to bring your USB memory port to the front panel you may consider a USB adapter such as the USBAM-USBAM from VPI or the ECF504-UABS from L-COM.

To find more application notes or product demos see the product web pages at:

www.keysight.com/find/34972A
www.keysight.com/find/34970A

Learn more at: www.keysight.com

For more information on Keysight Technologies' products, applications or services, please contact your local Keysight office. The complete list is available at: www.keysight.com/find/contactus



Find us at www.keysight.com

This information is subject to change without notice. © Keysight Technologies, 2019, Published in USA, September 27, 2019, 5965-5290EN

Page 27

2.10. Datos técnicos de las válvulas de pistón



| NOTICIAS | CONTACTO

KLINGER PRODUCTOS SERVICIOS INDUSTRIAS



Las válvulas de pistón representan en la industria un excelente desempeño debido a sus ahorros en producción, mantenimiento mínimo, y a diferencia de las válvulas globo convencional pueden ser instaladas de manera vertical. Las válvulas de pistón tienen un sistema de sellos y unos anillos que no permiten que haya fuga hacia el exterior y no tendrá contaminación del medio ambiente.

Descripción

» **Ratings:** PN16, 40 & 63, y 150/300LBS

» **Temperatura:** -10°C / +400°C

» **Medidas:** DN15 - DN200

» **Materiales:** Hierro fundido, fundición nodular, acero carbono e inoxidable.

» **Accionamiento:** Volante, actuador neumático o eléctrico.

2.11. Datos técnicos de la tubería de la sección de medida*

ENGLISH

Datasheet 316L Stainless Steel Tube

RS Stock number [661-4876](#)



Description:

Low carbon version of 316 quality stainless steel offers added resistance to weld decay. Properties are increased by cold working. Maximum working temperature is +300°C. Imperial supplied in 72in lengths. Metric supplied in 2000mm lengths.

Tube sizes below 16mm or inch OD have a mill finish. Those of 16mm or inch OD and above have a dull polished (A240 grit) finish. All dimensions are nominal.

Austenitic stainless steels, which are highly resistant to corrosion due to their Molybdenum content. They are non-magnetic and suitable for applications such as photographic, food, chemical and marine equipment.

Specifications:

Material: 316L Stainless Steel
Form: Rod
Length (m): 2
Thickness (mm): 1.5
Inner Diameter (mm): 3
Outer Diameter (mm): 6

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

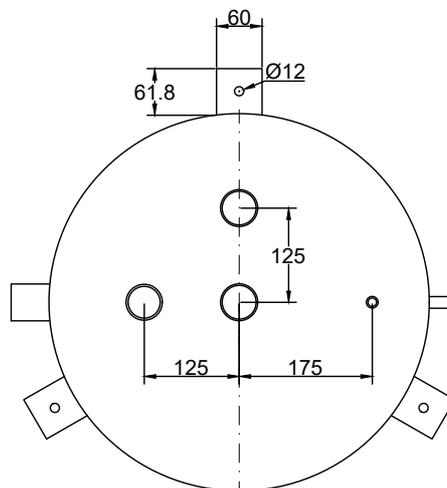
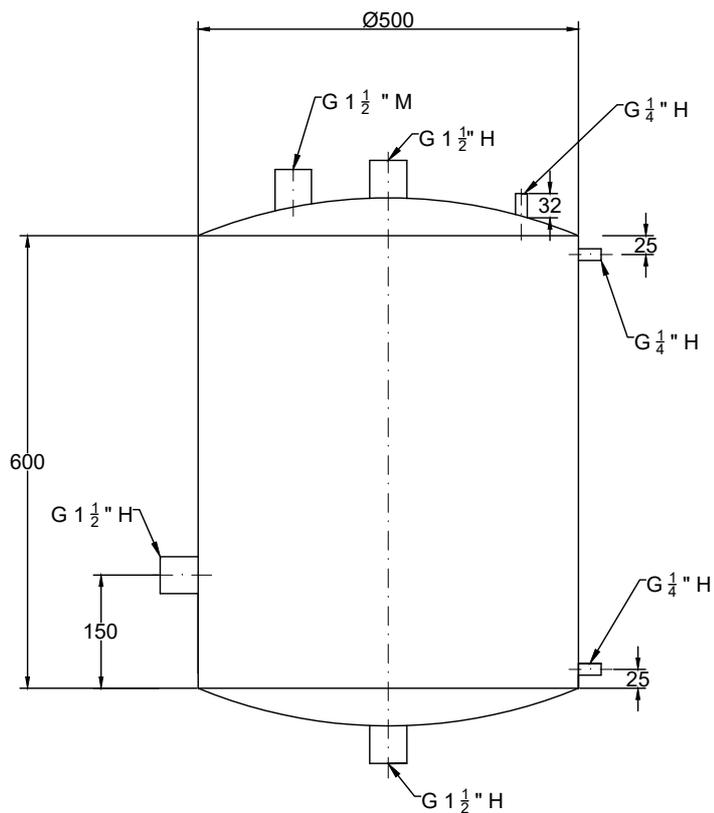
* Características técnicas que indica la empresa para el tubo 661-4888 utilizado en la instalación.

3. PLANOS

ÍNDICE

3.1. Plano 1. Plano del depósito principal	205
3.2. Plano 2. Plano del depósito secundario	209

3.1. Plano 1. Plano del depósito principal

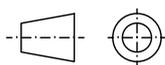


Diseñado por
ESTEFANÍA CERVANTES CALVO

Fecha
12/01/19

DEPÓSITO PRINCIPAL (100L)
espesor de chapa 3 mm

A4



UNIVERSIDAD JAUME I

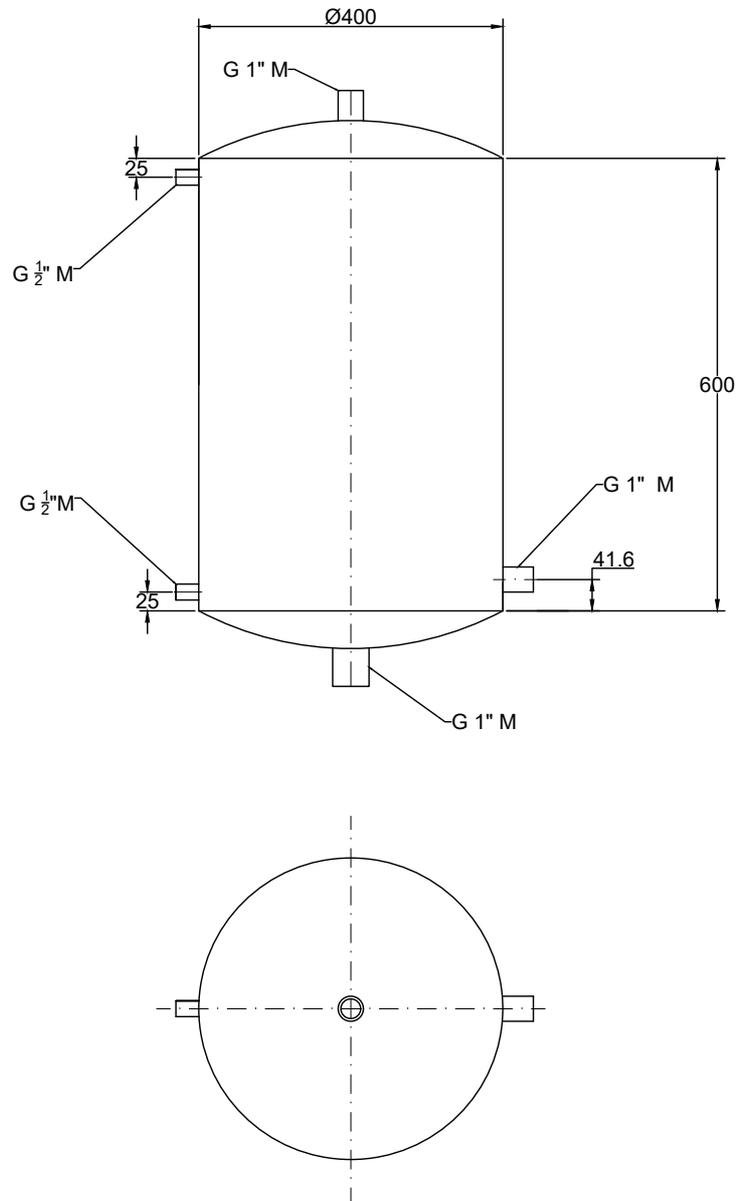
Escala
1/10

Proyecto
ID 0001

Plano nº 1

Hoja
1/1

3.2. Plano 2. Plano del depósito secundario



Diseñado por ESTEFANÍA CERVANTES CALVO		DEPÓSITO SECUNDARIO (75L) espesor de chapa 2 mm	
Fecha 12/01/19			
A4		UNIVERSIDAD JAUME I	
Escala 1/10	Proyecto ID 0001	Plano nº 2	Hoja 1/1

4. PLIEGO DE CONDICIONES

ÍNDICE DEL PLIEGO DE CONDICIONES

4.1. Condiciones generales	217
4.1.1. Alcance.....	217
4.1.2. Condiciones legales y administrativas	217
4.2. Pliego de prescripciones técnicas particulares.....	219
4.2.1. Especificaciones de materiales y equipos	219
4.2.2. Condiciones particulares de los materiales y equipos	220
4.3. Especificaciones de ejecución	229
4.3.1. Condiciones de la instalación y montaje	229
4.3.2. Personal	229
4.3.3. Puesta a punto de la instalación.....	230
4.3.4. Inspecciones	230
4.3.5. Instrucciones de seguridad y salud	231
4.4. Pliego de cláusulas administrativas particulares	232
4.4.1. Condiciones económicas	232

4.1. Condiciones generales

A través de este documento se pretende indicar cómo y con qué hay que hacer realidad el proyecto que se ha descrito en la memoria. Así mismo contiene las relaciones que existen y que tienen que cumplirse, entre el “propietario” y el ejecutor del proyecto. Este proyecto ha sido financiado con fondos públicos para su explotación en futuros proyectos de investigación.

Este documento contiene toda la información necesaria para que el proyecto llegue a buen fin de acuerdo con los planos constructivos del mismo. Indica las condiciones generales del trabajo, la descripción y características de los materiales a utilizar.

El ámbito de aplicación de este Pliego de Condiciones Técnicas Particulares se extiende a todos los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos que forman parte de la instalación.

También señala los derechos, obligaciones y responsabilidades de las partes que lo suscriben, así como el desarrollo del trabajo a realizar y como se resolverán los conflictos que puedan surgir durante su construcción y puesta a punto.

La redacción del mismo se basa en la Norma UNE 24042, que aunque esta norma ya no está en vigor, ha servido de guía para decidir la estructura general de este documento y su contenido.

4.1.1. Alcance

El proyecto descrito en la memoria consiste en el diseño, construcción y puesta a punto de una instalación hidráulica para el estudio del comportamiento térmico de nanofluidos. Por lo que su uso está destinado a la investigación para un mejor entendimiento de estos materiales. Esto permite en un futuro hacer un uso más adecuado y eficiente de los fluidos de transporte de calor (HTF) y más concretamente de los nanofluidos con material de cambio de fase nanoencapsulados (NePCM-NFs).

La instalación hidráulica se ubica en los laboratorios de la Universitat Jaume I en Castellón de la Plana. Su construcción y puesta a punto está sujeto al Objetivo Específico 5 (OE5) del proyecto “Desarrollo y optimización de fluidos de transporte de calor con propiedades térmicas mejoradas mediante material de cambio de fase metálicos nanoencapsulados (HTF-nano-PCM)”.

4.1.2. Condiciones legales y administrativas

Las condiciones legales y administrativas se basan en el cumplimiento legal de contratación y condiciones de seguridad y salud laboral de los trabajos a ejecutar, de acuerdo con la normativa aprobada por la Universitat Jaume I, ya que es la entidad que subvenciona el proyecto en el que se incluye la construcción de esta instalación y alberga la misma en sus instalaciones.

Será de aplicación, la normativa que afecten a la construcción y uso de instalaciones hidráulicas que trabajen a temperatura elevada, y en particular las que se listan a continuación.

- Norma UNE 24042:1958. Contratación de obras. condiciones generales (norma anulada el 21/12/1990).
- Norma ASTM A269/213. *Standard Specification for Seamless and Welded Austenitic Stainless Steel Tubing for General Service.*

- Norma UNE-EN 60439-1:2001. Conjuntos de aparata de baja tensión. Parte 1: Conjuntos de serie y conjuntos derivados de serie.
- Norma UNE-EN 60439-2:2001. Conjuntos de aparata de baja tensión. Parte 2: Requisitos particulares para las canalizaciones prefabricadas.
- Norma UNE-EN 60439-2:1994. Conjuntos de aparata de baja tensión. Parte 3: Requisitos particulares para los conjuntos de aparata de baja tensión destinados a estar instalados en lugares accesibles al personal no cualificado durante su utilización. Cuadros de distribución.
- Norma UNE 20324: 1993. Grados de protección proporcionados por las envolventes. (Código IP). (CEI 529:1989).
- UNE-EN 50102: 1996. Grados de protección proporcionados por las envolventes de materiales eléctricos contra los impactos mecánicos externos (código IK).
- Norma UNE-EN 60447:2004. Principios básicos y de seguridad para la interfaz hombre-máquina, el marcado y la identificación. Principios de maniobra (Ratificada por AENOR en julio de 2004).
- UNE-EN 60073: 2005. Principios básicos y de seguridad para la interfaz hombre-máquina, el marcado y la identificación. Principios de codificación para los indicadores y los actuadores.
- UNE 20383:1975. Interruptores automáticos diferenciales. Por intensidad de defecto a tierra para usos domésticos y usos generales análogos. (Norma anulada el 22/9/2005).
- UNE 21089-1:2002. Identificación de los conductores aislados de los cables.
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

4.2. Pliego de prescripciones técnicas particulares

4.2.1. Especificaciones de materiales y equipos

Los elementos instalados deben corresponder con los componentes elegidos durante el diseño de la instalación. En caso de no ser así, se debe notificar al autor del proyecto para la comprobación de su validez. Esta comprobación se realizará mediante catálogos, documentos o características técnicas relacionadas con el propio elemento, y suministradas por la empresa suministradora o fabricante del mismo.

En cualquier caso, no se emplearán elementos en la instalación que no hayan sido aceptados ni revisados por el proyectista.

Todos los componentes de la instalación deben de estar fabricados de acuerdo con las especificaciones contratadas por el proyectista, libres de defectos y/o anomalías que puedan causar el mal funcionamiento de los mismos y de la propia instalación.

En caso de que los elementos instalados no cumplan con las calidades o condiciones exigidas, el proyectista los puede rechazar, aunque ya hayan sido instalados, debiéndose sustituir por otros adecuados.

Los elementos suministrados por el fabricante o empresa suministradora deberán ser almacenados en un lugar establecido de antemano según las necesidades de la instalación. Este almacenamiento deberá realizarse evitando golpes, humedad, polvo, efectos climatológicos u otros efectos que puedan dañar los elementos. Adicionalmente, se debe comprobar que los materiales suministrados están libres de golpes o defectos causados por la empresa transportista. En caso de recepción anómala, los elementos deberán ser devueltos a su suministrador de origen.

Se debe comprobar que todas las mercancías recibidas corresponden con el pedido realizado. Además, se debe verificar la presencia de manuales, planos, características, certificados de calidad, etc. para los diferentes elementos.

Los materiales especialmente frágiles, como son la fuente de alimentación y el sistema de adquisición, deben ser tratados con especial cuidado evitando cualquier deterioro durante su transporte y procurando que se encuentren alejados de fuentes electromagnéticas que puedan dañarlos internamente.

En caso de deterioro de un equipo durante su transporte hasta la ubicación, se buscará responsabilidades para su sustitución sin cargo económico para el cliente.

El proyectista puede encargar la comprobación de los materiales o elementos y equipos adquiridos, bien sea en la fábrica de origen, en laboratorios oficiales o in situ, según crea más conveniente.

En el caso de discrepancia, los ensayos o pruebas se efectuarán en un laboratorio de carácter oficial designado por el propio proyectista.

Dichos ensayos serán realizados con el objetivo de determinar que los materiales y elementos cumplen con lo especificado en este documento. Ante los resultados obtenidos en los ensayos el proyectista se reservará el derecho de aceptar o rechazar dicho material o elemento.

4.2.2. Condiciones particulares de los materiales y equipos

TUBERÍAS

Las tuberías y las uniones utilizadas serán lisas y de sección circular, construcción rígida, sin rugosidades ni rebabas en sus extremos.

Antes de realizar ninguna operación o montaje con las tuberías deberá comprobarse que éstas no estén rotas, fisuradas, dobladas o aplastadas.

Las tuberías se cortarán según las dimensiones necesarias para su correcta instalación, de manera que se colocarán sin forzarlas o doblarlas.

Las tuberías se instalarán de forma que su contracción o dilatación, no suponga el deterioro y mal funcionamiento de la instalación, así como sin comprometer la seguridad del personal.

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 se puede producir la fusión de la misma y la inutilización por completo de esta.

La realización de mecanizados sobre las tuberías implicará la limpieza de los extremos de la barra y del interior de las mismas evitando la presencia de polvo o impurezas.

Las conexiones de las tuberías con los demás componentes se realizarán de forma que no se transmitan esfuerzos mecánicos que puedan producir averías, defectos o daños. En caso de dificultad para cumplir con lo anteriormente citado se le colocarán en los tramos críticos juntas universales que faciliten el montaje y desmontaje de las tuberías.

Características del tubo de acero inoxidable 316L

El acero bajo en carbono 316L es un acero inoxidable austenítico altamente resistente a la corrosión debido a su contenido de molibdeno. Permite soldaduras de calidad y resistentes que evitan el deterioro del material. No es un material magnéticos y es adecuado para su uso en instalaciones hidráulicas.

- Composición: C=0,03% máximo, Ni=12,0%, Cr=17% y Mo=2,25%.
- Tubo continuo conforme a la norma ASTM A269/213.
- Especificaciones relacionadas: AS2837-1986-316L, BS970-316 S11 y S13 y AISI TIPO 316L.
- Temperatura de funcionamiento máxima es de +300 °C.
- Suministrado en longitudes de 2 m.

Características del tubo de acero inoxidable 304 utilizado en el resto de la instalación, uniones en T y depósitos

Estas aleaciones representan una excelente combinación de resistencia a la corrosión y facilidad de fabricación y soldadura. Adecuado para su uso en equipos químicos y tuberías, así como en componentes de intercambiadores térmicos.

- Composición: C=0,07% máximo, Ni=8,0%, Cr=17,5%.
- Tubo continuo conforme a la norma ASTM A240.
- Especificaciones relacionadas: AISI TIPO 304.
- Temperatura de funcionamiento máxima es de +300 °C.

Se debe asegurar una perfecta estanqueidad de la instalación, ya que trabaja con un aceite térmico a temperatura entre 200 y 300 °C. Para ello, se hace uso de elementos y materiales aislantes.

- Las juntas utilizadas para la unión de bridas con tuberías y equipos son de grafito laminado. Este material permite el sellado de las uniones de fluidos a elevada temperatura de hasta 500°C. Son capaces de sellar de manera efectiva con tornillos de baja carga.
- Para asegurar un mejor sellado de las juntas se ha utilizado una pasta sellante de silicona de cobre, la cual es capaz de resistir temperaturas de hasta 350°C.

BOMBA

El diámetro de las tuberías de acoplamiento no podrá ser nunca inferior al diámetro de la boca de aspiración de la bomba. Se pondrá especial atención a la conexión de este equipo con el resto de la instalación y con las válvulas para regulación del caudal, de manera que se evite el golpe de ariete.

La boca de aspiración de la bomba deberá permanecer tapada desde el momento de la recepción hasta el momento de montaje, ya que la introducción de impurezas puede producir el deterioro de la bomba.

Se deberá comprobar en la ficha técnica, tanto las conexiones eléctricas como las conexiones de entrada y salida del fluido. Una avería por una mala instalación supondría automáticamente la pérdida de garantía del producto.

La bomba utilizada en la impulsión de aceite térmico, se trata de una bomba de voluta horizontal de una etapa con dimensiones y capacidad nominal de acuerdo con las normas DIN 24255 / EN 733. Cuenta con un diseño de extracción posterior que permite la extracción de la unidad de rodamiento completa hacia el extremo de accionamiento sin quitar la carcasa de la bomba de la tubería.

- Caudal de trabajo mínimo y máximo: 2-20 l/min.
- Velocidad máxima: 2900 rpm.
- Máxima temperatura de operación: 350 °C.
- Presión máxima de la carcasa: PN 16.
- Conexión de bridas según DIN EN 1092-2 PN 16 / 25.
- Dirección de rotación según las agujas del reloj, mirándola desde la parte de atrás.

CAUDALÍMETRO

Se debe mantener, en todo momento, el rango de temperatura y humedad recomendados por el fabricante.

Se procurará no exceder los valores de caudal másico para los cuales ha sido diseñado el aparato, así como los valores de tensión de alimentación.

En su instalación se procurará colocar éste a una distancia adecuada de zonas de cambios de dirección bruscos, reducciones, pendientes, etc.

La dirección del flujo debe corresponder con la dirección marcada por el fabricante: montaje en vertical con la dirección del flujo hacia arriba.

El caudalímetro está especialmente diseñado para su uso en instalaciones con aceites de alta viscosidad y alta temperatura.

- Conexión en brida de acuerdo con EN y ASME.
- Construido en acero inoxidable AISI 316L.
- Temperatura máxima de trabajo: 370°C.
- Caudal mínimo y máximo de trabajo: 2-24 l/min.

INTERCAMBIADOR DE CALOR

Desde la recepción del intercambiador hasta su instalación, las bocas de conexión deberán permanecer tapadas para evitar la introducción de impurezas en el interior del equipo.

Cuando se realicen las uniones soldadas se procurará no sobrepasar los límites de temperatura marcados por el fabricante para evitar que las dilataciones afecten a la disposición interna del mismo.

Debido al uso de agua como fluido refrigerante, se tiene que procurar no sobrepasar las presiones ni temperatura adecuada para impedir su ebullición.

Para evitar rotura por tensiones termo-mecánicas, es importante que se diseñe la línea de condensado de tal forma, que la evacuación de este en el lado de la camisa esté garantizada. Es especialmente importante en el caso de su instalación en horizontal. La inundación de la camisa con condensado cuando entra vapor puede llevar a la rotura del intercambiador.

- Materiales de construcción.
 - o Tubo: acero inoxidable AISI 316L.
 - o Camisa: acero inoxidable AISI 304.
- Conexiones tubo y camisa compatibles con brida EN1092-1 PN16 DN15.
- Temperatura máxima de diseño: 250°C.
- Presión máxima de diseño 10/-1 barg.

DEPÓSITOS

Una vez instalados los depósitos, se realizará una serie de pruebas para asegurar la idoneidad de su uso en la instalación. Las pruebas a realizar son:

- Inspección visual de todas las conexiones necesarias.
- Comprobación de la estanqueidad y resistencia del depósito.
- Comprobación de las dimensiones.
- Comprobación del correcto funcionamiento de los sistemas de conexión.
- Comprobación del correcto funcionamiento del sistema de purga antes de comenzar las pruebas con el circuito.

El depósito de purga deberá permanecer con la entrada y salida tapadas hasta el momento de su instalación para evitar la introducción en el circuito de impurezas.

Se deberá evitar que las válvulas de los depósitos que lo conectan con el exterior se taponen y se asegurará que permanecen abiertas en el transcurso del ensayo, para evitar la presurización de la instalación.

Así mismo, se deberá asegurar que se encuentra abierta la válvula que recoge el aceite térmico en caso de que se produzcan condensaciones durante el ensayo.

- Material de construcción: AISI 304.
- Espesor de chapa: 3 mm (depósito principal) y 2 mm (depósito secundario).
- Temperatura máxima de diseño 250°C.
- Presión máxima 5 bar.

FUENTE DE ALIMENTACIÓN Y AISLAMIENTO ELÉCTRICO DE LA SECCIÓN DE CALENTAMIENTO

Una vez recibido el equipo se deberá comprobar su correcto funcionamiento. Se verificará a la recepción la unidad para detectar posibles daños producidos por el transporte. La manipulación se realizará de forma que evite exponer los componentes a impactos.

Si el equipo no se instala inmediatamente se conservará con el embalaje original y en un lugar adecuado y seco.

Se seguirá obligatoriamente las recomendaciones del fabricante de acuerdo con el esquema de conexión previsto.

Se aconseja no sobrepasar los valores máximos de voltaje, intensidad y potencia de trabajo lo antes posible. Si por alguna razón se superan estos parámetros el equipo se desconectará inmediatamente la corriente de salida. Así mismo, el equipo cuenta con una protección de temperatura máxima, y por tanto si se sobrepasa se desconectará automáticamente.

El equipo se debe aislar de fuentes de calor, manteniendo las condiciones óptimas de trabajo, aconsejadas por el fabricante y que se muestran a continuación.

- Temperatura de trabajo: 0 a 50°C.
- Temperatura de almacenamiento: -20 a 70°C.
- Humedad relativa máxima: <80% n.c.

La sección de medida o calentamiento, a la que está conectada la fuente de alimentación, se deberá aislar del resto de la instalación debidamente. Para ello se hace uso de juntas adecuadas, que aíslan esta parte de la instalación y que además son capaces de soportar la temperatura de trabajo. Las principales características se muestran a continuación:

- Material: PTFE extruido.
- Temperatura máxima de trabajo: 260°C.

VÁLVULAS

Las válvulas se instalarán en lugares accesibles de forma que no encuentren obstáculos en su apertura o cierre manual.

Se seguirán las recomendaciones del fabricante en su colocación.

En caso de uniones soldadas, evitar que el calor afecte a las uniones ya que se pueden producir dilataciones que afecten a la estanqueidad de la unión.

No sobrepasar los rangos de presiones y temperatura indicadas por el fabricante, ya que no se asegura el correcto funcionamiento del elemento.

- Presión máxima de trabajo: PN16.
- Temperatura máxima de trabajo: 400°C.

TERMOPARES Y TERMORRESISTENCIAS

Al colocarlos, procurar desenrollar la totalidad del cable, para evitar la captación de ruido electromagnético, y por tanto problemas en la medición.

No colocar los termopares en zonas de alta temperatura sin ningún tipo de protección, ya que se corre el riesgo de destruir el propio sensor.

Cuando se coloque sobre una superficie metálica, se procurará colocar un material aislante tipo eléctrico, pero conductor de tipo térmico. De no ser así las medidas realizadas no serán correctas.

Se utilizará en cada caso, el termopar adecuado según el rango de temperaturas a medir, de manera que se evite su deterioro por temperatura.

El material utilizado para la colocación de las termorresistencias en la superficie de tubos metálicos, mejora el contacto con el mismo y se trata de un material capaz de aguantar temperaturas de hasta 400°C.

EJECUCIÓN Y MONTAJE DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN

Todos los materiales empleados en la instalación serán de primera calidad y reunirán las condiciones exigidas en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

Todos los materiales son susceptibles de ser sometidos a análisis o pruebas para acreditar su calidad. Si los materiales no son los especificados por el proyectista, podrá ser sustituido por otros, pero siempre que sean aprobados por la dirección técnica, ya que será rechazado aquel que no reúna las condiciones exigidas.

Todos los trabajos se ejecutarán con arreglo a las buenas prácticas de las instalaciones eléctricas, de acuerdo con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

Puesta a tierra

Todos los aparatos eléctricos conectados disponen de una toma de tierra conectada a la puesta a tierra del edificio a través del conector trifásico general de la instalación. La estructura de la propia instalación también está conectada a la puesta a tierra para evitar derivaciones eléctricas.

El conductor empleado para la conexión a tierra posee una sección de 2,5 mm².

Todas las uniones relativas a tierra deberán realizarse mediante elementos de unión adecuados, bien sea con tornillos, por presión o por soldadura de alto punto de fusión.

Cuadro eléctrico de distribución

Los cuadros eléctricos habrán de atenerse a los requisitos de la normativa siguiente: UNE-EN 60439-1, UNE 20324 y UNE-EN 50102; UNE-EN 60447, UNE-EN 60073 y CEI 60152, CEI 60391 y CEI 60446.

Los cuadros empleados serán metálicos, contruidos en plancha de 1,5 - 2 mm de espesor mínimo, de manera que en su conjunto posean las características de resistencia adecuadas.

La resistencia contra la corrosión se realizará a través de un revestimiento a base de polvo de epoxi y poliéster polimerizado, salvo que se especifique lo contrario.

El acabado final del cuadro estará realizado mediante dos manos de pintura de color tipo RAL 1019 para la chapa interior y RAL 9001 para la chapa exterior.

El acceso a los cuadros se realizará por la parte delantera a través de una puerta provista con dispositivo de cierre normal con llave. En esta misma puerta estarán montados todos los elementos de accionamiento o de visualización necesarios para el correcto funcionamiento de la máquina. Así mismo se dispondrá de los indicadores luminosos relativos a las alarmas en la instalación.

En el exterior de los cuadros se dispondrá de rótulos para la identificación los elementos de mando disponibles (interruptores, pulsadores...). Estos rótulos deberán de ser imborrables.

Los cables unidos a los elementos del interior del cuadro deben de poder ser introducidos desde la parte superior del cuadro o desde la parte inferior, contando en cada caso con chapas metálicas sin agujerear, que serán taladradas en base al diámetro del cable y serán colocadas para poder

asegurar la estanquidad del cuadro. Será obligatorio el uso de prensaestopas para evitar daños en el cable.

Todas las puertas y elementos por los que se pueda tener acceso al interior de los cuadros, estarán provistos de una junta de estanqueidad de material plástico no degradable, de forma que el conjunto tenga un grado de protección según UNE 20324.

Conexión de elementos en el armario

Los cuadros dispondrán de carriles normalizados que permitirán colocar y quitar con facilidad y rapidez los distintos elementos eléctricos conectados a presión.

Se debe asegurar el fácil acceso al cuadro eléctrico, así como a los elementos conectados al mismo para acceder a ellos rápidamente en caso de necesidad.

En cada uno de los armarios se dispondrá una borna de conexión para la puesta a tierra. En esta borna se conectarán todas las tierras de los elementos conectados así como la conexión a tierra de la red general.

El cableado del cuadro se realizará con cable unipolar flexible de 2,5 o 1,5 mm² según sea el caso, con aislamiento de PVC, ignífugo y tensión nominal mínima de 750 V.

Todo el cableado del interior de los cuadros se canalizará por canaleta independiente para su control y maniobrado. Estará debidamente numerado de acuerdo con los esquemas y planos que se faciliten, de manera que en cualquier momento sean perfectamente identificados todos los circuitos eléctricos.

Asimismo, se deberán numerar todas las bornas de conexión para las líneas que salgan de los cuadros de distribución. A ser posible, todas las conexiones se efectuarán con terminales a presión adecuados.

Dentro de cada uno de los cuadros se deberá de disponer el esquema eléctrico del mismo, para poder asegurar una fácil localización de averías y facilitar posibles modificaciones en el mismo.

Interruptores automáticos

Las características técnicas de los interruptores automáticos cumplirán las características descritas en las Normas UNE correspondientes.

Se debe asegurar las características impuestas por el fabricante en su instalación y montaje, asegurando que las uniones de los cables sean las adecuadas, sin peligro de que estas se puedan soltar.

Adicionalmente, se deben mantener los rangos de temperatura y humedad recomendados por el fabricante.

Todos los tipos de interruptores mencionados deberán haber sido sometidos a las pruebas de tensión, aislamiento, resistencia al calor y demás ensayos, exigidos en la norma UNE 20347.

Contactor, interruptores y relés

Todos los aparatos citados llevarán inscritos la tensión e intensidad nominal.

Los aparatos de tipo abierto/cerrado llevarán una indicación clara de su posición de abierto y cerrado. Los contactos tendrán dimensiones adecuadas para dejar paso a la intensidad nominal del aparato, sin excesivas elevaciones de temperatura. Las partes bajo tensión deberán estar fijadas sobre piezas aislantes, suficientemente resistentes al fuego, al calor y a la humedad y con la conveniente resistencia mecánica.

Las aberturas para entradas de conductores, deberán tener el tamaño suficiente para que pueda introducirse el conductor correspondiente con su envoltura de protección.

Las piezas de contacto deberán tener elasticidad suficiente para asegurar un contacto perfecto y constante. Los mandos serán de material aislante.

Todo el material comprendido en este apartado deberá haber sido sometido a los ensayos de tensión, aislamiento, resistencia al calor y comportamiento al servicio exigidos en esta clase de aparatos.

Su instalación deberá de cumplir con las condiciones impuestas por el fabricante para el montaje. Además se debe de asegurar que la separación de los terminales del relé es la adecuada para poder conectar éste con el contactor.

El contactor deberá de disponer de los contactos auxiliares necesarios para poder realizar la maniobra del propio cuadro.

Interruptor diferencial

Los interruptores diferenciales deberán cumplir las exigencias técnicas de manera que cumplan la Norma UNE 20383.

Estos interruptores de protección tienen como misión evitar las corrientes de derivación a tierra que puedan ser peligrosas. Debe ser independiente de la protección magnetotérmica de circuitos y aparatos, reaccionando con toda intensidad de derivación a tierra que alcance o supere el valor de la sensibilidad del interruptor.

La capacidad de maniobra debe garantizar que se produzca una desconexión perfecta en caso de cortocircuito y simultánea derivación a tierra.

En este interruptor se conectarán todos los conductores que sirvan de alimentación a los aparatos receptores.

Al igual que en los caos anteriores, su montaje se deberá realizar en base a las condiciones impuestas por el fabricante, asegurando unos niveles de temperatura y humedad inferiores a los marcados por el propio fabricante.

Cables y elementos conductores

Las secciones mínimas utilizadas serán de 1,5 mm² en las líneas de mando y control y de 2,5 mm² en las líneas de potencia.

Los colores de los conductores aislados estarán de acuerdo con la norma UNE 21089-1 y serán los siguientes.

Tabla 39. Colores de los conductores.

Cable de protección	Amarillo – Verde
Neutro	Azul claro
Fase	Marrón
Fase	Negro
Fase	Gris

Es recomendable que cada una de las fases se monte con un color diferente indicando este color en el esquema eléctrico. En caso de no realizarse de esta manera, todas las fases se realizarán con el mismo color.

La designación de los cables eléctricos aislados de tensión nominal hasta 450/750 V se realizará según las especificaciones de la norma UNE 20434.

CAJAS DE SUPERFICIE

Las cajas para instalaciones de superficie deben ser de PVC fundido con cierre hermético y tapa atornillada. Las dimensiones serán tales que se deben adaptar al tipo de cable que se emplee.

Estarán provistas de varias entradas troqueladas ciegas en tamaños concéntricos, para poder disponer en la misma entrada de agujeros de diferentes diámetros.

La fijación sobre las superficies se realizará como mínimo con dos puntos de anclaje mediante tornillos de acero con arandelas de nylon para conseguir una buena estanqueidad.

Las conexiones de los conductores se deberá ejecutar en las cajas y mediante regletas, no pudiendo conectar más de cuatro hilos en cada regleta.

CONEXIÓN EXTERIOR

El conexionado a la red de la instalación se debe llevar a cabo mediante una clavija trifásica de 400 V con intensidad nominal de 32 A.

Todas las partes de la caja y de la clavija serán de material aislante. Se dispondrá de la toma a tierra que la reglamentación vigente exigiese y con las características y dimensiones adecuadas. Las partes metálicas bajo tensión deberán estar fijadas sobre piezas aislantes suficientemente resistentes al fuego, al calor y a la humedad, teniendo además, la resistencia mecánica necesaria.

Para la conexión de los conductores deberá emplearse bornas con tornillos, dejando previsto el espacio suficiente para que la conexión pueda ser hecha con facilidad.

4.3. Especificaciones de ejecución

4.3.1. Condiciones de la instalación y montaje

La instalación de los diferentes elementos se debe realizar conforme las normas y pasos indicados por los correspondientes fabricantes, para poder cumplir las condiciones de garantía de los mismos y asegurar un correcto funcionamiento de éstos.

En caso que el fabricante no suministre normas de montaje, los elementos se montarán conforme la experiencia que se disponga en el montaje de elementos similares.

El montaje se efectuará con los auxiliares necesarios y mano de obra especializada, de modo que además del buen funcionamiento de la instalación se asegure un buen aspecto, quedando la instalación perfectamente terminada y en perfectas condiciones de duración y conservación.

En cualquier caso, el montaje de la instalación deberá realizarse cumpliendo con las condiciones de seguridad y prevención de riesgos marcados en el RD 486/1997 donde se establecen las condiciones mínimas de Seguridad y Salud en los lugares de trabajo.

4.3.2. Personal

El proyecto ha sido dirigido por profesores de la Univeritat Jaume I que se han encargado de coordinar la evolución del mismo, marcar las líneas de desarrollo y evaluar la validez de los resultados. Los coordinadores del proyecto tienen plenas atribuciones para evaluar la adecuación de los procesos experimentales, de los cálculos teóricos y del informe realizado. Los resultados necesitarán de su continua aprobación para la consecución del trabajo hacia el objetivo marcado en el proyecto.

En el caso de contratarse personal para el montaje y puesta en funcionamiento de la instalación deberán cumplirse todas las condiciones anteriormente propuestas además de las que se detallan a continuación.

El personal contratado deberá poseer habilidades y conocimientos demostrables, para poder llevar a cabo el montaje de la instalación sin ningún tipo de problema, basándose en las órdenes marcadas por el proyectista o en caso de no poner en entredicho las anteriores, por su propia experiencia.

El periodo de contratación será marcado por la empresa que desarrolle el proyecto en cuestión, en este caso la Universidad Jaume I, la cual a su vez será la encargada del pago de las tareas desempeñadas por el personal de acuerdo con sus propias normas de pago.

Si alguna parte de los trabajos o clase de los materiales no quedara suficientemente especificada, presentara dudas o presentara contradicción alguna con respecto a los documentos del presente proyecto o pudiera sugerirse alguna solución más ventajosa durante la marcha de la instalación, el personal encargado de la instalación se pondrá inmediatamente en contacto con el proyectista para aclarar los posibles malentendidos o dudas. En cualquier caso, el personal debe abstenerse de instalar los materiales o ejecutar la obra en cuestión hasta recibir la aclaración o resolución del proyectista.

El personal contratado deberá encargarse de la adquisición de los materiales que mande el proyectista o estén marcados en el proyecto. Además, es su responsabilidad la ejecución de las operaciones y trabajos necesarios para dejar el trabajo completamente acabado, en perfecto estado de funcionamiento, utilización y aspecto.

Si la ejecución de los trabajos no fuera adecuada o si el material presentado no reuniera las condiciones necesarias, se podrá proceder a la rescisión del contrato con pérdida de la fianza.

El personal encargado del montaje de la instalación será el único responsable de todas las contravenciones que se cometan durante la ejecución de los trabajos y elementos relacionados, siendo de su responsabilidad las consecuencias que se deriven, así como los daños y perjuicios a terceros. Esta condición no tendrá validez en el caso de que las órdenes sean derivadas de forma incorrecta por parte del proyectista, en cuyo caso la responsabilidad será del mismo. No se considerará eximida esta condición si las órdenes dadas por el proyectista son malinterpretadas por el personal encargado.

4.3.3. Puesta a punto de la instalación

Una vez acabada la instalación, se procederá a la realización de una serie de pruebas marcadas por el proyectista. En el caso de que las pruebas sean satisfactorias se dará por finalizado el montaje de la instalación. Se debe poseer en todo momento a mano la siguiente información de los equipos adquiridos y diseñados que componen la instalación:

- Una copia de los planos de los elementos diseñados, en los que figure las características constructivas de estos.
- Una memoria descriptiva de los elementos o equipos adquiridos, en la que se incluyan los criterios adoptados para su desarrollo.
- Una relación de los materiales y los equipos empleados, en la que se indique el fabricante, la marca, el modelo y las características de funcionamiento junto con catálogos y con la correspondiente documentación de origen y garantía.
- Los manuales con las instrucciones de manejo, funcionamiento y mantenimiento.
- Un documento en el que se recopilen los resultados de las pruebas realizadas.

A partir de esta información el proyectista comprobará la validez de la instalación en base al esquema que el mismo posee y de los resultados obtenidos en la misma.

Transcurridos los plazos de garantía, que será de un año si en el contrato no se estipula otro de mayor duración, la recepción provisional de los equipos se transformará en recepción definitiva, salvo que por parte del titular haya sido cursada alguna reclamación antes de finalizar el periodo de garantía.

Si durante el período de garantía se produjesen averías o defectos de funcionamiento, éstos deberán ser subsanados gratuitamente por la empresa suministradora, salvo que se demuestre que las averías han sido producidas por falta de mantenimiento o uso incorrecto de la instalación.

4.3.4. Inspecciones

Las instalaciones serán revisadas por personal facultativo de los servicios de los organismos territoriales competentes, o por las entidades en quién ellos deleguen en el ejercicio de sus

competencias, cuando éstos juzguen oportuna o necesaria una inspección, por propia iniciativa, disposición gubernativa, denuncia de terceros o resultados desfavorables apreciados en el registro de las operaciones de mantenimiento.

El personal facultativo ordenará su inmediata reparación y podrá, cuando lo juzgue oportuno, precintar la instalación, dando cuenta de ello a la empresa suministradora de energía para que suspenda los suministros, que no deben ser reanudados hasta la autorización de los servicios del organismo territorial competente.

Los titulares de las instalaciones pueden solicitar en todo momento, justificando la necesidad y previo dictamen de la empresa de mantenimiento o del mantenedor autorizado, cuando sea procedente, que sus instalaciones sean reconocidas por los servicios de la correspondiente Comunidad Autónoma para que sea expedido el oportuno dictamen.

4.3.5. Instrucciones de seguridad y salud

Se presenta a continuación, un resumen de la normativa de seguridad y salud en el trabajo en laboratorios de obligado cumplimiento en las instalaciones de la Universitat Jaume I.

La ley 31/1995, de prevención de riesgos laborales y normativa de desarrollo, tiene por objeto la determinación de garantías y responsabilidades para establecer un adecuado nivel de protección de la salud de los trabajadores frente a los riesgos derivados de las condiciones de trabajo. El art. 14 de la ley establece que los trabajadores tienen derecho a una protección eficaz en materia de seguridad y salud en el trabajo.

El investigador responsable del proyecto debe:

- Identificar los riesgos.
- Incorporar medidas de prevención y protección de riesgos del personal técnico.
- Exigir los equipos adecuados de protección.
- Garantizar la formación e información de los equipos de la instalación.
- Coordinar las actividades y experimentos.
- Comunicar en caso de accidentes.

El personal investigador no responsable del proyecto tiene la obligación de:

- Cumplir las normas de seguridad y salud en los laboratorios y talleres según indica el investigador responsable.
- Utilizar los Equipos de Protección Individual (EPIs) de manera adecuada.
- No trabajar en las instalaciones de la Universitat Jaume I sin la autorización del investigador principal.

4.4. Pliego de cláusulas administrativas particulares

4.4.1. Condiciones económicas

Los proyectos de investigación con financiación pública están dirigidos a resolver problemas o a satisfacer necesidades para el bien del conjunto de la sociedad.

La financiación para el diseño y la construcción de la instalación se ha llevado a cabo gracias a fondos públicos destinados a actividades e inversiones en I+D+i de la Universitat Jaume I. Al ser un proyecto financiado de esta manera, el resultado es para beneficio común, por lo que se tienen que hacer públicos los resultados una vez finalizado el proyecto.

5. PRESUPUESTO

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

5.1. Consideraciones previas	237
5.2. Gasto de personal.....	237
5.3. Compra de equipos	237
5.4. Compra de otros materiales	238
5.5. Coste total del proyecto	240
5.6. Viabilidad del proyecto.....	240

5.1. Consideraciones previas

Se presenta a continuación, los gastos que ha supuesto el diseño y puesta en marcha de la instalación. En este presupuesto se engloba, los gastos debido a horas empleadas por parte del personal, equipos diseñados o comprados y otros materiales utilizados.

5.2. Gasto de personal

En la Tabla 40 se ha realizado una estimación de las horas empleadas en personal para el diseño, construcción y puesta a punto de la instalación termohidráulica.

Tabla 40. Estimación del coste de personal.

PERSONAL		
Horas del personal	Precio/hora (€/h)	Importe
Supervisor/a 60 horas	60	3.600,0 €
Ingeniero/a 150 horas	40	6.000,0 €
Técnico/a 50 horas	30	1.500,0 €
SUBTOTAL		11.100,0 €

5.3. Compra de equipos

Para la realización de este proyecto, ha sido necesario adquirir diferentes equipos. Para su elección, se ha tenido en cuenta, por un lado, sus prestaciones, teniendo especial interés en la precisión y temperatura máxima de trabajo. En caso de tener opciones equivalentes en este aspecto, se ha decidido la compra según su precio.

Tabla 41. Gasto por la compra de equipos.

EQUIPOS	
Concepto	Importe
Depósito principal (100 litros)	1.357,0 €
Depósito secundario (75 litros)	905,0 €
Fuente de alimentación	5.795,0
Bomba centrífuga SIHI ZTND-032160	1.401,54 €
Caudalímetro ROTA YOKOGAWA RAMC02-D4SS-63-L2	3.363,2 €
Fuente de alimentación Elektro-Automatik EA-PS 9080-340 3U	5.795,0 €

Equipo de adquisición de datos Agilent 34972A	2.163,48 €
Intercambiador HRS DTI 38/25 6.0 304/316L H	3.500,0 €
Bomba centrífuga agua refrigeración*	1.452,3 €
Caudalímetro circuito de agua*	1.035,0 €
SUBTOTAL	26.767,52 €

* Estos equipos no se han adquirido para este proyecto.

5.4. Compra de otros materiales

En este apartado del presupuesto se ha tenido en cuenta los gastos debidos a la compra de materiales para la construcción de la instalación, instrumentación para el control de temperatura y material eléctrico.

Tabla 42. Gasto por la compra de otros materiales.

MATERIALES			
Concepto	Precio unitario	Cantidad	Importe
Aceite térmico (150 l)	1.632,80 €	1	1.632,80 €
Tubería zona de calentamiento D=7 mm, 2 m longitud	110,3 €	2	220,6 €
Válvula de pistón 50 mm	172,5 €	1	172,5 €
Válvula de pistón 32 mm	124,5 €	1	124,5 €
Válvula de pistón 25 mm	102,75€	2	205,5 €
Válvula de pistón 20 mm	93,0€	1	93,0€
Válvula de pistón 15 m	82,5 €	6	495,0 €
Válvula de bola 1'' 1/2	114,29 €	6	685,74 €
Válvula de compuerta 1'' 1/2	41,53 €	1	41,53 €
Codo 1''	18,0 €	4	72 €
Union en T_1''	19,5 €	4	78 €
Brida THR 50 mm	9,72 €	1	9,72 €
Brida THR 32 mm	7,29 €	1	7,29 €
Brida THR 25 mm	5,5 €	2	11,0 €
Brida THR 20 mm.	4,75 €	2	9,5 €

Brida ciega 15 mm.	6,0 €	14	84,0 €
Juntas PSM	0,5 €	16	8,0
Varilla PTFE 20mm	74,08 €	1	74,08 €
Tuberías secundarias D=1/2 " 2 m longitud	70,11 €	2	140,22 €
Termorresistencias de contacto	8,24 €	20	164,8 €
Termopares tipo K	22,0 €	8	176,0 €
Cable termopar tipo K, 10 m	52,12 €	2	104,24 €
Varilla de PTFE 0,5m x 50mm	121,01 €	1	121,01 €
Manta de lana de roca 3,6m x 0,61m x 25mm	123,29 €	2	246,58 €
Silicona de cobre Loctite 5920	9,18 €	1	9,48 €
Cuadro montaje eléctrico 600x400x230 mm	115,0 €	1	115,0 €
Regleta PVC 2 m	4,8 €	4	19,2 €
Rollo cable 6 mm ²	83,0€	1	83,0 €
Rollo cable 16 mm ²	77,23 €	1	77,23 €
Rollo cable 4 mm ²	70,6 €	1	70,6 €
Diferencial 2P	45,0 €	1	45,0 €
Diferencial 3P	87,1 €	1	87,1 €
Contactador 18,5 kW 40 A	75,12 €	2	150,24 €
Contactador 22 kW 50 A	99,76 €	1	99,76 €
Interruptor automático 16A	26,92	1	26,92 €
Interruptor automático 32A	3,00	2	6,00 €
Interruptor automático 63A	43,31	1	43,31 €
Varios	-	-	500,0 €
SUBTOTAL			6.244,48 €

5.5. Coste total del proyecto

Finalmente, el coste total de diseño, construcción y puesta a punto de la instalación termohidráulica descrita en este proyecto asciende a 44.112,1 €.

Tabla 43. Coste total del proyecto.

Coste	Importe
Personal	11.100,0 €
Compra de equipos	26.767,6 €
Compra de otros materiales	6.244,5 €
TOTAL	44.112,1 €

5.6. Viabilidad del proyecto

Debido a que el diseño y construcción de la instalación hidráulica ha sido financiada por el proyecto de investigación “Desarrollo y optimización de fluidos de transporte de calor con propiedades térmicas mejoradas mediante material de cambio de fase metálicos nanoencapsulados (HTF-nano-PCM)”, dentro de la convocatoria de proyectos de investigación científica y desarrollo tecnológico de la Universitat Jaume I, no es necesario incluir el estudio de viabilidad económica

