

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial



**Diseño de una instalación para el estudio
de procesos de
evaporación en microcanales.**

Titulación: Ingeniería Técnica Industrial
Intensificación: Mecánica
Alumno/a: José Francisco Marín Aroca
Directores: José Ramón García Cascales
Francisco Vera García

Murcia a 24 de Marzo del 2009

DOCUMENTO

Nº 1:

MEMORIA

José Francisco

Marín

Aroca

Índice de contenido

1 MEMORIA DESCRIPTIVA.....	3
1.1 ANTECEDENTES	3
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.3 INTRODUCCIÓN.....	4
1.4 REGLAMENTACIÓN APLICADA.....	5
1.5 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	6
1.6 DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS.....	9
1.6.1 Sistema de refrigeración.....	9
1.6.2 Bomba Grundfos.....	11
1.6.3 Intercambiador de placas.....	15
1.6.4 Depósito intermedio.....	17
1.6.5 Sensores de presión absoluta Rosemount.....	19
1.6.6 Bomba MicoPump.....	26
1.6.7 Válvula reguladora de caudal.....	28
1.6.8 Caudalímetro.....	30
1.6.9 Calentador.....	33
1.6.10 Sensor de presión diferencial.....	36
1.6.11 Termopares del tipo T.....	36
1.6.12 Transformador.....	38
1.6.13 Tubos a ensayar.....	39
1.6.14 Tuberías.....	39
1.6.15 Control de MicroDesign.....	39
1.6.16 Data-logger.....	40
1.6.17 Fuentes de alimentación.....	42
1.6.18 Variadores de frecuencia.....	42
2 ANEJOS.....	44
2.1 ANEJO 1: CALCULOS JUSTIFICATIVOS.....	44
2.1.1 Potencia eléctrica suministrada a los tubos de ensayo.....	44
2.1.2 Caudales máximo y mínimo y dimensionado de la tubería.....	47
2.1.3 Cálculo del espesor de aislante para impedir la condensación.....	49
2.1.4 Cálculos eléctricos.....	51
2.1.5 Cálculo del volumen de refrigerante y del depósito.....	59
2.1.6 Cálculo de la caída de presión y dimensionado de la bomba Micropump.....	64
2.1.7 Cálculo y selección del intercambiador.....	66
2.2 ANEJO 2: CALIBRACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS.....	67
2.2.1 Termopares.....	67
2.2.2 Sensor de presión diferencial.....	75
2.2.3 Caudalímetro de Coriolis Emerson.....	76
2.3 ANEJO 3: CONEXIÓN DE LOS SENSORES DE PRESIÓN.....	77
2.3.1 Instalación de un transductor a varios instrumentos captadores de señal.....	78
2.3.2 Instalación de múltiples transductores de presión a un captador de señal.....	78
2.3.3 Determinación del número de transductores que pueden ser excitados por una misma fuente de alimentación.....	79
2.4 ANEJO 4: CANALES ADICIONALES DE LAS TARJETAS MULTIPLEXORAS.....	79

1 MEMORIA DESCRIPTIVA

1.1 ANTECEDENTES

El grupo de investigación Modelado de Sistemas Térmicos y Energéticos lleva tiempo trabajando en el estudio de intercambiadores de diferentes tipos: carcasa-tubo, doble tubo, de placas, compactos, etc.

Además lleva más de 10 años estudiando los procesos de mezclas con y sin cambio de fase. Tanto en estacionario como en no estacionario.

Debido a los últimos trabajos realizados ha surgido el interés por estudiar los fenómenos de evaporación y condensación en tubos multipuerto con microcanales. Esto fundamentalmente motivado por la relación mantenida con la empresa Modine Manufacturin Ltd y el grupo de Modelado de Sistemas Térmicos de la Universidad Politécnica de Valencia.

Además los intercambiadores basados en micro o minicanales han adquirido gran importancia en los últimos años debido su utilización en sistemas electromecánicos o electrónicos tales como chips, radares, componentes de aplicaciones aeroespaciales, reactores microquímicos, etc.

Su aplicación en sistemas de refrigeración también está cobrando importancia, siendo éste el campo de aplicación en el que se enmarcan los tipos de tubos que se quiere estudiar en este proyecto.

Además la Industria de los equipos e instalaciones de refrigeración y aire acondicionado está pendiente de una profunda transformación tecnológica requerida por la cada vez mayor importancia del consumo de los equipos y por la necesidad de reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera procedentes de este sector que aporta tanto emisiones directas de gases efecto-invernadero, como consumos importantes por diseños obsoletos, mal adaptados a la aplicación, y sin estrategias de control y regulación eficientes. Esta profunda transformación debe venir de la mano de una mejor comprensión de los complejos fenómenos involucrados (condensación, evaporación, ciclo cerrado, transitorios, ciclos transcíticos...) y de modelos matemáticos que sean capaces de ayudar a diseñar y optimizar los equipos e instalaciones y a predecir con precisión las prestaciones de los mismos. Actualmente en España hay numerosos grupos de investigación trabajando en la caracterización del comportamiento de intercambiadores de calor y de forma global de equipos de refrigeración. En el caso de los intercambiadores basados en micro o minicanales los grupos de investigación estudiando esta tecnología son escasos. A nivel internacional, tal y como se muestra en los trabajos de investigación mencionados abajo, sobre todo en los últimos años se están llevando a cabo un gran número de estudios, en principio en el estudio de la caracterización de transmisión de calor en tubos de diámetro reducido y en los últimos años también en el estudio de agrupaciones de tubos.

En el caso de evaporación los estudios y el número de grupos a nivel internacional dedicados al desarrollo de correlaciones es más numerosos.

El esfuerzo hecho en la caracterización de la condensación está también siendo muy importante.

La mayoría de los trabajos de investigación estudian diferentes tipos de refrigerantes, la influencia en la transmisión de calor y la caída de fricción de parámetros tales como el caudal, la temperatura de evaporación o condensación, el flujo de calor, el título de vapor. También se estudian geometrías especiales que tienen interés en aplicaciones muy diversas relacionadas que

van desde la microelectrónica a la micro mecánica incluyendo el aire acondicionado y la refrigeración.

La incorporación de los micro y minicanales a los sistemas de refrigeración es un hecho que se está produciendo desde hace algunos años, hay algunas empresas fabricantes de intercambiadores que tienen desarrollos aplicados al sector de la automoción. Entre estas empresas destacan algunas MODINE, empresa estadounidense con la que el equipo investigador está colaborando, que está trabajando en la incorporación de esta tecnología a equipos de aire acondicionado domésticos en un intento de desarrollar sistemas más compactos, más eficientes y de menor coste. En concreto son un tipo de intercambiadores de tubos de aluminio con tubos de diferentes geometrías con secciones triangulares, rectangulares y circulares que tienen diámetros hidráulicos inferiores a 1 mm. A la vista de esto y considerando que se trata de una tecnología totalmente emergente cuyo desarrollo contribuirá a la fabricación de sistemas de aire acondicionado más eficientes, el equipo investigador plantea en este proyecto el montaje de una instalación para el estudio de la transferencia de calor y la caída de fricción en tubos con micro y mini canales.

1.2 OBJETIVOS

El objetivo que se persigue con este proyecto, es diseñar y poner en marcha una instalación experimental para estudiar los procesos de evaporación en tubos del tipo multipuerto. Dicha instalación permitirá ensayar diferentes fluidos refrigerantes en una serie de tubos con microcanales de diferente geometría y características, y proporcionará los datos para su posterior análisis. De esta manera se persigue diseñar, montar, construir y calibrar la mencionada instalación para a posteriori trabajar con ella y recoger los datos necesarios de los ensayos pertinentes y así poder desarrollar modelos matemáticos que permitan determinar el coeficiente de transmisión de calor y la caída de presión en estos tubos y que ayude en el diseño de estos componentes y permita avanzar en el modelado de los equipos de refrigeración en su conjunto. Asimismo ser capaces de predecir las prestaciones con una precisión tal que puedan utilizarse para hacer estudios de diseño y optimización de equipos e instalaciones.

1.3 INTRODUCCIÓN

Mediante este proyecto se pretende diseñar, calcular y construir una instalación para experimentar con unos mini/micro canales en conductos multitubo/multipuerto, (utilizados en intercambiadores de calor de alta eficiencia) y determinar la caída de presión y la transferencia de calor en ellos de forma empírica mediante una serie de ensayos, para posteriormente poder desarrollar modelos mejores que caractericen la transmisión de calor y la caída de presión para y así mismo, desarrollar modelos matemáticos de estos componentes y avanzar en el modelado de los equipos de refrigeración en su conjunto. Para ser capaces de predecir las prestaciones con una precisión tal que puedan utilizarse para hacer estudios de diseño y optimización de equipos e instalaciones.

Los tubos que se quieren estudiar son similares al que se muestra en la figura 1.

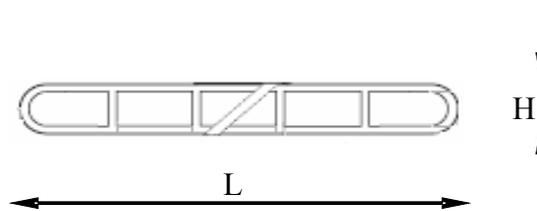


Figura 1: Sección transversal de un tubo

En este proyecto en concreto se quieren estudiar diferentes geometrías que variarán según los siguientes parámetros para $H=1,9$ mm en todos los casos:

Se considerarán dos anchos diferentes: $L=19$ mm y 27 mm,

Y en cuanto a la sección interior se estudiarán secciones triangulares, rectangulares y circulares lo cual llevará al estudio de diferentes diámetros hidráulicos en todos los casos inferiores a 1 mm (entre $0,2$ y $0,7$ mm).

En todos los casos se utilizarán tubos de la empresa estadounidense MODINE.

La instalación estará ubicada en la Universidad Politécnica de Cartagena, en el campus Muralla del Mar en el laboratorio de fluidos de la segunda planta del edificio Hospital Militar.

Los canales en conductos a ensayar serán de dos tipos y los proporcionará la empresa Modine. La sección de los tubos será de tipo triangular y rectangular.

Asimismo el proyecto consta de los siguientes puntos:

- Diseño y cálculo de la instalación.
- Montaje y construcción.
- Calibración de los instrumentos de medida.
- Realización de Pruebas de funcionamiento y seguridad.
- Corrección de medidas y lecturas.

Para las pruebas de los canales se realizarán dos instalaciones, una de condensación y otra de evaporación, este proyecto trata la instalación de evaporación.

1.4 REGLAMENTACIÓN APLICADA

Para la realización del proyecto presente, se ha tenido en cuenta la siguiente normativa y reglamentación:

- REBT-2002 Reglamento electrotécnico de baja tensión y sus diferentes instrucciones técnicas complementarias en especial la ITC-BT-19 y la ITC-BT-29, Instalaciones interiores o receptoras, prescripciones generales y Prescripciones particulares para las instalaciones eléctricas de los locales con riesgo de incendio o explosión.

UPCT ETSII	Diseño de una instalación para el estudio de procesos de evaporación en microcanales.	José Fco Marín Aroca Murcia a 24/04/2009
		Revisión(2) Página 6 de 79
<ul style="list-style-type: none"> • UNE-EN 50020, material eléctrico para atmósferas potencialmente explosivas. Seguridad intrínseca “i”. • Reglamento Técnico de Distribución y Utilización de Combustibles Gaseosos y sus instrucciones técnicas complementarias, en especial la ITC-ICG-06, Instalaciones de gases licuados del petróleo (GLP) para uso propio. • R.D. 400/1996 de 1 de Marzo • UNE 21157 cables con aislamiento mineral de tensión asignada no superior a 750V • Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales • Reglamento Técnico de Distribución y Utilización de Combustibles Gaseosos y sus instrucciones técnicas complementarias, en especial la ITC-ICG-06, Instalaciones de gases licuados del petróleo (GLP) para uso propio. • UNE-EN 60079-10 material eléctrico para atmósferas de gas explosivas, parte 10 clasificación de los emplazamientos peligrosos. • UNE-EN 60079-14 material eléctrico para atmósferas de gas explosivas, parte 14 instalaciones eléctricas en emplazamientos peligrosos. • UNE-EN 60079-17 material eléctrico para atmósferas de gas explosivas, parte 17 inspección y mantenimiento de instalaciones eléctricas en emplazamientos peligrosos (a excepción de las minas). • UNE-EN 378-1 sistemas de refrigeración y bombas de calor, requisitos de seguridad y medio ambientales. Parte 1: Requisitos básicos, definiciones, clasificación y criterios de elección. • UNE-EN 378-2 sistemas de refrigeración y bombas de calor, requisitos de seguridad y medio ambientales. Parte 2: Diseño , fabricación, ensayos, marcado y documentación. • UNE-EN 378-3 sistemas de refrigeración y bombas de calor, requisitos de seguridad y medio ambientales. Parte 3: Instalación in situ y protección a las personas. • UNE-EN 378-4 sistemas de refrigeración y bombas de calor, requisitos de seguridad y medio ambientales. Parte 4: Operación, mantenimiento, reparación y recuperación. • UNE-EN 50086-1 Sistemas de tubos para la conducción de cables. Parte 1: Requisitos generales. 		
<h2>1.5 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN</h2>		
<h3>Evaporación</h3>		
<p>El esquema de la instalación de evaporación es el que se detalla en la figura 2, mediante esta instalación los tubos de microcanales trabajarán a modo de evaporadores.</p>		

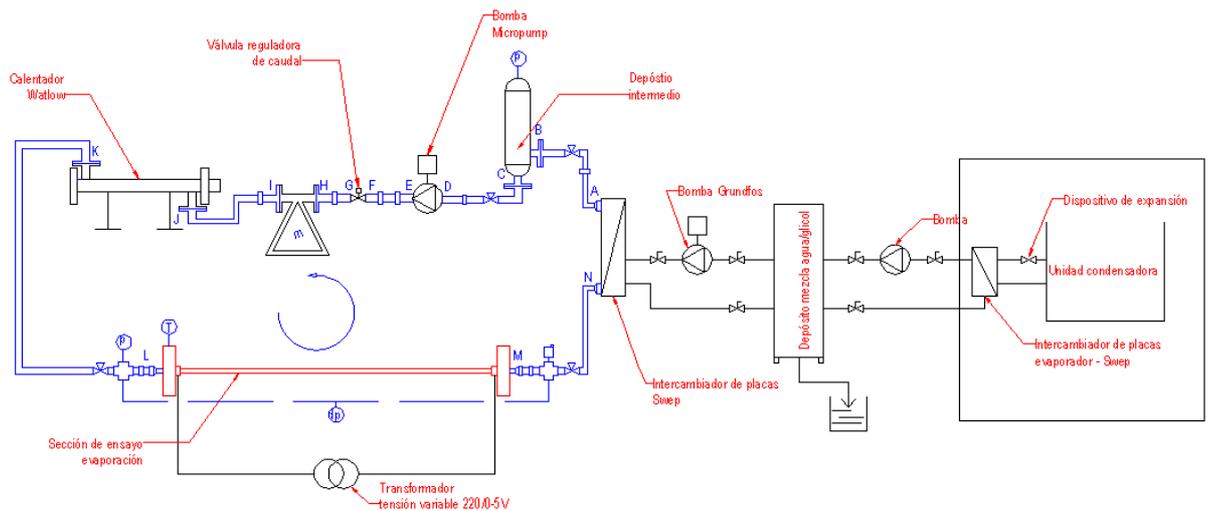


Figura 2: esquema de la instalación de evaporación.

La instalación de evaporación consta de los siguientes elementos:

- Sistema frigorífico (común a ambas instalaciones), formado a su vez por:
 - Una unidad condensadora con su dispositivo de expansión
 - Un intercambiador Swep Evaporador B15/20 Agua-glicol/R507A
 - Depósito de 35 litros de capacidad
 - Bomba
- Bomba Grundfos modelo UP 20-45 N 150 de 230V, 50Hz, 3μF, P/N: 5 2042010, IP 42, TF 110 ColanI
- Un intercambiador de placas SWEP, Condensador B15/20 1P-SC-S2x22U+2x1/2"
- Depósito intermedio de 15 litros de capacidad, con un sensor de presión absoluta Rosemount 3051 de Emerson con lector digital y junta remota bridada.
- Bomba de engranajes MicroPump Modelo GC-M25.JDS.8-Q1824 con motor trifásico asíncrono de la marca ABB controlador por un variador de frecuencia Omron.
- Válvula reguladora de caudal Vicker Modelo FN1 4K 20 JA.
- Caudalímetro de efecto Coriolis de la clase ELITE de Emerson CMF025M Modelo: Micro Motion Coriolis ELITE sensor; 1/4-inch; 316L stainless steel.
- Precalentador la marca Watlow No: FMNP739J10-20, 3" Flange Immersion Heater voltage: 240 V, 1-phase con su carcasa correspondiente, incluido válvula de seguridad tarada a 20Kg/cm² y manómetro de 0-60 Kg/cm².
- 15 Termopares del tipo T que se conectarán a lo largo del elemento a ensayar.

UPCT ETSII	Diseño de una instalación para el estudio de procesos de evaporación en microcanales.	José Fco Marín Aroca Murcia a 24/04/2009
		Revisión(2) Página 8 de 79
<ul style="list-style-type: none"> • Sensor de presión absoluta Rosemount 3051 con protocolo Hart de Emerson. • Sensor de presión diferencial. Se dispone de un sensor BBC de la marca Kent Tieghi S.p.a. Kent Deltapi-K Code KDC/A31438. • Transformador Krauser monofásico separador Potencia 5KVA con una entrada de 230V y salida: 3V (1333A). La regulación se lleva a cabo con un regulador de tensión de tiristores inductivo para 5KW. Será controlado por el control desarrollado por MicroDesign. • Dos fuentes de alimentación S8VS-0154 15W/24V/0,65 A 22,5 mm con carril DIN para los sensores de presión. • Variador de frecuencia para la bomba de Grundfos CIMR-J7A2B0P20 monofásico 220V 0,2kW con control V/F de la marca Omron. • Variador de frecuencia para la bomba de Micropump CIMR-J7A2B0P70 monofásico 220V 1,1kW con control V/F de la marca Omron. <p>Recorrido del fluido refrigerante:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. En primer lugar, el fluido sale del intercambiador de placas Swep en forma de líquido. 2. Llega al depósito intermedio de 15 litros de capacidad en estado líquido. 3. Es impulsado por la bomba Micropum hacia la válvula reguladora de caudal, también en estado líquido. 4. A continuación pasa por el caudalímetro de coriolis Emerson, se toma nota mediante este, del caudal real que lleva el fluido, siempre en estado líquido. 5. El fluido llega al precalentador Watlow donde se le somete a un primer aumento de la temperatura. 6. Seguidamente, el fluido antes de pasar al tubo que va a ser sometido a ensayo se le toma medida de su presión mediante el sensor de presión absoluta y la temperatura. 7. Por fin el fluido llega al tubo donde se evaporará gracias al flujo de calor que le llega $Q = UI$ que provocará el calentamiento y posterior evaporación del fluido en principio a temperatura constante, esta energía eléctrica se le aportará a través del transformador que provocará el calentamiento del tubo por efecto Joule. 8. Durante todo el recorrido por el tubo, se medirá la temperatura de las paredes del tubo con lo termopares del tipo T, que estarán repartidos a lo largo del tubo, y conectados a una tarjeta multiplexora en el Data Logger, para poder registrar la temperatura. 9. Cuando el fluido sale del tubo, en forma de mezcla líquido-vapor o vapor sobrecalentado, se le toma medida de la pérdida de carga en el tubo mediante el sensor de presión diferencial. 		

10. Por último, el fluido en estado mezcla líquido-vapor o vapor, entra en el intercambiador de placas que cumple la función de condensador, y cambia de estado para pasar a líquido nuevamente.

1.6 DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS

1.6.1 Sistema de refrigeración

El conjunto está diseñado para proporcionar una potencia frigorífica de 4,060 kW, funcionando a -30°C temperatura de evaporación y 40°C temperatura de condensación. El objetivo de este sistema es enfriar a la temperatura de consigna una mezcla de agua y glicol que se tiene almacenada en un depósito mediante un intercambiador de placas, para luego poder utilizar como fluido intermedio la mezcla de agua-glicol para enfriar en otro intercambiador de placas el fluido que recorrerá el circuito principal en el tramo N-A de la figura 3. Además está completado con un sistema de control, una bomba circuladora y un depósito de inercia de 35 l, con las siguientes características: Fabricado en AISI-316, tiene llaves de entrada, salida y drenaje y aislamiento a base de Armaflex, desde donde se almacenará la mezcla de agua-glicol.

El sistema está formado por una unidad condensadora, un depósito y un intercambiador de placas que funciona como evaporador. Éste enfría una mezcla glicolada que es enviada a un depósito de inercia. La unidad condensadora está formada por un compresor-condensador de la marca FRASCOLD, sus características nominales están recogidas en la tabla 1.

Marca:	FRASCOLD
Modelo:	D 3 18.1 Y
Tipo:	SEMI-HERMETICO
Transmisión:	DIRECTA
Velocidad de giro:	1.450 R.P.M.
Nº de cilindros:	2
Desplazamiento volumétrico:	17,93 MTS ³ /H
Potencia:	3 H.P ()
Rendimiento -30/+40:	4060 W
Refrigerante:	R-507 ^a
C.O.P.:	1,38

Tabla 1: características nominales de la unidad condensadora

El evaporador es un intercambiador de la marca SWEP que tiene una potencia de intercambio nominal de 4,100W en determinadas condiciones.



Figura 3: Máquina frigorífica utilizada para enfriar una mezcla glicolada (propilenglicol y glicol al 60% de glicol).

En la figura 4, se pueden observar las distintas partes de la máquina y en la figura 5, el pequeño cuadro que nos permite modificar la temperatura a la que queremos mantener la temperatura del depósito.



Figura 4: vista lateral de la máquina frigorífica.



Figura 5: cuadro de control de temperatura.

1.6.2 Bomba Grundfos

La bomba cumple la función de trasegar la mezcla de agua-glicol al 60%, desde el depósito de inercia de 35 litros de capacidad hacia el intercambiador de placas swep (donde se enfriará el fluido refrigerante del circuito principal) situado en el tramo N-A, para luego devolverlo al depósito de inercia. (ver figura 3).

La bomba es el modelo: **UP 20-45 N 150**, podemos observar una fotografía en la figura 7 y sus respectivas gráficas en la figuras 7 y 8.

Código: 52042010

La bomba es del tipo de rotor encapsulado, es decir la bomba y el motor forman una unidad íntegra sin cierre y con sólo dos juntas para el sellado. Los cojinetes están lubricados por el líquido bombeado.

La bomba se caracteriza por:

- Eje y cojinetes radiales de cerámica.
- Camisa del rotor y placa soporte de acero inoxidable.
- Impulsor resistente a la corrosión, Compuesto, PES/PP.
- Cuerpo de bomba de Acero inoxidable.

El motor es un motor 1-fásico.

No se requiere protección adicional del motor.

Líquido:

Rango de temperatura del líquido: 2 .. 110 °C

Densidad: 1000 kg/m³

Técnico:

Clase TF: 110

Homologaciones en placa: CE,B

Materiales:

Cuerpo hidráulico: Acero inoxidable
1.4301 DIN W.-Nr.
304 AISI
Impulsor: Compuesto, PES/PP

Instalación:

Amb. máx. con líquido a 80°C: 80 °C
Presión de trabajo máxima: 10 bar
Diámetro de conexiones: G 1 1/4
Presión: PN 10
Distancia entre conexiones de aspiración y descarga: 150 mm

Datos eléctricos:

Potencia de entrada en velocidad 3: 115 W
Frecuencia de alimentación: 50 Hz
Tensión nominal: 1 x 230 V
Intensidad máx.: 0.5 A
Tamaño condensador - Funcionamiento: 3 µF
Grado de protección (IEC 34-5): 42
Clase de aislamiento (IEC 85): F

Otros:

Peso neto: 4 kg
Peso bruto: 4.3 kg
Volumen: 0.004

Planos:

Los planos de la bomba se pueden observar en la figura 6, donde todas las unidades están en mm.

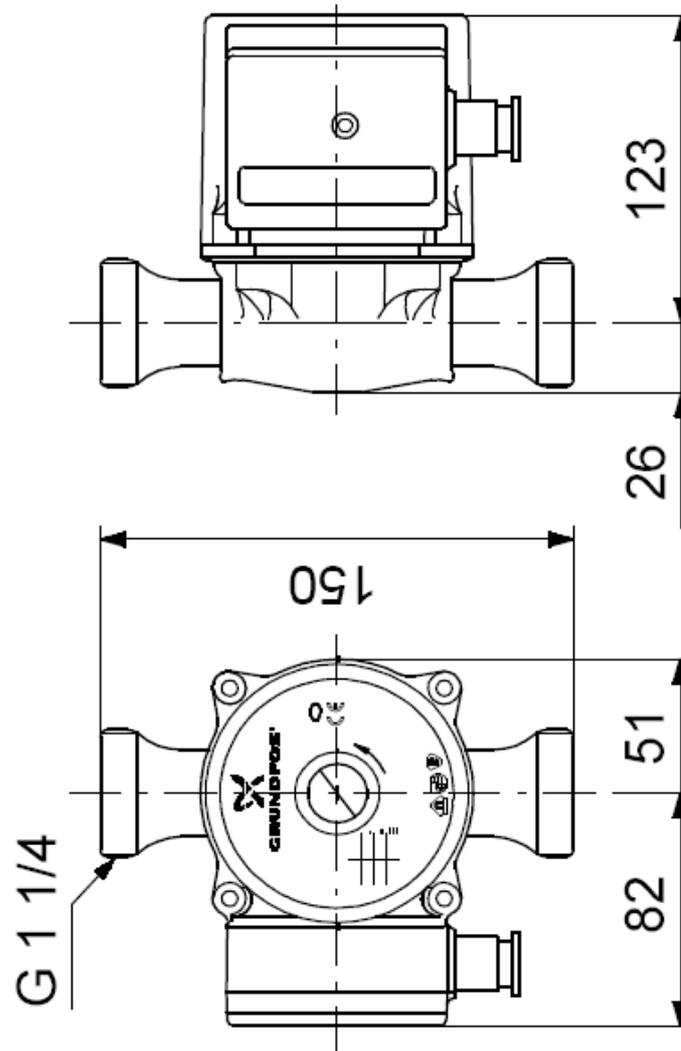


Figura 6: planos de la bomba con unidades en mm.

Imágenes y gráficos:

En la figura 8 podemos observar una fotografía de la bomba, y a continuación en las imágenes 9 y 10, tenemos las curvas características que definen esta bomba.



Figura 7: fotografía de la bomba.

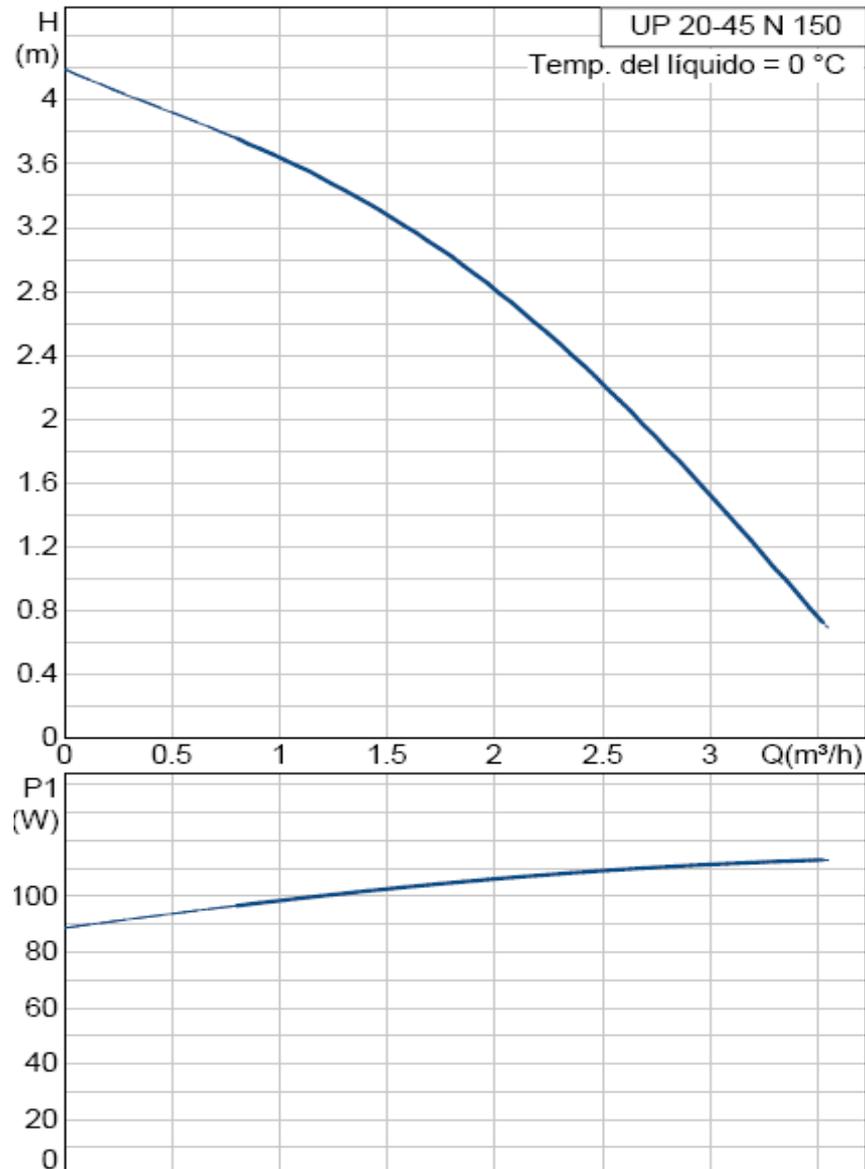


Figura 8: curvas características de la bomba Grundfos.

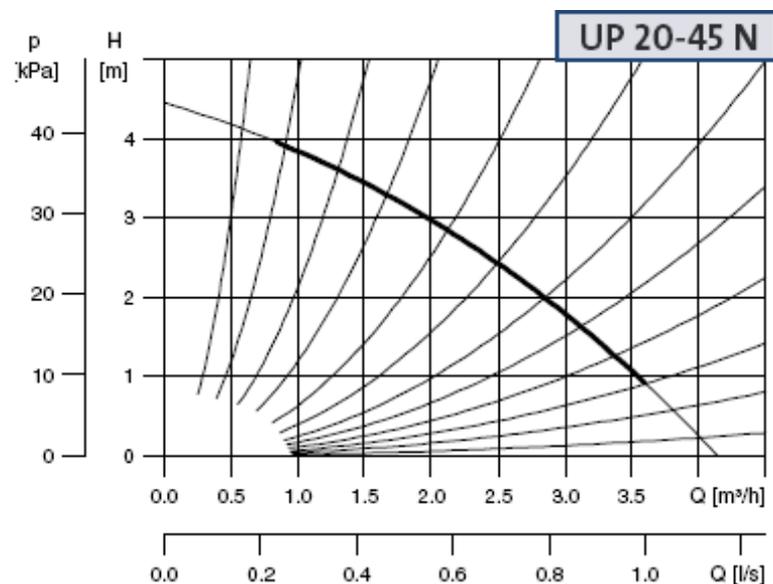


Figura 9: curvas características de la bomba Grundfos.

1.6.3 Intercambiador de placas

Este intercambiador se encuentra en el tramo N-A de la instalación (ver figura 2) y su función dentro de la instalación de evaporación es enfriar el fluido refrigerante del circuito principal, que proviene de la sección de ensayo a alta temperatura, para después pasar al depósito intermedio a una temperatura razonable.

El intercambiador seleccionado es el Condensador B15/20 1P-SC-S2x22U+2x1/2" de 3500kW.

Este intercambiador tiene las especificaciones que se muestran a continuación, más unos planos y su tabla explicativa en la figura 10, y la tabla 2 respectivamente. Los datos obtenidos corresponden a los siguientes datos de entrada (requerimientos):

Datos de entrada utilizados en el diseño

Fluido:

R22

Temperatura de entrada 35°C

Temperatura de salida 3°C

Temp. de condensación 5°C

Caudal 56,06kg/h

Etilenglicol-agua: 50%

Temperatura de entrada 5°C

Temperatura de salida 2°C

Caudal 562,6 kg/h

Características

Intercambiador a placas

Potencia: 3,500kW

Área de transferencia: 0,612m²

Diferencia logarítmica media de temperaturas: 10,88 K

Pérdida de carga calculada

-R22: 0,965 kPa

-Etilenglicol-agua 50%: 7,87kPa

Número de canales

-R22: 9

-Etilenglicol-agua 50%: 10

Número total de placas: 20

Coefficiente de transmisión: 1050/947 W/m²,°C

Sobredimensionamiento: 11,3 %

Conexiones

Datos de conexiones

F1: 45072 SOLDER 22U P1:

F2: 45046 ISO-G 1/2" A P2:

F3: 45072 SOLDER 22U P3:

F4: 45046 ISO-G 1/2" A P4:

Localización

-R22: F1 / F3

-Etilenglicol-agua 50%: F4 / F2

Datos de construcción

Material de las placas: AISI 316

Material de las soldaduras: Cobre

Presión de prueba: 50 bar

Máxima presión de trabajo: 31/27 / 31/27 bar

Temp. máxima de trabajo: 155 / 225 °C

Volumen contenido

-R22: 0,57 dm³-Etilenglicol-agua 50%:0,63 dm³

Largo (F+G): 56,1 mm

Ancho: 72 mm

Alto: 465 mm

Peso vacío: 3,42 kg

Peso lleno: 4,82 kg

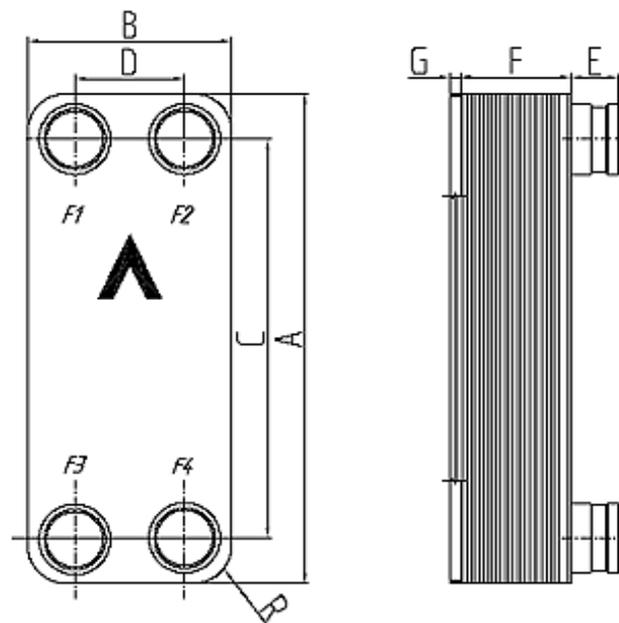


Figura 10: planos.

Referencia	Medida (mm)	Tolerancia
A	455	+2/-2
B	72	+1/-1
C	432	+1/-1
D	40	+1/-1
E	20.1 (opc 45.1)	+1/-1
F	4.3+2.24xNP	+0.5%/-1.5%
G	7	+1/-1
R	15	
Tamaño del puerto F/P: 16mm		

Tabla 2: medidas de los planos.

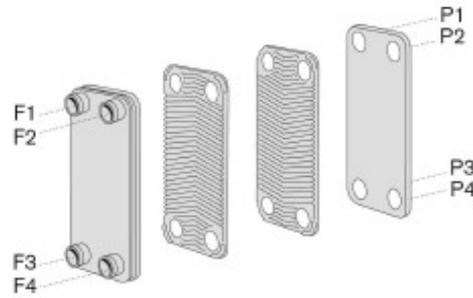


Figura 11: denominación de los puertos.

1.6.4 Depósito intermedio

La instalación posee un depósito intermedio acumulador de refrigerante de 15 litros de capacidad, cuya función es la de almacenar el refrigerante, cuando la instalación esté en desuso o cuando esté inoperativa por motivos de mantenimiento o limpieza, también sirve para hacer la carga de refrigerante en la instalación y además para estabilizar la presión. Sus características son las siguientes:

- Material acero al carbono.
- Terminación pintada en blanco.
- Capacidad 15 litros.
- Diámetro 8" 219,1 mm. diámetro exterior.
- Longitud de la virola 400 mm aprox.
- Fondos tipo caps de 8".
- 1 Salida por el lateral 1/2" con brida de 900 Lb.
- 1 Salida por el fondo inferior 1/2" con brida de 900 Lb y acodada.
- 1 Salida por el fondo superior con brida de 1/2" de 900 Lb, para sensor de presión.
- 3 Patas de apoyo.
- Válvula de seguridad tarada a 50 Kg/cm².
- Manómetro de 0-100 Kg/cm².
- Radiografiado de soldaduras.
- Placa de características como aparato a presión.
- Certificado CE como aparato a presión.

El plano de conjunto de este depósito se muestra a continuación en la figura 12, junto con la tabla 3, donde se nombran cada uno de los componentes que forman el depósito.

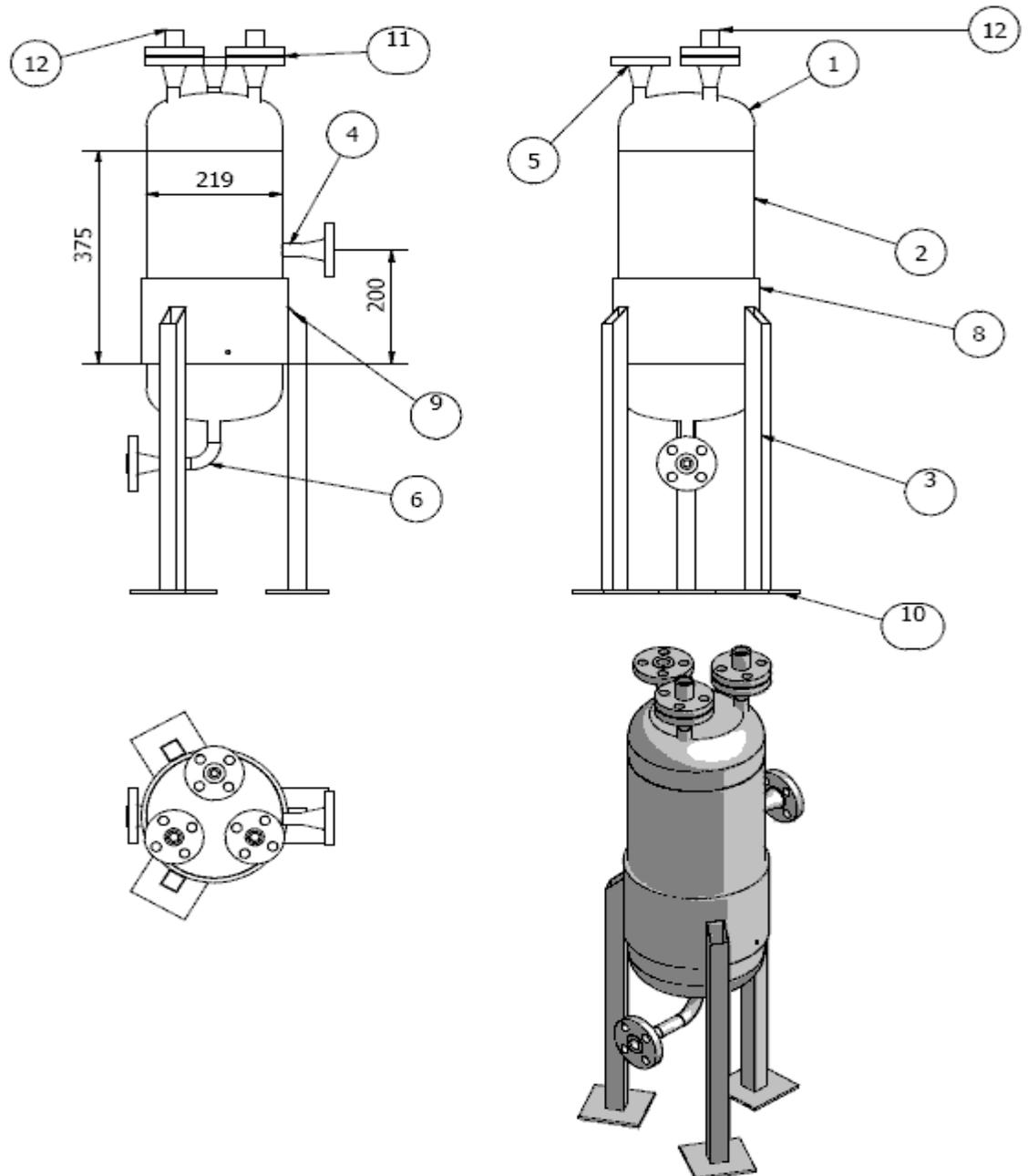


Figura 12: planos del depósito.

Elemento	Ctdad	pieza
1	2	Caps 8"
2	1	Virola 8" (e=16)
4	6	Tubo 1/2"
5	5	Brida 1/2"
6	1	Codo 90°
8	1	Faja refuerzo 8mm
3	3	Patas
9	1	Tapa tubo pata
10	3	Chapa pata
11	2	Brida 1/2" ciega
12	2	Medio manguito 1/2"

Tabla 3: denominación de los elementos.

También consta de un sensor de presión absoluta con un display incorporado que se describe a continuación.

1.6.5 Sensores de presión absoluta Rosemount

ESPECIFICACIONES

Especificaciones de comportamiento

El comportamiento total está basado en la combinación de errores de referencia de precisión, el efecto de la temperatura ambiente y el efecto de la presión estática.

La información de este producto que está en la hoja de cubierta reúne ambos, protocolos HART y de liderazgo aun sin especificar.

Conforme a la especificación (+3 σ (Sigma))

El liderazgo (la mejora) de las tecnologías, el avance de las técnicas de manufactura y los procesos de control estadístico aseguran conformar la especificación al menos del +3 σ .

Referencias de precisión (1)

(1) = Para los transmisores de la FOUNDATION fieldbus, usamos el rango de calibración en lugar de la apertura. Para una apertura base de cero, condiciones de referencia, silicona llena de aceite (o algo así), materiales SST, conexiones en el mismo plano (3051C) o media pulgada -18 NPT (3051T) en el proceso de conexión, y los valores digitales estilizados puestos en el mismo en el mismo rango de puntos.

Modelo	Valores estándar		Opción de mayor precisión
3051 T	Rango 1-4	+0.065% de apertura Para aperturas menores de 10:1 la precisión es igual al +-(0.0075(URL/apertura))% de apertura	Rango 2-4 Opciones de mayor precisión, P8 +0.04% de apertura Para aperturas menores de 5:1, la precisión es igual a +-(0.0075(URL/apertura))% de apertura
	Rango 5	+0.075% de apertura Para aperturas menores de 10:1, la precisión es igual al +-(0.0075(URL/apertura))% de apertura	

Tabla 4: valores de precisión.

Rendimiento total

Para +28°C (50°F) cambios de temperatura, hasta 1000 psi (6.9 MPa) presión en la tubería (solo tipos CD), para 1:1 a 5:1 el menor rango

Modelo	Rangos	Rendimiento total
3051 T	Rangos 1-4	+0.15% de la apertura

Tabla 5: rendimiento.

Período de larga estabilidad

Modelo	Rangos	Período de larga estabilidad
3051 T	Rangos 1-4	+0.125% del URL durante 5 años
		+50°F(28°C) cambios de temperatura y hasta 1000 psi (6.9MPa) de presión en la tubería

Tabla 6: periodo de larga estabilidad.

Rendimiento dinámico

(1)= El tiempo de paro y la velocidad de arranque (update rate) son aplicables a todos los modelos y todos los rangos, análogamente los de fuera solo.

(2)= El tiempo de respuesta nominal total a 75°F(24°C) a las condiciones de referencia.

(3)= Se transmite a través del fieldbus fuera solamente, el segmento del macro-ciclo no está incluido.

Efecto de la presión de la tubería para 1000psi (6,9 MPa)

No aparece ninguna característica para el modelo 3051T que es el que estamos estudiando.

Efecto de la temperatura ambiente para 50°F(28°C)

Para presiones de tuberías por encima de los 2000 psi (13,7 MPa), mirar manual del usuario.

Modelos	Efecto de la Tª ambiente	
3051T	Rango 1	+-(0,025%URL+0,125%apertura) desde 1:1 hasta 10:1
		+-(0,05%URL+0,125%apertura) desde 10:1 hasta 100:1
	Rango 2-4	+-(0,025%URL+0,125%apertura) desde 1:1 hasta 30:1
		+-(0,035%URL+0,125%apertura) desde 30:1 hasta 100:1
	Rango 5	+-(0,1%URL+0,15%apertura)

Tabla 7: efecto de la temperatura ambiente.

Efectos de aumentar la posición

Modelo	Efectos de aumentar la posición
3051 T/CA	De cero aumenta a 2,5in H ₂ O (6,22 mbar), el cual puede ser calibrado fuera. No le afecta la apertura.

Tabla 8: efectos de aumentar la posición.

Efecto de la vibración

Todos los modelos:

Normalmente el efecto de la vibración es insignificante excepto para la frecuencia de resonancia. Cuando estamos en frecuencia de resonancia, el efecto de la vibración es inferior que +-0,1 % del URL para g cuando nos encontremos entre 15 y 2000 Hz a lo largo de cualquier tubería montada en las condiciones de proceso.

Efecto del suministro de potencia

Todos los modelos:

Menos que +-0,005% del rango de calibración por voltio.

Efecto del RFI

Todos los modelos:

+0,1 % en el rango desde los 20 a los 1000 MHz y para el campo de fuerza superior a los 30 V/m.

Protección transitoria

Todos los modelos:

Para IEEE C62.41, categoría B.

Cresta de 6kV (0.5µs-100 kHz).

Cresta de 3 kV (8 x 20 microsegundos).

Cresta de 6 kV (1.2 x 50 microsegundos).

Para IEEE C37.90, aumenta la capacidad de resistir.

SWC cresta de 2.5 kW, 1.25 MHz forma de onda.

Especificaciones generales:

Tiempo de respuesta:< 1 nanosegundo.

Aumento máximo de la corriente:5000 amperios para la red.

Aumento máximo del voltaje:100 V en corriente continua.

Impedancia del circuito:< 25 ohmios.

Estandars aplicables: IEC61000-4-4, IEC61000-4-5.

Nota: Calibraciones a 68°F (20°C) por ASME Z210.1 (ANSI).

ESPECIFICACIONES DE FUNCIONAMIENTO

Rango y límites del sensor

Rango	3051 T			
	Rango y límites del sensor			
	Rango mínimo	Superior (URL)	Inferior (LRL)	Inferior (LRL) (calibrado-gage-)(1)
1	0,3 psi	30 psi	0 psia	-14,7 psig
	20,6 bar	2,07 bar	0 bar	-1,01 bar
2	1,5 psi	150 psi	0 psia	-14,7 psig
	0,103 bar	10,3 bar	0 bar	-1,01 bar
3	8 psi	800 psi	0 psia	-14,7 psig
	0,55 bar	55,2 bar	0 bar	-1,01 bar
4	40 psi	4000 psi	0 psia	-14,7 psig
	2,76 bar	275,8 bar	0 bar	-1,01 bar
5	2000 psi	10000 psi	0 psia	-14,7 psig
	137,9 bar	689,4 bar	0 bar	-1,01 bar

Tabla 9: rango y límites del sensor.

(1) Asumimos presión atmosférica para 14,7 psig

Cero y rango de los ajustes necesarios (Mayor y menor potencia)

Cero y valores de la apertura pueden ser puestos en todos los sitios dentro de los límites establecidos por las tablas.

La apertura obtenida puede ser mejor o igual que el mínimo rango de las tablas.

Servicio

Para líquidos, gas y vapor.

4-50 mA (De salida código A)

De salida

Dos cables 4-20 mA, user selectable para salida lineal o raíz cuadrática. Las variables de los procesos digitales tienen superpuesta una señal de 4-20mA, válida para gran cantidad que se ajustan al protocolo HART.

Potencia generada

Se requiere un generador de potencia externo. El transmisor típico funciona entre 10,5 a 55 V en corriente continua no carga.

Limite de carga

La máxima resistencia de bucle está determinada por el nivel de voltaje de la fuente externa de potencia y esta descrito por:

La máxima resistencia de bucle = 43,5 (Tension generada por la fuente-10,5)

La comunicación requiere una mínima resistencia de bucle de 250 ohmios.

(1) Para la aprobación de la CSA, la fuente no debe de exceder de 42,4 V.

FOUNDATION fieldbus (codigo de salida F) y Profibus (código de salida W)*Poder(potencia) de la fuente*

Requiere una fuente externa; los transmisores operan de 9 a 32 V en corriente continúa voltaje en la Terminal de los transmisores.

Tensión de salida

17,5 mA para todas las configuraciones (incluida la opción LCD)

FOUNDATION fieldbus tiempos de ejecución de las funciones en los distintos bloques.

Bloque	Tiempo de ejecución
Recurso	-
Transductor	-
Bloque LCD	-
Entrada analógica 1,2	30 milisegundos
PID	45 milisegundos
Conmutador de salida	30 milisegundos
Aritmética	35 milisegundos
Señal característica	40 milisegundos
Integrador	35 milisegundos

Tabla 10: tiempos de ejecución.

FOUNDATION fieldbus parámetros

Entradas programadas	7 (máximo)
Conexiones	20 (máximo)
Relaciones de comunicación virtuales (VCR)	12 (máximo)

Tabla 11: conexiones.

Bloques de funciones estándar.*Bloque de recursos*

Contiene información de hardware, electrónica y de diagnóstico

Bloque del transductor

Contiene sensor actual de medida de datos, el cual diagnostica y posee la habilidad de equilibrar la presión del sensor o recordar factores que falten.

Bloque LCD

Configura el pantalla luminosa local

2 bloques de salida analógica

Procesan las señales que entran en otros bloques de funciones. El valor de salida es en unidades de ingeniería o similar (custom) y contiene una situación indicando la calidad de la medida (measurement quality)

Bloque PID

Contiene todo lo necesario para interpretar el control PID en todo el campo incluyendo cascada y prealimentación.

Conexión activa con el registro de protección para el programa (LAS)

El transmisor puede funcionar como una Unión Activa para el programa si la corriente de la unión del dispositivo maestro falla o es quitada desde el segmento(sector).

Función para el control avanzado del bloque del panel de regulación (opción código A01)

Bloque selector de entrada

Elige entre salidas y genera una salida usando estrategias para selecciones específicas como mínimo, máximo, medio, promedio o primero bueno.

Bloque aritmético

Proporciona ecuaciones de aplicación básica predefinidas incluyendo flujo con compensaciones de densidad parcial, cierre remoto electrónico, indicador para el tanque hidrostático, control de relación y otros.

Bloque de señal característica

Caracteriza, de manera aproximada, una función que está definida para la relación entrada/salida para la configuración de hasta veinte coordenadas X, Y. El bloque interpola un valor de salida para cada uno de los valores de entrada usando la curva definida para la configuración de las coordenadas.

Bloque integrador

Compara la integración o acumulación de valores desde una o dos variables para la predesconexión y los límites de desconexión genera diferenciando señales de salida cuando los límites se encuentran distanciados. Este bloque es útil para calcular el caudal total, la masa total, o el volumen en el tiempo.

FOUNDATION fieldbus diagnóstico de regulación (opción código D01)

El 3051C FOUNDATION fieldbus diagnóstico da una indicación para la prevención en situaciones anormales (ASP). El proceso integral estadístico para la supervisión de la tecnología (SPM) calcula el significado y la desviación estándar para la variable del proceso 22 veces por segundo.

El 3051C ASP algoritmo usa estos valores y unas opciones de configuración con elevada flexibilidad para variarlo según algunos usos definidos o aplicaciones específicas en situaciones anormales. La detección de las líneas de impulso de cierre es la primera aplicación predefinida válida.

Potencia baja (potencia mínima, baja potencia) (Código de salida M)

Salida

Tres cables de 1-5 V corriente continua o 0,8-3,2 V corriente continua (Código opción C2) para uso selectivo a la salida. También usa selectivamente configuraciones de salida lineales o cuadráticas. Las variables de los procesos digitales superpuestas en la señal de voltaje, son válidas para gran cantidad de los que con forman el protocolo HART. Los transmisores de potencia baja operan entre 6-12 V sin carga.

Potencia consumida

3,0 mA, 18-36 mW

Impedancia mínima de carga

100 kohmios (V salida cableado)

Indicación

Opcional poner 5 dígitos en la pantalla LCD

Límites de sobrepresión

Rosemount 3051 TG/TA

Rango 1: 750 psi (51,7 bar)

Rango 2: 1500 psi (103,4 bar)

Rango 3: 1600 psi (110,3 bar)

Rango 4: 6000 psi (413,7 bar)

Rango 5: 15000 psi (1034,2 bar)

Presión límite de rotura

Presión en la que revienta el modelo 3051 T:

Rango 1-4: 11000 psi (75,8 MPa)

Rango 5: 26000 psig (179 Mpa)

Fallo del modo alarma*Código de salida A*

Si el auto diagnóstico detecta un fallo importante en un transmisor, la señal analógica se valdrá o 3,75 mA o 21,75 mA para alertar al usuario. Los valores NAMUR compliant están disponibles para la opción de código C4. Señal de alarma alta o baja podrá ser eleccionada por el usuario para el salto interno.

Código de salida M

Si el auto diagnóstico detecta un fallo importante en un transmisor, la señal analógica se encontrará o por debajo de 0,94 V o por encima de 5,4 V para alertar al usuario (Por debajo de 0,75 V o sobre 4,4 V para la opción C2). Señal de alarma alta o baja podrá ser eleccionada por el usuario para el salto interno.

Código de salida F y W

Si el auto diagnóstico detecta un fallo importante en un transmisor, esta información consigue pasar as a status junto con la variable procesada.

Limites de temperatura*Ambiente:*

-40 a 185 °F (-40 a 85 °C)

Con contador integrado: -4 a 175 ° F (-20 a 80 °C)

Almacenado

-50 a 230 °F (-46 a 110 °C)

Con contador integrado: -40 a 185 °F (-40 a 85°C)

Proceso

A presión atmosférica y por encima de esta mirar la Tabla siguiente.

3051 T (Proceso con un fluido de relleno)	
Sensor relleno de silicona (1)	-40 a 250 ° F (-40 a 121 °C) (2)
Relleno inerte para el sensor (1)	-22 a 250 °F (-30 a 121 °C) (2)

Tabla 12: 3051 límites a la temperatura de proceso.

(1) Temperatura de proceso por encima de los 185°F (85°C) requieren límites ambientales de 1,5:1 ratio (0.6:1 ratio para el 3051 H).

(2) 220°F (104°C) límite en vacío; 130 °F (54°C) para presiones por debajo de 0.5 psia.

Límites de humedad

De 0 a 100 % de humedad relativa.

Tiempo de encendido

Comportamiento dentro de las especificaciones menor que 2 segundos (10 segundos para el protocolo Profibus) después de encender el transmisor.

Desplazamiento volumétrico

Menor que 0,005 in³ (0,05 cm³).

Humidificación

El tiempo de respuesta de la señal analógica de salida debida a la variación de la señal de entrada puede se elegida por el usuario de 0 a 36 segundos para un tiempo constante. Este software para humidificación es una adición al modulo del tiempo de respuesta del sensor.

ESPECIFICACIONES FÍSICAS

Conexiones eléctricas

Conexiones ½-14 NPT, PG 13.5 G1/2 y M20 x 1.5 (CM20).La conexión de la interfaz HART está fija al bloque Terminal.

Conexiones de proceso

Modelo 3051 T:

½-14 NPT hembra. Un DIN 16288 macho (disponible en SST para rango de transmisores del 1 al 4 solo), o Autoclave tipo F-250-C (presión aliviada 9/16-18 casquillo de rosca); ¼ OD de alta presión para un tubo de cono de 60°; disponible para el rango 5 de los transmisores solo).

Proceso para las partes húmedas*Válvula de drenaje/válvula de desfogue*

316 SSt, Hastelloy C276 o material Monel (Monel no es válido con los modelos 3051L o 3051 H)

Pestañas y adaptadores

Lámina de acero al carbono, SST fundido CF-8M (versión fundida de 316 SST, material para ASTM-A743), Tipo C fundido aleado CW12MW, o Monel fundido aleado con M30C.

Anillos O húmedos

Cristal relleno de PTFE o Grafito relleno de PTFE.

Diafragmas aislados

Estos pueden estar fabricados de los siguientes materiales para el modelo 3051T:

- 316L SST
- Hastelloy C276

1.6.6 Bomba MicoPump

La bomba de circulación del lazo de ensayo es una bomba de engranajes MicroPump Modelo GC-M25.JDS.8-Q1824 con motor de ABB trifásico asíncrono, situada en la sección D-E de la figura 2, y su función es trasegar el fluido refrigerante por el circuito principal o lazo de ensayo. La bomba se puede observar en la figura 13 y en la figura 14 junto con su motor acoplado.

Pump Construction

Magnetic Drive Gear Pump
Suction Shoe Style
Two or Three Helical Gears/DP20
Stationary Shafts
O-Ring Seal (Qty 1)



Figura 13: bomba Micropump seleccionada.



Figura 14: bomba micro pump con el motor acoplado.

Las características de esta bomba son las siguientes:

- Puertos: 3/8-18 (F) NPT side Ports.
- Conjunto de las ruedas: M25.
 - Anchura 0,75.
 - Número de ruedas: 2.
 - Pitch o número de dientes: 20.
 - Volumen desplazado: 1.82 ml/rev.
 - Máxima diferencia de presión: 8,7 bar.
 - Imán de impulsión: Ferrita (estándar).
- Material de las ruedas: J
 - PEEK o Polyetheretherketone, es una miscelánea de polímeros (fibra de carbono/politetrafluoroetileno o teflón).
 - Máxima diferencia de presión: 8,7 bar.
 - Rango de temperatura: -46/177°C.
- Juntas: D
 - EP o de larga duración.
 - Rango de temperatura admisible: -46/149°C.
- Materiales de la base o carcasa: S
 - SS-316, acero inoxidable del tipo SS-316.

Especificaciones:

Volumen desplazado: 1,82ml/rev.

Máximo caudal (4 palanca de velocidad): 2640ml/mn a 1450rpm (50Hz).

Máximo caudal (2 palanca de velocidad): 5,2 l/mn a 2850rpm (50Hz).

Diferencia de presión máxima: 8,7bar

NIPR (absoluta): 180mbar

Altura de agua: 51cm H₂O a 1450rpm.

Rango de temperatura: -46/711°C.

Rango de viscosidad: de 0.2 a 1500cp.

Máxima velocidad: 4000 rpm.

Revestimiento del eje motor: CW (Chemical Warfare) tratamiento químico.

Peso: 1.7 kg.

Conexiones: 3/8-18 (F) NPT side ports.

Imán de impulsión: Ferrita (estándar).

Esta bomba soporta una presión máxima de funcionamiento 102 bar con temperatura de funcionamiento de -15 a 45 °C. En la Figura 15 se muestran las curvas de funcionamiento de la misma si el fluido de trabajo es agua.

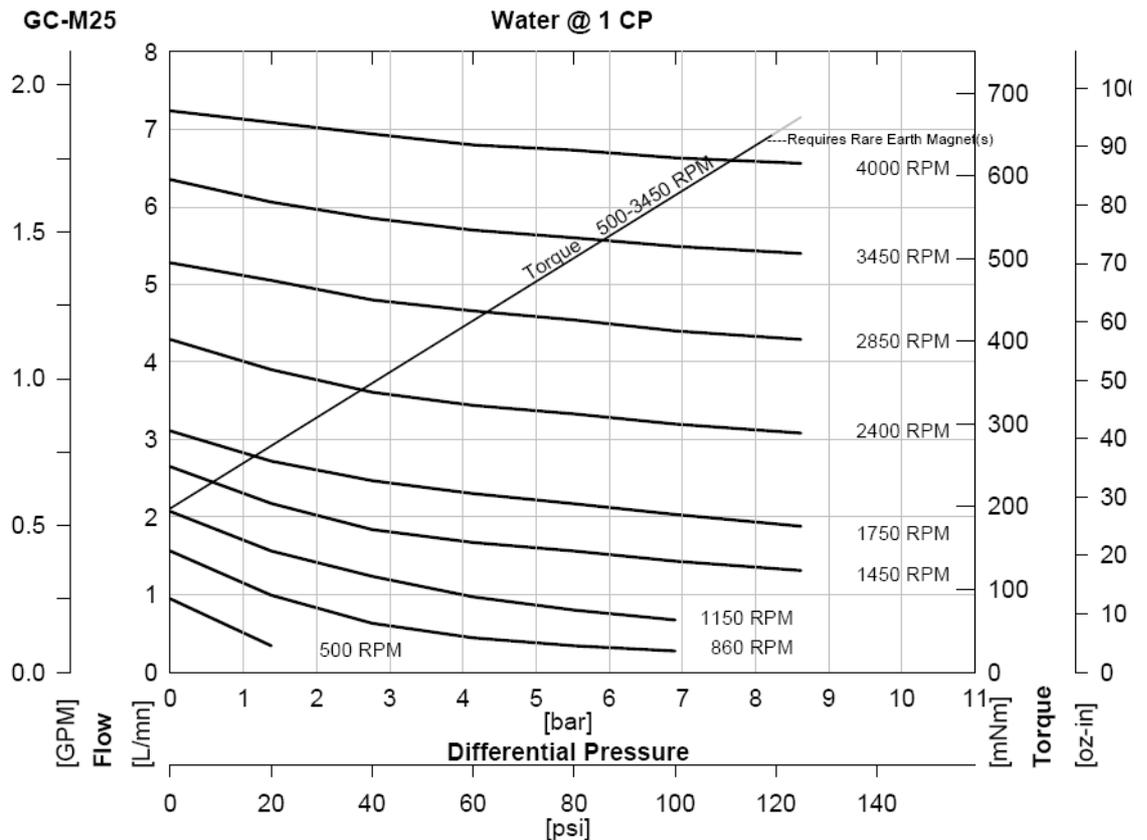


Figura 15: Curva de funcionamiento de la bomba Micropump funcionando con agua.

Esta bomba está conectada a un motor trifásico asíncrono de la marca ABB con las siguientes características, que se muestran en la tabla 13:

ABB MOTORS						
Motor 3-CLF	Δ T80K	IP55	IEC 34-1			
M2VA 80B-4		3GVA0.82002-JSB				
07/29 18881	Hz	rpm	kW	A	$\cos\phi$	
V 380-420 Y220 240 Δ	50	1410	0.75	02/03/05	0.74	
V 440-480 Y250 280 Δ	60	1880	0.8	19/03/03	0.77	

Tabla 13: propiedades del motor de la bomba MicroPump.

1.6.7 Válvula reguladora de caudal

Para su selección tendremos en cuenta que el rango de caudales en el que nos queremos mover es: 0,001 y 0,011 l/s.

Por su parte, si consideramos la curva de la bomba, y teniendo en cuenta que el motor de ésta tiene una velocidad de giro de 1450 rpm, nos va a dar unos 1200 ml/min = 1,2 l/min = 0,02 l/s. Si con el variador de frecuencia podemos reducir el caudal hasta un 20% seríamos capaces de llegar hasta 0,004 l/s. Esto hace necesaria la utilización de una válvula manual o proporcional que reduzca el caudal y permita alcanzar el caudal mínimo fijado.

La válvula que se ha decidido utilizar es manual. Es una válvula Vickers, el modelo es **FN1 4K 20 JA** con conexiones de 1/4" o de 10 mm tanto a la entrada como a la salida.

Características básicas

- Conexión: con montante en tubo.
- Presión máxima: 140bar.

-Caudal máximo: 9 l/min.

Descripción general

El FN-4 es una válvula regulable limitadora de caudal equipada con un comprobador empotrado. Permite limitar el flujo en un dirección y dejar libre el flujo en la dirección opuesta.

Características de funcionamiento

Presión máxima: 140bar.

Características de presión y caudal tipificado con aceite mineral de 21 cSt (102 SUS).

Caudal restringido: desde 16 ml/min hasta 2 l/min.

Caudal de retorno, válvula de chequeo, cracking presión: 0.7bar.

Presión de caída en 9 l/min: 3,5 bar.

Fluidos hidráulicos:

Todas las válvulas pueden usarse con aceites hidráulicos anti corrosión, emulsiones de agua en aceite y agua glicolada. Añadiendo el prefijo "F3" a la designación del modelo cuando se puede usar fosfato de éster (sin base alquílica) o hidrocarburos de cloro. Además los modelos F3 también pueden funcionar con los fluidos de las otras válvulas. El rango máximo de trabajo de la viscosidad esta desde 860 hasta 13 cSt (4000 hasta 70 SUS) pero se recomienda trabajar en un rango comprendido entre 54 y 10 cSt (250 hasta 70 SUS)

Rango de temperaturas

Temperatura ambiental: desde -20 a 70 °C.

Temperatura de los fluidos:

Agua: desde 10 a 55 °C.

Aceite: desde -20 a 80 °C.

Peso: 0.2 kg.

Planos

En la figura 16 se incluyen planos descriptivos de la válvula seleccionada.

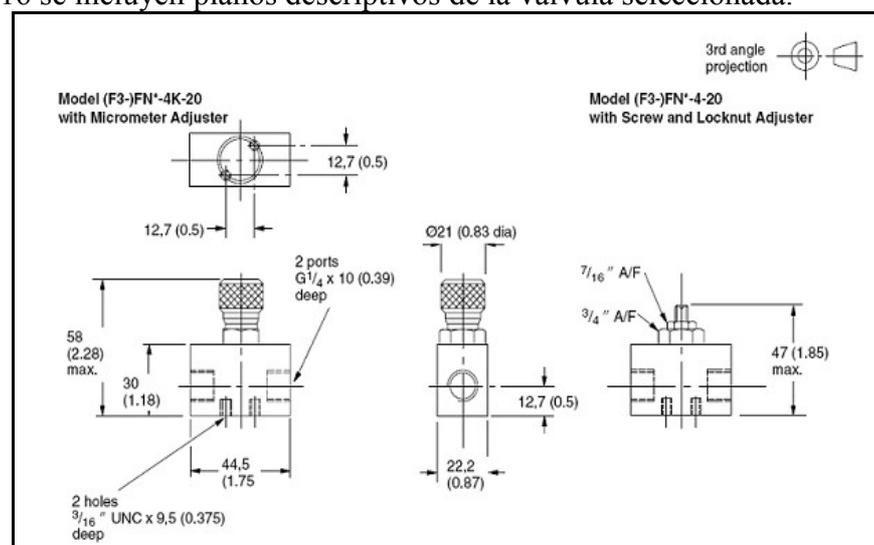


Figura 16: planos de la válvula reguladora de caudal con medidas en mm y en pulgadas entre paréntesis.

A continuación en la figura 17 se puede ver la válvula en la instalación.



Figura 17: válvula reguladora de caudal.

1.6.8 Caudalímetro

Para la realización de los ensayos uno de los datos de los que tenemos que disponer es del caudal de circulación en el circuito del fluido refrigerante y es por ello por lo que se hace necesario la instalación de un caudalímetro que sea capaz de medir el caudal con la precisión requerida.

El caudalímetro utilizado es del tipo de efecto coriolis, a continuación una explicación del efecto coriolis.

El efecto Coriolis, descrito en 1835 por el científico francés Gaspard-Gustave Coriolis, es la aceleración relativa que sufre un objeto que se mueve dentro de un sistema de referencia no inercial en rotación cuando varía su distancia respecto al eje de giro. El efecto Coriolis hace que el objeto que se mueve sobre el radio de un disco en rotación tienda a acelerarse o a frenarse con respecto a ese disco según si el movimiento es hacia el eje de giro o alejándose de éste, respectivamente. Por el mismo principio, en el caso de una esfera en rotación, los movimientos de un objeto sobre los meridianos resultan afectados por esta fuerza ficticia, ya que dichos movimientos reducen o hacen crecer la distancia respecto al eje de giro.

Como el objeto se acelera (en relación con el marco de referencia no inercial) sin que se le aplique ninguna fuerza, a veces el efecto Coriolis se denomina fuerza de Coriolis, y en ese caso se aclara que se trata de una fuerza ficticia.

La magnitud física subyacente al efecto Coriolis es la inercia del cuerpo (denominada conservación del momento angular, en el caso de cuerpos girando alrededor de un eje), que hace que la aceleración que tiene el marco de referencia (el giro implica una aceleración puesto que el vector velocidad varía de forma continua), al no ser aplicada al cuerpo, produzca la apariencia de que éste se está acelerando absolutamente.

En términos más rigurosos, se denomina fuerza de Coriolis a la fuerza que hay que ejercer sobre un cuerpo para que no modifique su velocidad angular cuando varía su distancia respecto al eje, es decir, la fuerza que hay que ejercer para que el efecto Coriolis no se manifieste. Esto es análogo al caso de la fuerza necesaria para que un cuerpo con una distancia fija respecto al eje la mantenga, fuerza que se denomina fuerza centrípeta y cuya ausencia produce la apariencia de fuerza (o fuerza ficticia), llamada fuerza centrífuga.

Un ejemplo canónico de efecto Coriolis es el experimento imaginario en el que disparamos un obús desde el Ecuador en dirección norte. El cañón está girando con la tierra hacia el este y, por tanto, imprime al obús esa velocidad (además de la velocidad hacia adelante de la carga de impulsión). Al viajar el obús hacia el norte, sobrevuela puntos de la tierra cuya velocidad lineal hacia el este va disminuyendo con la latitud creciente. La inercia del obús hacia el este hace que su velocidad angular aumente y que, por tanto, adelante a los puntos que sobrevuela. Si el vuelo es suficientemente largo, el obús caerá en un meridiano situado al este de aquél desde el cual se disparó, a pesar de que la dirección del disparo fue exactamente hacia el norte. Análogamente, una masa de aire que se desplace hacia el este sobre el ecuador aumentará su velocidad de giro con respecto al suelo en caso de que su latitud disminuya. Finalmente, el efecto Coriolis, al actuar sobre

masas de aire (o agua) en latitudes intermedias, induce un giro al desviar hacia el este o hacia el oeste las partes de esa masa que ganen o pierdan latitud.

Una aplicación práctica de la fuerza de Coriolis es el caudalímetro másico, un instrumento que mide el caudal másico de un fluido que circula a través de una tubería. Este instrumento fue comercializado en 1977 por Micro Motion Inc.

Los caudalímetros normales miden el caudal volumétrico, el cual es proporcional al caudal másico sólo cuando la densidad del fluido es constante. Si el fluido tiene una variación de densidad o contiene burbujas, entonces el caudal volumétrico, multiplicado por la densidad, no será exactamente igual al caudal másico. El caudalímetro másico de Coriolis funciona aplicando una fuerza de vibración a un tubo curvado a través del cual pasa el fluido. El efecto Coriolis crea una fuerza en el tubo perpendicular a ambas direcciones: la de vibración y la dirección de la corriente. Esta fuerza se mide para obtener el caudal másico. Los caudalímetros de Coriolis pueden usarse además con fluidos no newtonianos, en los cuales los caudalímetros normales tienden a dar resultados erróneos. El mismo instrumento puede usarse para medir la densidad del fluido. Este instrumento tiene una novedad adicional, que consiste en que el fluido está en un tubo liso, sin partes móviles, que no necesita limpieza ni mantenimiento y presenta una caída de presión muy baja.

El caudalímetro en particular es el caudalímetro Coriolis, ELITE modelo CMF025M de la casa Fisher-Rosemont. Las ventajas principales que representan estos caudalímetros ELITE son: mayor precisión y repetibilidad, precisión de caudal másico y volumétrico a $\pm 0,05\%$, y precisión de densidad a $\pm 0,2 \text{ kg/m}^3$, modelos para alta temperatura con valores de hasta $+350 \text{ }^\circ\text{C}$ y que la contención secundaria de presión es estándar.

Micro Motion Coriolis ELITE sensor; 1/4-inch; 316L stainless steel

CMF025M Modelo: Micro Motion Coriolis ELITE sensor; 1/4-inch; 316L stainless steel (Figura 18).

300 Conexiones de proceso: DN15 PN40 weld neck flange; DIN 2635 type C face.

Opciones de estuches: Standard pressure containment.

Interfase de los electrónicos: 4-wire epoxy-painted aluminum integral core processor for remote mount transmitters.

Conexiones de conductos: 1/2-inch NPT - no gland.

Aprobaciones: Micro Motion Standard / PED compliant.

Calibration Options: 0.10% mass flow and 0.0005 g/cc density calibration.

Software de aplicación de medidas: no measurement application software.

También va acompañado del transmisor siguiente:

Micro Motion Coriolis MVD transmisor de caudal variable.

1700 Modelo: Micro Motion Coriolis MVD transmisor de caudal variable.

Montaje: transmisor remoto de cuatro hilos.

Alimentación: 18 a 100 V en continua y 85 a 265 V en alterna; (*self switching*).

Pantalla: Sin display.

Salida (1700): 1 mA; una frecuencia; RS485.

Conexiones de conductos: 1/2-inch NPT – sin gland.

Aprobaciones: Micro Motion Standard.

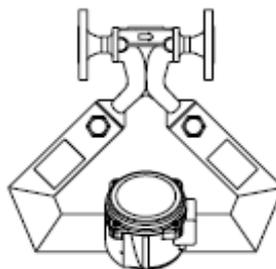


Figura 18: caudalímetro de efecto Coriolis de la clase ELITE de Emerson.

Tiene la siguiente precisión base de caudal másico y volumétrico a $\pm 0,05\%$, y precisión de densidad a $\pm 0,2$ kg/m.

	Masa	Volumen	Temp.	Modelo	Si MVD	RFT9739	IFT9701/03
ELITE	$\pm 0,05\%_{(2)}$	$\pm 0,05\%_{(2)}$	± 1 °C	2400S	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 2,0$

Precisión total

Transmisores con tecnología MVD:

Si caudal $\geq \frac{\text{estabilidad del cero}}{(\text{precisión base } \%) + 100}$ entonces precisión total = \pm precisión base % del caudal

Si caudal $< \frac{\text{estabilidad del cero}}{(\text{precisión base } \%) + 100}$ entonces precisión total = $\pm \left[\left(\frac{\text{estabilidad del cero}}{\text{caudal}} \right) \times 100 \right]$ % del caudal

Todos los otros transmisores:

Precisión total = \pm (precisión base %) $\pm \left[\left(\frac{\text{estabilidad del cero}}{\text{caudal}} \right) \times 100 \right]$ % del caudal *NOTA: Para las estabilidades del cero, vea la página 11.*

Rango de temperatura y valor nominal de presión:

A la vista de la siguiente tabla el sensor CMF025 de acero inoxidable disponible aguantaría 100 bar.

Familia de sensores	Modelo de sensor	Material	Rango de temperatura (°C) ⁽¹⁾	Valor nominal de presión para los tubos de caudal (bar)
ELITE	Todos los modelos (excepto alta presión y alta temperatura)	Acero inoxidable	-240 a +204	100
		Aleación de níquel	-240 a +204	148
<i>Modelos para alta presión</i>				
	CMF010P	Aleación de níquel ⁽²⁾	-240 a +204	413
<i>Modelos para alta temperatura</i>				
	CMFxxxA	Acero inoxidable	-40 a +350	79 (a 350 °C)
	CMFxxxB	Aleación de níquel	-40 a +350	128 (a 350 °C)

Tamaño de tuberías y caudales

Familia de sensores	Modelo de sensor	Tamaño de tubería	Caudal máximo (kg/h o l/h)
ELITE	CMF010	3-6	108 = 0.03 kg/s
ELITE	CMF025	6-12	2180 = 0.606 kg/s

Estabilidad del cero:

Familia de sensores	Modelo de sensor	kg/h	l/h ⁽¹⁾
ELITE	CMF010	0,002	0,002
	CMF010P	0,004	0,004
	CMF025	0,027	0,027
	CMF050	0,163	0,163
	CMF100	0,680	0,680
	CMF200	2,18	2,18
	CMF300	6,80	6,80
	CMF400	40,91	40,91

(1) respecto a condiciones estándar de T y p del agua a 20-25°C y 1-2 bar.

Se puede observar una fotografía en la figura 19.



Figura 19: coriolis en la instalación.

1.6.9 Calentador

Utilizamos un calentador para incrementar la temperatura de los fluidos refrigerantes y precalentar el fluido antes de pasar por la sección de ensayo de esa manera se puede suministrar en la sección de ensayo una menor cantidad de calor. El calentador se encuentra en la sección J-K de la instalación (ver figura 2), precediendo a la sección de ensayo.

El precalentador instalado es de la marca Watlow No: FMNP739J10-20, 3" Flange Immersion Heater voltage: 240 V, 1-phase (Figura 20).

Potencia: 5000 W, con tres elementos de 1666.00 W cada uno.

Densidad de potencia: app. 2.45 W/cm² (app.15.80 W/inch²), 3" ANSI class 300 flange out of 304SS,

Longitud de inmersión aproximada: 1003,3 mm (app.39.50")

Parte fría por debajo de la resistencia (aproximadamente) 114.30 mm (app. 4.5"),

Los revestimientos de los 3 elementos calentadores son de Incoloy [800/840 - Ø: 0.475" (12.07 mm) with Nema 1 terminal housing incl.CSA]. Están todos diseñados de acuerdo con las tolerancias Watlow.

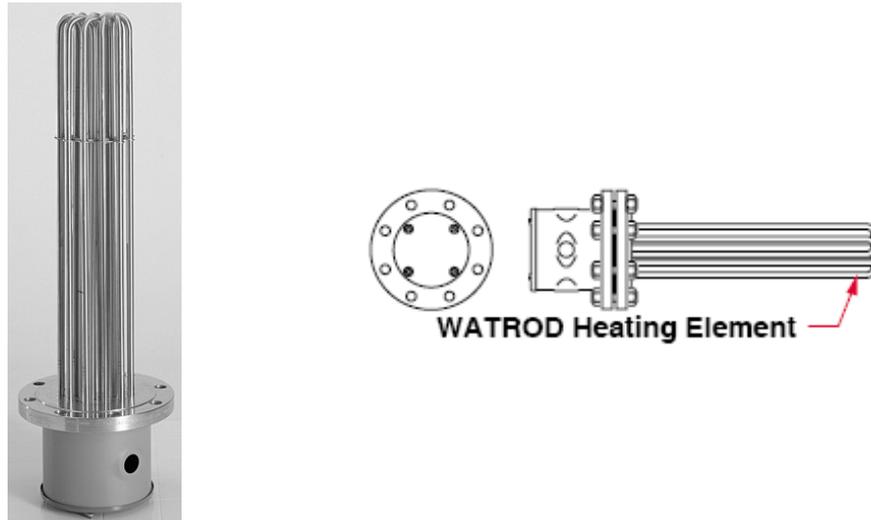


Figura 20: calentador Watlow.

El calentador está envuelto en un colector de acero con las siguientes características constructivas:

- Material acero al carbono.
- Terminación pintado en blanco.
- Diámetro 4" 114.3 mm. diámetro exterior.
- Longitud de la virola 1.000 mm.
- Uno de los extremos se cerrara con una brida y brida ciega de 4" de 900 Lb.
- En el otro extremo se colocara la resistencia.
- 2 Salidas por el lateral 1/2" con brida de 900 Lb, para entrada y salida de producto.
- 1 Salida para sonda de temperatura PT-100. (Se incluye PT-100).
- Patas de apoyo.
- Válvula de seguridad tarada a 20 Kg/cm².
- Manómetro de 0-60 Kg/cm².
- Radiografiado de soldaduras.
- Placa de características como aparato a presión.
- Certificado CE como aparato a presión.

Los planos de este colector están recogidos a continuación en la figura 21 y se observa una imagen del colector y el calentador conectados en la instalación en la figura 22.

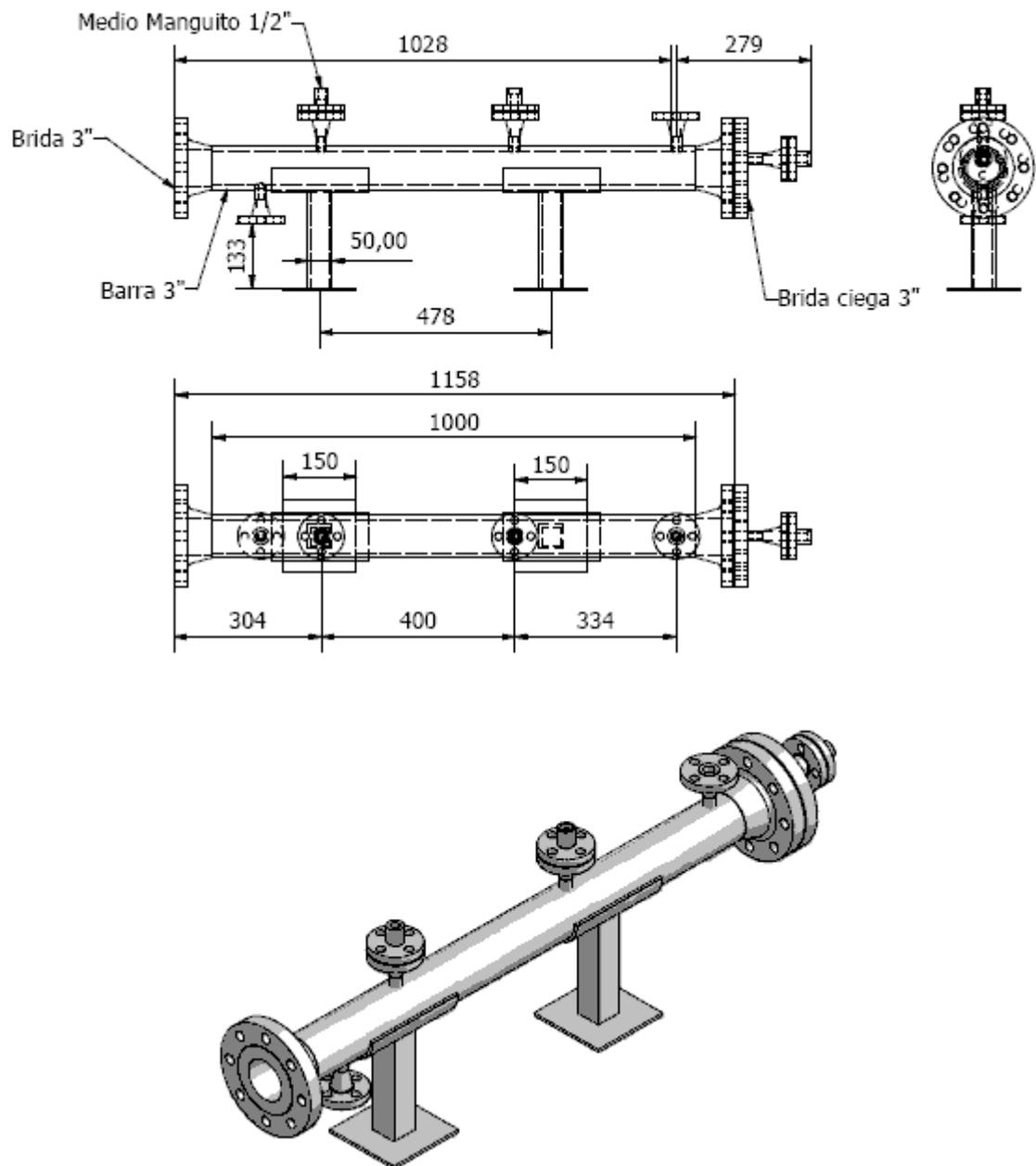


Figura 21: planos del colector para la resistencia.



Figura 22: calentador y carcasa instalados.

1.6.10 Sensor de presión diferencial

El sensor de presión diferencial va colocado en el principio y el final del tubo que vamos a ensayar de manera que nos muestre la caída de presión en el tubo. Los dos puntos de conexión se realizarán mediante un tramo de tubería en cruz. El punto de medida inicial está ubicado en el tramo K-L, justo antes de la sección L. Y el punto de medida final está ubicado en el tramo M-N a continuación de la sección M. (ver figura 2).

El sensor que disponemos es un sensor BBC de la marca Kent Tieggi S.p.a.Kent Deltapi-K, mostrado en la figura 23, con las siguientes características técnicas:

Código KDC/A31438

52AD31

Identificador: FT-2130

Rango de calibración: 0 + 4000 mmH₂O

Rango de medida: -1000 + 1000 mbar.

Span limits: 160 – 1000 mbar.

Presión máxima de trabajo: 140 bar.

Alimentación: 12 – 42 VDC.

Salida: 4 – 20 mA.



Figura 23: Sensor de presión diferencial.

1.6.11 Termopares del tipo T

Un dato muy importante a medir en la sección de ensayo es el gradiente de temperatura a lo largo de esta sección de ensayo, L-M (figura 2), y para ello se utilizarán termopares del tipo T en contacto con la sección de ensayo que conectaremos a una tarjeta multiplexora que recogerá los datos de temperatura a través de un data logger, en el ordenador, ayudado de un software. A continuación se detalla una definición de termopar y su funcionamiento, para posteriormente definir las características de los termopares usados.

Termopar se denomina a la unión de dos alambres conductores con diferente composición metalúrgica. El termopar genera una fuerza electromotriz (fem) que depende de la diferencia de temperatura de la junta caliente o de medida y la unión fría o de referencia, así como de la composición del termopar.

El funcionamiento del termopar está directamente relacionado con algunas leyes termoeléctricas que analizamos a continuación.

Efecto Volta

Si se unen dos metales heterogéneos que tienen igual temperaturas, se creará una diferencia de potencial en sus extremos libres cuyo valor es constante si se trata de la misma junta y tienen las mismas condiciones de temperatura en el momento de la medición.

Efecto Peltier

Siempre que se someta a temperaturas fluctuantes a la unión de un termopar se producirá cambios en el valor del mili voltaje generado que es dependiente únicamente, de la temperatura en la junta caliente o de medición.

Efecto Thomson

Cuando los extremos de un mismo conductor están sujetos a una gradiente de temperatura se producirá una diferencia de potencial que depende de la diferencia de temperatura.

Para elegir los materiales que formen el termopar es conveniente que la fuerza electromotriz relacionada con el efecto Peltier sea la mayor posible y la provocada por el efecto Thomson sea mínima o nula.

Ley de las temperaturas intermedias

La suma de la fem. de un termopar con su junta fría a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y su junta caliente a una temperatura T , más la fem. de un termopar con su junta fría a la temperatura T y su junta caliente a la temperatura de medición, es igual a la fem de un termopar con su junta fría a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y su junta caliente a la temperatura de medición.

Ley de los metales intermedios

Cuando la junta caliente y el instrumento están distantes es necesario introducir cables de extensión de otra naturaleza que el termopar. Esto aparentemente provocaría alteraciones en la respuesta del termopar.

La ley de los metales intermedios dice que el valor de la fem. se mantendrá constante, siempre que el tercer metal no esté sujeto al efecto Thomson, es decir, que la temperatura a lo largo de él se mantenga constante.

Termopares del tipo T

Están formados por un alambre de cobre como conductor positivo y una aleación de 60% de cobre y 40% de níquel como elemento conductor negativo. Tiene un costo relativamente bajo, el rango de aplicación de temperaturas es desde bajo $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ como límite inferior, y como límite superior se puede considerar los $350\text{ }^{\circ}\text{C}$, ya que el cobre se oxida violentamente a partir de los $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, y por ello estos termopares se inutilizan sobre dicha temperatura.

Los que forman parte de nuestra instalación son de la marca TC Medida y Control mostrado en la figura 24, con las siguientes características:

Termopar simple aislado con Teflón para una respuesta muy rápida. Los conductores son de hilo sólido $2 \times 0.2\text{mm}$ de diámetro. Sin conector mini macho para longitudes de 2 ó 5 metros.

- Cable de hilo sólido $2 \times 0.2\text{mm}$, par trenzado aislado con Teflón.
- Longitud de cable: 2 metros ó 5 metros.
- Rango de temperaturas: $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+250\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Figura 24: imagen de termopar tipo T

1.6.12 Transformador

Para suministrar la energía en forma de calor, al fluido refrigerante que circulará por las secciones de ensayo de manera que sea posible su control cuantitativamente, se hará circular una corriente eléctrica por las secciones de ensayo, de una tensión baja y una alta intensidad, de manera que la sección de ensayo se caliente por el efecto Joule, aportando el calor necesario. Por ello para controlar la potencia, la tensión y la intensidad se utilizará un transformador. Dicho transformador estará conectado al circuito primario entre los tramos L-M de la instalación (ver figura 2).

El transformador seleccionado es un transformador monofásico separador Potencia de 5kVA con una entrada de 220V (19A) y salida: 0-3V (1333A). La regulación se lleva a cabo con un regulador de tensión de tiristores inductivo para 5kW. Será controlado por el control desarrollado por MicroDesign. Las características vienen dadas en la tabla 14 y en la figura 25 se observa una fotografía del transformador en la instalación.

Potencia (VA) 5000	Fr: 50-60 Hz
MOD: KRA-19RA	cosφ=0,8
TENSIONES (V)	Aislam: B
Primario	IP-00
0/210 19A 0/220 19A	FUS PRIM: 37
Secundario	VCC: %
0/3 1333A	

Tabla 14: Características del transformador



Figura 25: transformador en la instalación.

1.6.13 Tubos a ensayar

En concreto se estudiarán dos tipos de tubos con diferentes tipos de canales: de sección rectangular y de sección triangular tales como aparecen en la figura 26. Estos tubos serán proporcionados por la empresa Modine y sus características están recogidas en la tabla 15.

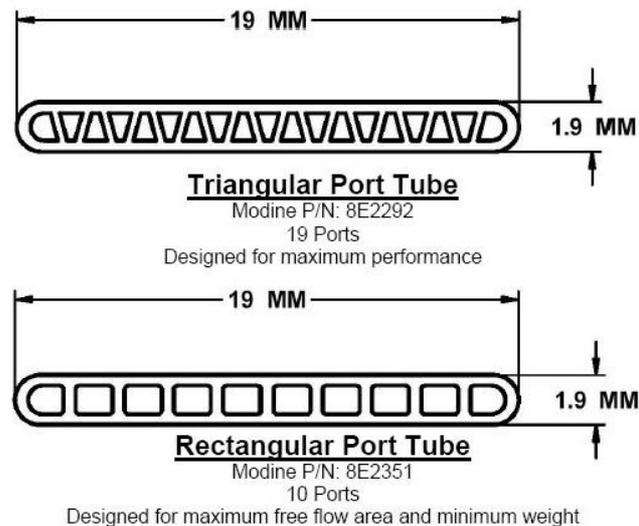


Figura 26: diferentes geometrías que serán estudiadas.

Modelo tubo	Longitud transversal (mm)	Altura (mm)	$D_{\text{hidráulico}}$
8E2292tri	19	1,9	0,74099
8E2293sc	19	1,9	1,27562
8E2294tri	27	1,9	0,87604
8E295sc	27	1,9	1,28386

Tabla 15: geometrías que van a ser estudiadas.

1.6.14 Tuberías

La tubería que se ha utilizado en la instalación es una tubería de cobre maleable con diámetro interior de 6mm y diámetro exterior de 8mm. Con una longitud en el circuito principal de unos 4,15 metros de longitud más unos 2,05 metros de tubería auxiliar necesaria para conectar los sensores de presión.

1.6.15 Control de MicroDesign

Sistema de control de la tensión y vatímetro desarrollados por MicroDesign

Este sistema está constituido por los siguientes elementos:

- Medidor digital de señales analógicas.
- Medidor digital microcontrolador con pantalla LCD de 4x20 caracteres retroiluminada.
- Teclado de 8 teclas táctiles y caratula personalizada de poli carbonato a 4 colores.
- Caja metálica tipo Retex RS-14.
- Alimentación 230VAC 50/60 Hz.
- 1 entrada para medición de tensiones analógicas de 0 a 5V DC. Con una resolución de 12 bit.
- 1 entrada para medición de corrientes con transformador de intensidad 2000 Amp.. Con una resolución de 12 bit.
- Reloj en tiempo real no volátil con calendario.
- Memoria EEPROM no volátil, para almacenamiento de datos.

- Un puerto serie RS-232, para comunicaciones.
- Un puerto serie RS-485, para comunicaciones.
- Un puerto serie I2C, para expansión de periféricos.
- Un puerto bus-can, para expansión de periféricos.
- Transductor de corriente de efecto 2000 A.
- Transductor de tensión de efecto 50V AC/DC.
- Equipo medidor de señales y software.

En la figura 27 se muestra una imagen del control.



Figura 27: control.

1.6.16 Data-logger

Para tomar los datos de temperatura de los diferentes termopares, se utilizará una unidad de adquisición de datos o Data-Logger, que nos permitirá recoger los datos en soporte digital conectando el Data-Logger a un ordenador. Éste realiza las funciones de medición, tratamiento y digitalización de los datos, para reflejarlos en el panel frontal o exportarlos al ordenador, como es en nuestro caso. En función de los requerimientos de nuestra instalación, existen varios módulos conectables al data-logger donde se realizan las conexiones de las sondas y la conmutación de los canales, en el caso que nos ocupa utilizaremos dos módulos multiplexores inducidos 34901A. Para visualizar y archivar la información utilizaremos un software específico y la conexión a un ordenador mediante una tarjeta de conexión.

El modelo seleccionado es el data-logger HP 34970A, junto con dos módulos multiplexores 34901A.

Las características a resaltar del data-logger son las siguientes:

- Medida directa de termopares, RTDs, termistores, tensión en corriente alterna, tensión en corriente continua, resistencia, intensidad en corriente continua, intensidad en corriente alterna, frecuencia y periodo.
- Scanners en intervalos con capacidad de almacenamiento de más de 50.000 lecturas.
- Configuración de canales independiente: distintas funciones, distintas escalas (recta de calibración) $Mx+B$ y alarmas disponibles sobre un par de canales base.
- Portátil, con superficie rugosa para que no resbale, preparado para ambientes industriales.

El data-logger HP 34970A combina la precisión en la medida con una gran variedad de tipos de señales. Cada aparato soporta 3 módulos donde se realizan las conexiones. En función de las necesidades del usuario, existen diferentes tipos de módulos.

Características del data-logger HP34970A:

- Multímetro con 6_{1/2} dígitos de precisión.
- Estabilidad y rechazo del ruido.
- Más de 60 canales por instrumento.
- Capacidad de más de 600 lecturas por segundo en un solo canal y más de 250 registros por canal y por segundo.
 - Variedad de multiplexación, conmutación de matriz, conmutación de formato C (SPDT), RF switching, I/O digital, totalizador y funciones de salidas analógicas de 16-bit.
- Interfaces de comunicación HP-IB(IEEE-488) y RD-232 estándar.
- Compatibilidad con SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments).
- Soporta apagado temperaturas entre -20°C/70°C y en funcionamiento entre 0°C-55°C.

El data-logger se puede emplear como un instrumento autónomo, no obstante hay muchas aplicaciones en las que puede aprovechar las funciones integradas de conectividad con un PC. A continuación, se muestra un sistema de adquisición de datos típico, en la figura 28.

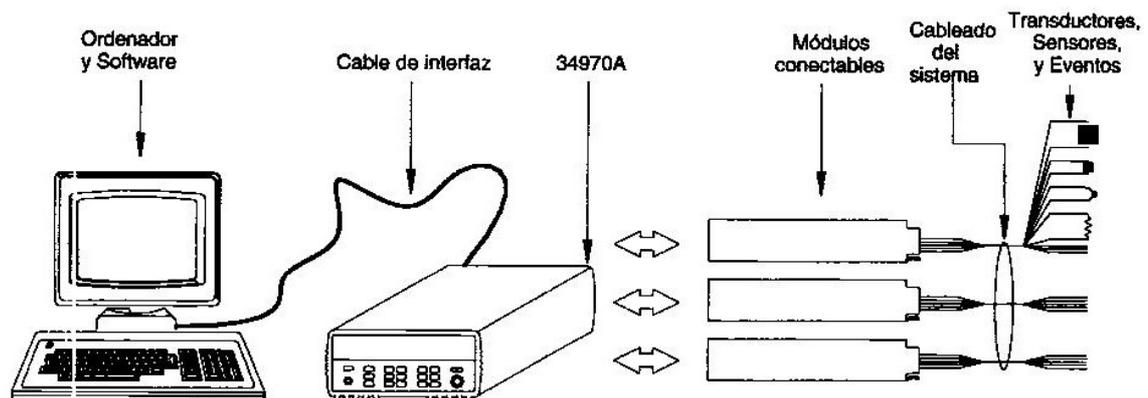


Figura 28: condiciones de trabajo del aparato conectado a un ordenador.

La configuración del sistema mostrado ofrece las siguientes ventajas:

- Puede utilizar el 24970A para realizar el almacenamiento de datos, reducción de datos, cálculos matemáticos y conversión a unidades de ingeniería. Puede utilizar el PC para realizar una fácil configuración y presentación de datos.
- Puede retirar las señales analógicas y los sensores de medición del entorno ruidoso del PC y aislarlas eléctricamente del PC y de la conexión a tierra.
- Puede utilizar un PC para monitorizar diversos instrumentos y puntos de medición mientras ejecuta otras tareas en el PC.

Respecto a las tarjetas multiplexoras utilizadas, se emplearán dos módulos multiplexores inducidos de 20 canales 34901A. Dos canales son para entrada en intensidad 4 – 20 mA y dieciocho para entrada en tensión.

Las características de los módulos multiplexores, son las siguientes:

- Nombre: módulo multiplexor de inducidos de 20 canales 34901A
- 20 canales de conmutación de 300V
- Dos canales para mediciones de corriente CC o CA (100 nA a 1A)

- Conexión de referencia de termopar incorporada
- Velocidad de conmutación de hasta 60 canales por segundo
- Se conecta al multímetro interno

Cada uno de los 20 canales conmuta las entradas HI y LO, lo que permite proporcionar entradas totalmente aisladas al multímetro interno. El módulo se divide en dos grupos de 10 canales bifiliares cada uno. Cuando se realizan mediciones de resistencia de cuatro hilos, los canales de Grupo A se conectan automáticamente en pares con los canales del Grupo B. En el módulo se incluyen dos canales adicionales con fusibles (22 canales en total) para realizar mediciones calibradas de corriente CC o CA con el multímetro interno (no se precisan resistores derivadores externos). Puede cerrar los canales múltiples de este módulo sólo si no ha configurado otro canal para que forme parte de la lista de exploración. De lo contrario, todos los canales del módulo son previos de ruptura.

1.6.17 Fuentes de alimentación

La instalación lleva dos fuentes de alimentación idénticas S8VS-0154 15W/24V/0,65 A 22,5 mm con carril DIN para los sensores de presión.

Se puede observar a continuación en la figura 29.

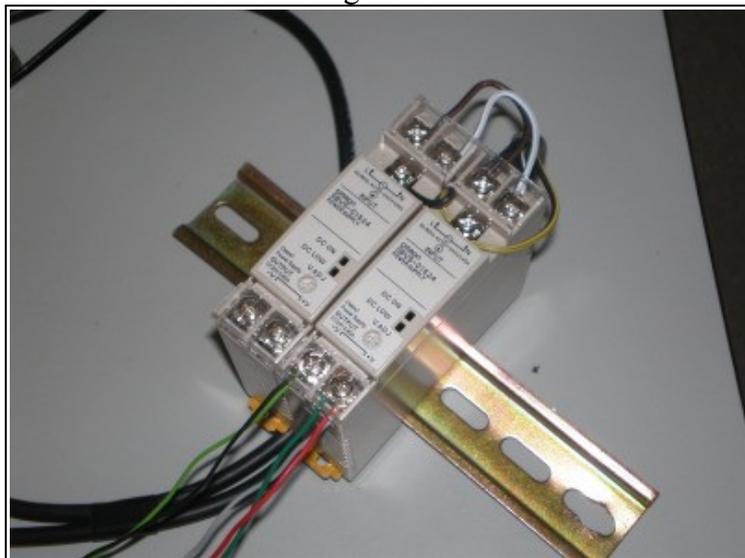


Figura 29: fuentes de alimentación.

1.6.18 Variadores de frecuencia

Variador de frecuencia para la bomba de Grundfos CIMR-J7A2B0P20 monofásico 220V 0,2kW con control V/F de la marca Omron.

Variador de frecuencia para la bomba de Micropump CIMR-J7A2B0P70 monofásico 220V 1,1kW con control V/F de la marca Omron.

Se puede observar una imagen en la figura 30.



Figura 30: variadores de frecuencia.

2 ANEJOS

2.1 ANEJO 1: CALCULOS JUSTIFICATIVOS

2.1.1 Potencia eléctrica suministrada a los tubos de ensayo

Partimos de los datos de los diferentes tipos de tubos de ensayo que tenemos para calcular la tensión y la intensidad máximas y mínimas que tenemos que suministrar con el transformador.

El material de los tubos es de aluminio con una resistividad a 20°C de $0.029 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$

$$\rho_{\text{AL}} = 0.029 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$$

Los datos geométricos vienen en la tabla 16:

Modelo tubo	Longitud transversal (mm)	Altura (mm)	A Área de paso Total (mm ²)	Separación entre Capilares (mm)	número capilares	perímetro interior(mm)	perímetro exterior(mm)
8E2292tri	19	1,9	12,03	0,34	18	64,94	40,17
8E2293sc	19	1,9	14,81	0,46	9	46,44	40,17
8E2294tri	27	1,9	21,06	0,25	25	96,16	56,17
8E295sc	27	1,9	22,06	0,39	14	68,73	56,17

Tabla 16: propiedades geométricas de los tubos a ensayar.

Con los datos geométricos calculamos los diámetros hidráulicos y el diámetro equivalente que tendría una tubería de sección circular con la misma sección (mm).

$$D_{\text{hidráulico}} = \frac{4A}{p_{\text{mojado}}}$$

Donde $D_{\text{hidráulico}}$, es una dimensión utilizada en el cálculo de conductos en milímetros (mm), A es el área de paso total en mm² y p_{mojado} es el perímetro interior o perímetro mojado.

$$D_{\text{equivalente}} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Donde $D_{\text{equivalente}}$ es el diámetro que tendría una tubería de sección circular del mismo área de paso en milímetros (mm), A es el área de paso total en mm² y p_{mojado} es el perímetro interior o perímetro mojado.

Modelo tubo	$D_{\text{hidráulico}}$ (mm)	$D_{\text{equivalente}}$ (mm)
8E2292tri	0,740991685	3,913698494
8E2293sc	1,275624462	4,342422545
8E2294tri	0,876039933	5,178258598
8E295sc	1,283864397	5,299773455

Tabla 17: diámetros equivalentes e hidráulicos de las tuberías.

Para calcular la resistencia de cada tubo, tenemos que calcular previamente la sección de tubo macizo, por la que pasará la electricidad, también hay que tener en cuenta la longitud del tubo y la resistividad del aluminio.

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1)$$

Donde: R es la resistencia en ohmios (Ω), l es la longitud del tubo en metros (m), S es la sección de tubo macizo o superficie de aluminio en una sección transversal en milímetros cuadrados

(mm²) y ρ es la conductividad del aluminio en ohmios por milímetro cuadrado entre metros ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$).

Para calcular S en mm², determinamos el área total del tubo y le restamos el área de paso total. Calculando el área del tubo total, como la suma del rectángulo interior más el área de los semicírculos de los bordes. Ver figura 31, y ecuación siguiente.

$$S = (19 - 1.9) * 1.9 + \frac{\pi (1.9)^2}{4} - A$$

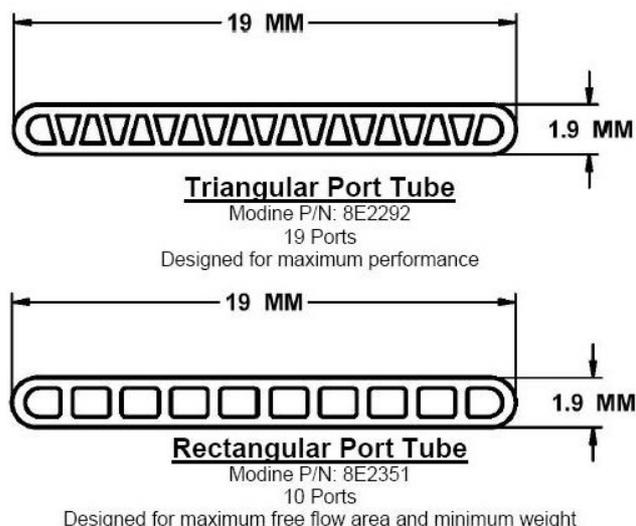


Figura 31: dimensiones de la sección de tubos a ensayar.

Modelo tubo	S (mm ²)
8E2292tri	23,295294
8E2293sc	20,515294
8E2294tri	29,465294
8E295sc	28,465294

Tabla 18: S, área de tubo macizo.

Tenemos como dato el flujo de calor por superficie en el que trabajarán los tubos a ensayar, ese flujo estará en un rango de 5 y 30 kW/m². De manera que tomaremos como valores máximo y mínimo:

$$q_{\min} = 5 \text{ kW/m}^2$$

$$q_{\max} = 30 \text{ kW/m}^2$$

Para el cálculo de la intensidad se usa la ley de Joule, que nos relaciona esta última magnitud con la potencia calorífica y la resistencia eléctrica del tubo a ensayar con la siguiente correlación:

$$i = \sqrt{\frac{Q}{R}} \quad (2)$$

Donde: i es la intensidad en amperios (A), Q es la potencia calorífica en vatios (W), y R es la resistencia en ohmios (Ω).

Para el cálculo de Q, solo hay que multiplicar q por el área de transferencia de calor S_t , con la siguiente fórmula:

$$Q = q * S_t \quad (3)$$

Donde Q es la potencia calorífica en vatios (W), q es el flujo de calor por superficie en vatios por metro cuadrado (W/m^2), y S_t es el área de transferencia de calor en metros cuadrados (m²).

Se define el área de transferencia de calor como la superficie de contacto entre el fluido y el tubo, de manera que se obtiene multiplicando el perímetro mojado, por la longitud de tubo, como sigue:

$$S_t = p_m * l \quad (4)$$

Donde S_t es el área de transferencia de calor en metros cuadrados (m^2), p_m es el perímetro mojado en metros (m), y l es la longitud de tubo en metros (m).

Por último para hallar la tensión, se usa la ley de Ohm, que nos relaciona la tensión con la resistencia con la intensidad de la siguiente manera:

$$V = i * R \quad (5)$$

Donde V es la tensión en voltios (V), i la intensidad en amperios (A) y R es la resistencia en ohmios (Ω).

Partiendo de la ecuación 1, y sustituyendo en ella la ecuación 1 y la 3, resulta:

$$i = \sqrt{\frac{Q}{R}}; \quad i = \sqrt{\frac{q * S_t}{\rho * l}} \quad S$$

A continuación sustituimos en la ecuación anterior la ecuación 4

$$i = \sqrt{\frac{q * p_m * l}{\rho * l}} \quad S$$

Eliminando el término l , y reordenando los demás términos finalmente queda:

$$i = \sqrt{\frac{q * p_m}{\rho}}; \quad i = \sqrt{\frac{q * p_m * S}{\rho}} \quad (6)$$

Como se puede observar en la ecuación 6, la intensidad no depende de la longitud del tubo.

Para el cálculo de la tensión, se utilizará la ecuación 5, que sustituyendo en ella la ecuación 1, queda de la siguiente manera:

$$V = i * R; \quad V = i * \frac{\rho * l}{S}$$

Se observa por tanto que aunque la intensidad es independiente de la longitud de los tubos, la tensión es directamente proporcional a la longitud de los tubos.

Para los ensayos se utilizan tres longitudes diferentes de tubo, que serán 0,5, 1 y 1,5 metros de longitud, de manera que los cálculos de intensidad y tensión se reflejan para cada una de las longitudes por separado, ya que la magnitud de tensión se ve afectada por la resistencia de los conductos (como está explicado en párrafos anteriores) y esta a su vez, es función de la longitud de los conductos, por lo que al variar la longitud de los conductos variarán los valores de tensión.

Para el cálculo de las magnitudes máximas y mínimas se usan los valores de q_{\min} y q_{\max} , respectivamente.

$$q_{\min} = 5 \text{ kW/m}^2.$$

$$q_{\max} = 30 \text{ kW/m}^2.$$

A continuación los cálculos para las diferentes longitudes de tubo:

Para una longitud de tubo de 0.5 metros:

Modelo tubo	R(Ω)	S _t (m ²)	Q _{min} (kW)	Q _{max} (kW)	i _{mínima} (A)	i _{máxima} (A)	V _{mín} (V)	V _{máx} (V)
8E2292tri	0,000622443	0,03247	0,16235	0,9741	510,712213	1250,984327	0,317889402	0,77866683
8E2293sc	0,00070679	0,02322	0,1161	0,6966	405,294753	992,7653402	0,286458187	0,70167639
8E2294tri	0,000492104	0,04808	0,2404	1,4424	698,937947	1712,041332	0,343950419	0,842503024
8E295sc	0,000509392	0,034365	0,171825	1,03095	580,787167	1422,632209	0,295848479	0,724677814

Tabla 19: cálculos para una longitud de tubo de 0,5 m.

Para una longitud de tubo de 1 metro:

Modelo tubo	R(Ω)	S _t (m ²)	Q _{min} (kW)	Q _{max} (kW)	i _{mínima} (A)	i _{máxima} (A)	V _{mín} (V)	V _{máx} (V)
8E2292tri	0,001244887	0,06494	0,3247	1,9482	510,712213	1250,984327	0,635778804	1,557333366
8E2293sc	0,00141358	0,04644	0,2322	1,3932	405,294753	992,7653402	0,572916373	1,40335278
8E2294tri	0	0,09616	0,4808	2,8848	698,937947	1712,041332	0,687900839	1,685006049
8E295sc	0,001018784	0,06873	0,34365	2,0619	580,787167	1422,632209	0,591696958	1,449355628

Tabla 20: cálculos para una longitud de tubo de 1 m.

Para una longitud de tubo de 1.5 metros:

Modelo tubo	R(Ω)	S _t (m ²)	Q _{min} (kW)	Q _{max} (kW)	i _{mínima} (A)	i _{máxima} (A)	V _{mín} (V)	V _{máx} (V)
8E2292tri	0,00186733	0,09741	0,48705	2,9223	510,712213	1250,984327	0,953668207	2,33600049
8E2293sc	0,002120369	0,06966	0,3483	2,0898	405,294753	992,7653402	0,85937456	2,10502917
8E2294tri	0,001476313	0,14424	0,7212	4,3272	698,937947	1712,041332	1,031851258	2,527509073
8E295sc	0,001528177	0,103095	0,515475	3,09285	580,787167	1422,632209	0,887545436	2,174033443

Tabla 21: cálculos para una longitud de tubo de 1,5 m.

De manera que los valores máximos y mínimos de intensidad, tensión y potencia calorífica total son los siguientes:

$$i_{\min} = 405.294753 \text{ A.}$$

$$i_{\max} = 1712,041332 \text{ A.}$$

$$V_{\min} = 0,286458187 \text{ V.}$$

$$V_{\max} = 2,527509073 \text{ V.}$$

$$Q_{\min} = 0,1161 \text{ kW.}$$

$$Q_{\max} = 3,09285 \text{ kW.}$$

2.1.2 Caudales máximo y mínimo y dimensionado de la tubería

El rango de caudales adoptado para el estudio, es de es de 50 y 500 kg/(m²s). Su elección se ha basado en los datos consultados en la bibliografía, ya que se ha visto que los tubos para el ensayo forman parte de intercambiadores de calor para automoción y este es el rango de caudales que suelen emplear.

$$U\rho_{\min} = 50 \text{ kg/(m}^2\text{s).}$$

$$U\rho_{\max}=500 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{s})$$

Ponemos como condición una velocidad máxima de 1m/s

$$U_{\max}=1\text{m/s}$$

Para las densidades de los fluidos utilizaremos la densidad del R22 a las temperaturas de -5°C y de 50°C , ya que las densidades de los demás fluidos refrigerantes que se van a utilizar son similares a las densidades del R22.

$$\text{La densidad del R22 a } -5^{\circ}\text{C es: } \rho_{\text{R22max}}=1298 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\text{La densidad del R22 a } 50^{\circ}\text{C es: } \rho_{\text{R22min}}=1082 \text{ kg}/\text{m}^3$$

La densidad que se utilizará será la densidad mínima por ser la más desfavorable para el caso del diámetro de tubería máximo y la densidad máxima para el caso del diámetro de tubería mínimo.

Para el cálculo del diámetro interior utilizaremos la fórmula:

$$D_i = \sqrt{\frac{4 * A_i}{\pi}} \quad (7)$$

Donde D_i es el diámetro interior de la tubería en metros (m) y A_i es el área interior de la tubería en metros cuadrados (m^2)

Para el cálculo de A_i utilizaremos la fórmula 8:

$$A_i = \frac{G}{U * \rho_{\text{R22}}} \quad (8)$$

Donde G es el gásto másico en kilogramos partido segundo (kg/s), U la velocidad máxima en metros partido segundo (m/s), en este caso 1 m/s , y el ρ_{R22} es la densidad del R22, ya sea la mínima o la máxima.

Así mismo con la ecuación 9 calculamos el gásto másico.

$$G = A * (U \rho) \quad (9)$$

Donde A es el área de paso del fluido total en metros cuadrados (m^2) cuyo valor depende del tubo que se ensaya, teniendo un modelo con un área máxima y otro con el área mínima, y el paréntesis ($U\rho$) es el caudal, ya sea máximo o mínimo en kilogramos entre metros cuadrados y entre segundos $\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})$, para el caso actual se utilizarán como se comentó anteriormente $U\rho_{\min}=50 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{s})$ y $U\rho_{\max}=500 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{s})$.

Sustituyendo la ecuación 9 y la 8 en la 7 el diámetro queda de la siguiente manera:

$$D_i = \sqrt{\frac{4 * A * (U \rho)}{\pi * U * \rho_{\text{R22}}}}$$

De manera que para sacar el diámetro mínimo y máximo, basta con utilizar los valores máximos o mínimos según convenga:

$$D_{i \text{ mx}} = \sqrt{\frac{4 * A_{\text{mx}} * (U \rho)_{\text{max}}}{\pi * U * \rho_{\text{R22 min}}}}$$

$$D_{i \text{ min}} = \sqrt{\frac{4 * A_{\text{min}} * (U \rho)_{\text{min}}}{\pi * U * \rho_{\text{R22 max}}}}$$

En la tabla 22 se muestran los valores de las magnitudes que intervienen en el cálculo.

A_{mx} mm^2	A_{min} mm^2	$U\rho_{mx}$ $kg/(m^2s)$	$U\rho_{min}$ $kg/(m^2s)$	ρ_{R22mx} kg/m^3	ρ_{R22min} kg/m^3	Di_{mx} mm	Di_{min} mm
22,06	13,03	500	50	1298	1082	3,602	0,799

Tabla 22: magnitudes para el cálculo de los diámetros de las tuberías.

El diámetro mínimo, no se tendrá en cuenta para la elección de la tubería, ya que se regulará el caudal con la válvula que para ello lleva la instalación. Se tendrá en cuenta por tanto solo el diámetro interior máximo, cuyo valor de cálculo es de 3,6 mm.

Mirando catálogos se observa que que las dimensiones interiores de tubos comerciales que están en torno al valor teórico son:

- 3,16mm.
- 4mm.
- 6mm.

Por ello se comprueba con esas dimensiones que la velocidad del fluido no supere el valor de 1m/s impuesto en las condiciones de cálculo, de la siguiente manera:

$$U = \frac{4 * A_{mx} * (U * \rho)_{mx}}{\pi * (D_{real})^2 * \rho_{R22min}}$$

Donde U es la velocidad del fluido en metros partido segundo (m/s), D_{real} es el diámetro comercial en metros (m) y el resto de magnitudes son las anteriormente vistas, todas en el SI de unidades. Los resultados para los diferentes diámetros se muestran en la tabla 23:

Di (mm)	U (m/s)
3,16	1,299
4	0,81
6	0,36

Tabla 23: velocidades de flujo para diferentes tuberías.

Como se puede observar el diámetro óptimo es el de 4mm de diámetro interior, ya que el diámetro de 3,16 mm no es válido al sobrepasar los 1 m/s de velocidad.

En teoría se debería elegir el diámetro de 4 mm interior para la instalación, pero por motivos constructivos, finalmente se elige el tubo de 6 mm de diámetro interior, que también cumple con la condición de diseño de no sobrepasar los 1 m/s.

2.1.3 Cálculo del espesor de aislante para impedir la condensación

Para calcular el espesor de aislamiento utilizaremos la ecuación 10, que define la cantidad de calor por unidad de superficie, definida en la norma UNE 92001:

$$g = \frac{T_a - T_i}{R_T} \quad (10)$$

Donde, g es la densidad de flujo de calor (W/m^2), T_a es la temperatura ambiente en kelvin (K), T_i es la temperatura interior o del fluido en (K), y R_T es la resistencia térmica total en metros cuadrados por kelvin partido de vatios (m^2K/W).

Para el cálculo del espesor de aislante hay que notar que se desprecia la resistencia térmica del cobre de la tubería, ya que dado su alto coeficiente de transmisión de calor y su bajo espesor no tiene apenas relevancia en el cálculo. También se considerará la temperatura en la pared interior del conducto y por tanto la de la superficie interior del aislante igual a la temperatura interior o del fluido, ya que se trabajará en régimen estacionario y esta suposición es aceptable cometiendo un mínimo error.

La resistencia térmica total vendrá dada por la ecuación 11:

$$R_T = \frac{1}{h_i} + \frac{e}{k} + \frac{1}{h_e} \quad (11)$$

Donde h_i es el coeficiente superficial de transmisión de calor interior (W/m^2K), h_e es el coeficiente superficial de transmisión de calor exterior (W/m^2K), k es la conductividad térmica (W/m^2K).

De forma que la ecuación 10, unida a la ecuación 11 queda de la siguiente manera:

$$g = \frac{T_a - T_i}{\frac{1}{h_i} + \frac{e}{k} + \frac{1}{h_e}} = \frac{T_a - T_{se}}{\frac{1}{h_e}} = \frac{T_{se} - T_{si}}{\frac{e}{k}} = \frac{T_{si} - T_i}{\frac{1}{h_i}}$$

Donde los subíndices “e” quieren decir exterior, los “i” interior y los “se” y “si”, superficie exterior y superficie interior respectivamente.

Tomando el tercer y cuarto miembro de la igualdad y haciendo la temperatura de la superficie exterior (T_{se}) igual a la temperatura de rocío (T_r) y la temperatura de la superficie interior (T_{si}) igual a la temperatura interior (T_i):

$$\frac{T_a - T_{se}}{\frac{1}{h_e}} = \frac{T_{se} - T_{si}}{\frac{e}{k}} \quad ; \quad \frac{T_a - T_r}{\frac{1}{h_e}} = \frac{T_r - T_i}{\frac{e}{k}}$$

Despejando el espesor de aislante:

$$e = \frac{k}{h_e} * \left(\frac{T_r - T_i}{T_a - T_r} \right) \quad (12)$$

En primer lugar se calcula la temperatura de rocío, a partir de la temperatura ambiente y la humedad relativa (HR) del laboratorio, donde la temperatura ambiente se va a considerar de 25 °C y la humedad relativa de 60% y mediante un diagrama psicrométrico. En el caso de este estudio se ha calculado con el programa Psicro, versión 1.5.1. de Mayo de 2003 desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia, que no es ni más ni menos que un diagrama psicrométrico digital. Los resultados se muestran en la figura 32.

HR = 60%.

$T_a = 25^\circ C$.

Transformaciones realizadas

Presión total = 101325 Pa equivalente a 1013 mbar correspondientes a una altitud de 0 m

Punto	Ts(°C)	Hr (%)	W(g/kg)	Th(°C)	Tr(°C)	H(kJ/kg)	Pv(Pa)	Den(kg/m3)	ve(m3/kg)	Caudal(m3/h)
1	24,98	60,02	11,88	19,46	16,69	55,24	1900	1,162	0,8606	0

figura 32: datos de la temperatura de rocío.

De forma que el valor de la temperatura de rocío es:

$$T_r = 16,69 \text{ } ^\circ\text{C}$$

El coeficiente de conductividad térmica k depende de la temperatura. Para sacar su valor, se elige la media de la temperatura interior con la temperatura ambiente, y a continuación se saca su valor con la figura 33 proporcionada por el fabricante del aislante, en función de esa temperatura media.

$$T_m = \frac{T_a + T_i}{2} = \frac{25 + (-15)}{2} \text{ } ^\circ\text{C} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Conductividad térmica					
Temperatura media $^\circ\text{C}$	-10	0	+10	+20	+40
W/(m · K)	0,034	0,035	0,036	0,037	0,039

figura 33: conductividad térmica del aislante.

Para sacar el valor a la temperatura de $5 \text{ } ^\circ\text{C}$, se hace una interpolación lineal de la siguiente manera:

$$\frac{10-0}{0,036-0,035} = \frac{10-5}{0,036-k} ; 10000 = \frac{5}{0,036-k} ; k = 0,036 - 5 * 10^{-4} = 0,0355$$

Como se muestra en la figura 000, el valor de k , viene expresado en $W/(mK)$.

$$k = 0,0355 \text{ W/(mK)}$$

Para el coeficiente superficial de transmisión de calor exterior h_e se toma el valor de $9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Que es el valor recomendado por el fabricante para un aislamiento sin protección o pintado instalado en zonas ligeramente ventiladas.

$$h_e = 9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Además los valores de la temperatura son los siguientes:

$$T_a = 25^\circ\text{C} ; T_r = 16,69 \text{ } ^\circ\text{C} ; T_i = -15^\circ\text{C}$$

Sustituyendo los valores numéricos en la ecuación 12:

$$e = \frac{k}{h_e} * \left(\frac{T_r - T_i}{T_a - T_r} \right) = \frac{0,0355}{9} * \left(\frac{16,69 - (-15)}{25 - 16,69} \right) m = 0,015 \text{ m}$$

De esta manera el espesor del aislante mínimo es de 15 mm .

En la práctica el espesor de aislante utilizado es el de 19 mm . Se ha escogido este espesor tan sobre dimensionado para obtener un rango de seguridad suficientemente grande como para asegurarse el que no aparezca condensación y se forme hielo.

2.1.4 Cálculos eléctricos

Para el cálculo del sistema eléctrico, se usa el Reglamento electro técnico para baja tensión del 2002. Para el caso en estudio se utiliza la norma ICT-BT-19 por tratarse de una instalación de recepción de energía eléctrica con una tensión nominal de corriente alterna inferior a 10000 voltios y ser una instalación interior con una frecuencia de red de 50 Hz y que cumple las prescripciones que se indican en el artículo 2 y 4 del REBT-2002.

En primer lugar se necesitan los datos de los aparatos receptores de electricidad, que se muestran en la tabla 24.

	Potencia (W)	cosφ	Tensión (V)	Intensidad (A)
Bomba micropump	750	0,74	230	4,4
Bomba grunsfost	115	1	230	0,5
Fuente alim 1	103,5	1	230	0,45
Fuente alim 2	103,5	1	230	0,45
Calentador	5000	1	230	21,74
Transformador	5000	0,8	230	27,17
Coriolis	8	1	230	0,02

Tabla 24: datos de aparatos eléctricos.

Para el cálculo de algunos parámetros se ha utilizado la ecuación 13.

$$P = UI \cos \varphi \quad 13$$

Donde P, es la potencia en W, U es la tensión en V e I es la intensidad en A.

A continuación se calculan los datos de las bombas en conjunto ya que se agruparán en un solo cable, y de igual manera con las dos fuentes.

$$P_t = P_1 + P_2 = (750 + 115) W = 865 W$$

$$Q_2 = P_2 * \operatorname{tg} \varphi_2 = 750 * \operatorname{tg} 0,74 = 681,69 \text{ VAR}$$

$$Q_1 = P_1 * \operatorname{tg} \varphi_1 = 115 * \operatorname{tg} 0 = 0 \text{ VAR}$$

$$Q_t = Q_1 + Q_2 = (681,69 + 0) \text{ VAR} = 681,69 \text{ VAR}$$

Donde Q es la potencia reactiva en VAR, P es la potencia activa y el subíndice 1 es para indicar la bomba de grundfost y el subíndice 2 es para indicar la bomba de micropump.

$$\operatorname{tg} \varphi_t = \frac{Q_t}{P_t} = 0,78 \quad ; \quad \cos \varphi_t = 0,79$$

$$I_t = \frac{P_t}{U_t * \cos \varphi_t} = \frac{865}{230 * 0,79} A = 4,78 A$$

El cálculo del agrupamiento de las dos fuentes es trivial ya que consiste en sumar las intensidades y las potencias manteniendo el coseno en uno, por tanto los datos son los de la tabla 25.

	Potencia (W)	cosφ	Tensión (V)	Intensidad (A)
Bombas	865	0,79	230	4,78
Fuentes	207	1	230	0,9
Calentador	5000	1	230	21,74
Transformador	5000	0,8	230	27,17
Coriolis	8	1	230	0,02

Tabla 25: datos de parámetros eléctricos reales.

A continuación se calcula la intensidad corregida como muestra la ecuación 14.

$$I_k = \frac{I_c}{K} \quad 14$$

Siento I_k la intensidad corregida, I_c la intensidad de la tabla 26 y K el factor de corrección que se calcula con la ecuación 15.

$$K = K_1 * K_2 * K_3 * K_4 * K_5 \quad 15$$

Para sacar el valor de K_1 , factor de temperatura, se consulta la tabla de la ITC-BT-19 para una temperatura de 25°C y cable de PVC y sacamos el valor de:

$$K_1 = 1,22$$

El valor del factor de agrupamiento, K_2 , se saca consultando la ITC-BT-19 para 5 cables multiconductores a una distancia de 4 cm uno de otro, para ello es necesario interpolar entre los 0,65 a 0cm y los 0,8 a 25cm.

$$\frac{0,8-0,65}{25-0} = \frac{0,8-K_2}{25-4} ; K_2 = 0,674$$

Los otros factores de corrección serán uno ya que no son aplicables porque los factores son para situaciones que en el proyecto en estudio no se dan. K_3 , factor de resistividad del terreno (aplicable a cables subterráneos), K_4 , factor de profundidad de enterramiento (aplicable a cables soterrados), K_5 factor de interior de tunel subterráneo (aplicable a cables por el interior de tunel subterráneos).

De forma que el factor de corrección queda de la siguiente manera:

$$K = 1,22 * 0,674 * 1 * 1 * 1 = 0,83$$

Por tanto utilizando la ecuación 14 las diferentes intensidades corregidas quedarán como sigue en la tabla 26.

	Potencia (W)	cosφ	Tensión (V)	I_c (A)	I_k (A)
Bombas	865	0,79	230	4,78	5,77
Fuentes	207	1	230	0,9	1,08
Calentador	5000	1	230	21,74	26,19
Transformador	5000	0,8	230	27,17	32,74
Coriolis	8	1	230	0,022	0,026

Tabla 26: intensidades corregidas.

Se selecciona la intensidad máxima admisible I_{mad} de las tablas de la ITC-BT-19, para entrar en la tabla es necesario conocer las características del cable.

El cable es de cobre, del tipo PVC2 porque es monofásico de PVC y del tipo B2, ya que es cable multiconductor en conducto sobre pared de madera o de manpostería, no espaciado a una distancia inferior a 0,3 veces el diámetro del conducto de ella.

Con estos datos entramos en la tabla correspondiente de la ITC-BT-19 y seleccionamos la sección del cable y la I_{mad} inicial quedando los resultados expuestos en la tabla 27.

	Potencia (W)	cosφ	Tensión (V)	I _c (A)	I _k (A)	I _{mad} (A)	Sección (mm ²)
Bombas	865	0,79	230	4,78	5,77	13,5	1,5
Fuentes	207	1	230	0,9	1,08	13,5	1,5
Calentador	5000	1	230	21,74	26,19	32	6
Transformador	5000	0,8	230	27,17	32,74	44	10
Coriolis	8	1	230	0,022	0,026	13,5	1,5

Tabla 27: sección e I_{mad}.

Seguidamente se calcula la caída de tensión en cada cable y se comprueba que no sobrepase la caída de tensión máxima permitida, que según la ITC-BT-19, para instalaciones interiores de usos diferentes de viviendas y con aparatos de fuerza en lugar de alumbrado la caída máxima de tensión admisible Δe_{ma} es de un 5%. Por tanto la caída de tensión máxima admisible será:

$$\Delta e_{ma} = \frac{5}{100} * 230V = 11,5 V$$

Para calcular la caída de tensión en cada cable se utiliza la ecuación 16.

$$\Delta e = \frac{2 * L * P}{\gamma * S * U} \quad 16$$

Siendo L, la longitud del cable en metros, en este caso 5 metros, P, la potencia en W, S la sección del cable en mm², U la tensión en V (230V), y γ la conductividad del cable en m/(Ω mm²) que para el cable de cobre y PVC es de 48 m/(Ω mm²).

Ampliamos la tabla con una columna más, que nos indica la caída de tensión de cada tramo.

	Potencia (W)	cosφ	Tensión (V)	I _c (A)	I _k (A)	I _{mad} (A)	Sección (mm ²)	Δe (V)
Bombas	865	0,79	230	4,78	5,77	13,5	1,5	0,52
Fuentes	207	1	230	0,9	1,08	13,5	1,5	0,125
Calentador	5000	1	230	21,74	26,19	32	6	0,75
Transformador	5000	0,8	230	27,17	32,74	44	10	0,45
Coriolis	8	1	230	0,022	0,026	13,5	1,5	0,00483

Tabla 28: con caída de tensión.

Como se puede observar ninguna caída de de tensión supera el valor máximo de 11,5 V, por lo tanto la caída de tensión y el diseño es aceptable según este procedimiento.

El próximo paso es sacar la intensidad nominal o I_n para seleccionar la protección magnetotérmica con un catálogo, de manera que: I_k < I_n < I_{mad}.

Para el calentador se ha tenido que variar la intensidad máxima admisible seleccionando un cable más grueso ya que el rango de intensidades para la selección de la I_n no era apropiado, quedando los valores como se muestran en la tabla 29.

	Potencia (W)	cosφ	Tensión (V)	I _c (A)	I _k (A)	I _{mad} (A)	Sección (mm ²)	Δe (V)	I _n (A)
Bombas	865	0,79	230	4,78	5,77	13,5	1,5	0,52	10
Fuentes	207	1	230	0,9	1,08	13,5	1,5	0,125	10
Calentador	5000	1	230	21,74	26,19	44	10	0,45	32
Transformador	5000	0,8	230	27,17	32,74	44	10	0,45	40
Coriolis	8	1	230	0,022	0,026	13,5	1,5	0,00483	10

Tabla 29: tabla con caídas intensidad nominal.

Se calcula a continuación la intensidad de cortocircuito I_{cc} para lo se es necesario calcular la resistencia de cada cable R. Se calculan con las ecuaciones 17 y 18.

$$I_{cc} = \frac{0,8 * U}{R} \quad 17$$

$$R = \frac{L}{S * \gamma} \quad 18$$

Donde U, es la tensión 230 V, R es la resistencia del cable en Ω, L es la longitud del cable, en este caso 5 metros en todos los cables, S es la sección del cable en mm² y γ es la conductividad del cable en m/(Ωmm²) que para el cable de cobre y PVC es de 48 m/(Ωmm²).

Así queda aumentada la tabla de datos con estos últimos valores, como muestra la tabla 30.

	Potencia (W)	cosφ	Tensión (V)	I _c (A)	I _k (A)	I _{mad} (A)	Sección (mm ²)	Δe (V)	I _n (A)	R (Ω)	I _{cc} (A)
Bombas	865	0,79	230	4,78	5,77	13,5	1,5	0,52	10	0,694	2651,29
Fuentes	207	1	230	0,9	1,08	13,5	1,5	0,125	10	0,0694	2651,29
Calentador	5000	1	230	21,74	26,19	44	10	0,45	32	0,01	18400
Transformador	5000	0,8	230	27,17	32,74	44	10	0,45	40	0,01	18400
Coriolis	8	1	230	0,022	0,026	13,5	1,5	0,00483	10	0,0694	2651,29

Tabla 30: tabla de datos con R e I_{cc}.

La instalación eléctrica está dividida en dos ramas; la rama 1 donde se conectan las bombas y el calentador y la rama 2, donde se conecta el transformador el coriolis y las fuentes de alimentación.

Se procede a continuación al cálculo y dimensionado de las ramas 1 y 2 respectivamente.

$$P_1 = P_b + P_{ca} = (865 + 5000) W = 5865 W$$

$$Q_1 = P_b * tg \varphi_b = 865 * tg 37,81 = 671,31 VAR$$

Donde Q es la potencia reactiva en VAR, P es la potencia activa y el subíndice b es para indicar las bombas y el subíndice ca es para indicar el calentador.

$$tg \varphi_1 = \frac{Q_1}{P_1} = 0,11 \quad ; \quad \cos \varphi_1 = 0,99$$

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1 * \cos \varphi_1} = \frac{5865}{230 * 0,99} A = 25,75 A$$

A continuación la rama 2.

$$P_2 = P_{tr} + P_{cor} + P_{fu} = (207 + 2 + 5000) W = 5215 W$$

$$Q_2 = P_{tr} * tg \varphi_{tr} = 5000 * tg 36,86 = 3750 \text{ VAR}$$

Donde Q es la potencia reactiva en VAR, P es la potencia activa y el subíndice tr es para indicar el transformador, el subíndice cor es para indicar el coriolis y el subíndice fu es para indicar las fuentes.

$$tg \varphi_2 = \frac{Q_2}{P_2} = 0,71 \quad ; \quad \cos \varphi_2 = 0,81$$

$$I_2 = \frac{P_2}{U_2 * \cos \varphi_2} = \frac{5215}{230 * 0,81} A = 27,99 A$$

En la tabla 31, se muestran las características de los ramales.

	Potencia (W)	cosφ	Tensión (V)	I _c (A)
Rama 1	5865	0,99	230	25,75
Rama 2	5215	0,81	230	27,99

Tabla 31: ramas del circuito.

Se calcula la I_k con el método visto anteriormente.

	Potencia (W)	cosφ	Tensión (V)	I _c (A)	I _k (A)
Rama 1	5865	0,99	230	25,75	31,02
Rama 2	5215	0,81	230	27,99	33,72

Tabla 32: I_k de las ramas del circuito.

Se saca como anteriormente la I_{mad} y la sección del cable.

	Potencia (W)	cosφ	Tensión (V)	I _c (A)	I _k (A)	I _{mad} (A)	Sección (mm ²)
Rama 1	5865	0,99	230	25,75	31,02	44	10
Rama 2	5215	0,81	230	27,99	33,72	44	10

Tabla 33: I_{mad} de las ramas del circuito.

Se calcula y comprueba que la caída de tensión no sobrepase el 11,5 V de máxima, con la ecuación 16 sabiendo que la longitud de los ramales es de 1 metro.

	Potencia (W)	cosφ	Tensión (V)	I _c (A)	I _k (A)	I _{mad} (A)	Sección (mm ²)	Δe (V)
Rama 1	5865	0,99	230	25,75	31,02	44	10	0,1
Rama 2	5215	0,81	230	27,99	33,72	44	10	0,09

Tabla 34: caída de tensión en los ramales.

Se saca a continuación la I_n.

	Potencia (W)	cosφ	Tensión (V)	I _c (A)	I _k (A)	I _{mad} (A)	Sección (mm ²)	Δe (V)	I _n (A)
Rama 1	5865	0,99	230	25,75	31,02	44	10	0,1	40
Rama 2	5215	0,81	230	27,99	33,72	44	10	0,09	40

Tabla 35: intensidad nominal de los ramales.

Con la ecuación 17 y 18 se calcula la resistencia de los ramales y la intensidad de cortocircuito de cada uno de los ramales.

	Potencia (W)	cosφ	Tensión (V)	I _c (A)	I _k (A)	I _{mad} (A)	Sección (mm ²)	Δe (V)	I _n (A)	R (Ω)	I _{cc} (A)
Rama 1	5865	0,99	230	25,75	31,02	44	10	0,1	40	0,002	88320
Rama 2	5215	0,81	230	27,99	33,72	44	10	0,09	40	0,002	88320

Tabla 36: resistencias e intensidades de cortocircuito de las ramas.

Por último se calcula la rama principal desde donde salen la rama 1 y la 2.

$$P_t = P_1 + P_2 = (5865 + 5215) W = 11080 W$$

$$Q_t = Q_1 + Q_2 = (671,31 + 3750) VAR = 4421,31 VAR$$

$$\operatorname{tg} \varphi_t = \frac{Q_t}{P_t} = 0,39 \quad ; \quad \cos \varphi_t = 0,93$$

$$I_t = \frac{P_t}{U_t \cdot \cos \varphi_t} \cdot \sqrt{3} = \frac{11080}{400 \cdot 0,93} \sqrt{3} A = 51,58 A$$

	Potencia (W)	cosφ	Tensión (V)	I _t (A)
Rama principal	11080	0,93	400	51,58

Tabla 37: intensidad de la rama principal o total.

Se calcula la I_k.

	Potencia (W)	cosφ	Tensión (V)	I _t (A)	I _k (A)
Rama principal	11080	0,93	400	51,58	62,15

Tabla 38: I_k de la rama principal o total.

Se saca como anteriormente la I_{mad} y la sección del cable, con la salvedad de que en esta ocasión el cable es trifásico PVC3.

	Potencia (W)	cosφ	Tensión (V)	I _t (A)	I _k (A)	I _{mad} (A)	Sección (m ²)
Rama principal	11080	0,93	400	51,58	62,15	70	25

Tabla 39: I_{mad} de la rama principal o total y sección.

Se calcula y comprueba que la caída de tensión no sobrepase el 11,5 V de máxima, con la ecuación 16 siendo la longitud de 1 metro.

	Potencia (W)	cosφ	Tensión (V)	I _t (A)	I _k (A)	I _{mad} (A)	Sección (m ²)	Δe (V)
Rama principal	11080	0,93	400	51,58	62,15	70	25	0,046

Tabla 40: I_{mad} de la rama principal o total y sección.

Se saca a continuación la I_n.

	Potencia (W)	cosφ	Tensión (V)	I _t (A)	I _k (A)	I _{mad} (A)	Sección (m ²)	Δe (V)	I _n (A)
Rama principal	11080	0,93	400	51,58	62,15	70	25	0,046	63

Tabla 41: I_n de la rama principal o total.

Con la ecuación 17 y 18 se calcula la resistencia del ramal y la intensidad de cortocircuito.

	Potencia (W)	cosφ	Tensión (V)	I _t (A)	I _k (A)	I _{mad} (A)	Sección (m ²)	Δe (V)	I _n (A)	R (Ω)	I _{cc} (A)
Rama principal	11080	0,93	400	51,58	62,15	70	25	0,046	63	0,0008	400000

Tabla 42: I_{cc} de la rama principal o total y resistencia.

Los valores anteriores son los valores teóricos pero en la práctica, se han utilizado valores modificados, ya que ni el transformador ni el calentador llegarán nunca a su potencia máxima de 5 Kw, y es por ello por lo que los elementos de protección están puestos para que antes de que calentador o transformador lleguen a su potencia máxima, dichos elementos corten la corriente, obteniendo así un dispositivo de seguridad adicional ya que no interesa que el calentador ni el transformador lleguen a 5Kw. Por ello se muestra a continuación en la figura 34 el esquema de la instalación real.

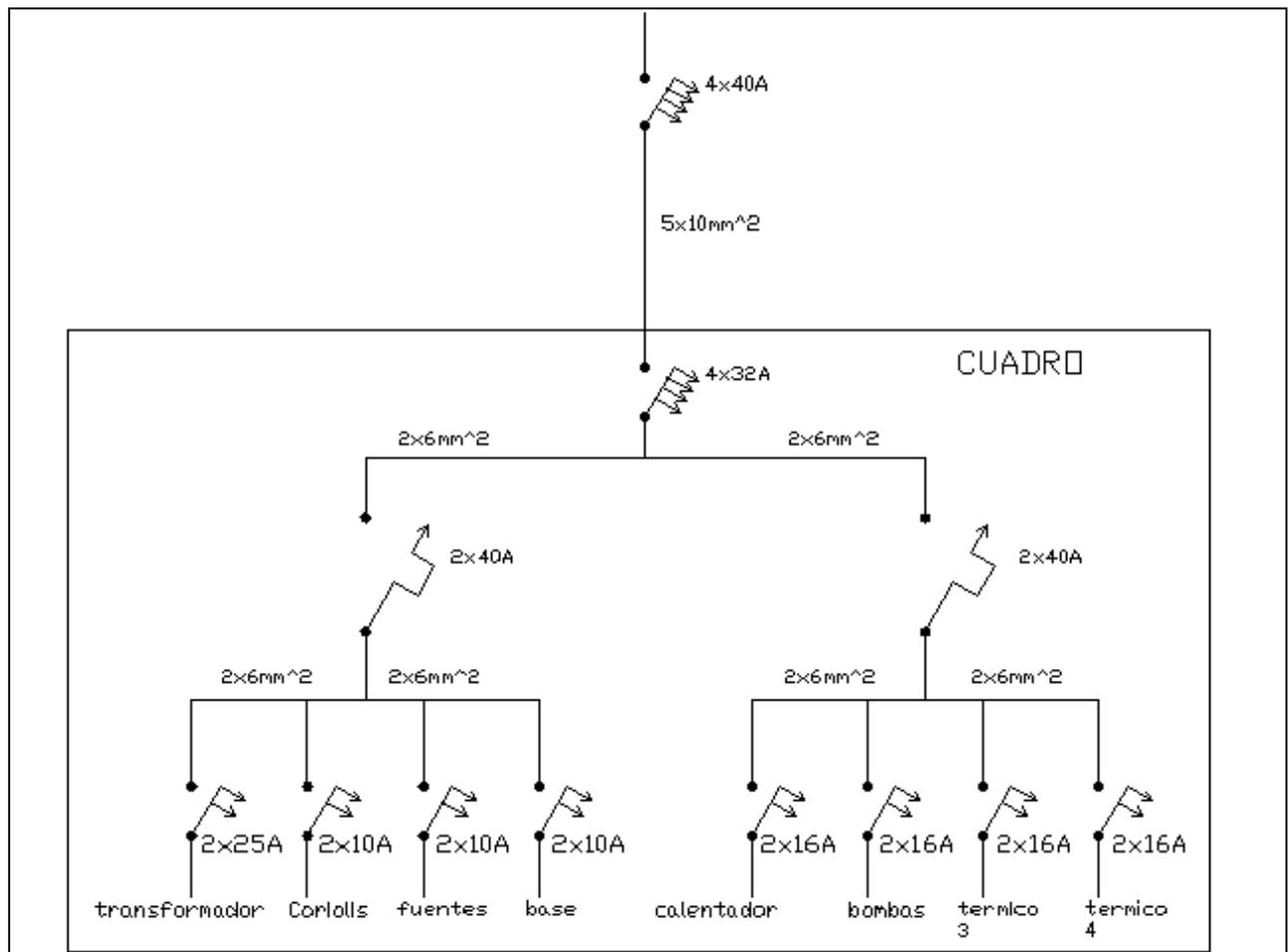


Figura 34: esquema eléctrico de la instalación.

2.1.5 Cálculo del volumen de refrigerante y del depósito

En primer lugar se calcula el volumen de la instalación en los tramos de conductos y en los diferentes aparatos. Ver la figura 2.

A continuación en la tabla 43 se muestran la longitud de los conductos.

Tramos auxiliares para conectar los sensores de presión.	2,05
Sección de ensayo al intercambiador: MN	0,73
Intercambiador al depósito AB	0,33
Depósito a la bomba: CD	1,34
Bomba al regulador de caudal: EF	0,08
Regulador de caudal a coriolis: GH	0,35
Coriolis a precalentador: IJ	0,59
Precalentador a sección de ensayo: KL	0,7
longitud total (m)	6,165

Tabla 43: longitud de los tramos de tubería.

A continuación se muestran en la tabla 44, el volumen de los instrumentos y el volumen total de la instalación en litros.

	Longitud m	Sección mm ²	Volumen litros
Longitud de conducto de ensayo (m):	1,5	22,06	0,03309
Longitud de conducto máxima (m):	6,165	28,2744	0,174312
Volumen total en los conductos		TOTAL	0,21

Volumen del intercambiador			0,57
Volumen de la bomba			0,00182
Volumen del regulador	0,05	0,000079	0,003927
Volumen del coriolis	0,25	0,002827	0,70686
Volumen del precalentador	1,1	0,00694	4,3277
Total			5,817724

Tabla 44: volumen de refrigerante de la instalación.

Para el volumen del precalentador se supone un tubo de 110cm x 7,62 cm de diámetro que supone un volumen de 5,016416 litros al que se le restan las tres resistencias interiores de 1,207cm de diámetro por 100,33 cm de longitud, de tramo doble, de ida y vuelta.

$$V_i = \frac{L_c * \pi D_c^2}{4} - \frac{2 * 3 * L_t * \pi D_t^2}{4} = \frac{11 * \pi * 0,762^2}{4} l - \frac{2 * 3 * 10,033 * \pi * 0,1207^2}{4} l = 5,0164 l - 0,6887 l = 4,3277 l$$

Donde V_i es el volumen total en litros, L_c es la longitud de carcasa en dm, D_c es el diámetro interior de la carcasa en dm, L_t es la longitud de los tubos en dm, D_t es el diámetro de los tubos en dm.

Para el volumen del coriolis se ha supuesto una longitud de 25cm con un diámetro de 6mm.

Para el volumen del regulador se ha supuesto una longitud de 0,05m y un diámetro de 1cm.

A continuación se muestra la tabla 45, obtenida con el programa **Refprop** que nos indica las propiedades de los diferentes refrigerantes.

Para el cálculo de la masa total de refrigerante utilizamos el volumen total de la instalación y el volumen del depósito, que es de 15 litros, pero como se quiere que se llene de líquido hasta 1/3 del volumen total, se saca el volumen sumando 1/3 de 15 litros más los 5,817 litros de la instalación lo que da un total de 10,8177 l de líquido en un total de 20,8177 l de volumen total de la instalación.

El volumen restante del depósito se llenará con 10 l vapor pero esa masa es despreciable a la hora de los cálculos.

R410A						
Temp [C]	Pressure (L) [MPa]	Pressure (V) [MPa]	Volume (L) [m ³ /kg]	Volume (V) [m ³ /kg]	Int Energy (L) [kJ/kg]	Int Energy (V) [kJ/kg]
-15	0,4815	0,4802	0,0008	0,0543	50,63	262,6
0	0,7991	0,7967	0,0009	0,0328	72,48	267,9
15	1,254	1,251	0,0009	0,0206	95,25	272,2
30	1,882	1,877	0,001	0,0131	119,3	274,8
45	2,724	2,717	0,0011	0,0084	145,4	274,7
60	3,832	3,825	0,0012	0,005	175,8	268,4
R407C						

Temp [C]	Pressure (L) [MPa]	Pressure (V) [MPa]	Volume (L) [m ³ /kg]	Volume (V) [m ³ /kg]	Int Energy (L) [kJ/kg]	Int Energy (V) [kJ/kg]
-15	0,3386	0,2637	0,0008	0,0871	38,03	237,3
0	0,5678	0,461	0,0008	0,0508	58,63	244,5
15	0,8986	0,7554	0,0009	0,0311	79,93	251,3
30	1,356	1,175	0,0009	0,0197	102,1	257,2
45	1,967	1,751	0,001	0,0127	125,6	261,9
60	2,763	2,524	0,0011	0,0082	151	264,2
R404A						
Temp [C]	Pressure (L) [MPa]	Pressure (V) [MPa]	Volume (L) [m ³ /kg]	Volume (V) [m ³ /kg]	Int Energy (L) [kJ/kg]	Int Energy (V) [kJ/kg]
-15	0,3721	0,3641	0,0008	0,0539	40	198,4
0	0,6146	0,6042	0,0009	0,0327	60,08	206,2
15	0,9599	0,9473	0,0009	0,0206	81,03	213,4
30	1,433	1,419	0,001	0,0132	103,1	219,7
45	2,063	2,047	0,0011	0,0085	126,9	224,3
60	2,885	2,871	0,0012	0,0052	154	224,8
CO2						
Temp [C]	Pressure [MPa]	Volume (L) [m ³ /kg]	Volume (V) [m ³ /kg]	Int Energy (L) [kJ/kg]	Int Energy (V) [kJ/kg]	
-15	2,288	0,001	0,0165	-36,58	198,9	
0	3,481	0,0011	0,0103	-3,751	195,8	
15	5,081	0,0012	0,0063	33,91	186,2	
30	7,205	0,0017	0,0029	92,96	146,9	
Propano						
Temp [C]	Pressure [MPa]	Volume (L) [m ³ /kg]	Volume (V) [m ³ /kg]	Int Energy (L) [kJ/kg]	Int Energy (V) [kJ/kg]	
-15	0,2915	0,0018	0,1537	62,46	412,5	
0	0,4743	0,0019	0,0965	98,98	428,6	
15	0,7313	0,002	0,0632	137,1	444,4	
30	1,079	0,0021	0,0426	177,1	459,6	
45	1,534	0,0022	0,0292	219,3	473,5	
60	2,116	0,0023	0,0202	264,5	485,3	
R134a						
Temp [C]	Pressure [MPa]	Volume (L) [m ³ /kg]	Volume (V) [m ³ /kg]	Int Energy (L) [kJ/kg]	Int Energy (V) [kJ/kg]	
-15	0,1639	0,0007	0,1207	14,21	204	
0	0,2928	0,0008	0,0693	33,96	212,5	
15	0,4884	0,0008	0,0421	54,28	220,7	
30	0,7702	0,0008	0,0266	75,26	228,5	

45	1,16	0,0009	0,0173	97,1	235,6
60	1,682	0,001	0,0114	120,1	241,6
R22					
Temp [C]	Pressure [MPa]	Volume (L) [m ³ /kg]	Volume (V) [m ³ /kg]	Int Energy (L) [kJ/kg]	Int Energy (V) [kJ/kg]
-15	0,2962	0,0008	0,0775	28,47	222,2
0	0,498	0,0008	0,0471	45,61	227,6
15	0,7893	0,0008	0,03	63,28	232,5
30	1,192	0,0009	0,0197	81,6	236,8
45	1,729	0,0009	0,0133	100,8	240
60	2,427	0,001	0,009	121,3	241,8

Tabla 45: propiedades de los refrigerantes obtenidas con el software **Refprop**.

Para calcular la masa de refrigerante a meter se utiliza la ecuación 19.

$$m_r = \frac{V_l}{v_l} \quad 19.$$

Con m_r siendo la masa de refrigerante a meter en kg, V_l el volumen de líquido de la instalación, $0,0108177 \text{ m}^3$ y con v_l el volumen específico del refrigerante líquido en las condiciones más desfavorables, siendo estas condiciones las que dan un volumen específico menor, en m^3/kg , ver tabla 45.

De manera que utilizando la ecuación 19 y la tabla 45 para el volumen específico de los refrigerantes las masas de refrigerante a meter en la instalación vienen dadas en la tabla 46 a continuación.

Refrigerante	R410A, R407C, R404A	CO ₂	Propano	R134A	R22
Masa (Kg)	13,36	10,93	5,94	14,62	14,42

Tabla 46: masa de refrigerantes a inyectar.

En el caso de los refrigerantes R410A, R407C, R404A, las cantidades que venden son de 12 Kg de refrigerante, y es necesario comprobar si con esta masa de refrigerante es suficiente para asegurar siempre que el depósito tenga líquido. Para ello se calculará el volumen de líquido en la

instalación y comprobará que está por encima de $5,817724 \text{ l}$ para asegurar que en el depósito siempre hay líquido.

El volumen de líquido de la instalación se calcula mediante la ecuación 20 de la siguiente manera.

$$V_l = v_l(1-x)m_t * 1000 \quad 20.$$

Siendo V_l el volumen de líquido en la instalación en l, x el título de vapor, y m_t la masa total de refrigerante inyectada en la instalación.

El título de vapor se calcula interpolando valores de volúmenes específicos con títulos de vapor, con la ecuación 21 y los datos de la tabla 45 y la tabla 47 para diferentes temperaturas y presiones.

v	Título de vapor
v _l	0
v _g	1
v _t	x

Tabla 47: interpolación lineal del título de vapor.

Con v_l volumen específico del líquido, v_g volumen específico del gas, v_t volumen específico total todos en m³/Kg.

Para el cálculo del volumen específico total se utiliza:

$$v_t = \frac{V_t}{m_t}$$

$$x = \frac{(v_t - v_l)}{(v_g - v_l)} \quad 21.$$

Así que operando el volumen de líquido queda según la tabla 48.

R410A					
Temp	Pressure (L)	Volume (L)	Volume (V)	título	Volumen de líquido
[C]	[MPa]	[m ³ /kg]	[m ³ /kg]		litros
-15	0,4815	0,0008	0,0543	0,0017	9,7034
0	0,7991	0,0009	0,0328	0,0016	10,1836
15	1,254	0,0009	0,0206	0,0001	10,7992
30	1,882	0,001	0,0131	-0,0056	11,7055
45	2,724	0,0011	0,0084	-0,0217	12,9958
60	3,832	0,0012	0,005	-0,0834	15,8607
R407C					
Temp	Pressure (L)	Volume (L)	Volume (V)	título	Volumen de líquido
[C]	[MPa]	[m ³ /kg]	[m ³ /kg]		litros
-15	0,3386	0,0008	0,0871	0,0014	9,3468
0	0,5678	0,0008	0,0508	0,0018	9,7022
15	0,8986	0,0009	0,0311	0,0017	10,1826
30	1,356	0,0009	0,0197	0,0001	10,7992
45	1,967	0,001	0,0127	-0,005	11,5774
60	2,763	0,0011	0,0082	-0,0209	12,8632
R404A					
Temp	Pressure (L)	Volume (L)	Volume (V)	título	Volumen de líquido
[C]	[MPa]	[m ³ /kg]	[m ³ /kg]		litros
-15	0,3721	0,0008	0,0539	0,0013	9,9466
0	0,6146	0,0009	0,0327	0,001	10,4297
15	0,9599	0,0009	0,0206	-0,0009	11,0504
30	1,433	0,001	0,0132	-0,0064	11,8354
45	2,063	0,0011	0,0085	-0,0227	13,1308
60	2,885	0,0012	0,0052	-0,0828	15,98

Tabla 48blog: comprobación del nivel mínimo de líquido en el depósito.

Como se puede observar no hay ningún valor de volumen de líquido menor de 5,817724 ni siquiera que se le iguale. También es de resaltar los resultados del título de vapor negativos, en este caso tendremos títulos de vapor igual a cero y todo líquido subenfriado.

2.1.6 Cálculo de la caída de presión y dimensionado de la bomba Micropump

En primer lugar hay que comprobar que el régimen es laminar, para ello hay que calcular el número de Reinold Re y si este es igual o menor a 2300, el régimen es laminar, en caso contrario es turbulento.

Para calcular la caída de presión y teniendo en cuenta que tenemos diversos refrigerantes con densidades cercanas a las del agua y viscosidades dinámicas en torno a la viscosidad del agua, se usarán las propiedades del agua para el cálculo de este apartado.

$$Re = \frac{UD\rho}{\mu} = \frac{0,36 \text{ ms}^{-1} * 6 * 10^{-3} \text{ m} * 1000 \text{ kg/m}^3}{1 * 10^{-3} \text{ Pa*s}} = 2160 < 2300$$

Siendo U , la velocidad del fluido en m/s, D el diámetro interior de la tubería en m, ρ la densidad del agua en kg/m^3 y μ la viscosidad dinámica del agua en Pa*s . Para sacar los valores ver la tabla 23 de la página 47.

Por lo tanto el régimen es laminar.

Es necesario calcular la caída de presión en el tramo recto de tubería, en los accesorios y en los diferentes aparatos de medida y aparatos auxiliares.

En primer lugar la caída de presión en el tramo recto de tubería con la ecuación 22.

$$\Delta P = \frac{\lambda_D * L * U^2 * g * \rho}{D * 2 * g} \quad 22.$$

Siendo ΔP la caída de presión en el tramo recto en Pa, $g=9,81 \text{ m/s}^2$ la constante gravitatoria en la tierra, $L=4,15 \text{ m}$ la longitud de tubería recta y λ_D la lambda de Darcy, que en el caso de régimen laminar viene dada como:

$$\lambda_D = \frac{64}{Re} = \frac{64}{2160} = 0,0296$$

$$\Delta P = \frac{\lambda_D * L * U^2 * g * \rho}{D * 2 * g} = 1326,6 \text{ Pa}$$

Para el cálculo de la pérdida de carga en accesorios se utiliza la ecuación 23.

$$\Delta P_a = \sum (K) * \rho * U^2 / 2 \quad 23.$$

Siendo ΔP_{acc} la caída de presión en los accesorios y K la constante de pérdidas de cada accesorio, indicada en la tabla 49.

Accesorio	Cantidad (N)	K	$K_{total}=N * K$
Codo	23	0,5	11,5
Entrada/salida Depósito	4	1	4
T funcionando como codo	5	1,5	7,5
T flujo recto	3	0,1	0,3
Cruz flujo recto	3	0,2	0,6
ΣK			23,9

Tabla 49: contante de pérdidas en accesorios K.

$$\Delta P_{acc} = \sum (K) * \rho * U^2 / 2 = 23,9 * 1000 * 0,36^2 / 2 \text{ Pa} = 1548,72 \text{ Pa}$$

Por último queda por evaluar la pérdida de carga en los diferentes aparatos del circuito. Para ello se procederá a calcular en primer lugar el del intercambiador.

Se calcula el gasto másico G y se compara con el gasto másico que viene indicado en las especificaciones de 965 Pa cuando el gasto másico es de 56,06 kg/h.

$$G = UA\rho = U\rho \frac{\pi * D^2}{4} = 0,36 * 1000 * \frac{\pi * (0,36 * 10^{-3})^2}{4} = 0,010 \text{ kg/s}$$

Multiplicando por 3600 tenemos el gasto en kg/h.

$$G = 36,64 \text{ kg/h}$$

Con una regla de tres cuya resolución es trivial se obtiene que la pérdida de carga es de: 631,22 Pa.

Tanto en el depósito como en el precalentador no habrá pérdida de carga (ya que el precalentador se considera un depósito por su elevado volumen). Se tendrá sin embargo una pérdida de carga en la entrada y salida que ya se ha tenido en cuenta anteriormente.

El coriolis tendrá una pérdida de carga similar a la que producen cuatro codos de tubería, por lo que ya se ha tenido en cuenta en el cálculo de las pérdidas en accesorios.

Teniendo en cuenta la bibliografía y la figura 35, la caída de presión máxima en los tubos de ensayo es de 100000Pa.

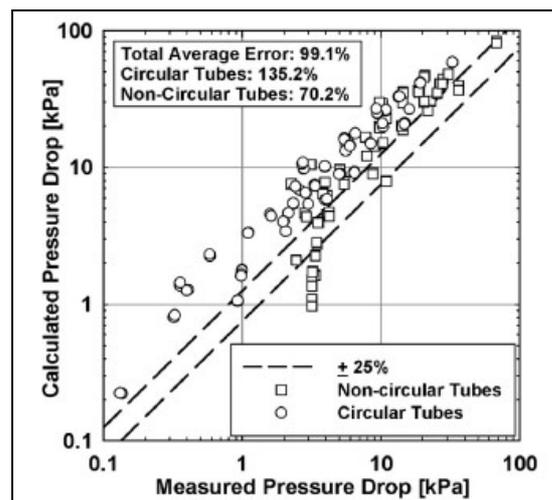


Figura 35: caída de presión máxima en los tubos de ensayo.

La caída de presión en la válvula reguladora será despreciable cuando la válvula esté abierta.

Así quedan los datos de los aparatos recogidos en la tabla 50, a continuación.

Aparato	Perdida de carga en Pa
Intercambiador	631,22
Depósito	Sin perdida.
Pre calentador	Se supone como un depósito por su dimensión.
Coriolis	Se iguala a 4 codos que ya se han tenido en cuenta.
Tubo ensayo	100000
$\Delta P_{\text{aparatos}}$	100631,22

Tabla 50: pérdida de carga en los aparatos.

La caída de presión total que tiene que vencer la bomba es:

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P + \Delta P_{\text{acc}} + \Delta P_{\text{aparatos}} = (1326,6 + 1548,72 + 100631,22) \text{ Pa} = 103506,54 \text{ Pa}$$

Teniendo el caudal de 0,61 l/min y la caída de presión a vencer de 103506,54 Pa o 1,03 bar, se seleccionó la bomba Micropump GC-M25, que aunque está en el límite por debajo es la menor que se ha encontrado, con un variador de frecuencia que como se puede observar en la figura 000 de la página 28, para alcanzar el caudal máximo tiene que estar entre 1450 y 1750 rpm.

2.1.7 Cálculo y selección del intercambiador.

Para el cálculo y dimensionado del intercambiador de calor se ha utilizado el programa SSP CBE versión 1.2.31 en inglés de la casa de intercambiadores SWEP.

Los datos que se le introducen son, la potencia de 3,5Kw, la temperatura de condensación de 5 °C un subenfriamiento de 2K, la temperatura de salida del agua (azul) de 2°C y la de entrada de -5°C para tener un salto de 7°C, además ponemos el caudal del refrigerante en 0,01557 Kg/s.

En la figura 36, se muestra un pantallazo del programa donde se observa los datos introducidos y la solución que muestra.

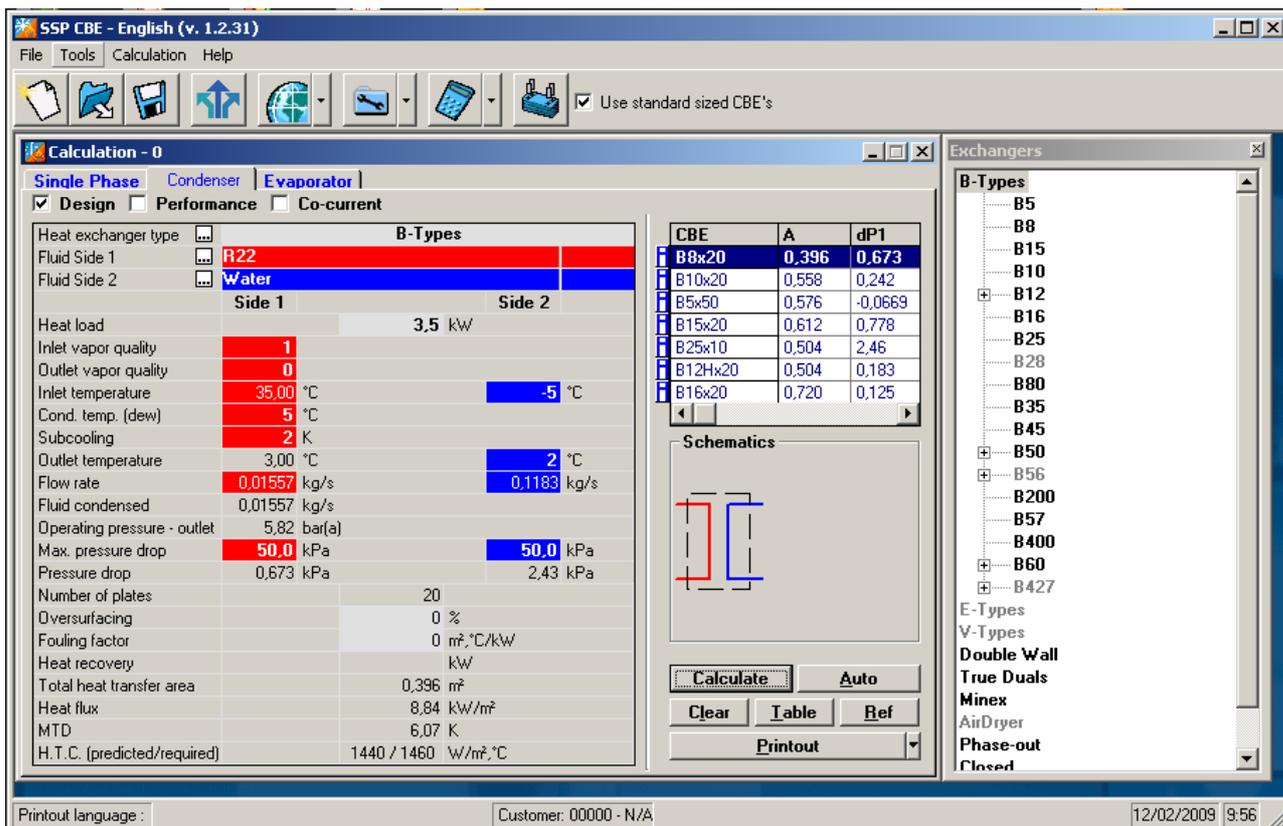


Figura 36: pantallazo del cálculo del intercambiador.

Como se observa en la figura uno de los condensadores es que se se ha elegido, es el condensador B15/20.

2.2 ANEJO 2: CALIBRACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS

2.2.1 Termopares

Para calibrar los termopares tipo T, se ha utilizado un baño calorimétrico o calorímetro y una sonda patrón de temperatura, ambos de precisión similar. Para realizar la calibración se han introducido los termopares en grupos de cinco, en el baño calorimétrico y seleccionado cada una de las temperaturas a registrar.

El procedimiento consiste en seleccionar una temperatura en el baño calorimétrico y una vez estabilizada la temperatura, proceso para el cual se emplean unos 10 min, se registra la temperatura del baño, la de la sonda patrón y la temperatura de los termopares. A continuación se repite el proceso con cada una de las temperaturas. Las medidas se realizan en sentido ascendente y descendente, en un rango de temperaturas en el que aproximadamente se van a mover las sondas en la instalación, desde -20 °C hasta 50 °C.

La temperatura en los termopares se recoge mediante el data logger y el ordenador y se exportan los datos a una hoja de cálculo donde se añade la temperatura de la sonda patrón y el calorímetro, a continuación se ordenan los datos y se saca una recta de calibración por cada termopar.

En las tablas 50, 51, 52, 53 y 54 se muestran los datos recogidos de los diferentes termopares:

T^a teórica (°C)	T^a sonda patrón (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)
-20	-24,5	-22,98	-20,94	-22,24	-21,92	-20,75
-13	-17,6	-15,63	-15,46	-15,93	-16,43	-15,33
-6	-10,6	-9,83	-8,12	-9,99	-9,56	-8,96
1	-3,8	-3,09	-1,56	-2,6	-1,99	-2,03
8	3,1	4,61	4,53	3,76	3,42	4,71
15	10	9,9	11,3	10,54	10,69	11,39
22	16,8	18,01	16,65	17,53	16,05	17,79
29	23,6	24,63	23,75	23,3	24,15	23,41
36	30,6	31,21	29,85	30,43	31,03	29,86
43	37,4	37,42	36,33	37,18	37,67	36,72
50	44,6	44,69	43,6	43,89	43,83	43,71
43	37,6	36,67	36,57	37,19	37,49	37,62
36	30,7	30,99	30,57	30,02	31,6	30,07
29	23,7	23,45	23,93	23,43	23,31	24,01
22	16,8	16,94	16,81	16,12	17,23	17,39
15	10	11,09	11,14	10,25	10,52	11,56
8	3	4,35	3,83	2,74	4,33	3,32
1	-3,8	-3,09	-2,77	-2,38	-1,84	-2,75
-6	-10,6	-8,94	-7,19	-9,79	-8,18	-7,78
-13	-17,6	-15,49	-13,74	-15,55	-16,45	-15,25
-20	-24,5	-22,42	-21,75	-22,08	-21,44	-19,82

Tabla 50: datos de calibración de los termopares 1, 2, 3, 4 y 5.

T^a teórica (°C)	T^a sonda patrón (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	T8 (°C)	T9 (°C)	T10 (°C)
-20	-24,70	-22,55	-23,23	-22,89	-23,62	-21,34
-13	-17,70	-16,97	-16,41	-17,54	-17,35	-15,63
-6	-10,70	-9,29	-8,97	-9,14	-9,51	-9,05
1	-3,80	-2,76	-3,52	-2,76	-2,6	-2,46
8	3,10	4,4	2,84	3,27	3,93	3,97
15	10,00	10,03	10,35	11	10,51	11,9
22	16,80	17,41	17,72	17,77	17,74	17
29	23,70	24,3	24,25	24,15	24,7	24,05
36	30,60	30,52	31,06	31,02	31,48	31,16

T^a teórica (°C)	T^a sonda patrón (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	T8 (°C)	T9 (°C)	T10 (°C)
43	37,60	37,39	37,35	37,57	38,56	37,31
50	44,60	44,27	44,24	44,26	44,47	43,98
43	37,70	37,49	37,48	37,49	37,63	37,09
36	30,60	31,49	30,67	30,63	30,85	30,21
29	23,80	24,69	24,14	23,84	24,38	24,29
22	16,80	17,43	17,91	16,32	16,88	17,99
15	9,90	9,96	9,99	9,59	10,44	10,54
8	3,00	4,02	2,8	4,13	3,6	5,31
1	-3,80	-2,3	-1,97	-3,95	-2,59	-1,54
-6	-10,70	-9,37	-10,64	-10,65	-9,53	-7,83
-13	-17,70	-15,46	-15,76	-16,22	-17,43	-14,73
-20	-24,40	-23,01	-23,09	-22,88	-23,74	-20,89

Tabla 51: datos de calibración de los termopares 6, 7, 8, 9 y 10.

T^a teórica (°C)	T^a sonda patrón (°C)	T11 (°C)	T12 (°C)	T13 (°C)	T14 (°C)	T15 (°C)
-20	-24,50	-22,64	-22,4	-22,28	-23,6	-22
-13	-17,80	-16,73	-16,99	-17,65	-18,05	-16,81
-6	-10,90	-10,25	-9,66	-9,8	-10,23	-9,56
1	-3,90	-3,03	-3,63	-2,37	-3,45	-4,01
8	3,00	2,82	3,06	3,54	3,67	3,28
15	9,80	9,44	10,08	10,46	10,44	11,2
22	16,70	16,23	16,93	16,84	17,39	16,65
29	23,60	23,17	23,24	24,19	24,3	23,54
36	30,50	29,97	30,07	30,37	31,16	30,22
43	37,60	36,91	37,48	37,62	38	37,26
50	44,50	43,55	43,76	45,01	43,97	43,96
43	37,70	37,78	37,25	37,21	38,66	37,73
36	30,70	30,53	30,36	31,24	30,94	30,62
29	23,70	24,25	24,3	23,64	24,92	23,71
22	16,80	17,25	17,91	17,39	16,99	16,78
15	10,00	10,08	9,54	9,57	9,94	11,01
8	3,00	3,24	4,04	3,61	3,51	4,16
1	-4,00	-3,66	-2,24	-2,29	-4,06	-3,21
-6	-10,80	-9,35	-9,11	-8,78	-9,89	-8,83
-13	-17,80	-16,91	-15,55	-15,77	-16,62	-15,45
-20	-24,70	-22,44	-22,82	-23,77	-22,9	-22,87

Tabla 52: datos de calibración de los termopares 11, 12, 13, 14 y 15.

T^a teórica (°C)	T^a sonda patrón (°C)	T16 (°C)	T17 (°C)	T18 (°C)	T19 (°C)	T20 (°C)
-20	-24,6	-22,7	-23,6	-23,23	-22,56	-23,58
-13	-17,8	-16,78	-16,71	-17,88	-16,33	-17,78
-6	-10,8	-8,52	-9,59	-9,57	-10,26	-10,43
1	-3,9	-3,51	-3,12	-3,15	-2,18	-2,3
8	3	4,43	3,64	3,47	3,71	3,63
15	9,8	10,95	10,51	10,55	10,7	10,53
22	16,7	17,39	17,25	17,29	17,34	17,31
29	23,6	24,03	24,17	24,21	24,2	24,24
36	30,4	30,6	30,96	30,96	30,91	31,01

T^a teórica (°C)	T^a sonda patrón (°C)	T16 (°C)	T17 (°C)	T18 (°C)	T19 (°C)	T20 (°C)
43	37,5	37,23	37,83	37,82	37,7	37,86
50	44,6	43,93	44,75	44,77	44,58	44,79
43	37,6	37,35	37,93	37,92	37,82	37,95
36	30,5	30,63	30,96	30,98	30,9	30,98
29	23,6	23,99	24,09	24,09	24,08	24,1
22	16,8	17,58	17,38	17,39	17,44	17,37
15	9,8	10,95	10,43	10,46	10,59	10,42
8	3,1	4,71	3,85	3,85	4,12	3,83
1	-3,8	-1,61	-2,83	-2,8	-2,4	-2,83
-6	-10,7	-8,12	-9,65	-9,52	-9,24	-9,61
-13	-17,6	-14,29	-16,3	-16,11	-15,71	-16,18
-20	-24,5	-20,52	-22,99	-22,74	-22,24	-22,85

Tabla 53: datos de calibración de los termopares 16, 17, 18, 19 y 20.

T^a teórica (°C)	T^a sonda patrón (°C)	T21 (°C)	T22 (°C)	T23 (°C)
-20	-24,5	-23,46	-23,83	-23,09
-13	-17,8	-16,54	-16,31	-16,96
-6	-10,9	-10,19	-10,3	-9,75
1	-4	-4,34	-3,04	-2,04
8	2,9	3,8	4,43	4,3
15	9,9	10,89	10,56	10,84
22	16,7	17,24	16,87	18,11
29	23,6	23,57	24,7	23,71
36	30,5	30,59	31,49	30,74
43	37,5	38,38	37,28	37,87
50	44,5	44,32	44,73	43,88
43	37,6	38,43	38,77	38,1
36	30,6	30,75	31,16	30,93
29	23,6	24,01	24,98	24,47
22	16,8	16,56	17,67	17,1
15	9,8	10,6	10,46	10,5
8	3,1	4,04	2,87	4,22
1	-3,8	-3,38	-2,98	-3,58
-6	-10,7	-10,26	-9,2	-8,74

T ^a teórica (°C)	T ^a sonda patrón (°C)	T21 (°C)	T22 (°C)	T23 (°C)
-13	-17,6	-17,71	-15,84	-15,52
-20	-24,6	-23,83	-23,72	-21,86

Tabla 54: datos de calibración de los termopares 21, 22, 23.

En las figuras desde la 33, hasta la 42, vienen recogidas las diferentes rectas de calibración de cada termopar.

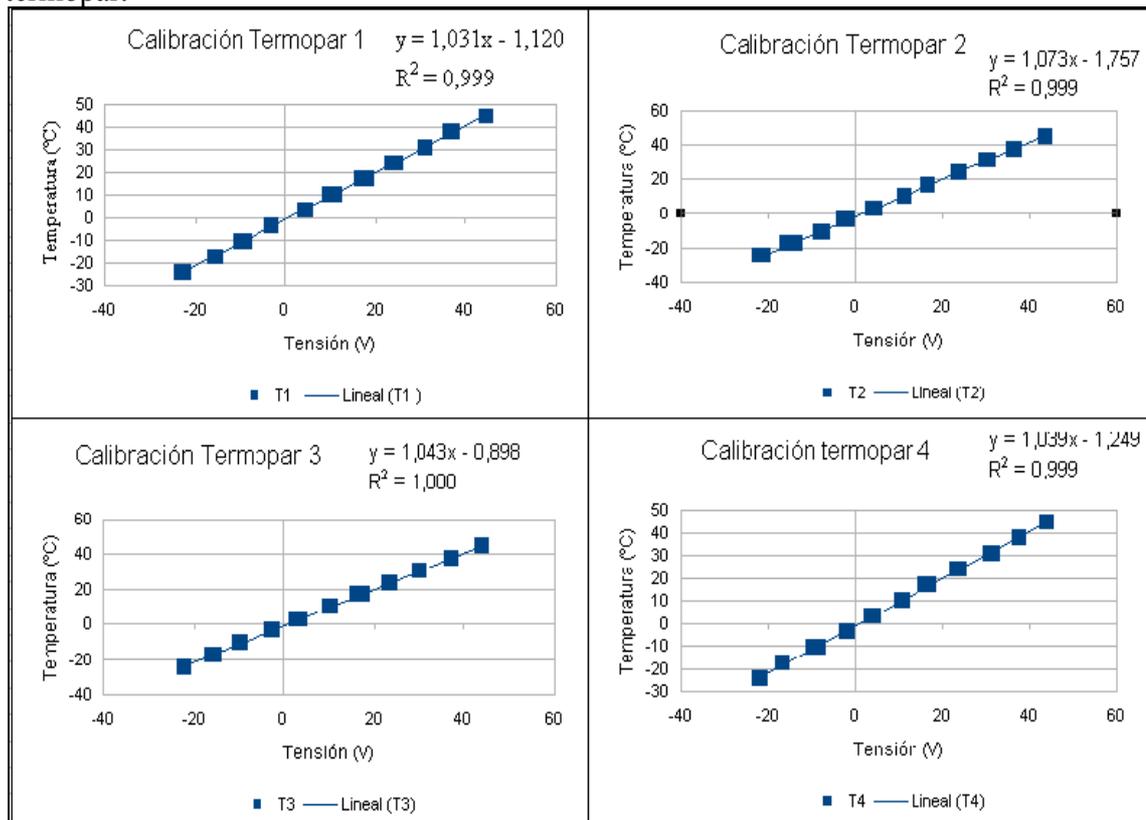


Figura 37:rectas de calibración de los termopares 1, 2, 3 y 4.

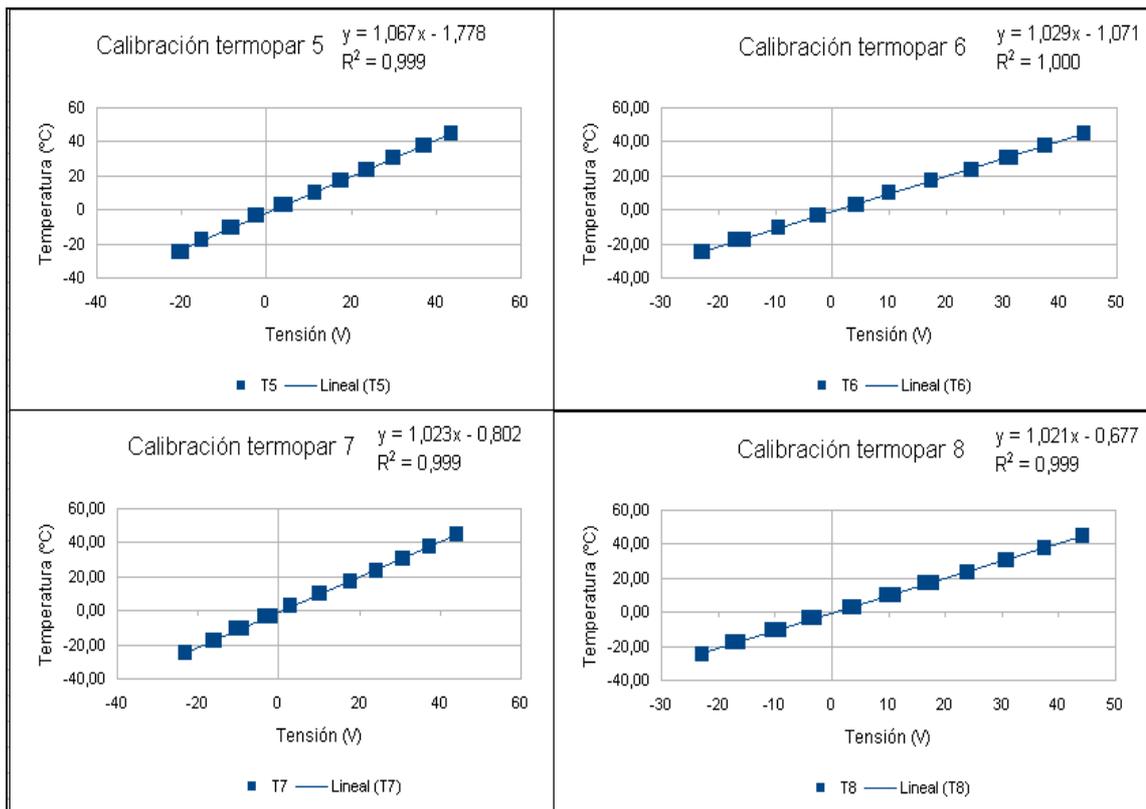


Figura 38:rectas de calibración de los termopares 5, 6, 7 y 8.

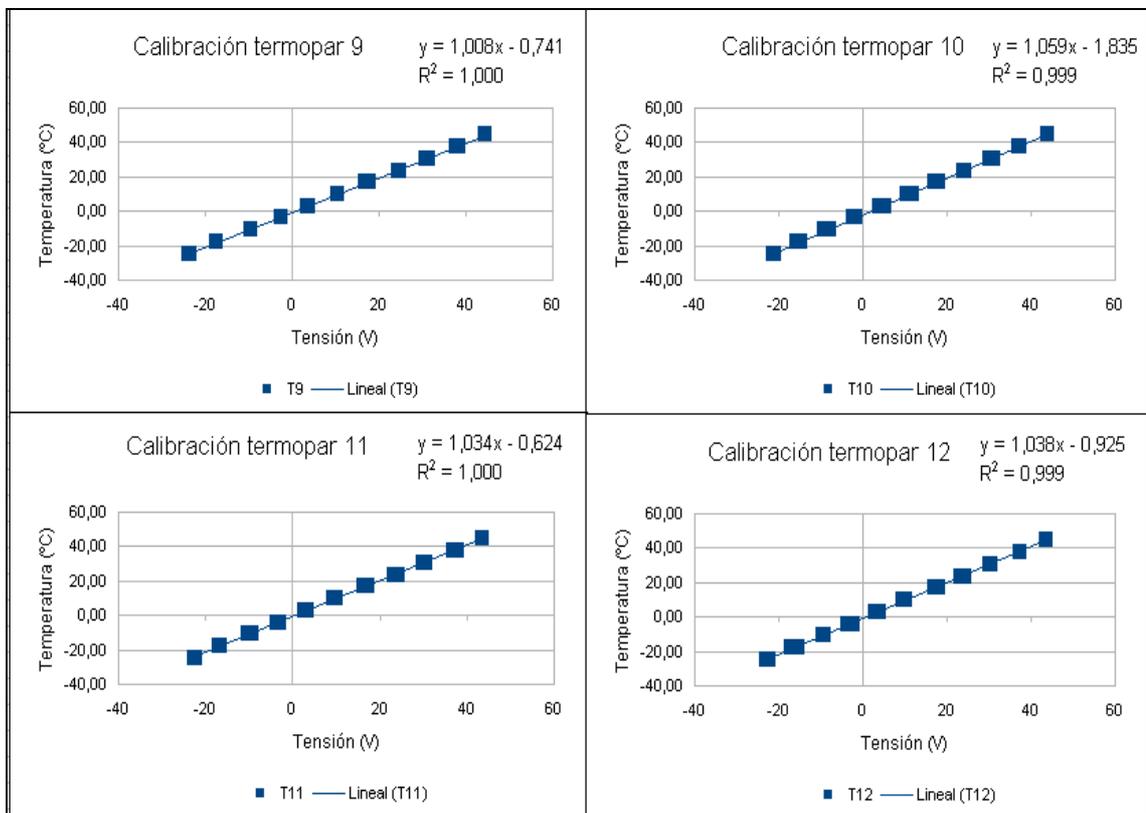


Figura 39:rectas de calibración de los termopares 9, 10, 11 y 12.

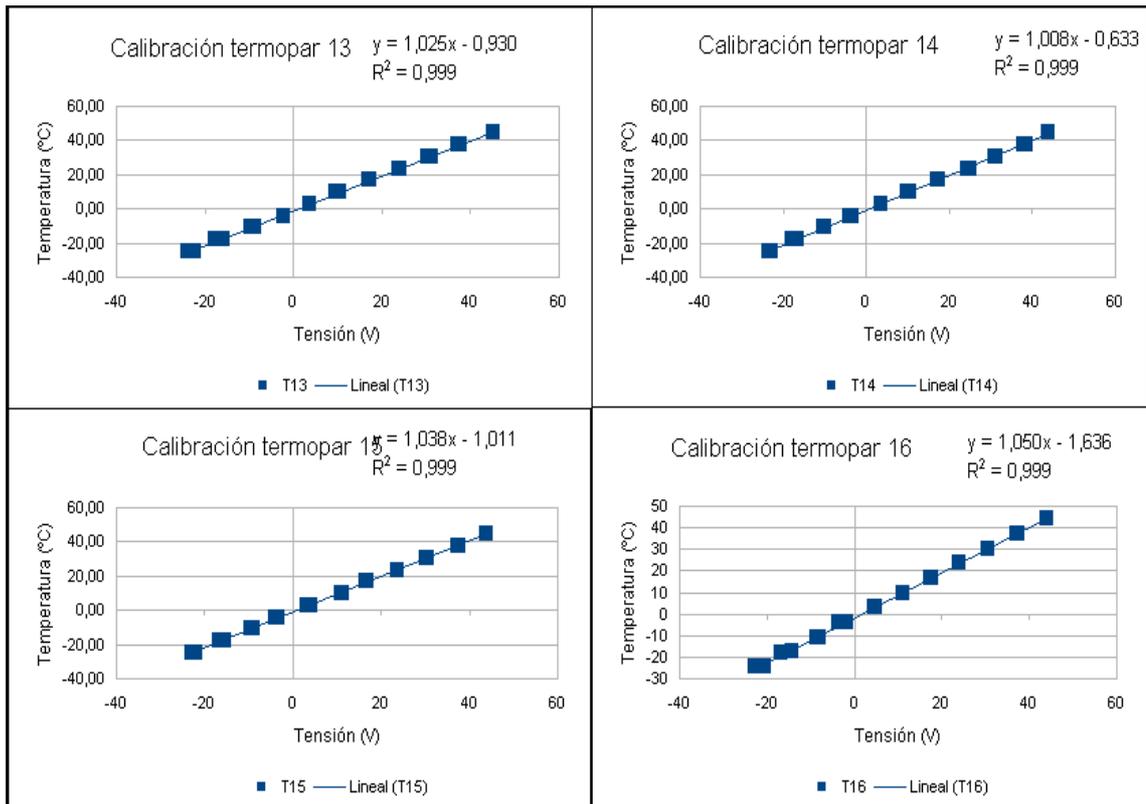


Figura 40:rectas de calibración de los termopares 13, 14, 15 y 16.

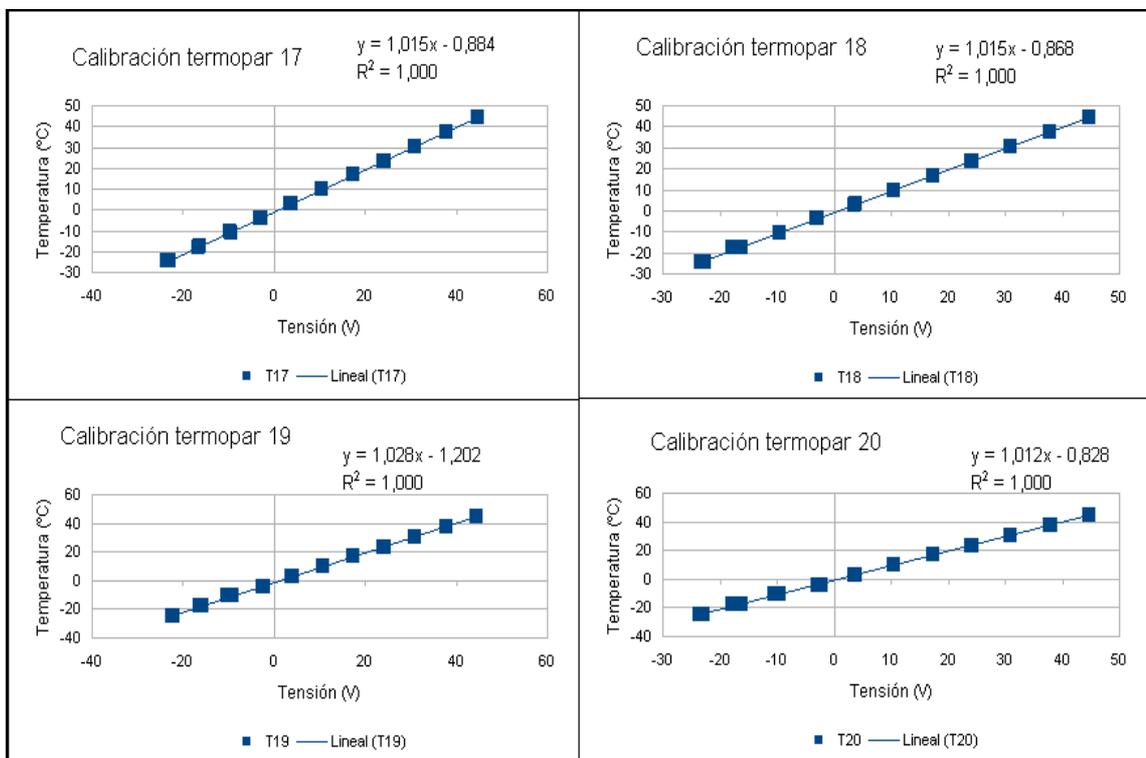


Figura 41: rectas de calibración de los termopares 17, 18, 19 y 20.

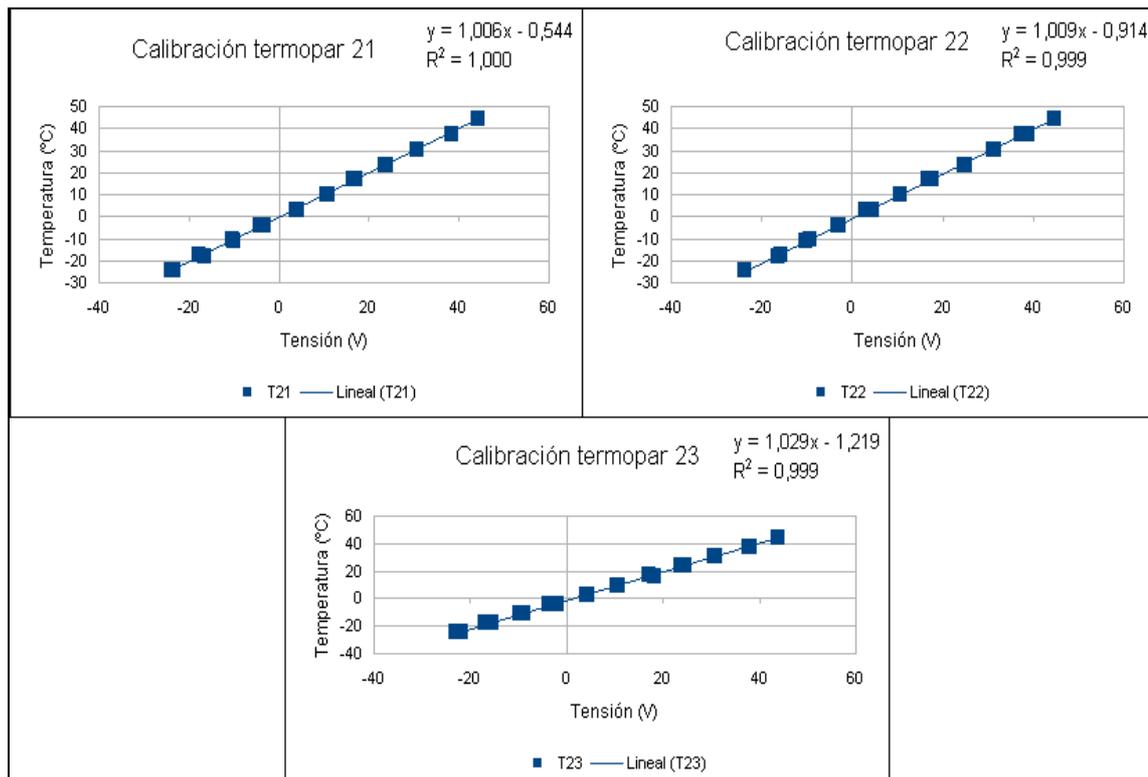


Figura 42:rectas de calibración de los termopares 21, 22 y 23.

2.2.2 Sensor de presión diferencial

Los valores de intensidad medidos en función de la presión a la que se ha sometido el manómetro vienen dados por la tabla 55 de valores siguientes:

P (mbar)	I (mA)
0	4
50,1	6,1
50	6
105,1	8,3
104,7	8,3
150	10,2
200	12,3
250	14,4
249	14,3
299	16,4
350	18,5
345	18,3
400	20,6
450	22,7
500	24,7
548	26,6
550	26,6
513	25,3
450	22,7
391	20,2
350	18,5
300	16,4
248	14,3

251	14,4
201	12,3
149	10,2
103,8	8,3
50	6,1
-1,1	3,9
Saturación	26,7

Tabla 55: Valores de calibración del sensor.

La recta de calibración calculada con la hoja de cálculo viene definida con la gráfica y la recta de la figura 43.

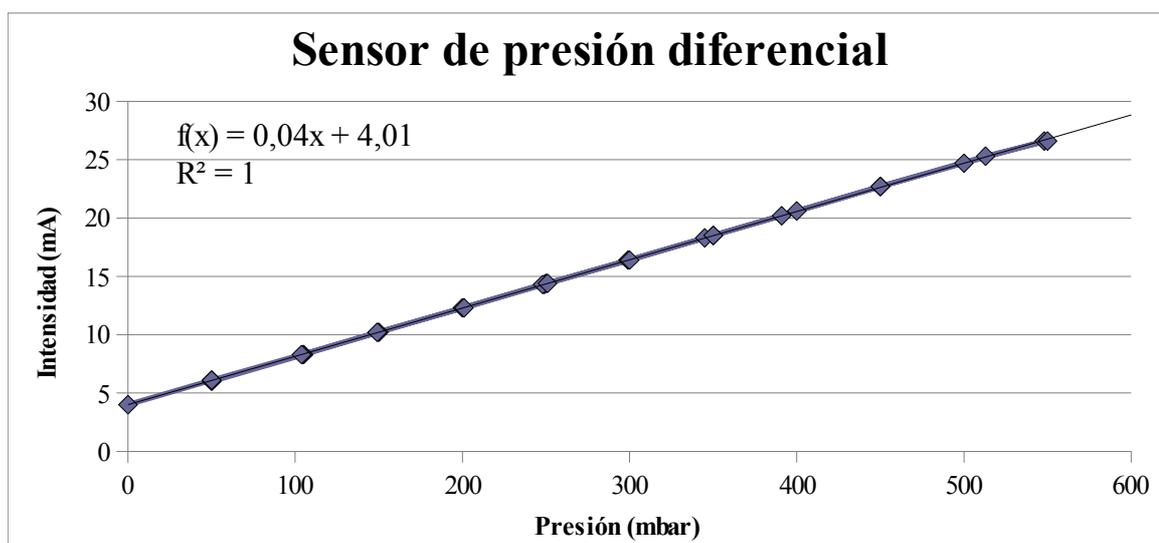


Figura 43: recta de calibración del sensor de presión diferencial.

Por tanto la recta de calibración a utilizar sería la siguiente:

$$I = 0,04 P + 4,01$$

2.2.3 Caudalímetro de Coriolis Emerson

El caudalímetro ya viene de casa calibrado, y el certificado de calibración es el siguiente:

Datos de la calibración

Calibrado el 7 de agosto de 2007

Comprobaciones funcionales:

Las resistencias de la bobina excitadora, bobina Pickoff y PT100 de temperatura se midieron en su rango de especificaciones.

El tubo de la frecuencia, ganancia de la unidad, un integrador de señal cero estabilidad se midieron en su rango de especificaciones

Las señales medidas estaban en concordancia con las de su rango de especificaciones.

Calibración:

El sensor ha recibido 4 puntos de calibración de acuerdo con su orden.

El agua de calibración indica que el sensor funciona conforme a la especificación.

Transmisor General:

Se ha realizado una función de prueba, todos los productos han sido probados y ajustados en caso necesario.

Después de una amplia investigación no se encontraron defectos. El transmisor funciona en conformidad con el pliego de condiciones.

Revisados:

Las resistencias de el ventilador conductor, los ventiladores lectores de medida y los elementos PT100 de temperatura fueron medidos en sus especificaciones correctas.

2.3 ANEJO 3: CONEXIÓN DE LOS SENSORES DE PRESIÓN

Los sensores de presión o transductores de presión tienen tres tipos de señales eléctricas de salida; voltios, milivoltios y miliamperios.

Los transductores con salidas en milivoltios se emplean en laboratorios, por su bajo coste, sus dimensiones reducidas y porque requieren una fuente de alimentación y tienen la desventaja que su rango de aplicación es para pequeñas distancias (menos de 60 metros) y que además son sensibles a interferencias de naturaleza eléctrica.

Los transductores con salidas amplificadas en tensión se utilizan en industria ligera y en interfaces de ordenadores, son más caros que los anteriores, más grandes y necesitan un acondicionador de señal aunque se pueden usar para longitudes medias y tienen mayor resistencia a las interferencias eléctricas.

Los transductores con salida en intensidad se utilizan en industria pesada y en procesos de control, en el caso de este proyecto son los que se están utilizando ya que servirán para el proceso de control. Estos transductores necesitan un acondicionador de señal, lo que provoca que sean los más caros y los de mayor dimensión aunque tienen las ventajas de que no son susceptibles a las interferencias eléctricas y son muy efectivos en grandes distancias.

La forma de conexión de estos transductores es como la que se observa a continuación en la figura 44.

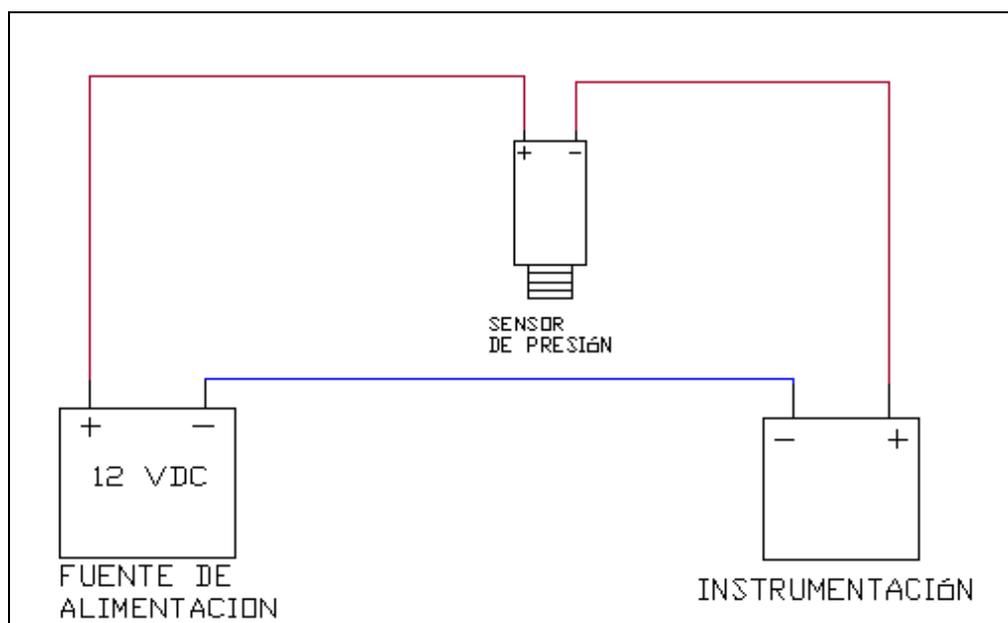


Figura 44: esquema conexión de los transductores de presión.

2.3.1 Instalación de un transductor a varios instrumentos captadores de señal.

Una de las ventajas de usar una señal en intensidad es que se puede usar una red multi-instrumental y se puede monitorizar un proceso productivo y controlarlo desde diferentes puestos de trabajo. Se puede calibrar los instrumentos de medida por la red, con el único inconveniente de que el número de instrumentación a instalar depende de la cantidad de tensión que debe suministrar la fuente de alimentación a todo el sistema de red, siendo la tensión mínima la que se determina con la ley de Ohm. Su conexión es como la que se muestra seguidamente en la figura 45:

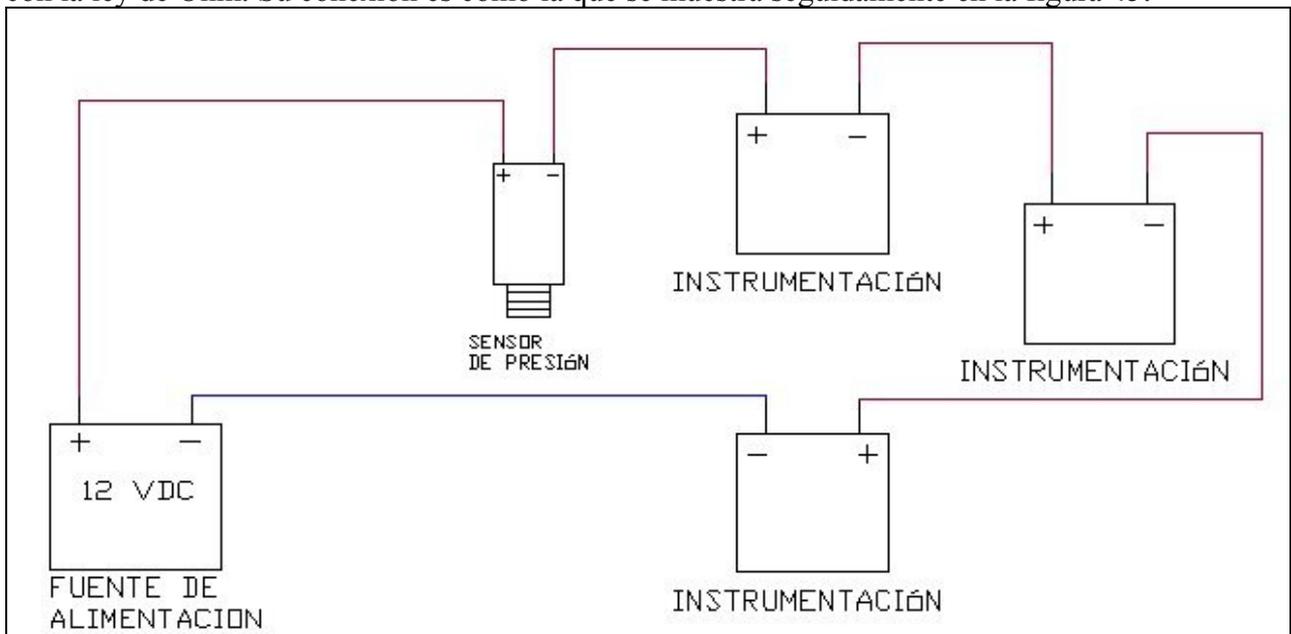


Figura 45: esquema de conexión de un transductor de presión a diferentes instrumentos.

2.3.2 Instalación de múltiples transductores de presión a un captador de señal.

Para conectar múltiples transductores de presión se ha empleado un explorador de señal (data-logger HP 34970A, junto con dos módulos multiplexores 34901A) es necesario además que el explorador de señal permita el empleo de diferentes rangos de medida para cada canal como es el caso, y además el explorador utilizado permite la adquisición de señales e mV, V o mA. Por ello este tipo de exploradores permiten el empleo de diferentes señales de salida de los transductores, a la vez que la medida de distintos rangos de presión, todo ello en la misma instrumentación. El esquema de conexión de la instalación que ocupa este proyecto es el que se muestra en la figura 46.

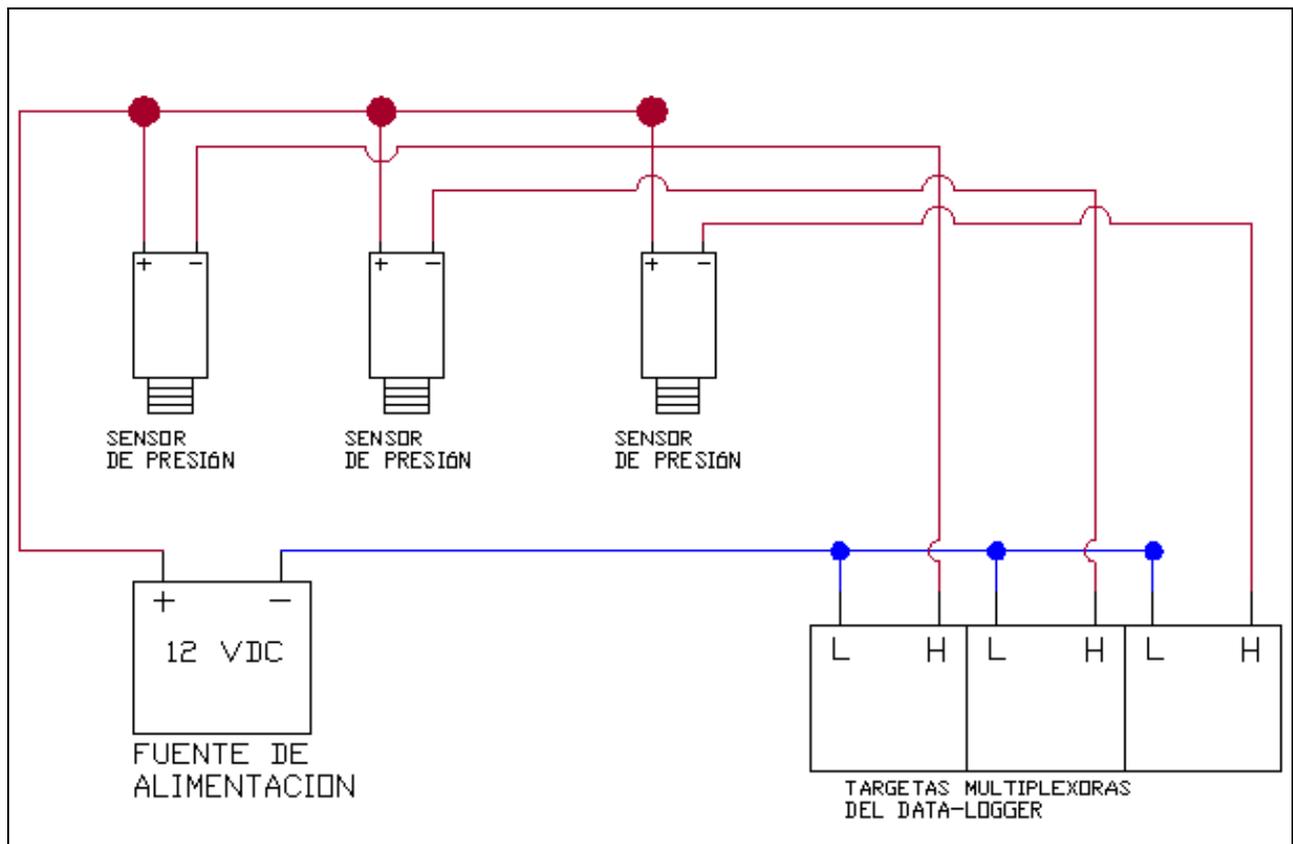


Figura 46: esquema de conexión de los sensores de presión en la instalación.

2.3.3 Determinación del número de transductores que pueden ser excitados por una misma fuente de alimentación.

La suma de las intensidades de cada transductor conectado, no debe exceder la intensidad de la fuente de alimentación.

2.4 ANEJO 4: CANALES ADICIONALES DE LAS TARJETAS MULTIPLEXORAS.

En la tabla 56 se muestran los canales de las tarjetas multiplexoras con los canales más importantes conectados, los canales que no se indican llevan conectados los termopares tipo T.

Canal	Aparato
111	PT100 en la entrada al microcanal
112	PT100 en la salida del microcanal
121	Sensor de presión diferencial
122	Sensor de presión del depósito (con display)
221	Caudalímetro coriolis
222	Sensor de presión absoluta (sin display)

Tabla 56: canales de la tarjeta multiplexora.

DOCUMENTO
Nº 2:
PRESUPUESTO

José Francisco
Marín
Aroca

UPCT ETSII	Presupuesto para la instalación para el estudio de procesos de evaporación en microcanales			José Fco Marín Aroca Murcia a 23/04/2009	
				Revisión(2)	Página 1 de 11
Artículo	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total	
Intercambiador de placas SWEP	Condensador B15/20 1P-SC- S2x22U+2x1/2" DE 3500kW	1	216,3	216,3	
Depósito	Depósito intermedio de acumulación de refrigerante L25795 (Gc.M25.JDS.8 REV A Y) número de serie 1351308	1	7010,34	7010,34	
Bomba	Incluye: -Motor rev a Y L257997 número de serie 0000001 -Kit adaptador IEC80- B14	1	3822	3822	
Bomba Gundfos	Grundfos, Cod: 52042010 UP 20-45 N 150 230V, 50Hz, 3µF, P/N: 52042010 IP 42; TF 110 ColanI	1	526,9-30%	368,83	
Válvula reguladora de caudal	Válvula de la marca Vickers FN-4, 20 Series	1	150	150	
Caudalímetro	Micro Morion Corioles ELITE sensor; 1/4"; 316L stainless steel CMF025M300NQQBNS ZZZ	1	3807	3807	
Calibración de caudalímetro de Coriolis	Recalibración, incluido sistema de analisis (disponible, únicamente en Europa) LH000500	1	867,63	867,63	
Calentador	Precalentador eléctrico de la marca Watlow	1	1705,93	1705,93	
Carcasa	Carcasa del precalentador eléctrico de la marca Watlow	1	5416,1	5416,1	
Transformador	Transformador de tensión variable	1	480	480	
Regulador de tensión del transformador	Regulador a tristonos inducido para 5 Kw	1	850	850	
Termopares	Termopares del tipo T, hilo solido 2x0.2mm	25	4,3	107,5	

UPCT ETSII	Presupuesto para la instalación para el estudio de procesos de evaporación en microcanales		José Fco Marín Aroca Murcia a 23/04/2009	
			Revisión(2)	Página 2 de 11
Artículo	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Calibración de termopares	Certificado de calibración UKAS, en 6 puntos -20, -10, 0, 10, 20, 30.	1	230	230
Porte de los termopares	MRW Portes-Incl. Fra	1	12	12
Ordenador de sobremesa	Caja, placa base, microprocesador, memoria Ram, disco duro 250 Gb, lector y gravador de cdrom y dvd, teclado más ratón y monitor de 17"	1	620,92	620,92
Utillaje para el watímetro de MicroDesign	<p>Medidor digital de señales analógicas para el departamento de Ingeniería Térmica.</p> <p>Medidor digital microcontrolador con pantalla LCD de 4x20 caracteres retroiluminada.</p> <p>Teclado de 8 teclas táctil y caratula personalizada de poli carbonato a 4 colores.</p> <p>Caja metálica tipo Retex RS-14</p> <p>Alimentación 230vAC 50/60 Hz.</p> <p>1 entrada para medicion de tensiones analógica de 0 a 5V DC. Co una resolución de 12 bit.</p> <p>Reloj en tiempo real no volátil con calendario.</p> <p>Memoria EEPROM no volátil, para almacenamiento de datos.</p> <p>Un puerto serie RS-232, para</p>	1	0	0

UPCT ETSII	Presupuesto para la instalación para el estudio de procesos de evaporación en microcanales		José Fco Marín Aroca Murcia a 23/04/2009	
			Revisión(2)	Página 3 de 11
Artículo	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
	comunicaciones. Un puerto serie RS-485, para comunicaciones. Un puerto serie I2C, para expansión de periféricos. Un puerto Bus-Can, para expansión de periféricos.			
Hardware de MicroDesign	Diseño y desarrollo de Hardware	1	2000	2000
Software de MicroDesign	Desarrollo de software	1	1800	1800
Fotolitos MicroDesign	Gastos fotolitos PCB'S	1	500	500
Diseño caratula MicroDesign	Diseño gráfico carátula personalizada 4 colores	1	150	150
Fotolitos carátula MicroDesign	Gastos Fotolitos carátula	1	70	70
Transductor de corriente MicroDesign	Transductor de corriente de efecto 200AMP	2	450	900
Transductor de tensión MicroDesign	Transductor de tensión de efecto 50V AC/DC	2	120	240
Medidor de señales MicroDesign	Equipo medidor de señales montado y ajustado	1	1100	1100
Instalación MicroDesign	Instalación y puesta en marcha del equipo en sus instalaciones de MicroDesign	1	720	720
Modificación Hardware MicroDesign	Modificación Hardware, medición de temperatura de -10° a 100° resolución 0.1°, control de potencia PID para el regulador a tiristores.	1	2000	2000

UPCT ETSII	Presupuesto para la instalación para el estudio de procesos de evaporación en microcanales		José Fco Marín Aroca Murcia a 23/04/2009	
			Revisión(2)	Página 4 de 11
Artículo	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Modificación Software MicroDesign	Modificación Software, medición de temperatura de -10° a 100° resolución 0.1°, control de potencia PID para el regulador a tiristores	1	3000	3000
Control temperatura MicroDesign	Controlador de temperatura para intercambiador de calor PIP con salida para variador de frecuencia 0-10V y entrada de temperaura para PT100	1	350	350
Control de temperatua 2 Microdesign	Controlador de temperatura para resistencia PID cn salida 230VAC y entrada de temperatura para PT 100	1	460	460
Software de control Microdesign	Desarrollo de software controladro PID	1	650	650
Unidad condensadora	Dispositivo de expansión, intercambiador swep condensador B 15/20 Agua/glicol/507 ^a , depósito de expansión de 35 l, bomba.	1	5967,86	5967,86
Tarjeta multiplexora	34901 ^a módulo multiplexor inducido de 20 canales para 34970 ^a	1	304	604
Variador de frecuencia Omron de 0.2 kW	CIMR-J7AZB0P20 Monofásico 220V 0.2kW Control V/F	1	150	150
Variador de frecuencia Omron de 1.1kW	CIMR-J7AZB0P70 Monofásico 220V 1.1kW Control V/F	1	202	202
Fuentes de alimentación	S8VS-01524 15W/24V / 0.65 ^a 22.5mm Carril DIN	2	65	130
Sensor de presión diferencial	BBC de la marca Kent	1	1439,88	1439,88

UPCT ETSII	Presupuesto para la instalación para el estudio de procesos de evaporación en microcanales		José Fco Marín Aroca Murcia a 23/04/2009	
			Revisión(2)	Página 5 de 11
Artículo	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Transporte del sensor de presión diferencial	Tieghi S.p.a. Kent Deltapi-K Code KDC/A31438 52AD31 Identification: FT-2130 2% del importe pedido. Importe mínimo de 50€	1	50	50
Sensor de presión absoluta con lector digital	3051TA4A2B21AM5 Q4S1 de Emerson	1	1619,25	1619,25
Junta remota bridada del sensor de presión con lector	1199WDAB3ARFW1 5DAA5 de Emerson	1	695,25	695,25
Sensor de presión absoluta sin lector digital	3051TA4A2B21AQ4S 1 de Emeron	1	1442,25	1442,25
Transporte de los sensores y la junta de Emerson	2% del importe pedido. Importe mínimo de 50€	1	75,14	75,14
Válvulas de 3 vias de hidráulicas cartago	Válvula de 3 vias ½” 350bar, H-H-H.	4	40 menos el 15%	136
Cables del transformador	Cable con terminales y retractil	4	90	360
Pletinas para el transformador	Pletinas de cobre mecanizadas	8	10	80
Instalación del cuadro de protección	Acometida de 5x10 mm ² Libre halógenos	25	23,15	578,75
Instalación del cuadro de protección	Cuadro de superficie, 48 huecos, hagger	1	112,9	112,9
Instalación del cuadro de protección	Piloto de R-S-T	3	17,8	53,4
Instalación del cuadro de protección	Interruptor general 32 A, cuatro polos	1	107	107
Instalación del cuadro de protección	Diferencial monofásico 2x40 A	2	45,08	90,16
Instalación del cuadro de protección	Magneto térmicos 10, 16, 25	8	16,2	129,6

UPCT ETSII	Presupuesto para la instalación para el estudio de procesos de evaporación en microcanales			José Fco Marín Aroca Murcia a 23/04/2009	
				Revisión(2)	Página 6 de 11
Artículo	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total	
Instalación del cuadro de protección	Prensa para manguera de 3x2, 5 mm ²	10	2,01	20,1	
Instalación del cuadro de protección	Tubo 40 Zappa	12	2,95	35,4	
Instalación del cuadro de protección	Térmico en cuadro de conexión de 4x40 A	1	126,7	126,7	
Instalación del cuadro de protección	Mano de obra y colocación	1	397,8	397,8	
NXNPG0I00D de tubacero	NIPLE EXAG. AC.FO RJ. S/ANSI B-16.11 A-105 3000 LBS.NPT ½"	2	1,96	3,92	
Manguito MNNPG0I00D de tubacero	MANGUITO AC. FO RJADO S/ANSI B-16.11 A-105 3000 LBS.NPT ½"	4	1,14	4,56	
Codo 90NPG0I00D de tubacero	CODO ACERO FORJADO S/ ANSI B-16.11 A-105 3000 LBS.NPT ½"	12	2,11	25,32	
Niple NPTOA00H80001004 de tubacero	NIPLE DE TUBO S/ANSI B-36,10 A/SA-1,6-B SCH.80 TOE 1"X4"	1	4,14	4,14	
Brida BRSWG0BHXS00D de tubacero	BRIDA SW. AC. FORJADO S/ANSI B-16.5 A-105 300 LBS. SCH. XS ½"	2	5,67	11,34	
NPTEA00H8000B004 de tubacero	NIPLE DE TUBO S/ANSI B-36.10 A/SA-106-B SCH.80 TBE ¼" x 4"	2	2,41	4,82	
NPTEA00H8000C004 de tubacero	NIPLE DE TUBO S/ANSI B-36.10 A/SA-106-B SCH.80 TBE 3/8" x 4"	4	1,31	5,24	
Tubo TBSSA00H8000D de tubacero	TUBO AC. CARBONO S/SOLD. S/API 5 L-ASME B-36.10 A-106-B S/80 ½"	6	2,6	15,6	

UPCT ETSII	Presupuesto para la instalación para el estudio de procesos de evaporación en microcanales		José Fco Marín Aroca Murcia a 23/04/2009	
			Revisión(2)	Página 7 de 11
Artículo	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Tubo TBSSA00H8000B de tubacero	TUBO AC. CARBONO S/SOLID. S/API 5 L-ANSI B- 36.10 A-106-B S/80 1/4"	6	3,37	20,22
Brida BRWNG0AHXS00D de tubacero	BRIDA WN. AC. FORJADO S/ANSI B- 16.5 A-105 150 LBS. RF. SCH. XS. 1/2"	2	2,78	5,56
Te TENPG0I00D de tubacero	TE IGUAL AC. FORJADO S/ANSI B- 16.11 A-105 300 LBS. NPT 1/2"	4	2,75	11
Sonda PT 100	Sonda PT 100 1/10 DIN 6*40mm, 2m cable 4 hilos+racor deslizante 1/4"	2	98	196
Tornillo	Tornillo exagonal 933 6.8 M-10x40 Zinc	6	0,086-20%	0,413
Tornillo	Tornillo exagonal 933 6.8 M-10x30 Zinc	4	0,082-20%	0,262
Tornillo	Tornillo exagonal 933 6.8 M-6x30 Zinc	2	0,0202-20%	0,032
Tornillo	Tornillo exagonal 933 6.8 M-6x20 Zinc	4	0,0134-20%	0,043
Teflón	Cinta teflón 12x0,076mm	2	0,1533-20%	0,245
Arandela	Arandela plana ancha 9021 6.8 10 mm zinc	20	0,0344-20%	0,55
Arandela	Arandela inox A2 DIN 9021 06 mm	10	0,018-20%	0,173
Tuerca	Tuerca exagonal 934 6.8 M-10 zinc	10	0,0424-20%	0,339
Tuerca	Tuerca exagonal 934 6.8 M-24 zinc	6	0,1758-20%	0,844
Tornillo	Tornillo H° R/cha.7982 3,5x13 zinc	20	0,0073-20%	0,117

UPCT ETSII	Presupuesto para la instalación para el estudio de procesos de evaporación en microcanales			José Fco Marín Aroca Murcia a 23/04/2009	
				Revisión(2)	Página 8 de 11
Artículo	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total	
Tornillo	Tornillo H° R/cha.7981 3,9x19 zinc	10	0,0117-20%	0,187	
Remache	Remache aluminio flor 5x25 unitop	20	0,0505-20%	0,808	
Flexómetro	Coferd flexómetro stanley bimateria	1	5,9242-20%	4,739	
Cierre	Cierre caja vila 981/60	4	1,2570-20%	4,022	
Abarcon	Abarcon gava desa 1” M-6	4	0,1717-20%	0,549	
Broca	Broca cilindrica HSS 1,5mm sesa	2	0,4359-20%	0,697	
Broca	Broca cilindrica HSS 2mm sesa	2	0,4020-20%	0,643	
Broca	Broca cilindrica HSS 2,5mm sesa	2	0,4151-20%	0,664	
Broca	Broca cilindrica HSS 3mm sesa	2	0,3944-20%	0,631	
Broca	Broca cilindrica HSS 3,5mm sesa	2	0,52-20%	0,832	
Unión manguera	Doble unión manguera 10mm fMD.A-8	2	1,3473-20%	2,156	
Pila	Pila fujitsu alkalina 6LF22	2	2,5039-20%	4,006	
Arandela	Arandela Ancha plana 9021 6.8 0,8 mm zinc	20	0,0191-20%	0,306	
Arandela	Arandela Ancha plana 9021 6.8 0,6 mm zinc	20	0,007-20%	0,112	
Taco	Taco nilon fischer SX- 10	20	0,1015-20%	1,624	
Tirafondo	Tirafondo H° Wxa.571 7x50 zinc	4	0,06-20%	0,204	

UPCT ETSII	Presupuesto para la instalación para el estudio de procesos de evaporación en microcanales			José Fco Marín Aroca Murcia a 23/04/2009	
				Revisión(2)	Página 9 de 11
Artículo	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total	
Paletina	Palitina triple m/madera Nº15 pemar	1	0,5392-20%	0,431	
Pincel	Pincel redondo cerda blanca Nº 18 pema	1	0,638-20%	0,51	
Pegamento	Pegamento supergen contac 250cc 62600	1	2,8473-20%	2,278	
Broca	Bosch broca SDS-plus 10x50mm 1618596176	1	4,3570-20%	3,486	
Masilla	Nural-27 aluminio gris 22cc	1	7,3024-20%	5,842	
Pila	Pila panasonic alcalina LR-6	8	0,6940-20%	4,442	
Pila	Pila Fujitsu alcalina 6LF22	4	2,5039-20%	8,012	
Celulosa	Bobina celulosa industrial Ecopasta 2	2	15,6947-20%	25,112	
Regleta	Regleta de conexión transparen Nº10	1	0,6775-20%	0,542	
Regleta	Regleta de conexión transparen Nº16	1	1,1536-20%	0,923	
Armaflex	Plancha armaflex IT 19-99-E	6	31,89-20%	153,07	
Armaflex	COQ. Armaflex AC/19-22	6	3,17-20%	15,22	
Aramflex	Cinta Armaflex de 30m	1	43,26-20%	34,61	
Bussing	Bussing exag ac forj s/ ANSI B-16,11 A-105 3000LBS NPT 3/4"x1/2"	2	1,5	3	
Brida	Brida THR ac forjado S/ANSI B-16,5 A-1,5 300 LBS RF 3/4"	2	5,23	10,46	
Brida	Brida THR ac forjado S/ANSI B-16,5 A-1,5 900/1500 LBS RF	2	10,35	20,7	

UPCT ETSII	Presupuesto para la instalación para el estudio de procesos de evaporación en microcanales			José Fco Marín Aroca Murcia a 23/04/2009	
				Revisión(2)	Página 10 de 11
Artículo	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total	
	SCH 80 ½"				
Jaula	Cerramiento en laboratorio de tecnología energética	1	1050	1050	
Placa	Placa cizallada de 370x370x4 mm	1	9,3	9,3	
Placa	Placa cizallada de 370x250x4 mm	1	9,9	9,9	
Válvula	Válvulas de 3 vias de paso en codo L	3	34,71	104,13	
Reducción	Reducción 1/2"-3/8"	4	1,04	4,16	
Tapón	Tapón macho 8 ¼ "bicono	6	1,53	9,2	
Tapón	Tapón macho ¼ "	3	0,63	1,86	
Te	Te interm 0,6mm	2	3,65	7,3	
Recta	Interm unión recta 6mm	4	2,34	9,36	
Recta	Interm unión recta 8-6mm	2	2,74	5,48	
Machon	Machon 1/4"-1/4"	2	0,83	1,66	
Machon	Machon cil reducec 1/4"-3/8"	2	0,93	1,86	
Recto	Recto macho 8 3/8 bicono	3	1,87	5,6	
Reducción	Reducción 3/4"-3/8"	2	2,52	5,04	

UPCT ETSII	Presupuesto para la instalación para el estudio de procesos de evaporación en microcanales			José Fco Marín Aroca Murcia a 23/04/2009	
				Revisión(2)	Página 11 de 11
Artículo	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total	
Reducción	Reducción M-1"-H- 3/4"	1	4,4	4,4	
Válvula	Válvula de 3 vias paso en codo L	1	34,71	34,71	
Tapón	Tapón roscado macho gas 1/4"	1	0,67	0,67	
Recto	Recto macho 8 ¼ BICONO	10	1,53	15,33	
Recto	Recto macho 8 3/8 bicono	6	1,87	11,19	
Tubería	Tubería cobre 8*6	4	5,8	23,2	
Cruz	Cruz hembra ¼	2	3,12	6,24	
Cable	Cable con terminales y retractil	4	90	360	
Pletinas	Pletinas de cobre mecanizadas	8	10	80	

Resumen del presupuesto total.

El sumatorio es: 55760,136€

El iva total: 16%*55760,136 € = 8921,6218 €

Y el total:64681,7578 €

ANEXO

Nº 1:

SEGURIDAD EN

INSTALACIONES

CON GLP

José Francisco

Marín

Aroca

Índice de contenido

<u>1 INTRODUCCIÓN.....</u>	<u>3</u>
<u>2 FUNDAMENTOS PARA ALCANZAR LA SEGURIDAD.....</u>	<u>3</u>
<u>3 DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE LA INSTALACIÓN.....</u>	<u>3</u>
<u>4 DOCUMENTACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO.....</u>	<u>4</u>
4.1 EXCLUSIONES.....	4
4.2 AUTORIZACIÓN ADMINISTRATIVA.....	4
4.3 PRUEBAS PREVIAS.....	4
4.4 PUESTA EN SERVICIO.....	5
4.5 COMUNICACIÓN A LA ADMINISTRACIÓN.....	5
<u>5 MANTENIMIENTO Y REVISIONES PERIÓDICAS.....</u>	<u>5</u>
<u>6 CLASIFICACIÓN DE LOS EMPLAZAMIENTOS SEGÚN INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....</u>	<u>5</u>
6.1 SISTEMAS DE CABLEADO EN INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	6
6.1.1 Generalidades.....	6
6.1.2 Requisitos de los cables.....	6
6.1.3 Requisitos de los conductos.....	7
<u>7 SELECCIÓN DE EQUIPOS ELÉCTRICOS (EXCLUIDOS CABLES Y CONDUCTOS).....</u>	<u>8</u>
7.1 GRUPOS DE APARATOS DIVIDIDOS EN CATEGORÍAS.....	8
7.2 MARCADO DE LOS APARATOS.....	9
7.2.1 Mercado general.....	9
7.2.2 Mercado adicional: modo de protección.....	9
7.3 DOCUMENTACIÓN MÍNIMA DEL APARATO.....	10
7.4 ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS.....	10
7.5 CLASIFICACIÓN DE LOS APARATOS ELÉCTRICOS SEGÚN LA TEMPERATURA MÁXIMA SUPERFICIAL.....	11
7.6 AGRUPAMIENTO DEL MATERIAL ELÉCTRICO.....	12
7.6.1 Grupos de gases.....	12
7.6.2 Grupos de material eléctrico.....	12
7.7 MARCADO GENERAL (UNE -EN 50014).....	12
7.8 MATERIAL SIMPLE.....	12

1 INTRODUCCIÓN

Este anejo constituye una documentación adicional al proyecto, en vista de una futura ampliación del mismo, con la construcción de una instalación de condensación, en la que se utilizarán refrigerantes gases licuados del petróleo tales como el propano.

Para su elaboración se han tenido en cuenta las siguientes normas y reglamentos:

- REBT 2002 Reglamento Electrotécnico para baja tensión del 2002 y sus correspondientes instrucciones técnicas en mayor medida la ITC-BT-29, Prescripciones particulares para las instalaciones eléctricas de los locales con riesgo de incendio o explosión.
- Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales.
- Reglamento Técnico de Distribución y Utilización de Combustibles Gaseosos y sus instrucciones técnicas complementarias, en especial la ITC-ICG-06, Instalaciones de gases licuados del petróleo (GLP) para uso propio.
- UNE-EN 60079-10 material eléctrico para atmósferas de gas explosivas, parte 10 clasificación de los emplazamientos peligrosos.
- UNE-EN 60079-14 material eléctrico para atmósferas de gas explosivas, parte 14 instalaciones eléctricas en emplazamientos peligrosos.
- UNE-EN 60079-17 material eléctrico para atmósferas de gas explosivas, parte 17 inspección y mantenimiento de instalaciones eléctricas en emplazamientos peligrosos (a excepción de las minas).

Se considera como una instalación con envases de gases licuados del petróleo (GLP) para uso propio con menos de 15 Kg en el envase, ya que en la instalación no habrán más de 15 Kg de combustible, por ello este anexo se ha realizado en base a la ITC-ICG 06 del Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos y la ITC-BT29 “ Prescripciones particulares para las instalaciones eléctricas de los locales con riesgo de incendio o explosión” del Reglamento electrotécnico de baja tensión.

2 FUNDAMENTOS PARA ALCANZAR LA SEGURIDAD

El procedimiento para alcanzar un nivel de seguridad aceptable se fundamenta en el empleo de acuerdo a ciertas reglas así como en la adopción de medidas de seguridad especiales de instalación, inspección, mantenimiento y reparación, en relación con la acotación del riesgo. El procedimiento para alcanzar un nivel de seguridad aceptable se fundamenta en el empleo de equipamiento construido y seleccionado de acuerdo a ciertas reglas así como en la adopción de medidas de seguridad especiales de instalación, inspección, mantenimiento y reparación, en relación con la acotación del riesgo de presencia de atmósfera explosiva mediante una clasificación de los emplazamientos en los que se pueden producir atmósferas explosivas.

Según la clasificación en que se incluye el emplazamiento, es necesario recurrir a un tipo determinado de medidas constructivas de los equipos, de instalación, supervisión o intervención, como se detalla en la presente Instrucción y normas que en ella se citan.

Adicional mente, es preciso llevar a cabo la explotación, conservación y mantenimiento de la instalación y sus componentes, dentro de unos límites estrictos, para que las condiciones de seguridad no se vean comprometidas durante su vida útil.

3 DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE LA INSTALACIÓN

En instalaciones de GLP con envases de capacidad unitaria no superior a 15 kg. La capacidad total de almacenamiento, obtenida como suma de las capacidades unitarias de todos los envases incluidos tanto los llenos como los vacíos, no deberá superar los 300 kg.

Quedan excluidas de tener un extintor estas instalaciones por ser de menos de 15 Kg.

La ejecución de las instalaciones será realizada por una empresa instaladora de gas.

No se permitirá que en el interior del local estén conectados más de dos envases en batería para descarga o en reserva.

Los envases, que dispongan de válvula de seguridad, tanto llenos como vacíos deberán colocarse siempre en posición vertical.

Por extensión y aún no siendo un armario y debido a que el local alojará una instalación con muchos dispositivos con propano, este local deberá estar provisto en su base o suelo inferior, de aberturas de ventilación permanente con el exterior del mismo.

La superficie libre de paso de la ventilación debe ser superior a 1/100 de la superficie de la pared o fondo del armario en que se encuentren colocados los envases y de forma que una dimensión no sea mayor del doble de la otra.

Ningún envase debe obstruir, parcial o totalmente, la superficie de ventilación.

En el interior del local, el envase de reserva, si no está acoplado al de servicio con una tubería flexible, deberá colocarse obligatoriamente en un cuarto independiente de aquel donde se encuentre el envase en servicio y alejado de toda clase de fuentes de calor, disponiendo además de la ventilación adecuada.

Queda absolutamente prohibida la conexión de envases y aparatos sin intercalar un regulador, salvo que los aparatos hayan sido aprobados para funcionar a presión directa, en cuyo caso para la conexión deberá utilizarse una canalización rígida.

Las conexiones a los aparatos que conforman la instalación, aunque estos no sean de consumo se harán en la medida de lo posible siguiendo la norma UNE 60670-7.

Las distancias mínimas entre los envases conectados y diferentes elementos del local serán las siguientes:

Elemento	Distancia - m
Hogares para combustibles sólidos y líquidos y otras fuentes de calor	1,5 (1)
Hornillos y elementos de calefacción	0,3 (2)
Interruptores y conductores eléctricos	0,3
Tomas de corriente	0,5

(1) Cuando, por falta de espacio, no pueda respetarse esta distancia, esta se podrá reducir hasta 0,5 m mediante la colocación de una protección contra la radiación, sólida y eficaz, de material clase A2-s3,d0, según norma UNE-EN 13501-1.

(2) Con protección contra radiación, esta distancia podrá reducirse hasta 0,10 m.

Figura 1: distancias entre envases conectados y elementos del local.

4 DOCUMENTACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO

4.1 EXCLUSIONES

Quedarán excluidas de este apartado las instalaciones consistentes en un único envase de

GLP de contenido inferior o igual a 15 kg, conectado por tubería flexible o acoplado directamente a un solo aparato de gas móvil.

4.2 AUTORIZACIÓN ADMINISTRATIVA

Las instalaciones de envases de GLP no precisan para su construcción de autorización administrativa previa a su diseño y construcción.

4.3 PRUEBAS PREVIAS

Antes de poner en servicio una instalación de envases de GLP la empresa instaladora deberá realizar las siguientes pruebas:

Canalizaciones: prueba de estanquidad a una presión de 1,5 veces la presión de operación de la instalación durante 10 minutos con aire, gas inerte o GLP en fase gaseosa.

Verificación de la estanquidad de las llaves y otros elementos a la presión de prueba.

Se verificará el cumplimiento general, en cuanto a las partes visibles, de las disposiciones señaladas en esta ITC.

Durante la realización de las pruebas, deberá tomarse por parte de la empresa instaladora todas las precauciones necesarias, y en particular si se realizan con GLP:

Prohibir terminantemente fumar.

Evitar en lo posible la existencia de puntos de ignición.

Vigilar que no existan puntos próximos que puedan provocar inflamaciones en caso de fuga.

Evitar zonas de posible embolsamiento de gas en caso de fuga.

Purgar y soplar las canalizaciones antes de efectuar una reparación.

La empresa instaladora, una vez realizadas con resultado positivo las pruebas y verificaciones especificadas anteriormente, deberá emitir el certificado de instalación.

4.4 COMUNICACIÓN A LA ADMINISTRACIÓN

No es precisa ninguna comunicación. No obstante, tanto el titular como la empresa instaladora conservarán, y tendrán a disposición de la Administración, el certificado de instalación que refleje la instalación de envases de GLP y la instalación receptora.

5 MANTENIMIENTO Y REVISIONES PERIÓDICAS

Aunque esta instalación difiere de las instalaciones de envases de GLP considerablemente se considerará de aplicación en la medida de lo posible lo que se menciona a continuación.

Los titulares o, en su defecto, los usuarios de las instalaciones de envases de GLP serán los responsables de la, conservación y buen uso de dicha instalación, siguiendo los criterios ya descritos, de tal forma que se halle permanentemente en disposición de servicio, con el nivel de seguridad adecuado. Asimismo atenderán las recomendaciones que, en orden a la seguridad, les sean comunicadas por el operador al por mayor o el comercializador de GLP que les suministre.

El titular de la instalación deberá encargar a una empresa instaladora autorizada la revisión de las instalaciones de envases de GLP coincidiendo con la revisión, periódica de la instalación receptora a la que alimentan, de acuerdo con el apartado 4.2 de la ITC-ICG 07. En la que se dice que los titulares o, en su defecto, los usuarios actuales de las instalaciones receptoras no alimentadas desde redes de distribución, son responsables de encargar una revisión periódica de su instalación, utilizando para dicho fin los servicios de una empresa instaladora de gas autorizada de acuerdo con lo establecido en la ITC-ICG 09.

Dicha revisión se realizará cada cinco años.

La revisión no es obligatoria en las instalaciones con un único envase de GLP de capacidad inferior a 15 kg conectado por tubería flexible o acoplado directamente a un solo aparato de gas móvil. A pesar de ello se realizarán inspecciones periódicas debido a la singularidad de la instalación.

6 CLASIFICACIÓN DE LOS EMPLAZAMIENTOS SEGÚN INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Según la norma ITC-BT-29, prescripciones particulares para las instalaciones eléctricas de los locales con riesgo de incendio o explosión, los emplazamientos se pueden o se deben clasificar en:

Clase I: Comprende los emplazamientos en los que hay o puede haber gases, vapores o nieblas en cantidad suficiente para producir atmósferas explosivas o inflamables; se incluyen en esta clase los lugares en los que hay o puede haber líquidos inflamables.

Clase II: Comprende los emplazamientos en los que hay o puede haber polvo inflamable.

Por lo que la clase del emplazamiento en estudio es de clase I.

A su vez los emplazamientos de clase I se dividen en:

Zona 0: Emplazamiento en el que la atmósfera explosiva constituida por una mezcla de aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor, o niebla, está presente de modo permanente, o por un espacio de tiempo prolongado, o frecuentemente.

Zona 1: Emplazamiento en el que cabe contar, en condiciones normales de funcionamiento, con la formación ocasional de atmósfera explosiva constituida por una mezcla con aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla.

Zona 2: Emplazamiento en el que no cabe contar, en condiciones normales de funcionamiento, con la formación de atmósfera explosiva constituida por una mezcla con aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla o, en la que, en caso de formarse, dicha atmósfera explosiva sólo subsiste por espacios de tiempo muy breves.

Para el caso en estudio el emplazamiento será por tanto de clase I y zona 2.

6.1 SISTEMAS DE CABLEADO EN INSTALACIÓN ELÉCTRICA

6.1.1 Generalidades

Para instalaciones de seguridad intrínseca, los sistemas de cableado cumplirán los requisitos de la norma UNE-EN 60079-14 y de la norma UNE-EN 50039.

Los cables para el resto de las instalaciones tendrán una tensión mínima asignada de 450/750 V.

Las entradas de los cables y de los tubos a los aparatos eléctricos se realizarán de acuerdo con el modo de protección previsto. Los orificios de los equipos eléctricos para entradas de cables o tubos que no se utilicen deberán cerrarse mediante piezas acordes con el modo de protección de que vayan dotados dichos equipos.

La intensidad admisible en los conductores deberá disminuirse en un 15% respecto al valor correspondiente a una instalación convencional.

Además todos los cables de longitud igual o superior a 5 m estarán protegidos contra sobrecargas y cortocircuitos; para la protección de sobrecargas se tendrá en cuenta la intensidad de carga resultante fijada en el párrafo anterior y para la protección de cortocircuitos se tendrá en cuenta el valor máximo para un defecto en el comienzo del cable y el valor mínimo correspondiente a un defecto bifásico y franco al final del cable.

En el punto de transición de una canalización eléctrica de una zona a otra, o de un emplazamiento peligroso a otro no peligroso, se deberá impedir el paso de gases, vapores o líquidos inflamables. Eso puede precisar del sellado de zanjas, tubos, bandejas, etc., una ventilación adecuada o el relleno de zanjas con arena.

6.1.2 Requisitos de los cables

Los cables a emplear en los sistemas de cableado en los emplazamientos de clase I (caso de estudio) y clase II serán:

a) En instalaciones fijas:

Cables de tensión asignada mínima 450/750V, aislados con mezclas termoplásticas o termoestables; instalados bajo tubo metálico rígido o flexible conforme a norma UNE-EN 50086-1.

Cables contruidos de modo que dispongan de una protección mecánica; se consideran como tales:

-Los cables con aislamiento mineral y cubierta metálica, según UNE 21157 parte 1.

-Los cables armados con alambre de acero galvanizado y con cubierta externa no metálica, según la serie UNE 21.123.

Los cables a utilizar en las instalaciones fijas deben cumplir, respecto a la reacción al fuego, lo indicado en la norma UNE 20432-3.

b) En alimentación de equipos portátiles o móviles. Se utilizaran cables con cubierta de policloropreno según UNE 21027 parte 4 o UNE 21150, que sean aptos para servicios móviles, de tensión asignada mínima 450/750V, flexibles y de sección mínima 1,5 mm². La utilización de estos cables flexibles se restringirá a lo estrictamente necesario y como máximo a una longitud de 30 m.

6.1.3 Requisitos de los conductos

Cuando el cableado de las instalaciones fijas se realice mediante tubo o canal protector, éstos serán conformes a las especificaciones dadas en las figuras siguientes:

Característica	Código	Grado
Resistencia a la compresión	4	Fuerte
Resistencia al impacto	4	Fuerte
Temperatura mínima de instalación y servicio	2	-5°C
Temperatura máxima de instalación y servicio	1	+80°C
Resistencia al curvado	1-2	Rígido/curvable
Propiedades eléctricas	1-2	Continuidad eléctrica/aislante
Resistencia a la penetración de objetos sólidos	4	Contra objetos D • 1 mm
Resistencia a la penetración del agua	2	Contra gotas de agua cayendo verticalmente cuando el sistema de tubos está inclinado 15°
Resistencia a la corrosión de tubos metálicos y compuestos	2	Protección interior y exterior media
Resistencia a la tracción	0	No declarada
Resistencia a la propagación de la llama	1	No propagador
Resistencia a las cargas suspendidas	0	No declarada

Figura 2: características mínimas para tubos.

Característica	Grado	
	≤ 16 mm	> 16 mm
Dimensión del lado mayor de la sección transversal	≤ 16 mm	> 16 mm
Resistencia al impacto	Fuerte	Fuerte
Temperatura mínima de instalación y servicio	+15°C	-5°C
Temperatura máxima de instalación y servicio	+80°C	+80°C
Propiedades eléctricas	Aislante	Continuidad eléctrica/aislante
Resistencia a la penetración de objetos sólidos	4	no inferior a 2
Resistencia a la penetración de agua	No declarada	
Resistencia a la propagación de la llama	No propagador	

Figura 3: características mínimas para canales protectores.

Esto no es aplicable en el caso de canalizaciones bajo tubo que se conecten a aparatos eléctricos con modo de protección antideflagrante provistos de cortafuegos, en donde el tubo resistirá una presión interna mínima de 3 MPa durante 1 minuto y será, o bien de acero sin soldadura, galvanizado interior y exteriormente, conforme a la norma UNE 36582, o bien conforme a la norma UNE EN 50086, con el grado de resistencia de la figura siguiente:

Característica	Código	Grado
Resistencia a la compresión	5	Muy Fuerte
Resistencia al impacto	5	Muy Fuerte
Temperatura mínima de instalación y servicio	3	-15°C
Temperatura máxima de instalación y servicio	2	+90°C
Resistencia al curvado	1	Rígido
Propiedades eléctricas	1	Continuidad eléctrica
Resistencia a la penetración de objetos sólidos	5	Contra el polvo
Resistencia a la penetración del agua	2	Contra gotas de agua cayendo verticalmente cuando el sistema de tubos está inclinado 15°
Resistencia a la corrosión de tubos metálicos y compuestos	4	Protección interior y exterior elevada
Resistencia a la tracción	2	Ligera
Resistencia a la propagación de la llama	1	No propagador
Resistencia a las cargas suspendidas	2	Ligero

Figura 4: características mínimas para tubos que se conectan a aparatos eléctricos con modo de protección antideflagrante provistos de cortafuegos.

Cuando por exigencias de la instalación, se precisen tubos flexibles (p.ej.: por existir vibraciones en la conexión del cableado bajo tubo), estos serán metálicos corrugados de material resistente a la oxidación y características semejantes a los rígidos.

Los tubos con conductividad eléctrica deben conectarse a la red de tierra, su continuidad eléctrica quedará convenientemente asegurada. En el caso de utilizar tubos metálicos flexibles, es necesario que la distancia entre dos puesta a tierra consecutivas de los tubos no exceda de 10 metros.

7 SELECCIÓN DE EQUIPOS ELÉCTRICOS (EXCLUIDOS CABLES Y CONDUCTOS)

Para seleccionar un equipo eléctrico el procedimiento a seguir comprende las siguientes fases:

- 1) Caracterizar la sustancia o sustancias implicadas en el proceso
- 2) Clasificar el emplazamiento en el que se va a instalar el equipo.
- 3) Seleccionar los equipos eléctricos de tal manera que la categoría esté de acuerdo a las limitaciones de la figura 5 y que éstos cumplan con los requisitos que les sea de aplicación, establecidos en la norma UNE-EN 60079-14.

Si la temperatura ambiente prevista no está en el rango comprendido entre -20 °C y +40 °C el equipo deberá estar marcado para trabajar en el rango de temperatura correspondiente.

- 4) Instalar el equipo de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Categoría del equipo	Zonas en que se admiten
Categoría 1	0, 1 y 2
Categoría 2	1 y 2
Categoría 3	2

Figura 5: categorías de equipos admisibles para atmósfera de gases y vapores.

7.1 GRUPOS DE APARATOS DIVIDIDOS EN CATEGORÍAS

Se establecen dos grupos de aparatos divididos en categorías en función del origen de la atmósfera explosiva, su composición, duración tolerancia a fallos de los aparatos, etc.

Grupo I: aparatos destinados a minas. No son objeto de este estudio.

Grupo II: aparatos destinados a atmósferas de gases, vapores, nieblas o polvos.

Categoría 1: aparatos diseñados y equipados con medios de protección especiales, de manera que puedan funcionar y asegurar un nivel de protección muy alto. Son aparatos destinados a utilizarse en atmósferas explosivas constantes, frecuentes o duraderas, debidas a gases, vapores, nieblas o mezclas polvo-aire. Deberán permanecer operativos aún en caso de avería infrecuente. En caso de fallo de uno de los medios de protección, al menos un segundo medio debe asegurar el nivel de protección requerido. En caso de dos fallos, el nivel de protección debe quedar asegurado. Deben cumplir con los requisitos complementarios mencionados en el punto 2.1 del anexo II de la directiva 94/9/CE.

Categoría 2: Aparatos diseñados para poder funcionar en las condiciones practicas fijadas por el fabricante ya basados en un alto nivel de protección. Destinados a utilizarse en ambientes en los que sea probable la formación de atmósferas explosivas debidas a gases, vapores, nieblas o polvo en suspensión. Deberán asegurar el nivel de protección aún en el caso de avería frecuente o fallos de funcionamiento. Deben cumplir con los requisitos complementarios mencionados en el punto 2.2 del anexo II de la directiva 94/9/CE.

Categoría 3: Aparatos diseñados para poder funcionar en las condiciones prácticas fijadas por el fabricante y asegurar un nivel normal de protección. Destinados a utilizarse en un ambiente donde sea poco probable la formación de atmósferas explosivas debidas a gases, vapores, nieblas o polvo en suspensión, y que su formación sea infrecuente y su presencia de corta duración. Deben asegurar el nivel de protección durante su funcionamiento normal. Además deben cumplir con los requisitos complementarios mencionados en el punto 2.3 del anexo II de la directiva 94/9/CE.

Como se observa en la figura 5, para la zona en estudio, la zona 2, se requiere como mínimo aparatos del grupo II y categoría 3.

7.2 MARCADO DE LOS APARATOS

7.2.1 Mercado general

Cada aparato y sistema de protección deberá presentar como mínimo las siguientes indicaciones, de forma indeleble y legible:

- Nombre y dirección del fabricante.
- Número de serie.
- Año de fabricación.
- Marca CE.
- Identificación del Organismo Notificado (Instituto Examinador)
- Mercado específico de protección contra explosiones (Ex, en el interior de un hexágono).
- Grupo y categoría del aparato.
 - Para el grupo II: la letra G para gases, vapores o nieblas y/o la letra D para polvo.

7.2.2 Marcado adicional: modo de protección

La directiva establece que el marcado presentará además cualquier indicación que resulte indispensable para la utilización segura del aparato.

En este sentido las serie de normas EN500XX(marcado normativo) establece el modo de protección del material eléctrico para atmósferas potencialmente explosivas, como se observa en la tabla 1:

Norma	Modo de protección	Letra	Marca	Aplicaciones
EN 50014	Requerimientos generales			
EN 50015	Inmersión en aceite	o	Exx o	transformadores
EN 50016	Presurización	p	Exx p	Recintos armarios
EN 50017	Relleno de polvo	q	Exx q	Transformadores. Cintas calentadoras
EN 50018	antideflagrante	d	Exx d	Instrumentación. Cajas. interruptores
EN 50019	Seguridad aumentada	e	Exx e	Cajas de terminales. Luminarias
EN 50020	Seguridad intrínseca	i	Exx i	Instrumentación
EN 50021	Non-Incendive	n	Exx n	No incendiante
EN 50028	Encapsulado	m	Exx m	Interruptores, indicadores

Tabla 1: modo de protección del material eléctrico.

El modo de protección son medidas aplicadas al diseño y construcción de un material eléctrico que permiten asegurar que una vez inmerso en una mezcla de gas explosiva no provocará su ignición o evitará su propagación, en instrumentación de procesos los más frecuentes son Seguridad Aumentada, Antideflagrante y Seguridad Intrínseca.

El material a utilizar en la zona 0, tiene que ser material categoría "ia" seguridad intrínseca tolerante a dos fallos, material conforme a la norma CEI 60079-11 y CEI 60079-26.

El material a utilizar en la zona 1 puede ser material que se pueda utilizar en la zona 0 o material que cumpla uno o más de los siguientes modos de protección: o, p, q, d, e, i, n, m.

El material a utilizar en la zona 2 puede ser material que se pueda utilizar en la zona 0 o 1 o material diseñado para la zona 2 como el modo de protección n. También aparatos que en funcionamiento normal no se calienten y puedan provocar una explosión, ni arcos, ni chispas.

7.3 DOCUMENTACIÓN MÍNIMA DEL APARATO

Cada aparato deberá ir acompañado entre otras, de:

- Indicaciones que faciliten el mantenimiento (dirección de fabricante o del importador, del reparador, etc).
- Instrucciones que permitan proceder sin riesgos:
 - A la puesta en marcha.
 - A la utilización.
 - Al montaje y desmontaje.
 - Al mantenimiento.
 - Al ajuste.
- Manual de instrucciones en castellano.

- Planos y esquemas necesarios para puesta en servicio, mantenimiento, inspección, reparación, etc.

7.4 ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS

Para que la atmósfera sea explosiva, la concentración del combustible, (gas, polvo, vapor o niebla), debe estar entre dos valores:

-LIE: Límite Inferior de Explosividad, se mide en porcentaje de gas en el aire y es la concentración de gas o vapor inflamable en el aire por debajo de la cual la atmósfera de gas no es explosiva.

-LSE: Límite Superior de Explosividad se mide en porcentaje de gas en el aire y es la concentración de gas o vapor inflamable en el aire por encima de la cual la atmósfera de gas no es explosiva.

Para que se produzca la ignición de la mezcla (explosión) se necesita una cantidad mínima de energía que desencadene la reacción (oxidación), esto es el MIE (Minimum Ignition Energy).

El valor de cada uno de los parámetros depende del combustible como se muestra en la tabla 2.

Hidrocarburos	Producto	LIE	LSE	MIE
Parafinas	Metano	5,3	15	0,28mW
	Etano	3	12,5	
	Propano	2,2	9,5	0,26mW
	Butano	1,9	8,5	
Olefinas	Etileno	3,1	32	0,06mW
	Propileno	2,4	10,3	
	Acetileno	2,5	80	
Aromáticos	Benceno	1,4	7,1	
	Tolueno	1,4	6,7	
Otros	Hidrógeno	4	75	0,019mW
	Furfural	2,1		
	Acetato de etilo	2,5	9	

Tabla 2: valores de LIE LSE y MIE de algunos hidrocarburos.

Los gases de referencia para la clasificación en grupos son el metano, el propano, etileno e hidrógeno.

7.5 CLASIFICACIÓN DE LOS APARATOS ELÉCTRICOS SEGÚN LA TEMPERATURA MÁXIMA SUPERFICIAL

La temperatura máxima superficial es la mayor temperatura que puede alcanzar, en servicio, cualquier pieza o superficie del material eléctrico, pudiendo producir la ignición de la atmósfera circundante.

El material debe diseñarse para su empleo en un rango de temperaturas ambientes comprendido entre -20°C y +40°C.

Si el material se diseña para un rango de temperatura diferente, se considera especial y debe ser especificado por el fabricante tanto en el aparato como en el certificado.

Clase de temperatura del material eléctrico	Temperatura superficial máxima del material eléctrico °C	Temperatura de inflamación del gas o vapor °C
T1	450	>450
T2	300	>300
T3	200	>200
T4	135	>135
T5	100	>100
T6	85	> 85

Figura 6: clasificación de los aparatos según la temperatura superficial máxima.

La menor temperatura de inflamación de la atmósfera explosiva debe ser superior a la temperatura superficial máxima del aparato. Pero para componentes cuya superficie total no sea mayor de 10cm² su temperatura superficial puede ser superior a la de la atmósfera.

7.6 AGRUPAMIENTO DEL MATERIAL ELÉCTRICO

7.6.1 Grupos de gases

Esta subdivisión se base en:

- IEMS, Intersticio Experimental Máximo de Seguridad para envoltentes antideflagrantes.
- CMI, relación de la Corriente Mínima de Inflamación de la mezcla respecto de la CMI del metano, para el modo de protección de Seguridad Intrínseca.

Grupo	IEMS	CMI
IIA	>0,9mm	>0,8
IIB	Entre 0,5 y 0,9mm	Entre 0,45 y 0,8
IIC	<0,5mm	<0,45

Tabla 3: subgrupos de gases.

Los grupos de gas IIA son de atmósferas con propano o un gas de peligrosidad equivalente, los grupos de gas IIB son de atmósferas con etileno o un gas de peligrosidad equivalente, y los grupos de gas IIC son de atmósferas con hidrógeno o un gas de peligrosidad equivalente, aumentando la explosividad al aumentar en el orden alfabético.

7.6.2 Grupos de material eléctrico

Subdivisión del gas/vapor	Subgrupo del material eléctrico
IIA	IIA, IIB o IIC
IIB	IIB o IIC
IIC	IIC

Tabla 4: relación entre la subdivisión del gas y el subgrupo del material.

7.7 MARCADO GENERAL (UNE -EN 50014)

Además del marcado del aparato ya comentado en puntos anteriores, el material eléctrico deberá llevar impresos:

1. Símbolo Eex para indicar que el material tiene algún modo de protección contra explosiones, conforme a normas europeas.
2. Símbolo del modo o modos de protección utilizados (d, e, i, etc)
3. Símbolo del grupo de material eléctrico y subdivisión del grupo II, si procede (IIA, IIB, IIC), y además si el material está diseñado para la utilización exclusiva con un gas en particular, el símbolo II estará seguido de la fórmula química o del nombre del gas.
4. Símbolo del grupo de Temperatura al que pertenece (T1, T2, T3, T4, T5, T6).

7.8 MATERIAL SIMPLE

Es aquel que no contiene una fuente de ignición capaz de provocar una explosión.

No necesitan ser marcados como material eléctrico para atmósferas explosivas.

Son materiales simples:

- Los componentes pasivos como cajas de conexión, interruptores, bornes, etc.
- Fuentes generadoras de energía que no liberen más de 1,2V, ni 100mA, ni 25 mW como Termopares, RTD, LED, fotocélulas...

Además la seguridad de un material simple no debe obtenerse por inclusión de dispositivos de limitación de tensión, corriente o dispositivos de supresión.

Tampoco deben contener ningún medio de aumento de tensión o corriente, y si un material simple es colocado en zona peligrosa debe clasificarse por temperatura.

Cuando un material simple forma parte de un material que contiene otros circuitos eléctricos, el conjunto debe considerarse como un todo.