

4 Montaje de equipos

4.1 Introducción

Cuando empecé este trabajo, el sistema disponía de las líneas de fluidos (Hidrógeno, nitrógeno y agua) instalados en un banco sobre los hidruros, así como los sensores de presión, temperatura, caudalímetros y válvulas de solenoide colocados, estos estaban cableados a un sistema de adquisición de datos. Además estaban colocados en su definitivo emplazamiento el termo eléctrico, el almacenamiento de hidrógeno y el sistema de purificación de agua, así como las válvulas antirretorno, el regulador de presión, y la válvula de alivio.

A continuación podemos ver la instalación inicial.

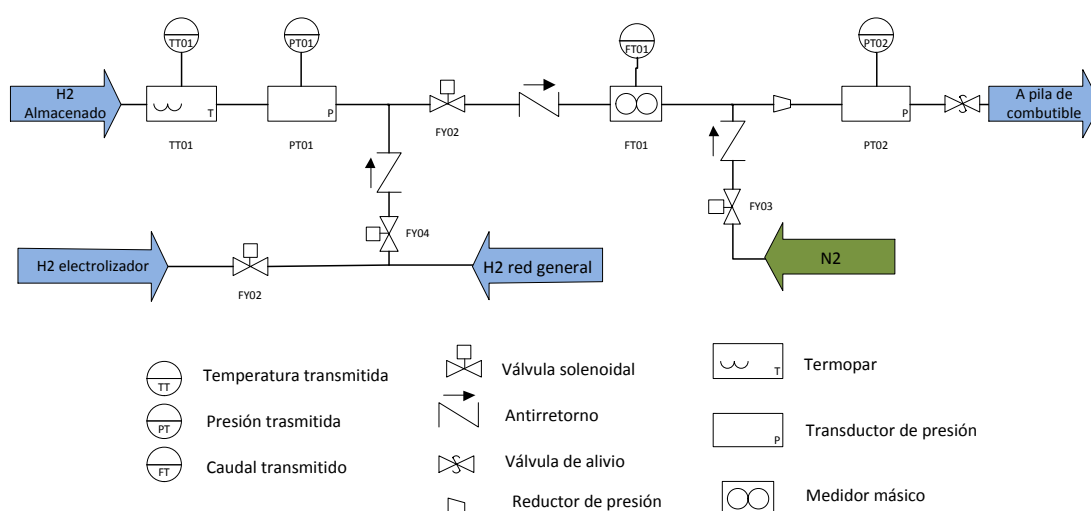


Ilustración 61 - Esquema del circuito de gases

Pudiendo separar los elementos instalados en la conducción en tres tipos:

Elementos de medida	Elementos de actuación	Elementos de seguridad
• Termopar • Transductores de presión • Medidor de caudal de H₂	• Válvula de solenoide • Reductor de presión a 1,5 bar	• Válvula de seguridad o de alivio • Elementos antirretorno

Tabla 16: Clasificación de elementos

Como parte de este trabajo se ha procedido a volver a cablear los sensores y válvulas para centralizarlos en el armario de control y ser conectados en el PLC, se ha procedido a colocar la fuente programable, la carga electrónica y los convertidores en el armario. Se ha cableado el control analógico tanto de la fuente de alimentación como de la carga electrónica, así como cablear el control digital via CAN bus para los dos convertidores de potencia DC/DC, y la pila de combustible. Se ha procedido a instalar los cables de potencia del Bus de Corriente, así como los tramos convertidor-electrolizador y convertidor-pila de combustible, con las debidas protecciones contra sobrecorriente. Además de la

instalación de la alimentación auxiliar, los convertidores de señal, fusibles, relés. Todo el cableado del armario de control se encuentra interconectados con conectores sobre carriles DIN.

Por todo ello esta línea debe de estar diseñada de forma que permita la interconexión de los tres equipos “electrolizador” (generación de hidrógeno), “sistema de almacenamiento de hidrógeno” y “pila de combustible” (consumo de hidrógeno y generación de electricidad). Mediante esta interconexión se debe gestionar la absorción y desorción de hidrógeno en el sistema de almacenamiento. Cuando se requiera almacenar hidrógeno el electrolizador proporcionará el hidrógeno al sistema de almacenamiento. Cuando este hidrógeno sea requerido por la pila de combustible, el hidrógeno saldrá del sistema de almacenamiento y se dirigirá a la pila de combustible. Para permitir que se produzca la absorción/desorción, además debe de proporcionarse al sistema de almacenamiento de hidrógeno de la refrigeración/calefacción adecuada.

4.2 Elementos de medida

4.2.1 Termopar

La conducción dispone de un termopar instalado que nos permite detectar la temperatura del hidrógeno a la salida del dispositivo de almacenamiento, lo que nos puede ser útil para realizar futuras caracterizaciones del depósito de hidruros metálicos.

4.2.2 Transductores de presión

Se dispone de dos transductores de presión. Uno a la salida del dispositivo de almacenamiento con objeto de determinar la presión a la que desorbe el tanque de hidruros metálicos; y otro a la entrada de la pila de combustible con el fin de controlar la presión a la que el hidrógeno entra a la pila de combustible, y poder ajustar esta a la presión óptima de 1,5 bar.

4.2.3 Medidor de caudal másico de hidrógeno

Conociendo la cantidad de hidrógeno que circula hacia la pila de combustible, y midiendo la cantidad de energía eléctrica generada por esta, podemos obtener parámetros de eficiencia energética de la pila.

4.2.4 Medidor de caudal de agua

Se dispone de un caudalímetro de agua instalado a la salida de agua del hidruro, con este podremos calcular parámetros termodinámicos de los hidruros como la entalpía, estimar el agua caliente que disponemos en el termo eléctrico.

4.3 Elementos finales de actuación

4.3.1 Válvulas solenoides

Se han instalado cuatro válvulas de solenoide que permiten controlar los canales de paso de hidrógeno. Estas válvulas son de tipo todo-nada, es decir no son de acción proporcional, por lo que únicamente permiten que el fluido circule, o no, por la conducción.

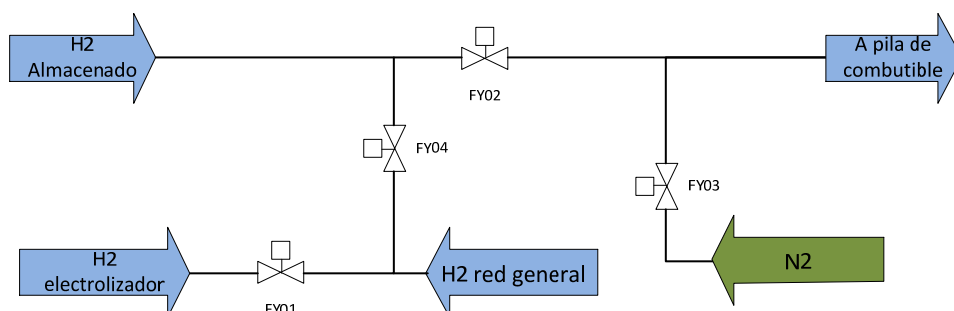


Ilustración 62 - Esquema de electroválvulas de gases

Cuando el depósito de hidruros metálicos se encuentre en fase de absorción de hidrógeno la válvula FY02 permanecerá cerrada y FY04 abierta, si se está produciendo hidrógeno desde el electrolizador FY01 permanecerá abierta. Cuando el depósito de almacenamiento se encuentre en fase de desorción, y por lo tanto liberando hidrógeno, FY01 y FY04 permanecerá cerrada y FY02 abierta para permitir el paso del hidrógeno procedente del tanque de hidruros metálicos hacia la pila de combustible.

La válvula FY03 únicamente se abrirá cuando se proceda a realizar una inertización.

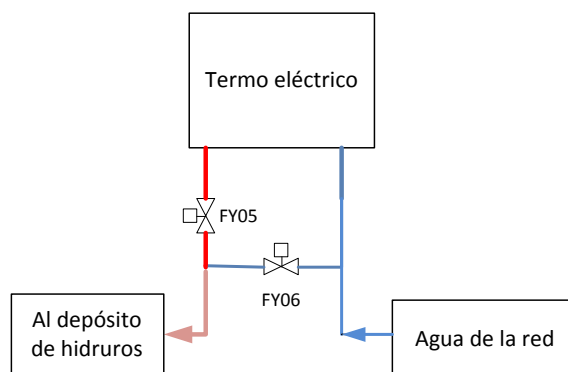


Ilustración 63 - Esquema de electroválvulas de agua

Además para controlar el agua de entrada a los hidruros, se dispone de dos válvulas de solenoide de mayor potencia. FY06 abrirá paso a la red de aguas del laboratorio, a partir de ahora agua fría, FY05 abrirá paso al agua proveniente del termo eléctrico, a partir de ahora agua caliente.

4.3.2 Válvula reductora de presión

Dado que el hidrógeno procedente del depósito de almacenamiento debe de encontrarse a una presión de 2 bar, se reduce la presión de éste hasta los 1,5 bar, que es la presión óptima de funcionamiento de la pila de combustible. Si el sensor de presión situado en esta parte de la conducción detecta que la presión de entrada a la pila de combustible es superior o inferior, ha de regularse

mediante esta válvula la presión hasta que se encuentre en el valor apropiado. Una vez que dicha válvula se encuentra fijada a la presión de operación. Ésta regulará automáticamente la presión de salida para que se mantenga constante a la presión fijada. Es decir, aunque la presión a la entrada fluctúe (dentro de un rango de valores límite), la de salida se mantendrá constante.

4.4 Elementos de seguridad

4.4.1 Válvula de seguridad o de alivio

Con objeto de evitar un posible descontrol de la presión de hidrógeno a la entrada de la pila de combustible, se dispone de una válvula de alivio, la cual al detectar una presión de hidrógeno superior a 1,6 bar, se abre liberando hidrógeno al exterior. Al ser el hidrógeno un gas inflamable se dispone de una conducción de teflón hacia el exterior, donde rápidamente cualquier cantidad liberada pueda evacuarse a la atmósfera.

4.4.2 Elementos antirretorno

Con objeto de evitar contra-flujos debido a variaciones de presiones como consecuencia de la interconexión de los diferentes quipos y la variación entre los diversos modos de funcionamiento.

Se ha dotado a esta conducción de un sistema de elementos antirretorno en los puntos críticos, donde con mayor facilidad podrían darse dichas condiciones.

Cuando el depósito de almacenamiento se encuentra liberando hidrógeno, queremos que éste llegue a la pila de combustible, y los elementos antirretorno evitan que este derive hacia la conducción del electrolizador o hacia la conducción de nitrógeno. Se podría pensar que estos elementos no son necesarios y que bastaría con cerrar las válvulas FY01, FY0 y FY04, sin embargo, estas válvulas se encuentran diseñadas para funcionar en un único sentido y no serían válidas para esta operación. La instalación de válvulas aptas para doble sentido sería posible, pero éstas son mucho más caras. Por ello se ha diseñado la conducción de forma que los fluidos pasen por las válvulas en un único sentido minimizando los costes de la instalación .

Se encuentra instalado un elemento antirretorno para evitar el paso de N₂ al depósito de almacenamiento, cuando se proceda a una inertización. Otro elemento antirretorno se encuentra en el depósito de agua, para que no entre agua de la red en el termo eléctrico, por la salida de agua caliente.

4.5 Comunicaciones entre equipos y autómata programable

4.5.1 Termopares

Para adaptar la señal de termopar a una señal de 4-20 mA, se utiliza el convertidor que se muestra en la imagen. Los cables con señal de 4-20mA, van conectados a un módulo de entradas analógicas del PLC, pasando por su respectivo conector en un carril DIN.

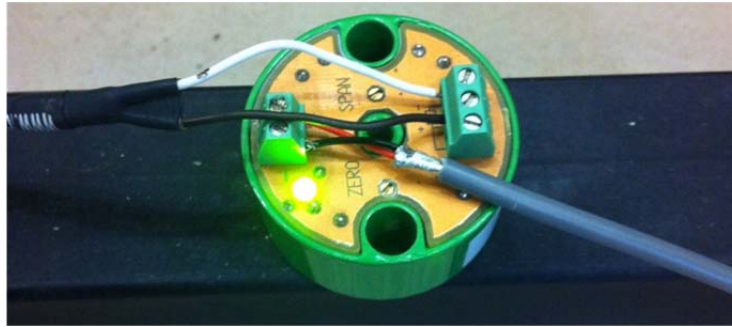


Ilustración 64 - Transformador de señal de termopares a 4-20mA

4.5.2 Transductores de presión

Los transductores de presión están compuestos por 3 polos, uno para la alimentación y otro para el circuito de 4-20mA. Estos cables van conectados a los conectores en carril DIN, y estos van derivados a un módulo de entradas analógicas del PLC y a la alimentación.

4.5.3 Caudalímetro másico de hidrógeno

El caudalímetro másico de hidrógeno, al igual que los transductores de presión, están compuestos por 3 polos, uno para la alimentación y otro para el circuito de 4-20mA. Estos cables van conectados a los conectores en carril DIN, y estos van derivados a un módulo de entradas analógicas del PLC y a la alimentación.

4.5.4 Caudalímetro de agua

Este sensor es de efecto hall, por lo que dará una señal de pulsos en frecuencia. Esta señal necesitaría otro módulo de entrada en el PLC, por lo que se ha optado en utilizar un convertidor de frecuencia a señal 4-20mA.



Ilustración 65 - Convertidor de frecuencia a 4-20mA

4.5.5 Válvulas solenoides

Cada válvula estará controlada por un relé, ya que el módulo de salida digital del PLC no permite tanta potencia. Además, por temas económicos, es más rentable cambiar un relé en mal estado que un módulo del PLC. La salida digital del PLC, al activarse excitará la bobina del relé que cerrará un contacto que pondrá en contacto la fuente auxiliar de 24VDC con la bobina de la válvula de solenoide.

4.5.6 Fuente de alimentación

La fuente programable dispone de una alimentación trifásica, que se ha conectado al enchufe de trifásica, con su propia protección que dispone el laboratorio. La fuente incorpora unos puertos de comunicación analógica en tensión. La fuente puede seguir una consigna de tensión y otra de corriente, estos puertos irán conectados a salidas analógicas del PLC. Las salidas del PLC controlan en corriente, y se ha dispuesto de divisores de tensión, con resistencias, para convertir las señales de control a tensión de 0-10VDC. Análogamente, dispone de dos puertos de señales de medidas de la tensión y corriente, a la que está trabajando la fuente de alimentación. Estas señales están conectadas a las respectivas entradas analógicas del PLC.

Además la fuente dispone de un puerto al cortocircuitarlo, no permite salida de electricidad de la fuente, este puerto está conectado directamente al contacto normalmente abierto de la seta de emergencia.

La fuente está colocada en el armario de control sobre unos railes.

4.5.7 Carga electrónica

La carga electrónica se alimenta de corriente alterna monofásica. Esta alimentación está aguas abajo de la protección contra contactos indirectos que se ha instalado, y la protección contra sobrecorriente que dispone el laboratorio.

La carga incorpora unos puertos de comunicación analógica en tensión. La carga puede ser contralada según el modo seleccionado, potencia, corriente, tensión o resistencia, la carga incorpora una señal de consigna que controlará proporcionalmente el modo deseado, el cual estará conectado a una salida digital del PLC. Las salidas del PLC controlan en corriente, y se ha dispuesto de un divisor de tensión, con resistencias, para convertir la señal de control a tensión de 0-10VDC. Análogamente,

dispone de dos puertos de señales de medidas de la tensión y corriente, a la que está trabajando la carga. Estas señales están conectadas a las respectivas entradas analógicas del PLC.

La carga está colocada sobre unos carriles en el armario de control.

4.5.8 Servidor OPC

Al sistema de control se ha incorporado dos servidores OPC (OLE process control). Un servidor estará comunicado con el PLC de Schneider Electric, que se encarga del control de la instalación. Otro servidor estará comunicado con el PLC de Allen-Bradley que dispone el electrolizador.

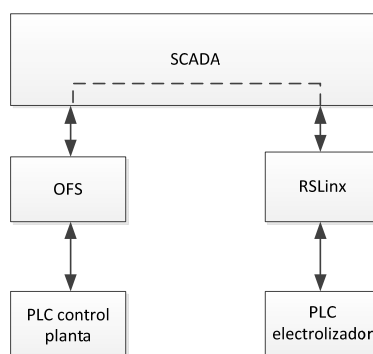


Ilustración 66 - Esquema de PLCs, OPCs y SCADA

Estos servidores son capaces de leer y escribir variables de los respectivos PLC y servirlo mediante un estándar a una aplicación cliente, en nuestro caso un sistema SCADA. Además el SCADA funcionará como intercambiador de variables entre los dos PLC.

Modicon M340

El servidor utilizado para el control y supervisión del PLC de control de la planta es el OPC Factory Server.

Electrolizador

El servidor utilizado para el control y supervisión del PLC del electrolizador es RSLinx OPC server.

4.5.9 Electrolizador

El electrolizador dispone de un control a través de un PLC incorporado, este estará conectado al PC (SCADA) a través de un puerto rs-232. El electrolizador necesita una alimentación monofásica alterna para alimentar las válvulas, sensores y PLC. Este estará conectado aguas abajo a las protecciones instaladas para la red AC.

4.5.10 CAN/CANOpen bus

Ambos buses de campo, físicamente son iguales. Por lo que cada bus estará dispuesto de tres hilos, dos de señal (CAN_H y CAN_L) y uno de tierra. En las terminaciones de cada BUS está dispuesta una resistencia de 120 Ohms entre los cable de señal (CAN_H y CAN_L). En el caso del CANOpen, una

resistencia estará colocada en el conector DB9, y otra activada en la pasarela CAN/CANOpen. En el bus CAN, una resistencia estará colocada en el conector DB9 de la pila, y la otra resistencia en un tramo a continuación del convertidor del electrolizador con un conector RJ11.

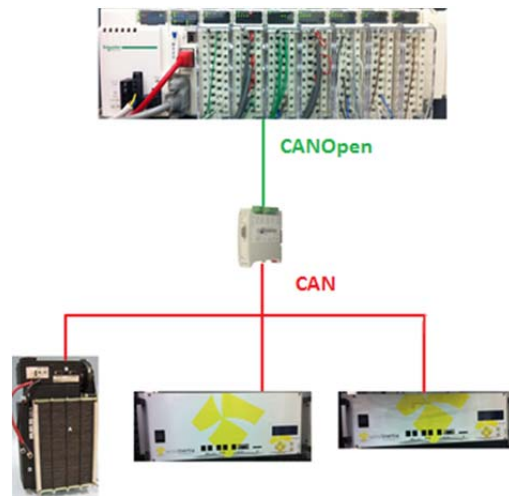


Ilustración 67 - Esquema de buses CAN

4.5.10.1 Convertidores DC/DC

Los convertidores DC/DC se alimentan del lado del bus de corriente. Estos dispositivos disponen de 4 conectores, dos para el bus de corriente y otros dos para su respectivo equipo (electrolizador, pila de combustible). Los convertidos están colocados en el armario de control, sobre carriles.

4.5.10.2 Pila de combustible

La pila de combustible se alimenta de una fuente de 12 VDC, mientras la pila no esté en funcionamiento, por lo que ira conectada a la fuente auxiliar del armario de control. Además de la conexión con el bus CAN y Bus de Corriente. Este equipo se encuentra fuera del armario de control.

4.6 Disposición del depósito de almacenamiento de hidrógeno

El sistema de almacenamiento de hidrógeno es un cilindro en cuyo interior se contienen dichos hidruros. Además este contenedor cilíndrico contiene un sistema de paso de agua de refrigeración ya que el propio funcionamiento requiere enfriar o calentar los hidruros.

El contenedor se encuentra situado sobre la siguiente estructura:

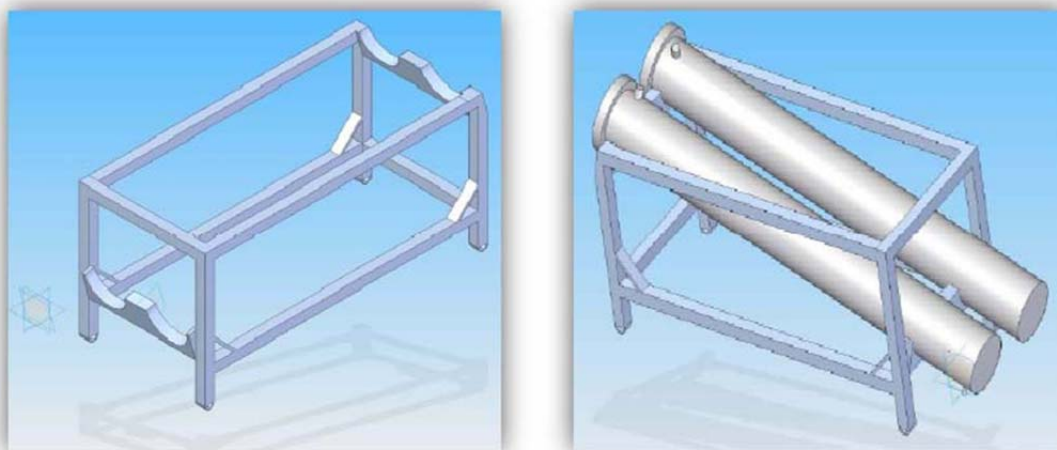


Ilustración 68 - Representación tridimensional de depósito de hidruros

La estructura dispone de un sistema de ruedas con frenos, lo que nos permite desplazar el depósito y ubicarlo en diferentes partes del laboratorio. La estructura puede contener dos depósitos en lugar de uno, por si en un futuro se desea instalar un depósito adicional.

El empleo de esta disposición se debe a recomendaciones del fabricante.

A continuación se observa la disposición real del depósito dentro del soporte, para nuestras instalaciones:



Ilustración 69 - Depósito de hidruros metálicos

4.7 Disposición de la línea de hidrógeno instalada

Se optó por instalar la línea fijada a la estructura-soporte del depósito de hidruros metálicos. Esta fijación se realizó mediante un sistema con cinco abrazaderas atornilladas a dicho soporte y otras cinco fijadas a la conducción de hidrógeno. Así las abrazaderas se conectan entre sí mediante un espárrago roscado. La instalación de la línea quedó de la siguiente manera.

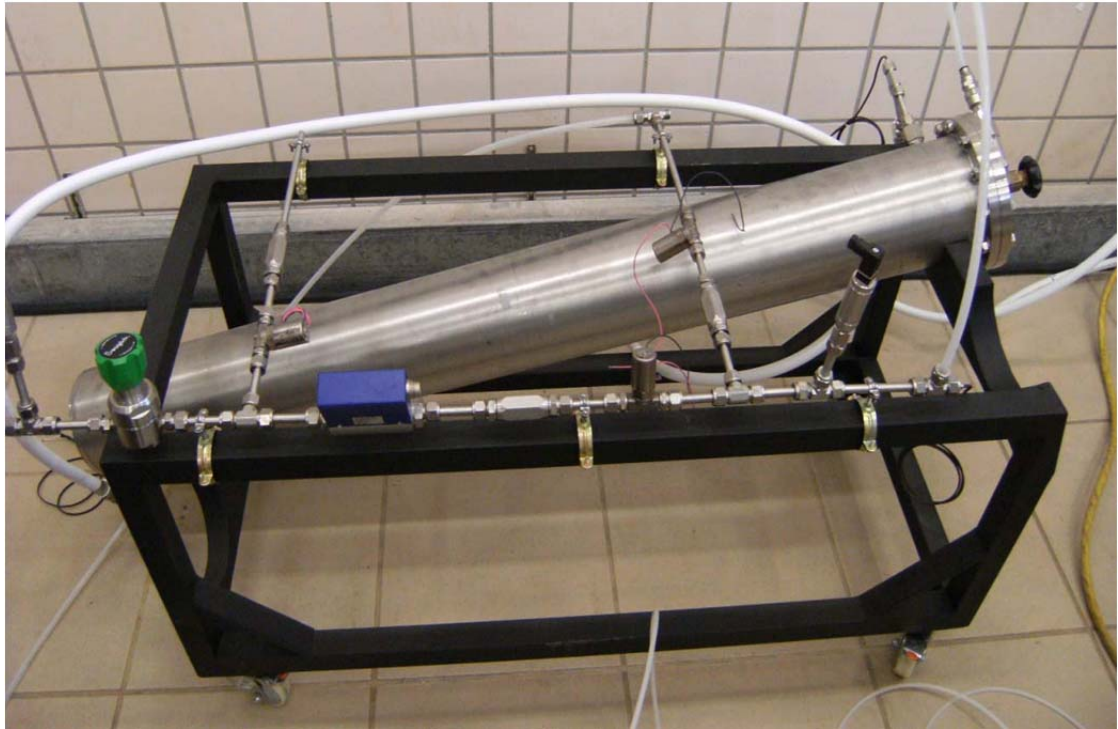


Ilustración 70 - Línea de hidrógeno instalada con depósito de hidruros

4.8 Sistema de calefacción/refrigeración del depósito de almacenamiento

Para poder satisfacer las necesidades de calefacción/refrigeración del depósito de almacenamiento de hidrógeno. Se dispone de agua de red del laboratorio, y además fue necesario instalar un sistema de calentamiento de agua. Se instaló un termo eléctrico y se previó instalar otro adicional en paralelo, para que funcionen en modo alternativo, con el objetivo de que la temperatura del agua caliente no caiga por debajo del valor límite. Así cuando la temperatura del agua proveniente de un termo caiga, una válvula cortará el flujo de agua y entrará en funcionamiento el segundo termo, mientras el primero calienta agua por encima de las condiciones límite, y así alternativamente. Actualmente sólo se dispone de uno.



Ilustración 71 - Termo eléctrico

Con objetivo de controlar el caudal de agua de calefacción/refrigeración, se ha instalado a la entrada del depósito de almacenamiento un caudalímetro de agua.

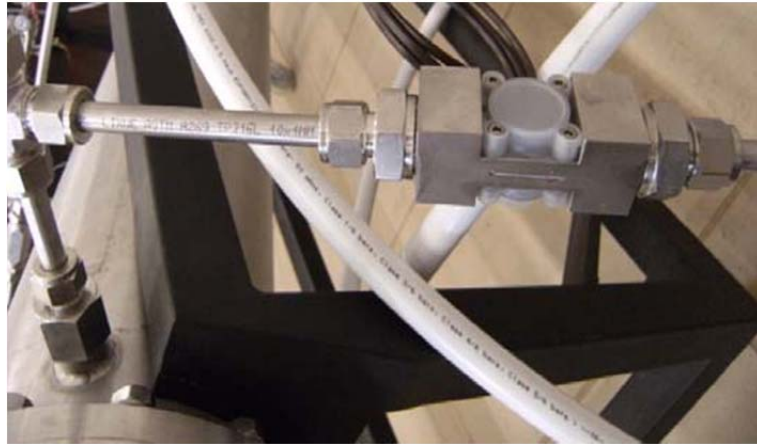


Ilustración 72 - Caudalímetro de agua instalado