

BASES DE DISEÑO PARA PLANTA PILOTO: “BANCO DE ENSAYOS DE STACKS TECNOLOGÍAS AEL Y PEM”

Versión de 28 de agosto de 2026. Se modifica el Valor de diferencia de presión cátodo-ánodo y los medios auxiliares del punto 3.1..

Versión de 30 de julio de 2026. Se modifica el apartado 2: la impedancia, en caso de incluirse en la oferta, debe estar contemplada en la proposición económica (Anexo VI en el Sobre C, sin que de la documentación incluida en el Sobre B pueda deducirse su inclusión o no).

Tabla de contenido

1.	RESUMEN.....	3
1.1	Resumen ejecutivo.....	3
1.2	Introducción	3
2.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	4
2.1	Especificaciones de los stacks	6
2.2	Bases de diseño	9
2.3	Diagrama de proceso	10
2.4	Equipos principales	10
3.	DIRECTIVAS Y NORMAS APLICABLES.....	12
3.1	Emplazamiento	13
4.	ESPECIFICACIONES ESTÁNDAR DE LOS INSTRUMENTOS	16
4.1	Sensores de temperatura (PT100, PT1000).....	16
4.2	Manómetros	16
4.3	Transmisores de presión.....	17
4.4	Transmisores de nivel	18
4.5	Válvulas de control.....	18
4.6	Controladores de caudal máxicos	18
4.7	HTO/OTH, conductividad y humedad.....	18

4.8	Listado de fabricantes preferentes	19
4.9	Especificaciones de los requisitos de seguridad	19
4.10	Varios.....	20
5.	ELECTRÓNICA DE POTENCIA	21
6.	SISTEMA DE CONTROL.....	22
6.1	PLC.....	22
6.2	Pantalla táctil e interfaz hombre-máquina	23
6.3	Otros dispositivos.....	23
6.4	Armario de control y arquitectura	23
6.5	Algoritmos de control y funcionalidad	24
6.6	Otros.....	25
6.7	Interfaz con otros sistemas o dispositivos	25
7.	PRUEBAS DE ACEPTACIÓN.....	25
7.1	FAT (Factory Acceptance Test).....	25
7.2	SAT (Site Acceptance Test)	25
8.	ALCANCE Y DOCUMENTACIÓN.....	26
8.1	General	26
8.2	Instrumentación	26
8.3	Equipos y recipientes a presión.....	26
9.	ANEXOS.....	27
9.1	JRC Technical Report	27

1. RESUMEN

1.1 Resumen ejecutivo

El presente documento recoge las bases de diseño para la contratación de la **ingeniería completa, hasta fase de construcción** de una planta piloto (modelo llave en mano) para el testeo de stacks de tecnologías de electrólisis PEM y Alcalina.

La planta piloto se instalará en el EIC (Energy Intelligence Center) en el Parke de Abanto-Zierbena.

En este documento se especifican todos los objetivos, requisitos, especificaciones, códigos, normativas y buenas prácticas exigidas o recomendadas.

Se especifica en este documento la información preliminar necesaria para la licitación.

En fases posteriores, la ingeniería básica realizada previamente (que servirá como base, pero sobre la que hay que plantear cambios de diseño) se compartirá con la empresa adjudicataria.

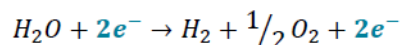
1.2 Introducción

El objetivo principal de este proyecto es proporcionar al EIC una nueva unidad para llevar a cabo ensayos en el área de electrólisis, dentro del marco de las líneas de investigación de descarbonización y economía circular. Esta nueva planta piloto consistiría en un banco de ensayos para la operación de stacks (short-stacks) de tecnologías de electrólisis de baja temperatura (tecnologías alcalina y PEM).

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La planta piloto que se pretende diseñar debe permitir el ensayo y validación de las tecnologías de electrólisis de baja temperatura para la obtención de H₂ renovable.

Como es sabido, la electrólisis de agua es la reacción química activada por una corriente eléctrica para la descomposición de la molécula en oxígeno e hidrógeno:



1. El ánodo y el cátodo son los elementos responsables de poner en contacto la carga eléctrica con el agua e iniciar la reacción. El hidrógeno se formará en el cátodo y el oxígeno en el ánodo.
2. El electrolito es el medio responsable de transportar las cargas generadas (iones) desde un electrodo al otro. En función del tipo de electrolito, destacamos las siguientes tecnologías de baja temperatura:
 - Líquido – Tecnología alcalina: ion OH-
 - Membrana polimérica – Tecnología PEM: ion H+
3. La planta piloto será utilizada para el testeo de stacks o short-stacks de electrolizadores de tecnologías tanto alcalina como PEM, de manera no simultánea. Se contempla la posibilidad de testar stacks comerciales, formados por un pequeño número de celdas, con áreas de celda iguales a las empleadas en los stacks de gran potencia.

El objetivo de la unidad es evaluar diferentes stacks en diferentes condiciones de operación y que permita una operación segura, sencilla y lo más flexible posible (dentro de los límites establecidos en las bases de diseño).

Los stacks tendrán una potencia de hasta **200 kW**. Para mayor flexibilidad de la unidad, se considerará que estos stacks pueden ser tanto stacks completos de esta potencia como “short-stacks” (agrupación de un número limitado de celdas, representativa de stacks de gran potencia), con el impacto que esto tendría en variabilidad tanto en dimensiones como en voltaje/intensidad. Se consideran “short-stacks” como agrupaciones de entre 3/4 y 10 celdas.

La información compartida en esta sección no se considera una descripción exhaustiva o detallada de las funcionalidades de la planta piloto. Cualquier aportación alternativa o mejora al diseño que pueda ayudar a mejorar la versatilidad en el testeo de stacks, así como en su flexibilidad para la actividad de investigación, basada en el conocimiento del proveedor, será valorada en la propuesta general. Por ejemplo, si se pueden aportar soluciones que permitan flexibilizar el número de celdas a testar o albergar diferentes configuraciones de stacks, serán parámetros clave para la selección de la ingeniería. El objetivo principal es que la planta piloto sea lo más flexible posible.

No se debe considerar la operación simultánea de la bancada en AEL y PEM. Los elementos comunes se deben dimensionar para la operación de un único stack a la vez.

La planta piloto se debe diseñar para reducir las operaciones manuales. La planta podrá operar en modo 24/7, considerando un mínimo de 3 días (72 h) sin supervisión (para estudios de larga duración). Este tiempo se tendrá en cuenta durante el diseño para dimensionar los diferentes equipos implicados. La planta debe disponer de toda la instrumentación necesaria para realizar un balance de masas preciso de cada unidad independiente (banco ensayo PEM y banco de ensayo Alcalino).

La planta se podrá operar remotamente sin necesidad de intervención local. Se establecerá un calendario detallado con las tareas de mantenimiento periódicas que requieran la presencia de un operario.

Se considerará como guía la norma ISO 22734 “Hydrogen generators using water electrolysis”.

El banco será capaz de evaluar los stacks según procedimientos basados en el protocolo armonizado del JRC (ver Anexo 1 JRC Technical Report:9.1).

La planta debe contar con la instrumentación y los equipos necesarios para llevar a cabo la monitorización de, al menos, los siguientes parámetros:

Gases de salida:

- Tomamuestras en diferentes puntos de las corrientes de salida para poder analizar offline por cromatografía de gases.
- OTH y HTO.
- Sensor de humedad.
- Presión.
- Temperatura.

Parámetros del proceso:

- Temperaturas a lo largo del proceso (entrada a celdas, salida de celdas, medidas a lo largo de los stacks, etc.).
- Presión de operación.
- En el caso de PEM, conductividad del electrolito suministrado al stack.
- Caudales de alimentación de agua/electrolito.
- Pureza del agua producida: conductividad.

Parámetros eléctricos:

- Voltaje de celda.
- Corriente eléctrica.
- Consumo energético a nivel de stack y de balance de planta (BoP).
- Curvas de polarización.
- Cronopotenciometrías.
- Impedancia (opcional). ~~Nota: al entender que este tipo de equipo de medida puede afectar muy significativamente al CAPEX de la planta piloto, se establece como opcional. Se requiere cotización a parte como un elemento opcional y se dejará la decisión de compra a la siguiente fase. Si la solución propuesta lo incluye, deberá estar incluido en la proposición económica (Anexo VI en el Sobre C, sin que de la documentación incluida en el Sobre B pueda deducirse su inclusión o no).~~

La planta piloto no se diseñará para un stack en concreto, sino que debe ser flexible a operar en continuo 24/7 con distintos tipos de stack de diferentes tecnólogos (diferentes tamaños, geometrías, potencias, etc.).

El banco de ensayos debe incluir, al menos:

- Sistema de purificación del agua para alcanzar la calidad exigida por los stacks ($<0.1 \mu\text{S}/\text{cm}$).
- Equipo/s de refrigeración de electrolito y gases.

- Sistema de recirculación y alimentación de agua desionizada (PEM)/electrolito (AEL) al stack, con posibilidad de alimentación independiente a ánodo y cátodo, incluyendo bombas e intercambiadores de calor.
- Separador/es en lado ánodo, acondicionamiento y gestión del oxígeno producido.
- Separador/es en lado cátodo, acondicionamiento y gestión del hidrógeno producido.

Nota: el hidrógeno producido no debe alcanzar ninguna calidad ni especificaciones determinada, ya que no será conducido a ninguna red de H₂. Su único fin es la experimentación, por lo que tras ser analizado y contabilizado se venteará. Se debe diseñar el sistema de separación más sencillo necesario, pero sin necesitar una pureza determinada. Sí se debe disponer de una conducción secundaria para poder ser utilizado en otra instalación de testeo del EIC en caso de ser de utilidad, es decir, poder aprovechar dicha corriente para alimentar otra unidad piloto. Si a futuro se especifica una calidad requerida, se planteará incluir un deoxo si fuera necesario.

- Sistemas de secado de corriente a ventear de H₂ y O₂ que se consideren necesarios por limitaciones en la instrumentación. Como nota general a todas las corrientes: asegurar que el contenido de humedad y/o impurezas (por ejemplo, trazas de KOH) de las corrientes a analizar sean compatibles con la instrumentación, prestando especial atención a la humedad para los sensores de HTO, OTH, caudalímetros, etc.
- Venteos de hidrógeno y oxígeno.
- Líneas para el suministro de nitrógeno gas para operaciones de inertizado.
- Instrumentación y analizadores necesarios (incluidas las medidas de voltaje celda a celda).
- Estructura, piping, tubing, soportación.
- Fuentes de alimentación.
- Adquisición de datos.
- Sistemas seguridad como detector de llama, de humo, de H₂ y cámara con visión nocturna. Los sensores de seguridad irán instalados en cada una de las zonas segregadas del contenedor.
- SAI necesario para realizar paradas de emergencia de forma controlada.
- La planta piloto debe incluir el/los contenedores y sistemas de detección necesarios.
- Sistema de aire comprimido en caso de considerarse instrumentación neumática.
- Se valorará positivamente incluir sistema de calentamiento de electrolito para los arranques en frío (opcional). Este sistema de calentamiento debería asegurar que la temperatura del electrolito alcanza 50 °C partiendo de la temperatura mínima estimada en menos de una hora.

2.1 Especificaciones de los stacks

En la siguiente tabla se detallan los principales parámetros de diseño y de operación para los stacks que se quieren testar. Se tomarán los siguientes como datos de partida para la ingeniería de detalle, intentando que la planta piloto sea lo más flexible posible.

Tabla 1. Datos de entrada short-stacks AEL-PEM.

Variables	Valor	Unidades
Diámetro de celda	40-200	cm
Corriente	0-15000	A
Potencia stack	0-200*	kW
Presión ánodo	10-40	barg
Presión cátodo	10-40	barg
ΔP maximo entre ánodo y cátodo (AEL)	0-1	mbar
Producción de H ₂	0-40	Nm ³ /h
Nº de celdas	mín 5	N/A
V _{máx}	40	V
V _{mín}	8	V
Temperatura nominal	80	°C

*Nota: no es restrictivo

Respecto al requisito relativo a la diferencia de presión entre cátodo y ánodo para la tecnología alcalina, donde se indica un valor de 0,1 mbar, dicho valor queda sustituido por la siguiente redacción:

El suministrador deberá considerar en el diseño del banco la necesidad de controlar y proteger el stack alcalino frente a diferencias de presión entre ánodo y cátodo. Aunque la programación final de la lógica de control e interlocks será realizada por terceros, el equipo suministrado deberá disponer de la instrumentación, válvulas, actuadores, señales y conexiones necesarias para permitir dicho control. Como criterio de diseño, la diferencia de presión entre ánodo y cátodo deberá poder mantenerse en operación normal dentro de una banda máxima de ± 1 mbar respecto al punto de equilibrio. Asimismo, el sistema deberá permitir la implementación de alarmas e interlocks de protección, considerándose un valor de ± 3 mbar como umbral de disparo para proteger el stack, evitando en todo caso aproximarse al límite máximo admisible del stack, estimado en el entorno de ± 10 mbar. El suministrador deberá justificar que la arquitectura propuesta permite cumplir estos criterios, aunque la programación final de la lógica de control no forme parte de su alcance.

*Nota 1: la potencia de stack máxima no debe ser fijada, si no que se pretende poder operar dentro de los rangos establecidos.

*Nota 2: Los rangos establecidos en esta tabla preliminar están condicionados al diseño final más sencillo posible con la máxima flexibilidad posible.

Por ejemplo, la presión mínima a la que poder operar los stacks se establece idealmente en 10 barg, siendo necesario mantener un especial cuidado en los equipos de separación, rango partidos, etc.

Se debe asegurar que se puedan operar los stacks en condiciones de 10 barg pero también de 40 barg, sin incurrir en problemas operativos de arrastres en los equipos de separación, etc. y con la operatividad más sencilla posible.

En función de los rangos de corriente y voltajes disponibles, se pretende poder ajustar el nº de celdas a testar de cada tecnología de stacks. El objetivo es operar y probar los distintos stacks en las siguientes ventanas operativas:

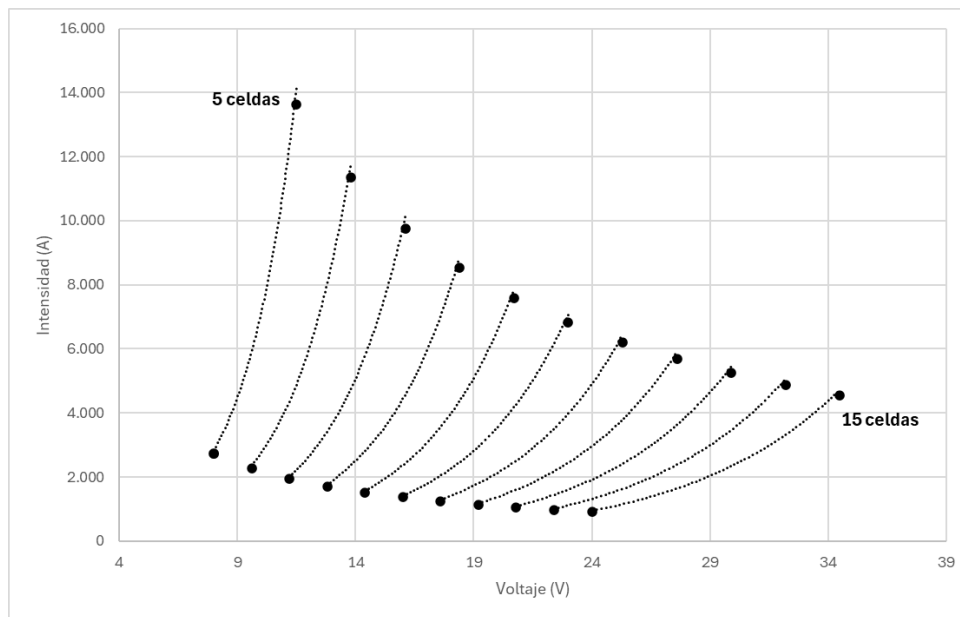


Figura 1. Tensión y corriente a cubrir en función del número de celdas.

En caso simultáneo de baja densidad de corriente y bajo tamaño de celda, es posible que se requiera un mayor número de celdas de cara a alcanzar una producción mínima de hidrógeno que permita el correcto funcionamiento de los equipos del banco. Deberá especificarse en la oferta los límites operativos máximos y mínimos previstos en términos de corriente, tensión, potencia y caudal de hidrógeno producido. Para los casos *turndown*, se considerará como referencia un 20% tanto de potencia como de producción nominal de hidrógeno en alcalina y en PEM. Se debe tener en cuenta estos rangos de operación de la planta y dar soluciones en el diseño. Se estudiará en el análisis de las ofertas las posibles soluciones que se planteen en función de coste y sencillez en la operación. Se deben plantear soluciones de diseño que subsanen las limitaciones operativas, ya sea por número de celdas, electrónica de potencia y/o por elevada variabilidad de caudales, etc.

La capacidad del banco tiene además posibles limitaciones, que se deberán tener en cuenta en el diseño final:

- **Potencia del stack:** junto con el voltaje por celda, afecta directamente al calor a disipar y por tanto a la recirculación de electrolito (AEL) o de agua (PEM). El caudal de recirculación y el salto de temperatura en el stack pueden no llegar a abarcar determinados casos particulares con potencias demasiado altas o bajas, así como los intercambiadores que enfrían el caudal recirculado antes de devolverlo al stack. Los casos de prioridad en el banco durante la fase de diseño serán los siguientes:
 - Alcalino: salto de temperatura en el stack de 5 °C o menos.
 - PEM: salto de temperatura en el stack de 5 °C o menos.
- **Producción de H₂:** con stacks operando a presión, es posible que el control de presión tanto de H₂ como de O₂ no tengan una regulación efectiva en caso de una producción excesivamente elevada o baja (lo cual depende mayormente de la potencia del stack). Esto es debido a que el rango de producción de H₂ se ha visto incrementado al unir las dos tecnologías, a pesar de las compensaciones consideradas a través de los tamaños de celda y las densidades de corriente.

Por ejemplo, un stack PEM de alta presión de 50 kW en su carga *turndown* podría producir alrededor de 0,3 kg/h de H₂ a 30-40 barg. En el caso de un stack alcalino de 160 kW en su carga nominal, sin embargo, se estarían produciendo alrededor de 2,81 kg/h de H₂ a 15-30 barg. Para

evitar este tipo de situaciones se propone ajustar con el número de celdas a instalar, siempre dentro de un orden. Es por ello por lo que se requiere contar con equipamiento eléctrico que permita esa variabilidad en los valores de voltaje y corriente a suministrar.

Para controlar de forma estable estos y los máximos posibles casos de operación diferentes que puedan darse, una posible solución en este caso es duplicar las válvulas de regulación de los venteos. Con esta medida se podría utilizar una válvula de control de un tamaño u otro en función de la potencia del stack, o incluso plantear una estrategia de control en rango partido.

Se debe tener en cuenta estos rangos de operación de la planta y dar soluciones en el diseño. Se estudiará en el análisis de la oferta, las posibles soluciones que se planteen en función de coste y sencillez en la operación.

2.2 Bases de diseño

• Servicios

Los siguientes servicios se consideran disponibles a futuro en el emplazamiento final.

• Datos de la localización:

A continuación, se incluyen los datos climáticos de la ubicación donde se instalará el banco de ensayos.

Datos Climáticos

VARIABLE	Unidades	Valor
Temperatura normal (media anual)	°C	14,5
Temperatura Máxima	°C	38
Temperatura Mínima	°C	-1,5
Winterización	°C	< -1
Humedad relativa	%	80
Temperatura diseño bulbo seco	°C	32
Temperatura diseño bulbo húmedo	°C	24
Viento Dominante	--	Noroeste – Sur

Elevación de la unidad

VARIABLE	Unidades	Valor
Altura sobre nivel del mar	m	120
Presión atmosférica	kg/cm ²	1,00

• Unidades de medida

Las unidades de medida serán las utilizadas en el Sistema Métrico Internacional (SI), aunque se admitirán presiones en kg/cm². La gama de instrumentos, el diagrama detallado y cualquier documento que se maneje durante el proyecto deberán cumplir estos requisitos.

• Equipos, tuberías, tubos, racores y accesorios

La planta se construirá utilizando tubing, racores y accesorios en unidades de pulgadas y acero inoxidable 316L, excepto en aquellas partes en las que pueda requerirse un material específico por

temperatura, presión, corrosión o cualquier otra especificación de proceso. Se debe tener en cuenta la compatibilidad de todos los materiales (incluidas juntas, uniones, e cuerpo de la instrumentación) con el electrolito alcalino (KOH).

Se permitirán medidas de longitud en pulgadas para tubos, tuberías, racores, roscas y accesorios.

- **P&ID (diagramas de tuberías e instrumentos para procesos)**

El diagrama de tuberías e instrumentos se dibujará de acuerdo con las especificaciones entregadas junto con la oferta.

- **Especificaciones de diseño de temperatura y presión**

Los equipos y la instrumentación se diseñarán de acuerdo con las siguientes consideraciones:

- La presión de diseño se incrementará al menos en un 25% de la presión máxima esperada en funcionamiento, tanto en condiciones normales como no normales. (1)
- Los recipientes a presión se diseñarán para una temperatura máxima igual a la mayor temperatura esperada tanto en condiciones normales como no normales, e incrementada al menos en 25 °C.
- Si la presión de diseño así calculada es inferior a 3,5 kg/cm², se tomará esta última como valor para dicha presión.

2.3 Diagrama de proceso

El proveedor deberá de proponer un PFD para el banco de ensayos en base a su experiencia previa. De forma orientativa, se plantea un diseño basado en dos contenedores: un contenedor eléctrico, en el que se incluyen las fuentes de alimentación, los cuadros eléctricos y de control, y un contenedor de procesos en el que se instale el resto de los sistemas.

2.4 Equipos principales

Sistema de tratamiento de agua:

Tiene como fin tratar el agua bruta para producir agua desmineralizada con la calidad requerida por los electrolizadores, fijada en un máximo de conductividad de 0,1 µS/cm. La medida de conductividad del agua debe ser conducida al PLC. El sistema de tratamiento de agua debe consistir en la unidad de tratamiento necesaria (filtros, osmosis inversa, lampara ultravioleta, etc.), bomba de suministro y de un tanque para el almacenamiento del agua producida (equipado con los equipos necesarios para garantizar la pureza del agua hasta su entrada al banco), dotando a la planta de autonomía de 72 horas de consumo a capacidad nominal.

Electrónica de potencia:

El equipo o conjunto de equipos necesarios para la adecuación y conexión de los electrolizadores, que operan a tensión y corriente continua (DC), con la red eléctrica, cuya tensión y corriente son de naturalezas alterna (AC).

Debe permitir el flujo de energía desde la red eléctrica hasta los stacks de electrolisis de forma controlada según las consignas enviadas por el sistema de control de planta. Debe incluir el aislamiento galvánico entre la red y el electrolizador.

Se debe priorizar el uso de fuentes de alimentación (en la medida que sea posible) frente al uso de rectificadores, para poder dotar de una mayor flexibilidad a la planta. Debe ser sencilla la conexión/desconexión de módulos para ajustar las potencias necesarias en función de la tecnología a operar.

Modos necesarios: control de corriente (CC, obligatorio), control de potencia (CP, recomendado) y control de tensión (CV, opcional).

Los rangos de trabajos necesarios quedan definidos en el apartado 2.1 caso Base.

Se debe contar con las siguientes señales imprescindibles, cableadas o comunicadas (Modbus TCP/IP o RTU):

- Orden de marcha/paro.
- Orden de RESET.
- Señal de alarma del rectificador.
- Orden de parada de emergencia.
- Medida de voltaje.
- Medida de intensidad.
- Consigna de voltaje.
- Consigna de intensidad.

Bancada AEL:

Debe contar con las siguientes unidades:

- Espacio para la instalación del stack.
- Parte correspondiente del BoP que debe incluir separadores gas-líquido, bombas para recirculación de electrolito (bombas independientes para alimentar ánodo y cátodo) e intercambiador para refrigerar la corriente recirculada, ayudando así a disipar el calor excedente generado en la reacción electroquímica.
- Sistema de almacenamiento y distribución del electrolito (solución de KOH) común, pero con bifurcación y control de caudal para poder alimentar al cátodo y al ánodo de manera independiente.
- Debe contar también con un sistema de inyección de potasa (disolución de KOH hasta el 32%) al circuito de recirculación del electrolito.
- Las corrientes de hidrógeno y oxígeno que salen de esta parte de la planta se juntarán con las salidas del sistema PEM para su gestión de venteos.

Bancada PEM:

Debe contar con las siguientes unidades:

- Módulo para la instalación del stack.
- Parte correspondiente del BoP que debe incluir separadores gas-líquido, bomba para recirculación de agua desmineralizada e intercambiador para refrigerar la corriente recirculada, ayudando así a disipar el calor excedente generado en la reacción electroquímica.

- Se debe incluir medida de conductividad en la recirculación, y después de las resinas, pero lo más cerca posible de la entrada al stack, con señal en PLC para poder actuar y sirva de protección a los stacks.
- Sistema de almacenamiento y distribución de agua común, pero con bifurcación y control de caudal, temperatura y presiones diferentes para poder alimentar al cátodo y al ánodo de manera completamente independiente.
- De esta manera, debe estar equipado para poder operar opcionalmente en modo cátodo húmedo aunque el modo de operación convencional será de cátodo seco.
- Las corrientes de hidrógeno y oxígeno que salen de esta parte de la planta se juntarán con las salidas del sistema AEL para su gestión de venteos.

Sistema de refrigeración:

Tiene como fin generar alimentar líquido refrigerante a los intercambiadores de calor encargados de regular la temperatura de entrada de electrolito (AEL) y de agua desionizada (PEM) antes de ser introducidos al stack. Este equipo deberá de tener capacidad de refrigeración suficiente para garantizar un buen control de temperatura de los stacks al final de la vida útil de estos, asumiéndose este punto como 2.2 V/celda. Así mismo, se valorarán positivamente propuestas que permitan utilizar este sistema de refrigeración para enfriar el hidrógeno y oxígeno producidos en el electrolizador para minimizar el arrastre al exterior de agua y/o KOH.

3. DIRECTIVAS Y NORMAS APLICABLES

La planta se diseñará de acuerdo con las siguientes normas europeas:

- Directiva sobre baja tensión (LVD) 2014/35/UE.
- Directiva sobre equipos a presión 2014/68/UE.
- Compatibilidad electromagnética (CEM): 2014/30/UE.
- ATEX 2014/34/UE.
- Maquinaria: 2006/42/CE.

Se aplicarán otras normas, directivas, reglamentos y códigos:

- El sistema de diseño, el equipo y el material deben cumplir las normas de la CEI.
- El recipiente a presión objeto de este proyecto se diseñará y fabricará de acuerdo con el Código ASME VIII División I.
- Los grandes recipientes y los recipientes de trabajo en servicios cíclicos de presión-temperatura se diseñarán de acuerdo con ASME VIII División 2 o AD-Merkblätter.

Además de los requisitos de las directivas estándar, el sistema eléctrico deberá cumplir la normativa nacional y local.

El sistema tendrá una base de diseño específica para todos los componentes eléctricos y de instrumentación de conformidad con la norma ISO 22734 para generadores de hidrógeno por electrólisis del agua.

El sistema de control deberá cumplir con las normativas internas de Parke en materia de ciberseguridad que se especificarán en las fases posteriores del proyecto.

3.1 Emplazamiento y obra civil

La planta se instalará en un emplazamiento exterior y debe ser conterizada. En la siguiente imagen se muestra de forma gráfica la ubicación aproximada asignada al proyecto. Cabe destacar que, colindante con el espacio reservado para el banco de electrólisis se encuentra en construcción otro banco de ensayos correspondiente al proyecto H2BIDEA. En el marco de este proyecto, se ha llevado a cabo la adecuación de los accesos a la parcela, los cuales serán compartidos para el acceso al banco de electrólisis.



Figura 2. Emplazamiento del banco de electrólisis.

Teniendo en cuenta que el banco estará en una zona exterior, se considerará la instalación en contenedores tipo marítimo o similar, con aperturas múltiples, por ser una solución más fácilmente transportable. Los contenedores tendrían una media perimetral de 6/12 metros de largo por 2,4 metros de ancho. En el diseño habrá que tener en cuenta y especificar en detalle las aperturas necesarias para poder acceder y realizar el cambio de stack, teniendo en cuenta sus dimensiones y pesos. Se debe incluir en el estudio, los servicios necesarios para las operaciones de sustitución de stacks (puente grúa, maquinas elevadoras, accesos y adaptaciones necesarias, etc).

A continuación, pasamos a describir las actividades necesarias para conseguir una **PLATAFORMA DE 250m²**, destinada a colocar el equipamiento necesario para instalar el banco de ensayos SHORT STACKS:

1. 30 cm de excavación para retirar la tierra vegetal con transporte interno a acopio en la propia parcela de hasta 30 cm de espesor.
2. 100 m³ de excavación (previsto 90% tierras – 10% roca) para los rellenos sin paso por acopio.
3. 100 m³ de relleno con material de la propia excavación.
4. 20 cm de zahorra artificial ZA-0/32 en toda la extensión de la parcela.
5. 20 cm de solera de HA-30/B/20/XC4 con mallazo 15x15x8 y acabado fratasado.

6. 70 ml de bordillo de hormigón prefabricado con ancho 15 cm x alto 25 cm.
7. 70 ml de Vallado de cierre de 2 m de altura enrejado de simple torsión plastificado de color verde 50x50x3mm con postes de empotramiento galvanizados colocados cada 3 m y con plastificado de 48x1,5mm.
8. 1 ud Puerta de 2 hojas, galvanizada, verde. Dimensiones largo 6m x alto 2m.

La obra civil objeto del presente contrato comprenderá la totalidad de las actuaciones necesarias para la correcta ejecución, legalización y puesta en funcionamiento banco de ensayos de stacks tecnológicos AEL y PEM y sus instalaciones asociadas.

A estos efectos, se considerarán incluidos en el alcance del contrato todos los trabajos, medios, gestiones y costes necesarios para la conexión efectiva a las redes generales de suministro, incluyendo, sin carácter limitativo, electricidad, gas, abastecimiento de agua, saneamiento, telecomunicaciones y, en su caso, hidrógeno u otros servicios necesarios para el correcto funcionamiento de la instalación.

Asimismo, se incluirán:

- La ejecución de acometidas, canalizaciones, zanjas, arquetas, cuartos técnicos y cualquier obra auxiliar necesaria.
- La tramitación, gestión y obtención de permisos, autorizaciones y legalizaciones ante organismos competentes y compañías suministradoras.
- La coordinación con dichas entidades, incluyendo la ejecución de las actuaciones que estas requieran.
- Las pruebas, puesta en servicio y entrega de las instalaciones en condiciones plenamente operativas.

Se entenderá que todas estas actuaciones están incluidas en el precio ofertado, no siendo admisible la reclamación de costes adicionales por estos conceptos.

Dado que el banco de ensayos se ubicará en una zona exterior, se considerará la instalación en **contenedores tipo marítimo o similar**, con aperturas múltiples, por su mayor facilidad de transporte, montaje y adaptación.

A este respecto:

- Los contenedores tendrán unas dimensiones orientativas de **entre 6 y 12 m de longitud y 2,40 m de anchura**, debiendo el adjudicatario definir su configuración final en función de las necesidades del equipamiento.
- En el diseño se deberá **definir y justificar detalladamente las aperturas necesarias** (puertas, registros, huecos técnicos, etc.), garantizando:
 - El acceso para operación y mantenimiento.
 - La posibilidad de **sustitución de los stacks**, teniendo en cuenta sus dimensiones, peso y condiciones de manipulación.

Asimismo, el adjudicatario deberá incluir en su propuesta un **estudio específico de operatividad y mantenimiento**, que contemple como mínimo:

- Los **medios auxiliares necesarios para la sustitución de stacks**, tales como:
 - Puente grúa, en caso de ser viable.
 - Equipos de elevación alternativos (carretillas, plataformas elevadoras, grúas móviles, etc.).
- La definición de **accesos, maniobrabilidad y espacios de trabajo** necesarios para dichas operaciones.
- Las posibles **adaptaciones de la plataforma, del entorno o de los propios contenedores** para permitir una operativa segura y eficiente.

Todas estas soluciones deberán quedar perfectamente definidas a nivel de propuesta técnica, incluyendo esquemas, condicionantes y criterios de dimensionamiento.

Se incluye igualmente dentro del alcance de la obra civil la ejecución completa de una **plataforma de aproximadamente 250 m²** destinada a la implantación del equipamiento correspondiente al banco de ensayos *SHORT STACKS*, incluyendo todas las actividades necesarias para su correcta construcción y funcionalidad.

En particular, se contemplan las siguientes unidades de obra:

1. Excavación de **30 cm de espesor** para retirada de tierra vegetal, con transporte interno y acopio en la propia parcela.
2. Excavación de **100 m³** (estimación: 90% tierras y 10% roca), destinada a la formación de caja para rellenos, sin paso por acopio intermedio.
3. Ejecución de **100 m³ de relleno** con material procedente de la propia excavación.
4. Extendido de **capa de zahorra artificial ZA-0/32 de 20 cm de espesor** en toda la superficie de la plataforma.
5. Ejecución de **solera de hormigón HA-30/B/20/XC4 de 20 cm de espesor**, armada con mallazo 15x15x8 y acabado superficial fratasado.
6. Colocación de **70 ml de bordillo de hormigón prefabricado**, de dimensiones 15 cm de ancho y 25 cm de altura.
7. Ejecución de **70 ml de vallado perimetral**, de 2 m de altura, mediante malla de simple torsión plastificada en color verde (50x50x3 mm), con postes galvanizados de Ø48 mm y 1,5 mm de espesor, dispuestos cada 3 m.
8. Instalación de **1 unidad de puerta de acceso de dos hojas**, galvanizada y plastificada en color verde, con dimensiones de 6 m de ancho y 2 m de altura.

Esta plataforma deberá entregarse completamente terminada, nivelada y apta para la instalación del equipamiento previsto, incluyendo cualquier actuación complementaria necesaria, aunque no esté expresamente definida en las unidades anteriores.

El adjudicatario deberá considerar en su oferta todos los medios, materiales, trabajos auxiliares, imprevistos razonables y condicionantes técnicos necesarios para la completa ejecución de la

plataforma y de las acometidas a servicios, no siendo objeto de abono independiente ninguna partida no expresamente desglosada pero necesaria para su correcta terminación y puesta en funcionamiento.

4. ESPECIFICACIONES ESTÁNDAR DE LOS INSTRUMENTOS

La instrumentación incluida en el Proyecto se ajustará a los criterios que se indican a continuación:

- Alimentación 24Vdc (PSU) o 230 Vac desde SAI
- Protocolo de comunicación analógica 4-20mA (Entrada/Salida)
- Señal digital 24Vdc (Entrada/Salida)
- Interruptor de contacto de seguridad normalmente cerrado, diseño Fail Safe
- Protección IP54 excepto en aquellos casos en los que se requiera una protección superior para condiciones específicas.
- Los instrumentos incluidos en este proyecto se clasificarán como Categoría II 2G o Gb.
- Aunque no se requiera protección Ex ia, por política del centro, la instrumentación deberá cumplir esta protección.
- Se deben seleccionar los tipos instrumentos (caudalímetros, válvulas, sensores, analizadores, etc) acorde al contenido de cada corriente, presentando especial atención al contenido en humedad de estas, trazas de agua desionizada y electrolito, etc.

4.1 Sensores de temperatura (PT100, PT1000)

Los sensores de temperatura serán del tipo PT100 ò PT1000, teniendo en cuentas las temperaturas del proceso, pero sus características deben ser conformes a la norma ANSI/ISA 60584.

Los tramos de señal en mV serán cables blindados de compensación o prolongados (blindados globalmente y en cada par). Todas las conexiones de cables de los sensores se realizarán mediante conectores especiales para esta función (unión compensada).

Los sensores se fijarán a la superficie del tubo mediante un termopozo de acero inoxidable para facilitar el intercambio a través de la capa aislada.

Los sensores de control de los stacks incluirán un muelle de empuje para garantizar el contacto con la zona objetivo.

4.2 Manómetros

Se requiere incluir manómetros al menos en los siguientes puntos:

- Entrada de servicios auxiliares.
- Descarga de bombas
- Depósitos
- Sistema de tomamuestras.

La tabla siguiente se considera orientativa. Se tendrán en cuenta los consejos y recomendaciones de los fabricantes:

Tabla 2. Datos orientativos con relación a los manómetros.

Sensor Element	Fluid phase	Range	Notes
Bourdon Tube	Liquid / Gas	0-1 a 0- 100 bar	Overpressure Factor: 1.3
Spiral Tube	Liquid / Gas	> 100 bar	Overpressure Factor: 1.3
Capsule	Gas	0-0.025 a 0-0.6 bar	Does not withstand overpressures
Bellows	Liquid / Gas	0-0.06 a 0-1 bar	Does not withstand overpressures
Diaphragm	Liquid / Gas	0-0.16 a 0-1 bar	Does not withstand overpressures

Se considerará estándar la esfera con un diámetro exterior de 63 mm, salvo que se especifique otro diámetro exterior. La escala de medición se elegirá de acuerdo con los siguientes criterios:

- La presión normal de funcionamiento debe permanecer en el tercio medio de la escala normalizada.
- La presión máxima no debe superar el 85% de la escala.
- La presión mínima no debe ser inferior al 15% de la escala.

Para facilitar la intercambiabilidad de las piezas de recambio y minimizar su número, se reducirá al mínimo el número de escalas utilizadas mediante el uso de rangos normalizados.

En general, si no hay consideraciones que impidan la visibilidad, accesibilidad...etc. el manómetro de proceso debe montarse directamente excepto cuando se prevea fluido corrosivo, sólidos dispersos en el fluido, fluidos de alta viscosidad o temperatura superior a 120 °C, en este caso se incluirán junta y capilares.

En aplicaciones donde se esperen pulsos tales como descarga de bombas se requiere un amortiguador de manómetro de compresor junto al llenado de líquido. Con los manómetros de seguridad, se prestará especial atención a la posición de los diales. El manómetro de seguridad se utilizará en servicios peligrosos como hidrógeno y fluidos tóxicos a altas presiones, como en este proyecto. El manómetro de seguridad debe especificarse de acuerdo con la norma EN-837-2.

Safety levels for manometers s/ EN-837									
Phase:	Liquid		Gas or Vapor						
Casing	Dry	Filled	Dry				Filled		
Φ_{dial} face	All	All	< 100 mm		≥100 mm		< 100 mm		≥100 mm
Range	All	All	≤25 bar	> 25 bar	≤ 25 bar	> 25 bar	≤ 25 bar	> 25 bar	≤ 25 bar > 25 bar
Level	0	S1	0	S2	S1	S3	S1	S2	S1 S3

Tabla 3. Niveles de seguridad para manómetros.

4.3 Transmisores de presión

Cada lazo de presión se debe diseñar con un transmisor electrónico.

El transmisor será de 2 hilos con señal analógica de 4-20 mA y alimentado de 16,5 a 40 Vcc. El principio de medición será definido por el proveedor (capacitivo, piezorresistivo, vidrio oscilante, etc.). La pantalla se incluirá en cada transmisor; la pantalla local se considerará estándar si no se especifica una pantalla remota.

Las partes húmedas serán de acero inoxidable 316L y PTFE, salvo que se requiera otro material para las condiciones del proceso.

Cuando se prevea la presencia de fluidos corrosivos, sólidos dispersos en fluidos, fluidos de alta viscosidad o temperaturas superiores a 120 °C, el transmisor de presión incluirá juntas y capilares.

Uso de enclavamientos, si no se indica lo contrario se instalará un transmisor electrónico inteligente e independiente de los utilizados en los lazos de control.

La cámara del transmisor soportará el 150% de la presión estática máxima o 100 barg (la mayor de ambas). La precisión mínima requerida por las normas será del 0,1% del rango calibrado, salvo que se especifique un valor superior.

La conexión a proceso, si no incluye junta, será de ¼ NPT. La conexión eléctrica será de ½» NPT, si no se utiliza conexión de pantalla remota se incluirá un tapón metálico.

No se especifican preferencias en cuanto al tipo de protección utilizada pero en Ex ia se requiere un diseño, cálculo y construcción Ex ia de todo el bucle.

4.4 Transmisores de nivel

Si se elige un transmisor de presión diferencial para el lazo de control de nivel, se diseñará con un transmisor electrónico inteligente e incluirá los accesorios de montaje y las válvulas necesarias para asegurar un montaje adecuado. Si se opta por un transmisor de radar de nivel, deberá ser de 2 hilos con señal analógica de 4-20 mA y alimentado a 16,5 a 40 Vcc.

Se incluirá un display en cada transmisor; el display local se considerará estándar si no se especifica un display remoto.

4.5 Válvulas de control

Todos los lazos de control estarán equipados con una válvula de control que incluirá un posicionador electroneumático con funciones básicas como autocalibración local mediante pulsadores y visualización local. La entrada para el ajuste de posición será de 4-20 mA si se requiere otra información será transmitida por protocolo digital HART. Alimentación 24Vdc. La impedancia del posicionador será requerida y tenida en cuenta para el diseño del lazo.

Debido a los diferentes procesos que se llevarán a cabo y elevada flexibilidad necesaria, se debe incluir en las hojas de datos los cálculos para el elegir el TRIM adecuado. Como guía tomar en cuenta que la apertura debe ser entre el 10% y 85%.

4.6 Controladores de caudal másicos

Todos los controladores másicos necesarios se alimentarán de 16,5 a 40 Vcc y la señal analógica será de 4-20 mA. Si no se especifica lo contrario, el estándar debe ser normalmente cerrado.

4.7 HTO/OTH, conductividad y humedad

Se ha identificado que la durabilidad de estos sensores es crítica y depende en gran medida de factores como la presión, el caudal, la humedad y la presencia de agentes químicos como el KOH. Por ello, debe asegurarse el correcto acondicionamiento de la muestra para garantizar que llegue al sensor libre de humedad, KOH, partículas y otros contaminantes.

4.8 Listado de fabricantes preferentes

Dentro de lo posible, se elegirán los siguientes fabricantes para facilitar la intercambiabilidad de los repuestos y minimizar su número. Cualquier otro instrumento o fabricante no incluido en esta lista, deberá cumplir con los códigos y normativa especificados en este documento y deberá ser aprobado por Parke en base a la especificación técnica.

Tabla 3. Listado de proveedores preferentes.

Tipo de sensor	Proveedor
Manómetro	Swagelok o Wika
Válvulas de Control	Equilibar y Badger
Posicionador electroneumático	Fisher, Samson o ABB
Válvulas automáticas (back pressure regulator / Pressure reducing valves)	TESCOM o Swagelok
PSV y discos de ruptura	Con certificado CE/ y documentación de tarado (Hoke)
Termopares	NA
Temperature Switch	PR Electronics o jumbo
Conductividad	Endrees Hausser
HTO y OTH	Teledyne, Oxytrans, Panametrics
Humedad	Easydew
Medidor de nivel	Vega, Endress Hausser, Rosemount
Mass Flow Controller (gases)	Brooks, Ritter
Flow transmitter	CoriolisEndress Hauser, Rheonik, Siemens, Vega, Rosemoung
Válvulas manuales, piping, uniones, etc,	Swagelok
Válvulas solenoides	FESTO module Burkert

4.9 Especificaciones de los requisitos de seguridad

La filosofía de seguridad se basará en cuatro niveles de seguridad:

- Diseño.
- Alarmas.
- Enclavamientos.

- Salvaguardias mecánicas.

Se deben incluir en el diseño, todos los elementos de seguridad que se estimen necesarios, incluyendo, por ejemplo, detector de fugas de H₂, cámara de visión nocturna, etc.

La función de instrumento de seguridad estará dotada, tanto la función de medida y control como la de seguridad (enclavamientos), de instrumento independiente (a definir tras estudio de análisis de riesgos Hazop). El instrumento de seguridad será analógico. En lugar de la metodología SIF, la planta se diseñará con salvaguardias mecánicas como último nivel de seguridad:

- La instrumentación de seguridad mecánica (PSV) se equipará como último nivel de protección en todo el nivel de presión establecido en el diseño de presión.
- TSS se considerará una protección mecánica para los bucles de temperatura cableados independientemente del control del sistema.

El PLC de control incluirá tarjetas adicionales con entradas y salidas de seguridad. Todos los sensores y actuadores de seguridad serán dirigidos a estas tarjetas para que el PLC pueda ejecutar de manera independiente a la funcionalidad de control todas las tareas relacionadas con la seguridad.

Se debe incluir al menos un botón de parada de emergencia en la parte frontal del panel de control y el accionamiento se definirá durante el Hazop. Se instalará al menos, otros 2 botones de parada de emergencia en los exteriores del contenedor.

- Duplicar antirretornos (en serie) en puntos críticos de las líneas.
- La zona de proceso deberá estar elevada sobre unas rejillas debajo de las cuales habrá unas cubetas que recojan los posibles derrames.
- Las válvulas manuales críticas deberán estar aseguradas mediante candados.
- Las electroválvulas críticas tener señal de retorno (final de carrera).
- Dado que el diseño de la planta y su BoP debe ajustarse a poder operar con stacks que trabajen desde P atm hasta 40 barg (en función del modelo a estudiar), se deben incluir PSV tarable para proteger los stacks en función de la presión de diseño de estos.
- Fundas antisalpicadura en conexiones eléctricas.
- Valorar necesidad de un sistema anticongelación o climatización por estar instalado el contenedor a la intemperie.

4.10 Varios

En este apartado se incluyen las mejores prácticas que deberán ser consideradas durante la Fase de Ingeniería de Detalle.

- Aunque no se considere como diseño base la instrumentación, tubing y especialmente las juntas y uniones deberán estar diseñadas para soportar el electrolito (KOH o NaOH), en las líneas que contemple el diseño.
- Se debe incluir un sistema de muestreo del electrolito para asegurar la correcta concentración de éste y tener en cuenta el remplazo de este en operación.
- Incluir tomamuestras con doble válvula en corrientes de salida para poder analizar offline por cromatografía de gases.

- El diseño en general deberá minimizar la presencia de volúmenes muertos en el sistema y menores tiempos de estabilización.
- Las válvulas manuales serán de bola, excepto las situadas en los puntos del equipo de presión de venteo o del sistema de muestreo que serán de aguja.
- Aquellos puntos en los que se prevea una presión elevada (> 25 barg), que estén conectados a un punto externo (para muestreo, operación de mantenimiento...etc) mediante válvulas estarán equipados con válvula doble.
- Los venteos de PSV o discos de ruptura o de equipos presurizados deben ser venteos conducidos.
- Las válvulas de control se montarán con una derivación manual y válvulas dobles para realizar operaciones de mantenimiento sin parar la unidad. Estas conexiones se realizarán mediante conexión de junta plana.
- El diseño tendrá en cuenta que las operaciones de mantenimiento se llevarán a cabo sin parar la unidad. Es decir, se prevén filtros en paralelo, válvulas de bloqueo, by-pass en válvula y transmisores, etc.

5. ELECTRÓNICA DE POTENCIA

La energía necesaria para iniciar y mantener la reacción de electrólisis se aplicará con una fuente de alimentación de tensión continua, que se conectará a la red de corriente alterna del centro.

La fuente de energía estará compuesta por una o más fuentes de alimentación asociadas en serie o paralelo para alcanzar los valores de tensión y de corriente especificados. Se realizará un control de corriente limitado por tensión. De esta manera se aportará al stack la corriente deseada sin superar la tensión de máxima de consigna, que dependerá del tipo y número de celdas en el stack.

La fuente de energía se seleccionará en base a la capacidad y tipologías de stacks que se quieren evaluar, con potencias limitadas pero gran tamaño de celdas.

Con intención de preservar el stack de una temprana degradación, la fuente de energía deberá asegurar una calidad de la señal continua acorde con los requisitos del stack que defina el fabricante. El máximo rizado de la corriente deberá ser inferior al 5% de la corriente máxima de la fuente de energía.

Deberá ser capaz de aportar hasta 15000 Amperios de corriente y 40 Voltios de tensión. La potencia máxima deberá ser de 200 kW, por lo tanto, el rango de funcionamiento será el siguiente:

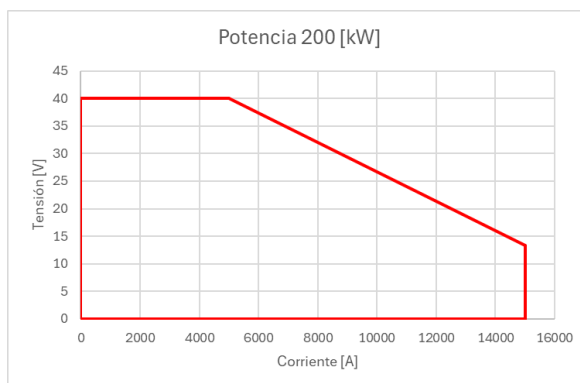


Figura . Rango de funcionamiento de electrónica de potencia.

El rango de funcionamiento de la electrónica de potencia deberá ser corroborado por el fabricante.

La fuente de energía se comunicará con el PLC de manera bidireccional, recibiendo, como mínimo el valor de consigna de tensión y de corriente y una señal de “enable output” y enviando los valores de proceso de tensión, corriente y potencia. El interfaz deberá ser digital (ModBus o similar) o analógico (señales de 4-20mA). La señal de “enable output” deberá ser una señal discreta de 0-24Vdc.

6. SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control de la planta piloto estará compuesto principalmente por un PLC industrial (Programable Logic Controller) u ordenador industrial en tiempo real, encargado de ejecutar de forma segura el software suministrado por PARKE y una pantalla táctil para la interfaz hombre-máquina. También se considerarán otros dispositivos secundarios, como balizas de señalización, pulsadores y un sistema de almacenamiento en estado sólido. Todos estos elementos se instalarán en un armario de control.

El control de la planta piloto podrá realizarse de manera local, mediante los elementos de interfaz descritos anteriormente, o de manera remota. Para el control remoto será necesario un PC con un software de interfaz remoto a detallar más adelante. También será posible la visualización vía WEB de los parámetros de la planta piloto.

El desarrollo del software de control del banco será facilitado por PARKE y, por tanto, queda excluido del alcance de suministro del presente proyecto. No obstante, la empresa adjudicataria deberá colaborar con el proveedor de PARKE en las distintas fases de ejecución del proyecto, con el fin de garantizar el correcto desarrollo de este en su conjunto, y del software en particular. A tal efecto, deberá proporcionar toda la documentación e información necesarias, incluyendo, entre otros, P&ID, esquemas eléctricos, manuales de instrumentación, matriz causa-efecto y estudio HAZOP, para que el proveedor de PARKE pueda llevar a cabo el desarrollo del software de manera satisfactoria en plazo y forma.

6.1 PLC

El PLC recibirá las señales proporcionadas por los sensores del proceso: temperatura, presión, caudal... y actuará sobre dispositivos externos como bombas, válvulas, calentadores, controladores de presión, fuentes de alimentación, etc. Para ello, el PLC contará con entradas y salidas analógicas y digitales, diferentes buses de campo y conexión Ethernet.

Con el fin de simplificar el sistema de control, es importante considerar un PLC versátil, capaz de trabajar con las señales de interfaz más comunes utilizadas en aplicaciones industriales. Esto evitará la necesidad de instalar convertidores externos para adaptar los niveles de señal.

En entornos industriales, la interfaz analógica más común se realiza mediante señales de 0/4 – 20 mA. La interfaz digital adecuada se realiza con señales de 24Vdc.

En el caso de sensores de temperatura, como los termopares, se deberá considerar un terminal adicional de adquisición para sondas de tipo PT100/1000 o termopar.

Como bus de campo, al menos deberá estar disponible ModBus sobre RS485 o ethernet.

Debido a los riesgos de seguridad implícitos en la planta piloto, es necesario que el PLC tenga la capacidad de ejecutar tareas seguras, por lo que deberán estar disponibles varios terminales para registrar, procesar y generar señales relevantes para la seguridad. Estos terminales tendrán una

certificación de nivel de seguridad SIL3. Se desarrollará una parte del software, segregada de la funcionalidad principal, orientada únicamente a tareas de seguridad.

Se deberán contemplar entradas y salidas libres suficientes para posibles ampliaciones futuras de la bancada, mínimo un +30%.

Las tarjetas IO del PLC deberán trabajar con entradas / salidas analógicas de 0-20mA, 4-20mA, 0-5V y 0-10V. Las tarjetas IO digitales trabajarán con señales de 24Vdc. Todas las señales IO digitales serán comandadas por relés.

El PLC se implementará mediante un IPC (Industrial PC) de Beckhoff, basado en tecnología PC y entorno de control TwinCAT. Este enfoque permitirá integrar en una única plataforma el control lógico, la supervisión y funciones avanzadas de automatización. Los IPC de Beckhoff ofrecen una alta capacidad de procesamiento, escalabilidad y flexibilidad, facilitando la implementación de algoritmos complejos, registro de datos y comunicaciones avanzadas sin necesidad de hardware adicional específico.

6.2 Pantalla táctil e interfaz hombre-máquina

La interfaz hombre-máquina local se realizará principalmente mediante una pantalla táctil industrial. También se deberán tener en cuenta otros dispositivos de advertencia como balizas luminosas, zumbadores y dispositivos de actuación como pulsadores o seta de emergencia.

Debido a los requisitos ambientales, la pantalla táctil deberá contar con una clasificación mínima de IP65.

Las siguientes características son necesarias:

- 📺 Tamaño mínimo de pantalla: 27".
- 🖥️ Resolución mínima: Full HD 1920x1680.
- 🖐️ Multitáctil.
- 😊 Alto nivel de brillo.
- 🖱️ Interfaces: HDMI, DisplayPort, USB-C, VGA.
- 📏 Perfil bajo (panelable).

6.3 Otros dispositivos.

Para controlar elementos de potencia como bombas o electroválvulas, el PLC requerirá dispositivos adicionales como relés o controladores de motor. Se considerarán relés industriales (con led indicador) con montaje en carril DIN de la marca Phoenix Contact. Para el control de bombas o ventiladores, será necesario un driver de motor. Este driver deberá contar al menos con entradas/salidas analógicas y un bus de campo como ModBus. La gama AC15 del fabricante Parker, o similares, pueden ser apropiados. La fuente de alimentación deberá disponer, como mínimo, de las siguientes interfaces: Ethernet, RS485, entradas y salidas digitales/analógicas.

6.4 Armario de control y arquitectura

Los elementos electrónicos deberán instalarse en los correspondientes armarios eléctricos adecuados.

Como diseño preliminar, se considera la siguiente arquitectura compuesta por tres armarios eléctricos:

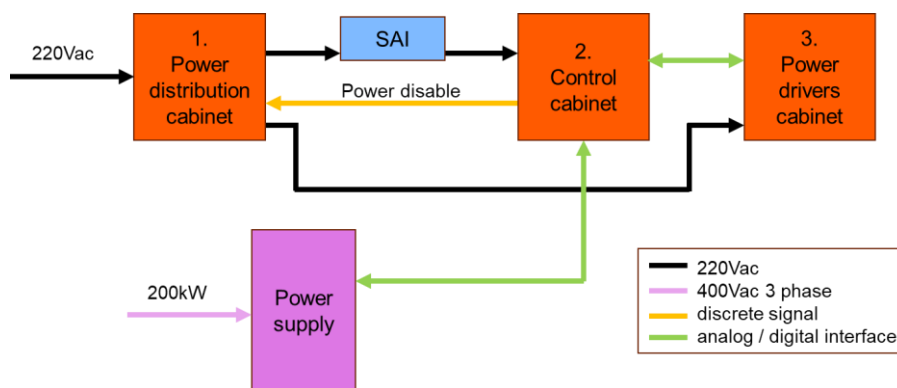


Figura 4. Arquitectura propuesta de armario de control.

- Armario 1: recibirá la alimentación eléctrica externa. Incluirá protecciones magnetotérmicas y diferencial. Alimentará el SAI y el armario 3. También recibirá una señal digital de desconexión de emergencia proporcionada por el armario que contiene el PLC.
- Armario 2: contiene el PLC y recibe todas las señales de sensores y actuadores. Se comunica digitalmente con el tercer armario y la fuente de energía.
- Armario 3: contiene los drivers de potencia para alimentar las bombas y ventiladores del equipo.

Todos los cables de entrada y salida, excepto el cable de alimentación, deberán atravesar el armario mediante conectores aislados y blindados, segregando siempre las señales según su naturaleza o funcionalidad. Los cables deberán estar correctamente identificados acorde al diagrama unifilar requerido.

6.5 Algoritmos de control y funcionalidad

El PLC ejecutará el software desarrollado expresamente para la planta piloto por PARKE. Además de las funcionalidades básicas, el software incluirá como mínimo los siguientes algoritmos de control:

- Control de diferencia de temperatura entre entrada y salida del stack alcalino.
- Control de diferencia de temperatura entre entrada y salida del stack PEM.
- Control de temperatura de entrada del electrolito al stack alcalino.
- Control de temperatura de entrada de agua recirculada al stack PEM.
- Control de temperatura de gases de salida (para evitar condensados).
- Control de caudal de electrolito.
- Control de presión del sistema (en separador de oxígeno y de hidrógeno para todo el rango de presiones de operación necesario, pudiendo ser necesario un rango partido).
- Control de diferencia de nivel entre separadores.
- Control de nivel de los separadores.
- Control de intensidad y de tensión de la fuente de energía.
- Control de vaciado de depósitos de condensados.
- Despresurización automática de los circuitos de oxígeno e hidrógeno, activable desde los enclavamientos de seguridad necesarios.

- Alimentación y control de N₂ para realizar purgas a los circuitos tanto de oxígeno como de hidrógeno.
- Vaciado y llenado del circuito de electrolito.

Todos los algoritmos de control deberán ser parametrizables y modificables por el usuario.

6.6 Otros

El funcionamiento normal con instrumentos y dispositivos se realiza preferentemente mediante cableado en lugar de comunicaciones. Es más fácil probarlos, solucionar problemas y sustituirlos en caso de avería. La planta piloto se ubicará en un Centro de Investigación y Desarrollo, por lo que su funcionamiento de la forma más sencilla es esencial.

Los parámetros básicos como puntos de consigna, habilitaciones, marcha/parada, etc., serán por cableado. Otros parámetros podrán ser monitorizados o gestionados por comunicaciones.

6.7 Interfaz con otros sistemas o dispositivos

A través de estos módulos, el sistema podrá intercambiar datos tanto con ordenadores de la instalación industrial (Sistema de información, aplicaciones de control avanzado u optimización), como con otros sistemas de control, ya sean tipo SCD, tipo PLC o basados en PC. La interfaz con el operador serán las mismas pantallas que el SCD.

La comunicación se establecerá sobre las siguientes bases:

1. Comunicación bidireccional (tanto lectura como escritura).
2. El SCD actuará como Maestro en el enlace de comunicación.

La comunicación punto a punto se establecerá sobre las siguientes bases:

1. A través de Modbus RTU, Modbus TCP / IP u OPC.
2. Vía serie utilizando RS-422 o RS-485.

7. PRUEBAS DE ACEPTACIÓN

7.1 FAT (Factory Acceptance Test)

El FAT se realizará en las instalaciones del proveedor. El objetivo debe ser comprobar los instrumentos, señales, enclavamientos, bombas, etc.

Las pruebas se realizarán sin productos peligrosos, como agua y N₂, por lo que se comprobarán todas las señales, todos los enclavamientos, calentadores, bombas, válvulas, transmisores, etc.

7.2 SAT (Site Acceptance Test)

El SAT se realizará con la planta piloto en su emplazamiento final (EIC) y será obligatorio que la prueba sea satisfactoria para que el último pago sea efectivo.

El SAT se dará por satisfactorio sólo cuando se hayan superado con éxito las siguientes pruebas de validación:

- Se usará un stack comercial a suministrar por la empresa identificada por PARKE, para realizar la operativa del proceso real completo.
- En la medida de lo posible, se usará un stack del que se tengan datos anteriores experimentales para poder servir de referencia y comparar su desempeño respecto a valores estándar.
- La planta debe ser capaz de operar correctamente, de forma continua y automática al menos 48 h.

Se definirá entre PARKE y la empresa adjudicataria un plan de pruebas detallado sobre los ensayos a realizar durante el SAT.

8. ALCANCE Y DOCUMENTACIÓN

El alcance de la Ingeniería de detalle que se desarrolle posteriormente debe desarrollarse de acuerdo con los máximos estándares industriales.

A lo largo del proyecto y en las fechas fijadas durante el KoM será necesaria, como mínimo, la siguiente documentación:

8.1 General

- Manual con procedimientos de operación y mantenimiento.
- Lista de materiales (BOM) y proveedores.
- P&ID en formato electrónico y papel, extensión AutoCad. La numeración, el etiquetado y el dibujo serán aprobados por PARKE.
- Diagrama unifilar en formato electrónico y papel, extensión AutoCad.
- Enclavamientos.
- Matriz Causa-Efecto.
- Estudio HAZOP.
- Modelo 3D y dimensiones detalladas de la planta.
- Descripción de la lógica de control.

8.2 Instrumentación

- Hoja de datos de todos los instrumentos instalados en la Planta Piloto.
- Lista de instrumentos en formato Excel. PARKE proporcionará el formato.
- Hoja de datos de PSV, Válvulas de Control y Disco de Ruptura y su respectivo cálculo.

8.3 Equipos y recipientes a presión

- Certificación CE y prueba de presión si es necesario de todo el equipo.
- Ficha técnica y diagrama de ingeniería. Incluyendo condiciones de prueba de presión, cálculo, tolerancia a la corrosión, diseño de temperatura, diseño de presión, etc.

- Certificados de calidad del material utilizado.

9. ANEXOS

9.1 JRC Technical Report

EU harmonised protocols for testing low-temperature water electrolyzers.



jrc122565_ltwe_har
monisation_online_i