

Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de las tecnologías Industriales

Avances Tecnológicos: Hidrógeno Verde,  
Modernización de Grúas y Control de  
Procesos en Planta

Autor: Marta Palma González

Tutor: Begoña C. Arrue Ullés

**Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática**  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería**  
**Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2023





Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de las tecnologías Industriales

# **Avances Tecnológicos: Hidrógeno Verde, Modernización de Grúas y Control de Procesos en Planta**

Autor:

Marta Palma González

Tutor:

Begoña C. Arrue Ullés

Profesor Titular

Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023



Trabajo Fin de Grado: Avances Tecnológicos: Hidrógeno Verde, Modernización de Grúas  
y Control de Procesos en Planta

Autor: Marta Palma González  
Tutor: Begoña C. Arrue Ullés

El tribunal nombrado para juzgar el trabajo arriba indicado, compuesto por los siguientes profesores:

Presidente:

Vocal/es:

Secretario:

acuerdan otorgarle la calificación de:

El Secretario del Tribunal

Fecha:



# Agradecimientos

---

A mi familia y amigos que me han acompañado durante toda la carrera, a mis profesores de todo mi proceso de aprendizaje. A mis compañeros en prácticas por darme todos los medios y formación en el mundo laboral.

*Marta Palma González*

*Sevilla, 2023*



# Resumen

---

Este trabajo de fin de grado tiene como objetivo la creación de un mundo más sostenible, donde se promueva el respeto al medio ambiente a través de la reutilización de infraestructuras existentes y la prolongación de su vida útil. Además, se busca explorar nuevas formas de energía limpia, utilizando procesos simplificados, sostenibles y eficientes, con el propósito de promover soluciones innovadoras que contribuyan a un futuro más respetuoso con el medio ambiente.

Se presentan tres temas principales. En primer lugar, se destaca el hidrógeno verde como una fuente innovadora de almacenamiento de energía. Se explorará su obtención mediante la electrólisis, tanto de manera limpia como no limpia, proporcionando una visión completa de sus implicaciones.

El siguiente tema se centra en la modernización eléctrica de grúas estructuralmente sólidas. Se examinará cómo esta transformación puede aumentar la eficiencia, prolongar la vida útil y mejorar la disponibilidad de repuestos, ofreciendo beneficios significativos en el sector industrial.

Por último, se analizará el sistema de control distribuido PCS7. Se proporcionarán recomendaciones sobre las unidades de procesamiento central (CPU) más adecuadas, se discutirá el tipo de conexión y se explorará la recolección de datos para su posterior análisis. Esto proporcionará información valiosa para optimizar los procesos de control en una planta.

En resumen, este trabajo aborda avances importantes en el almacenamiento de energía, la modernización de equipos y el control de procesos, brindando una perspectiva actualizada sobre las últimas tendencias y su aplicación práctica.



# Abstract

---

This final degree project aims to create a more sustainable world, where respect for the environment is promoted through the reuse of existing infrastructures and the extension of their useful life. In addition, it seeks to explore new forms of clean energy, using simplified, sustainable and efficient processes, with the aim of promoting innovative solutions that contribute to a more environmentally friendly future.

Three main themes are presented. Firstly, green hydrogen is highlighted as an innovative source of energy storage. Its production through electrolysis, both clean and non-clean, will be explored, providing a comprehensive overview of its implications.

The next topic focuses on the electrical retrofitting of structurally sound cranes. It will examine how this transformation can increase efficiency, extend service life and improve spare parts availability, offering significant benefits in the industrial sector.

Finally, the PCS7 distributed control system will be evaluated. It will provide recommendations on the most suitable central processing units (CPUs), discuss the type of connection and explore data collection for further analysis. This will provide valuable information for optimising control processes in a plant.

In summary, this work addresses important developments in energy storage, equipment modernisation and process control, providing an up-to-date perspective on the latest trends and their practical application.



# Índice

---

<i>Resumen</i>	III
<i>Abstract</i>	V
<i>Notación</i>	IX
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2 Analizadores e Instrumentación para Aplicaciones de Hidrógeno Verde</b>	<b>3</b>
2.1 Plantas HyCO- Proceso SMR	4
2.2 Electrólisis	7
2.3 Pureza/Medida de Contaminantes	12
2.4 Transporte / Combustible (Blending)	14
2.5 Descarbonización	15
2.6 Licuefacción	17
<b>3 Grúas</b>	<b>19</b>
3.1 Clasificación Grúas Portuarias e Industriales	19
3.1.1 Clasificación de grúas más típicas	19
3.2 Modernización	22
3.2.1 Propuesta para grúa instalada	22
Plusvalías de modernización	22
Drives	23
3.3 SIMOCRANE: Un enfoque integral para la modernización de grúas industriales en función de su tecnología	23
3.3.1 Drive based technology	24
3.3.2 Drive Based Sway Control	25
SIMOCRANE sway control (SC)	25
3.4 CeNIT Straight-run Controller	26
3.5 RCOS-Remote Control Operation System	27
3.6 SIMOCRANE CMS: Conectividad a MindSphere	27
3.7 Soluciones para Grúas puerto	28
3.7.1 TPS – Truck Positioning System	28
3.7.2 Addon LCPS & FLS (Load Collision Prevention System & Final Landing System)	29
3.8 Objetivo de todas las soluciones vistas	30
<b>4 PCS7</b>	<b>31</b>
4.1 Industria de proceso: SIMATIC PCS7	31

---

4.2	Industry Library	33
4.2.1	Integración de Controladores	33
4.2.2	Integración de paneles	34
4.2.3	Comunicaciones SIMATIC	35
4.3	Open OS	37
4.4	PowerControl y Telecontrol	38
4.5	SIS Compact	41
<b>5</b>	<b>Conclusión</b>	<b>43</b>
5.1	Líneas de trabajo e investigación	43
	<i>Índice de Figuras</i>	45
	<i>Índice de Tablas</i>	47
	<i>Índice de Códigos</i>	49
	<i>Bibliografía</i>	49
	<i>Glosario</i>	51

# Notación

---

<i>CO2</i>	Dióxido de Carbono
<i>PTS</i>	Test de carrera parcial
<i>PSA</i>	Absorción por cambio de presión
<i>ATEX</i>	ATmosphere EXplosive
<i>SMR</i>	Sistema de recuperación de metano
<i>PEM</i>	Membrana de intercambio de protones
<i>SOEC</i>	Celda de electrolisis de óxido sólido
<i>EX</i>	Atmósfera explosiva
<i>SIL</i>	Nivel de integridad de seguridad
<i>Hastelloy</i>	Aleaciones de níquel altamente resistentes a corrosión
<i>316L</i>	Tipo específico de aleación de acero inoxidable
<i>DSL</i>	Digital Sensor Link
<i>DRI</i>	Direct reduced iron
<i>LOHC</i>	Portadores de Hidrógeno Orgánico Líquido
<i>STS</i>	En concepto de grúas, barco a tierra
<i>GSU</i>	Grúas de descarga de graneles
<i>DCS</i>	Sistema de control distribuido



# 1 Introducción

---

En la actualidad, estamos siendo testigos de una acelerada evolución tecnológica que está transformando rápidamente todos los aspectos del mundo en el que vivimos. En este trabajo de fin de grado, se abordarán tres temas de vanguardia que representan avances significativos en el campo de la tecnología, los cuales han sido precedidos por importantes desarrollos a lo largo de la historia.

Uno de los temas a tratar es el hidrógeno verde como fuente de almacenamiento de energía. A lo largo de los años, ha habido un constante impulso en la investigación científica y el desarrollo tecnológico en busca de fuentes de energía limpias y renovables que reduzcan nuestra dependencia de los combustibles fósiles. El hidrógeno verde ha surgido como una respuesta prometedora a esta necesidad. Su producción a través de la electrólisis del agua utilizando energía renovable permite obtener un combustible limpio y versátil que puede ser utilizado en una variedad de aplicaciones, desde el transporte hasta la generación de electricidad.

Otro tema a abordar es la modernización de grúas a través de la electrificación. A medida que avanzamos en el tiempo, hemos presenciado importantes avances en la electrónica de potencia y un aumento en la conciencia sobre la eficiencia energética en la industria. Estos factores han impulsado la electrificación de las grúas, proporcionando una alternativa más eficiente y respetuosa con el medio ambiente en comparación con los sistemas de propulsión convencionales. La electrificación de las grúas no solo reduce las emisiones contaminantes, sino que también mejora su rendimiento y control, lo que conlleva beneficios significativos en términos de productividad y eficiencia.

El tercer tema a tratar es el control de procesos en planta mediante el sistema PCS7. En el ámbito de la informática industrial y las tecnologías de comunicación, se ha desarrollado el sistema de control distribuido PCS7 como una solución avanzada para optimizar y supervisar los procesos en planta. A lo largo del tiempo, se han logrado importantes avances en este campo, permitiendo una mayor automatización, eficiencia y seguridad en los procesos industriales. El sistema PCS7 ha evolucionado para adaptarse a las crecientes demandas de la industria, ofreciendo capacidades de control y monitoreo más sofisticadas.

La motivación para llevar a cabo este trabajo surge de la necesidad apremiante de hacer frente a los desafíos globales que enfrenta la sociedad, como el cambio climático, la escasez de recursos naturales y la creciente demanda de energía. Estos desafíos requieren soluciones tecnológicas innovadoras que no solo sean eficientes, sino también sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. En este contexto, los avances tecnológicos explorados en este trabajo representan alternativas prometedoras que pueden contribuir de manera significativa a resolver estos problemas globales y mejorar la

productividad y la eficiencia en los sectores industriales.

A lo largo del trabajo, se realizará un estudio minucioso del hidrógeno verde, la modernización de grúas y el control de procesos en planta, examinando detalladamente sus beneficios, limitaciones y las áreas de investigación y desarrollo que presentan oportunidades de mejora. También se abordará el origen de estas tecnologías, los hitos importantes en su evolución y los desafíos que han surgido en el camino. Mediante este análisis exhaustivo, se espera proporcionar una visión completa y actualizada sobre estos avances tecnológicos y su potencial impacto en la sociedad y el medio ambiente.

## 2 Analizadores e Instrumentación para Aplicaciones de Hidrógeno Verde

---

El hidrógeno se destaca como el elemento químico más abundante y ligero del planeta, ofreciendo una densidad energética excepcionalmente elevada. Debido a estas características, se ha postulado como una de las claves fundamentales en el camino hacia la descarbonización, ya que su utilización puede contribuir significativamente a la reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y a cumplir con los compromisos establecidos en el acuerdo de París. Además, su capacidad de generar energía de forma eficiente y emitir únicamente vapor de agua lo convierte en una opción altamente atractiva, siempre y cuando su producción se realice a través de fuentes de energía renovables, como la solar, eólica o la electrolisis del agua.

Si bien la producción de hidrógeno no es algo nuevo, habiéndose utilizado ampliamente el proceso de reformado de gas natural, conocido como hidrógeno gris, es importante tener en cuenta que esta forma de producción conlleva la emisión considerable de CO<sub>2</sub>, lo cual la convierte en la opción menos aceptada socialmente debido a la creciente conciencia ecológica existente en la actualidad. Aunque actualmente sea la opción más económica, su impacto ambiental negativo ha llevado a buscar alternativas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

En este sentido, es crucial considerar al hidrógeno como un vector energético en lugar de una fuente primaria de energía. En otras palabras, se trata de una sustancia capaz de almacenar energía de manera eficiente para ser utilizada en momentos específicos y de manera controlada. Esta capacidad de almacenamiento y transporte de energía podría resolver uno de los desafíos más importantes asociados a las fuentes de energía renovable, que es su dependencia de condiciones climáticas favorables para su generación y la falta de infraestructura adecuada para su almacenamiento a gran escala.

En el ámbito de la movilidad, el hidrógeno se utiliza en el proceso inverso a la electrolisis, conocido como pila de combustible. En este proceso, el hidrógeno producido a partir de fuentes renovables se convierte en electricidad, la cual, a su vez, impulsa los vehículos. Esta tecnología de pila de combustible podría convertirse en el combustible del futuro para todo tipo de transporte, incluyendo vehículos de carga pesada, automóviles, trenes, barcos e incluso aviones. Además, el hidrógeno también ofrece aplicaciones industriales importantes, como la producción de fertilizantes, amoníaco, refinación de petróleo, acero y la industria de semiconductores.

En resumen, se espera que el hidrógeno desempeñe un papel fundamental en el proceso de descarbonización y en la transición hacia un sistema energético más sostenible. Su abundancia, ligereza y alta densidad energética hacen de él una opción prometedora para reemplazar combustibles fósiles

altamente contaminantes. Sin embargo, es crucial enfatizar que su producción debe llevarse a cabo utilizando fuentes de energía renovables, a fin de maximizar su potencial como una solución limpia y respetuosa con el medio ambiente.

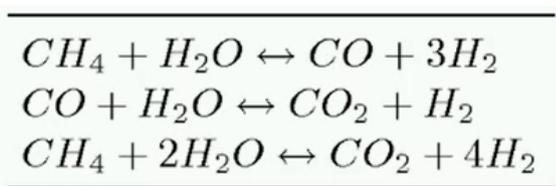
## 2.1 Plantas HyCO- Proceso SMR

La producción de hidrógeno mediante el proceso de reformado o gasificación de gas natural y/o biomasa es llevada a cabo por las plantas HyCO Figura [?]. En este caso, el hidrógeno producido no se clasificaría como "verde", sino que se consideraría como hidrógeno gris. El término "hidrógeno gris" se utiliza para describir el hidrógeno que se obtiene a partir de fuentes de combustibles fósiles, como el gas natural, mediante procesos que emiten dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como subproducto.

Es importante destacar que el hidrógeno gris se considera menos sostenible en comparación con el hidrógeno verde, que se produce a partir de fuentes de energía renovable sin emisiones de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, el uso de hidrógeno gris puede ser una etapa inicial para comprender las limitaciones actuales y explorar posibles mejoras en los procesos de producción, como la captura y almacenamiento de carbono (CCS) para mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Al mencionar el término "hidrógeno gris" en este contexto, se reconoce la necesidad de abordar sus desafíos y trabajar hacia una transición hacia formas más sostenibles de producción de hidrógeno, como el hidrógeno verde. Esta mención proporciona una visión completa de las diferentes opciones y perspectivas en el campo del hidrógeno, y destaca la importancia de buscar soluciones más limpias y eficientes en el futuro.

La fórmula general de la reacción química involucrada en el proceso de reformado o gasificación es la siguiente Figura 2.1:



**Figura 2.1** Reacción para obtención de hidrógeno.

En esta reacción, el metano (CH<sub>4</sub>), principal componente del gas natural, reacciona con agua (H<sub>2</sub>O) para producir monóxido de carbono (CO) y hidrógeno (H<sub>2</sub>). Este proceso se lleva a cabo a altas temperaturas y con la presencia de un catalizador, lo que permite la obtención de hidrógeno.

En el contexto de la producción de hidrógeno azul, se utiliza el término para referirse a los casos en los que el CO<sub>2</sub> generado durante el proceso no se libera directamente a la atmósfera, sino que se captura o almacena para su posterior tratamiento. En este tipo de procesos, la instrumentación y los sensores de campo juegan un papel fundamental en el control y monitoreo de las variables críticas.

Se requiere medir variables como los caudales de las materias primas involucradas en el proceso, siendo estas condiciones de medición exigentes y desafiantes. Es necesario tener un control preciso y confiable de los flujos de gas y líquido en diversas etapas del proceso. Además, es importante mencionar que estos sistemas de medición forman parte de los lazos de seguridad, lo que implica

que deben cumplir con rigurosos requisitos de confiabilidad y precisión para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente.

La instrumentación y los sensores utilizados en estos procesos deben ser capaces de resistir condiciones adversas, como altas temperaturas, presiones extremas, ambientes corrosivos o la presencia de sustancias tóxicas. Además, es necesario asegurarse de que cumplan con los estándares y normativas de seguridad establecidos, con el fin de garantizar la protección del personal y del entorno.[1]

En el campo de la instrumentación, se encuentra disponible un amplio abanico de tecnologías para medir el caudal en diversas aplicaciones. Entre estas tecnologías se incluyen los medidores de caudal de tipo Coriolis, los medidores magnéticos y los medidores clamp-on. La elección de la tecnología apropiada dependerá de las circunstancias específicas y del tipo de proceso al que se enfrente.

Los medidores de caudal basados en el principio de Coriolis aprovechan la fuerza generada por el movimiento de un fluido en un tubo vibrante para realizar mediciones directas y precisas del caudal. Estos medidores son especialmente adecuados en situaciones que requieren alta precisión y un amplio rango de caudales, permitiendo además la medición simultánea de la densidad y la temperatura del fluido.

Por otro lado, los medidores magnéticos utilizan el principio de inducción electromagnética para medir el caudal. Estos medidores son altamente versátiles y adecuados para una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo líquidos conductivos y corrosivos. Además, son capaces de medir caudales en ambas direcciones y ofrecen una buena precisión y estabilidad a largo plazo.

Por último, los medidores clamp-on se instalan externamente al tubo o conducto y utilizan tecnología ultrasónica para medir el caudal. Estos medidores son ideales cuando se desea evitar interrupciones en el flujo del fluido o cuando se trabaja con líquidos y gases no conductivos. Además, son fáciles de instalar y no requieren modificaciones en el sistema existente.

Las medidas de presión son fundamentales para obtener información sobre la presión del fluido en un sistema. En este sentido, existen diversas tecnologías disponibles, como los transmisores de presión que utilizan membranas recubiertas en oro. Estas membranas recubiertas en oro ofrecen una alta resistencia a la corrosión y una excelente estabilidad a largo plazo, lo que las hace adecuadas para aplicaciones exigentes y ambientes corrosivos.

Por otro lado, las medidas de temperatura son esenciales para conocer la temperatura del fluido en un proceso. Existen diferentes tipos de sensores de temperatura, como los termopares y los termorresistencias, que permiten obtener mediciones precisas y confiables de la temperatura. Estos sensores pueden ser de gran utilidad en el monitoreo y control de los procesos, ya que permiten detectar cambios en la temperatura y tomar medidas correctivas si es necesario.

La integración de medidas de presión y temperatura junto con las medidas de caudal proporciona una visión más completa y precisa del funcionamiento de un sistema. Esto permite realizar un seguimiento exhaustivo de las variables críticas y facilita la toma de decisiones informadas para garantizar un rendimiento óptimo y seguro.

Es fundamental mencionar el papel relevante de las válvulas de control y regulación en las plantas industriales, incluyendo aquellas relacionadas con la producción de hidrógeno. En este contexto, el posicionador electromagnético inteligente SIPART PS2 Figura 2.2 se destaca como una opción de

alto rendimiento.

El SIPART PS2 es ampliamente reconocido como uno de los mejores posicionadores electromagnéticos inteligentes disponibles en el mercado. Ofrece la capacidad de realizar una regulación precisa, rápida, confiable y segura en los procesos industriales. Su facilidad de manejo y configuración lo hacen altamente atractivo, y su eficacia ha sido respaldada por su implementación exitosa en diversas industrias.

Además, el SIPART PS2 cuenta con características adicionales, como el Partial Stroke Test (PST, sus siglas en inglés), que es una prueba de carrera parcial muy importante en las válvulas de seguridad. También ofrece diagnósticos avanzados e inteligentes que permiten la reducción de costos en mantenimiento y operación. Estas funciones avanzadas facilitan el mantenimiento predictivo de conjuntos de válvulas y actuadores, optimizando así la eficiencia y prolongando la vida útil de los equipos.

En resumen el SIPART PS2 cuenta con las siguientes ventajas:

- Regulación precisa: El SIPART PS2 permite una regulación precisa en los procesos industriales, lo que contribuye a un control óptimo y una mayor eficiencia.
- Rápido rendimiento: Gracias a su diseño y tecnología avanzada, el SIPART PS2 ofrece un rendimiento rápido en la regulación de las válvulas, lo que permite una respuesta ágil a los cambios en las condiciones del proceso.
- Fiabilidad: El SIPART PS2 es reconocido por su alta confiabilidad en el funcionamiento, lo que garantiza un desempeño estable y consistente a lo largo del tiempo.
- Fácil manejo y configuración: El SIPART PS2 se caracteriza por su facilidad de manejo y configuración, lo que facilita su puesta en marcha y uso por parte del personal encargado.
- Amplio respaldo industrial: Este posicionador electromagnético inteligente ha sido suministrado y utilizado en varias industrias, lo que respalda su funcionamiento efectivo y confiable en diferentes entornos y aplicaciones.
- Prueba de carrera parcial (PST): El SIPART PS2 cuenta con la función de PST, que permite realizar pruebas de carrera parcial en las válvulas de seguridad, lo que es importante para verificar su correcto funcionamiento y cumplimiento de los requisitos de seguridad.
- Diagnóstico avanzado: El SIPART PS2 incorpora un sistema de diagnóstico inteligente que permite un mantenimiento predictivo de las válvulas y actuadores, lo que reduce los costos de mantenimiento y operación al identificar problemas potenciales y tomar medidas preventivas.



**Figura 2.2** SIPART PS2.

Como se ha comentado anteriormente, el hidrógeno se produce actualmente en las plantas HyCO, donde se realizan medidas en varios puntos del proceso. Por ejemplo, la composición del gas natural

se puede medir utilizando el cromatógrafo de gases MAXUM edition II, lo cual es necesario para calcular el número de moles de carbono en función de los hidrocarburos presentes, siendo el metano el principal.

También es importante medir los niveles de CO y oxígeno en los gases de salida de la unidad de reformado, con el objetivo de optimizar el proceso de combustión o medir los componentes clave, como CO, hidrógeno, metano y CO<sub>2</sub>. Para llevar a cabo estas mediciones, se pueden utilizar dispositivos de medición continua de gases, como los ULTRAMAT y el CALOMAT.

En la etapa final de purificación del hidrógeno, conocida como PSA, se realizan mediciones de impurezas, específicamente CO y CO<sub>2</sub>.

A modo de ejemplo, se utiliza la versión certificada ATEX del analizador SIPROCESSGA700 para medir los componentes del syngas. Una ventaja de este analizador es su capacidad para medir tres componentes utilizando dos módulos. Uno de los módulos es doble y permite medir CO y CO<sub>2</sub>, mientras que el otro módulo se encarga de medir metano. El montaje modular del sistema contribuye a mejorar su disponibilidad.

En la salida del proceso, se integra el cromatógrafo MAXUM, que permite medir bajas concentraciones de CO en hidrógeno. Este instrumento se caracteriza por su robustez y bajo mantenimiento. Su flexibilidad y capacidad para gestionar medidas complejas son fundamentales en su desempeño.

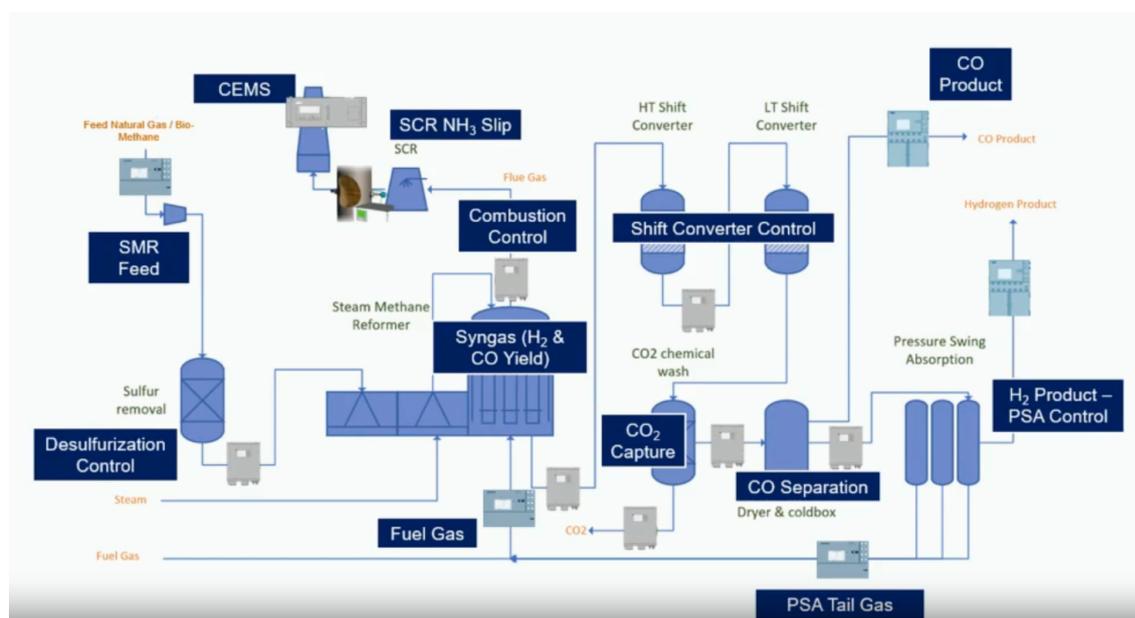


Figura 2.3 Planta HyCO-Proceso SMR.

## 2.2 Electrólisis

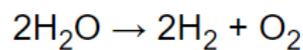
La transición del hidrógeno gris al hidrógeno verde ha sido objeto de atención en la búsqueda de una alternativa más sostenible y respetuosa con el medio ambiente para la producción de hidrógeno. En este proceso, se aborda la separación de las moléculas de hidrógeno y oxígeno a través de la electrólisis, utilizando una corriente eléctrica, independientemente del tipo de electrolito empleado. Sin embargo, es importante destacar que para asegurar la producción de hidrógeno realmente verde,

los electrolizadores deben respaldarse con fuentes de energía renovables, como la energía solar o eólica.

La electrólisis del agua, un método ampliamente utilizado para la producción de hidrógeno verde, se basa en la aplicación de una corriente eléctrica sobre el agua, lo que permite la descomposición de las moléculas de agua (H<sub>2</sub>O) en hidrógeno (H<sub>2</sub>) y oxígeno (O<sub>2</sub>) Figura 2.4. Este proceso es altamente eficiente en términos de conversión y puede llevarse a cabo utilizando diferentes tipos de electrolitos, como el hidróxido de potasio (KOH) o el ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), entre otros.

Sin embargo, es fundamental reconocer que la verdadera sostenibilidad del hidrógeno producido a través de la electrólisis depende en gran medida de la fuente de energía utilizada para alimentar el proceso. Es aquí donde entran en juego las fuentes de energía renovables, como la energía solar o eólica. Estas fuentes de energía no emiten gases de efecto invernadero durante su operación y son consideradas limpias y sostenibles.

Al respaldar los electrolizadores con fuentes de energía renovables, se asegura que la producción de hidrógeno sea realmente verde, ya que se evitan las emisiones de carbono asociadas con la generación de energía a partir de combustibles fósiles. La energía solar, obtenida mediante paneles solares fotovoltaicos, convierte la luz solar en electricidad, mientras que la energía eólica aprovecha la fuerza del viento para generar electricidad. Estas formas de energía renovable pueden integrarse de manera eficiente en el proceso de electrólisis, proporcionando una fuente de electricidad limpia y sostenible.



**Figura 2.4** Reacción de Electrólisis.

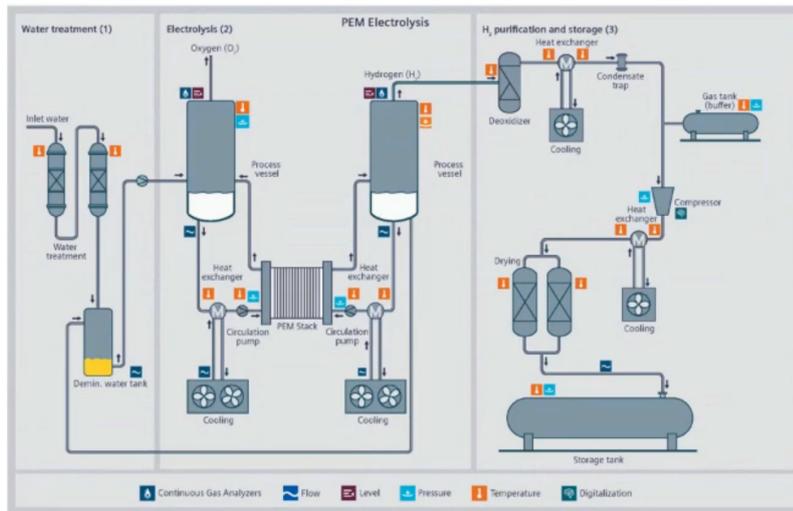
Existen diversas tecnologías de electrólisis, entre las más conocidas se encuentran la Membrana de Intercambio Protonico (PEM) y la Alcalina. Sin embargo, en los últimos tiempos ha cobrado importancia la electrólisis de alta temperatura, también conocida como Celda de Electrólisis de Óxido Sólido (SOEC).

La diferencia fundamental entre estas tecnologías radica en el portador utilizado. Por ejemplo, la tecnología PEM está diseñada para responder de manera más eficiente a las fluctuaciones y volatilidad de la generación renovable. Por otro lado, la tecnología Alcalina se encuentra más consolidada en la actualidad y ofrece un costo más económico.

En el siguiente diagrama de flujo Figura 2.5 se pueden distinguir las diferentes etapas de un proceso de electrólisis PEM. Se conecta una fuente de alimentación continua a electrodos sumergidos en agua. En el cátodo se forma el hidrógeno, mientras que en el ánodo se genera el oxígeno. La velocidad de producción del hidrógeno es proporcional a la carga eléctrica aplicada.

Los retos que se nos van a presentar en estas unidades de procesos son:

- Trazas de Oxígenos en Hidrógeno como producto.
- Trazas de Hidrógeno en la salida o venteo de Oxígenos.
- Fiabilidad, seguridad y precisión (medida de trazas).



**Figura 2.5** Ejemplo de una planta con Electrolizador PEM con distintos puntos de medida.

- ATEX Zona 1 ó 2.

La solución propuesta para controlar los componentes no deseados tanto en el producto final como en la salida de oxígeno es de naturaleza estándar y se basa en el uso del analizador de gases extractivos SIPROCESS GA700, mencionado previamente en esta aplicación. Este dispositivo se destaca por su capacidad de medición continua y su diseño modular.

El SIPROCESS GA7002.6 integra dos módulos de análisis:

- El módulo CALOMAT7, basado en conductividad térmica, que permite medir la concentración de hidrógeno en la corriente de gas.
- El módulo OXYMAT7, basado en célula paramagnética, que se encarga de medir la concentración de oxígeno en el gas.

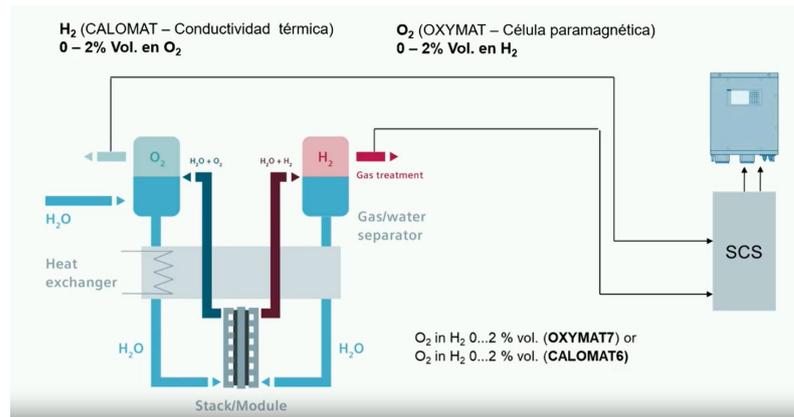
Además de su capacidad de medición, el analizador de gases extractivos cumple con los requisitos lógicos necesarios en este tipo de instalaciones. Esto implica manejar corrientes de hidrógeno que pueden contener diferentes niveles de impurezas, lo cual es una exigencia importante en términos de clasificaciones y estándares, con dicho analizador quedarían cubiertas las necesidades expuestas anteriormente.

Las ventajas que obtienen los usuarios son:

- Configuración analítica sencilla con gran repetitividad a largo plazo un mantenimiento mínimo.
- Límites de detección en entornos de las 100 ppm.
- Amplia gama de diseños y configuraciones con distinta protección Ex y niveles SIL.

En el contexto del proceso de obtención de hidrógeno mediante la electrolización, es crucial contar con instrumentación de campo confiable para garantizar el control y la seguridad de la planta. Como se mencionó anteriormente, es necesario medir diversas variables en diferentes etapas del proceso, desde el tratamiento del agua hasta la electrolisis misma, la purificación y la descarga del agua, entre otras.

Para satisfacer estas necesidades, se requiere instrumentación de campo precisa y confiable, que cumpla con los requisitos de seguridad indispensables y cuente con certificación SIL. En este



**Figura 2.6** Electrolizador-Monitorización del gas de proceso.

sentido, SIEMENS ofrece un amplio portafolio de soluciones.

En cuanto a la medida de presión, se destacan los transmisores SITRANS P320/420, que ofrecen membranas estándar en materiales como AISI 360L, Hastelloy e incluso recubrimientos de oro, brindando opciones flexibles para adaptarse a diferentes requerimientos.

Para la medición de caudal, se pueden utilizar métodos tradicionales como la placa de orificio (SITRANS FP) asociada a un transmisor de presión diferencial. Además, se cuentan con transmisores de caudal de tipo Coriolis (SITRANS FC) y ultrasónicos (SITRANS FS) que ofrecen alternativas precisas y versátiles.

Es fundamental mencionar también la importancia de los transmisores de temperatura (SITRANS T) y de nivel (SITRANS L) en el proceso de obtención de hidrógeno, ya que contribuyen al monitoreo y control preciso de estas variables críticas.

Todos ellos dan los siguientes beneficios:

- Sensores robustos y fiables con gran precisión.
- Solución estandarizada que incluye sensores de presión temperatura, nivel, caudal y posicionadores de válvulas.

En el análisis en profundidad, se examina el SITRANS P320/420, un dispositivo utilizado para medir la presión del hidrógeno. Para su aplicación, se requiere que el dispositivo tenga una certificación EX y, en muchos casos, también certificaciones SIL para garantizar la seguridad.

Al medir el hidrógeno, es importante tener en cuenta que es el átomo más pequeño entre los gases presentes. Dependiendo del metal con el que esté en contacto, puede ocurrir el fenómeno de permeabilidad o difusión de los iones de hidrógeno a través de esos metales.

Por lo general, se utiliza acero inoxidable (316L) como material estándar. Sin embargo, en ciertas condiciones de presión, temperatura o concentración de hidrógeno a medir, el efecto de permeabilidad puede generar problemas con el acero inoxidable a medida que pasa el tiempo, lo que podría afectar la calidad de la medición y provocar desfases en el valor de cero.

Para abordar este problema, se utiliza una membrana de acero inoxidable con un pequeño recubrimiento de oro de unas pocas micras de espesor Figura 2.7. El oro es uno de los metales que

mejor se comporta ante el fenómeno de permeabilidad o difusividad del hidrógeno.

Esta solución de utilizar una membrana con recubrimiento de oro permite contrarrestar los posibles problemas relacionados con la permeabilidad del hidrógeno en la medición de la presión, garantizando así una mayor precisión y estabilidad en los resultados obtenidos.



**Figura 2.7** Homogeneización de la capa de oro en los sellos del diafragma..

Otra opción válida consiste en utilizar una serie de sellos separadores que se acoplan a los transmisores de presión, además del recubrimiento en oro, se emplean otros metales compatibles según la parte del proceso. Esta alternativa permite proporcionar una mayor protección y compatibilidad con las diferentes condiciones del proceso, asegurando una medición precisa y confiable de la presión del hidrógeno. Los sellos separadores actúan como barreras adicionales para evitar posibles efectos adversos causados por la permeabilidad del hidrógeno en los transmisores de presión, lo que garantiza una mayor durabilidad y rendimiento del sistema de medición.

Teniendo en cuenta todo lo mencionado anteriormente el transmisor más adecuado es el SITRANS P320/420 Figura 2.8 que tiene las siguientes características:

- Tiempo de puesta en marcha reducido.
- Adecuado para condiciones de proceso exigentes gracias a su robustez.
- Facilidad de manejo gracias a un display grande con iconos de diagnóstico.
- Reducción de los costes de mantenimiento gracias a un intervalos de prueba de hasta 15 años.
- Reacción rápida y optimización del proceso gracias a un tiempo de respuesta reducido.

En la medición de temperatura, es necesario tomar mediciones en varios puntos del proceso. La elección de los modelos de sondas de temperatura dependerá de las condiciones específicas de ese proceso.

Por ejemplo, se puede utilizar el SITRANS TS500 Figura 2.9, que ofrece un concepto modular. Esto significa que se pueden personalizar varios aspectos, como el tipo de vaina de protección del termopozo requerido, la longitud adecuada de la sonda, la necesidad de un cuello de extensión, el tipo de cabezal, la posibilidad de tener un display local, la protección contra ambientes explosivos (EX), y si se necesita incorporar un convertidor de señal en el cabezal.

Este enfoque modular permite adaptar la sonda de temperatura a las necesidades específicas de cada punto de medición dentro del proceso. Se pueden seleccionar los componentes adecuados



**Figura 2.8** SITRANS P320/420.

para garantizar una medición precisa y confiable de la temperatura, asegurando así un monitoreo efectivo del proceso y cumpliendo con los requisitos de seguridad y rendimiento exigidos.

En los casos en los que el tamaño de la tubería sea pequeño y no sea posible insertar una sonda de



**Figura 2.9** SITRANS TS500.

temperatura, se puede recurrir a la sonda de temperatura SITRANS TS300 Figura 2.10, que utiliza una tecnología no invasiva. Esta tecnología permite tomar la temperatura desde el exterior de la tubería sin necesidad de introducir la sonda en su interior.

La sonda de temperatura SITRANS TS300 utiliza métodos de medición basados en tecnología de termografía infrarroja o termopares sin contacto directo con el medio. Esto significa que la temperatura se puede medir de manera precisa y confiable sin afectar el flujo o la integridad de la tubería.

Esta solución de tecnología no invasiva resulta especialmente útil en casos donde las tuberías son pequeñas o no permiten la inserción de sondas tradicionales. Permite una medición eficiente y precisa de la temperatura, garantizando un monitoreo efectivo del proceso sin interrupciones ni daños a la tubería.

### **2.3 Pureza/Medida de Contaminantes**

Otra aplicación muy interesante es la medida de impurezas en el hidrógeno producto mediante cromatografía de gases.

Las principales impurezas provienen del propio proceso de producción, sobre las cuales ya se ha hablado anteriormente. También pueden generarse en una estación de repostaje, en una hidrogenera



Figura 2.10 SITRANS TS300.

o durante el proceso de mantenimiento de algún compresor, entre otras situaciones.

Además, no es lo mismo obtener hidrógeno mediante un proceso de reformado de metano con la codificación posterior mediante PSA, que hacerlo en una unidad de electrólisis PEM. Esta diferencia está respaldada por diferentes estudios, como el presentado a continuación del Laboratorio Británico NPL Figura 2.1, dedicado al desarrollo y mantenimiento de estándares de medida.

Tabla 2.1 Probabilidad de presencia de impurezas en la obtención de hidrógeno[1].

Rationale of impurities presence based on production process and following an approach in ISO 19880.

Probability of impurity presence	Steam methane reforming with PSA	PEM water electrolysis process with TSA	Chlor-alkali process (membrane cell process)
Frequent	CO	None identified	O <sub>2</sub>
Possible	N <sub>2</sub>	None identified	None identified
Rare	Ar, CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>
Very Rare	HCHO	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Unlikely	He, O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , HCOOH, NH <sub>3</sub> , sulfur compounds, hydrocarbons (except CH <sub>4</sub> ), halogenated compounds	He, Ar, CO, CH <sub>4</sub> , HCHO, HCOOH, NH <sub>3</sub> , sulfur compounds, hydrocarbons (except CH <sub>4</sub> ), halogenated compounds	He, Ar, CO, CH <sub>4</sub> , HCHO, HCOOH, NH <sub>3</sub> , sulfur compounds, hydrocarbons (except CH <sub>4</sub> ), halogenated compounds

El nivel de pureza del hidrógeno es crucial, especialmente para el funcionamiento de una pila de combustible en un motor. El efecto de estas impurezas puede ser la reducción de las horas de autonomía o incluso ocasionar daños más graves.

Para evitarlo, existen una serie de normas o estándares como la ISO 14687, que establece límites de impurezas en el hidrógeno como combustible, y la EN 17124, que garantiza la calidad del hidrógeno para aplicaciones con pilas de combustible de membrana PEM.

Dentro de la amplia gama de cromatógrafos disponibles, uno de los más adecuados es el MAXUM II de Siemens. Este cromatógrafo tiene la capacidad de medir de manera precisa y sensible incluso las trazas de hidrógeno, cumpliendo así con las exigencias de medición más rigurosas.

El MAXUM II de Siemens se destaca por su tecnología avanzada y su diseño robusto. Es capaz de realizar mediciones precisas de impurezas en el hidrógeno Figura 2.2, lo que permite garantizar la pureza del gas utilizado en diversas aplicaciones. Además, su alto rendimiento y su capacidad para manejar niveles bajos de concentración lo convierten en una herramienta eficiente y confiable en el monitoreo de la calidad del hidrógeno.

**Tabla 2.2** Medida real cromatógrafo MAXUM II[1].

Componente	Rango	Límite de detección
Ar	0 – 300 ppm	5 ppm
CH <sub>4</sub>	0 – 100 ppm	0.1 ppm
CO	0 – 0.2 ppm	10 ppb
CO <sub>2</sub>	0 – 2 ppm	0.1 ppm
He	0 – 300 ppm	100 ppm
N <sub>2</sub>	0 – 300 ppm	5 ppm
O <sub>2</sub>	0 – 5 ppm	1 ppm
Total Hydrocarbons except Methane	0 – 2 ppm	0.1 ppm
H <sub>2</sub> CO (Formaldehyde)	0 – 10 ppb	10 ppb
HCOOH (Formic Acid)	0 – 0.2 ppm	0.02 ppm
NH <sub>3</sub>	0 – 0.1 ppm	0.02 ppm
Total Sulfur Compounds - H <sub>2</sub> S, COS, CH <sub>3</sub> SH, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> SH, CS <sub>2</sub>	0 – 4 ppb	0.02 ppb
H <sub>2</sub> O	0 – 5 ppm	1 ppm
CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (total Halogenates)	0 – 0.05 ppm	0.01 ppm

## 2.4 Transporte / Combustible (Blending)

La siguiente aplicación es el uso del hidrógeno como combustible mezclado con otros gases, conocido como blending.

Una vez que el hidrógeno se ha producido, es necesario transportarlo a un lugar donde se almacenará para su uso futuro. Actualmente, se suele realizar este transporte inyectando el hidrógeno en conductos de gases existentes, como los gaseoductos de gas natural. Se ha demostrado con éxito que el hidrógeno puede transportarse junto con el gas natural, aunque también se puede transportar de forma independiente.

Para llevar a cabo este proceso, se puede utilizar un caudalímetro ultrasónico SITRANS FS230 con tecnología Clamp-on. Esta tecnología no invasiva implica la colocación de sensores en la parte externa de la tubería Figura 2.11. Junto con el transmisor FST030 y dos sensores con Digital Sensor Link (DSL), que permite una comunicación digital de los sensores con la electrónica, se puede realizar la medida crucial del caudal de gas transportado.

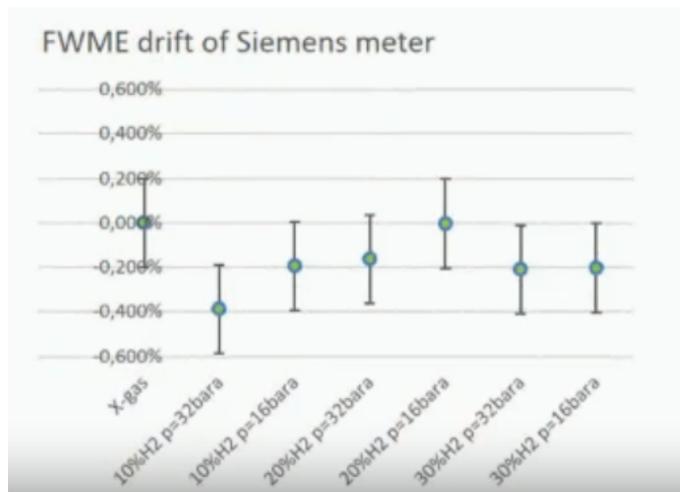
La medida de caudal es de vital importancia en el blending debido a que garantiza un control preciso de la proporción de hidrógeno y otros gases en la mezcla. El correcto ajuste de esta proporción es esencial para asegurar un rendimiento óptimo y seguro en diversas aplicaciones. El uso del caudalímetro ultrasónico SITRANS FS230 proporciona una medición precisa y confiable, lo que permite monitorear y controlar de manera efectiva el flujo de gas durante el proceso de blending. Esto garantiza una mezcla adecuada y homogénea, lo cual es fundamental para el buen funcionamiento de los sistemas y dispositivos que utilizan la mezcla de gases como combustible.

Es muy interesante debido a su fácil instalación y disponibilidad para varios diámetros de tubería. Una ventaja importante es que no tiene partes móviles ni húmedas en contacto con el gas, lo que evita pérdidas de carga. Además, esta solución ha sido analizada por el laboratorio DNV, que cuenta con un banco de pruebas, y se han obtenido excelentes resultados, como se muestra en la imagen adjunta Figura 2.12.

También es importante destacar el uso del hidrógeno como gas de combustión. Es común que los clientes que fabrican turbinas de gas utilicen una mezcla de hidrógeno y gas natural como combustible. Para este fin, también es necesario medir diferentes variables, como la presión y la temperatura, tal como se ha mencionado anteriormente. Estas mediciones permiten obtener de



**Figura 2.11** Tubería de transporte de hidrógeno con caudalímetro no invasivo[1].



**Figura 2.12** Estudio de DNV para SITRANS FS230[1].

manera rápida y precisa la composición del gas de combustión.

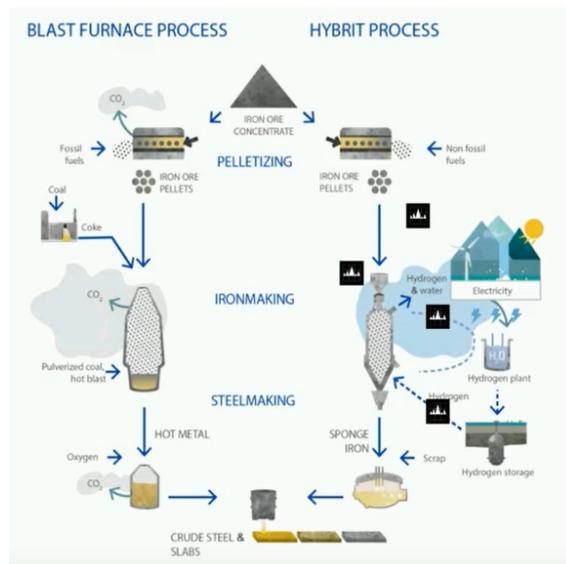
## 2.5 Descarbonización

Se ha observado que el hidrógeno se puede producir de varias formas, siendo la más limpia a través de la electrólisis del agua, siempre y cuando la energía eléctrica utilizada en todo el proceso provenga de fuentes renovables.

Una vez producido este hidrógeno, puede ser utilizado en diversos procesos industriales, como refinerías, fabricación de fertilizantes o en la industria siderúrgica.

En esta última, en la producción de acero, uno de los métodos cada vez más comunes es el Direct Reduced Iron (DRI), que emplea hornos de arco eléctrico. Algunas plantas ya están utilizando hidrógeno verde, es decir, energía limpia y renovable en lugar de gas natural, para el proceso de reducción, es decir, la eliminación del oxígeno. Esto les permite acercarse a un producto final que podríamos llamar "acero verde" Figura 2.13, prácticamente libre de carbono.

En este proceso, la instrumentación y los analizadores de gases desempeñan un papel crucial. De hecho, ya existen referencias de su uso en plantas de acero, especialmente en países nórdicos,



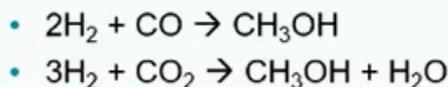
**Figura 2.13** Producción de "acero verde".

donde se obtiene acero limpio.

La instrumentación no solo se utiliza para medir la calidad del hidrógeno, sino también para controlar los gases utilizados en la refrigeración del reactor de reducción y en otras etapas, como los gases de recirculación del propio reactor.

Además, hay algo aún más destacable: el "metanol verde". En la actualidad, existen plantas, que ya están desarrolladas y no solo en fases conceptuales, donde se produce metanol verde. En este proceso, intervienen tanto el hidrógeno renovable como el CO<sub>2</sub>, que se busca eliminar para reducir la huella de carbono del proceso Figura 2.14.

Estos avances representan un hito importante en la búsqueda de soluciones más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente en la industria del acero y en la producción de metanol. La utilización de instrumentación y analizadores de gases en estos procesos permite un control preciso y una monitorización continua, garantizando la eficiencia y la reducción de emisiones en estas industrias clave.



**Figura 2.14** Reacción "metanol verde".

Para cerrar este ciclo, el metanol producido puede utilizarse como materia prima y como precursor de materiales poliméricos. Además, se puede emplear como portador de hidrógeno en fase líquida, utilizando la tecnología conocida como Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC). Esta tendencia se ve respaldada por el hecho de que el amoníaco también tiene esta capacidad y se considera un buen transportador para el hidrógeno.

En este contexto, la instrumentación juega un papel crucial. Se utilizan diferentes posicionadores y el cromatógrafo MAXUM Edition II, que ayuda en la medición de componentes durante la síntesis

del metanol.

Estos avances abren nuevas oportunidades en la utilización y transporte eficiente del hidrógeno, ya sea a través del metanol como portador líquido o del amoníaco. La instrumentación precisa y fiable proporcionada por dispositivos como el cromatógrafo MAXUM Edition II permite un mejor control de los procesos y garantiza la calidad en la producción y utilización de estos compuestos clave en la transición hacia una economía más sostenible.

## 2.6 Licuefacción

La licuefacción es un proceso mediante el cual se logra convertir una sustancia en estado gaseoso en estado líquido, mediante la disminución de temperatura y/o el aumento de presión. Este proceso es especialmente relevante en el caso del hidrógeno, ya que para su almacenamiento y transporte eficiente, es necesario convertirlo en estado líquido debido a su baja densidad en estado gaseoso.

El consumo de hidrógeno azul y verde se va a ver incrementado equitativamente en los próximos años, también obtenemos hidrógenos como subproducto en plantas de electrólisis de cloro o refinerías.

Para el uso final de este hidrógeno en pilas de combustible tiene que estar perfectamente purificado y licuado para su almacenamiento. Como ya hemos mencionado anteriormente el proceso más utilizado era el PSA, es interesante saber que el hidrógeno licuará a temperatura muy bajas, por debajo de los 20 Kelvin.

Termodinámicamente este proceso se basa en el ciclo de Brayton, donde se llevan a cabo varios ciclos de compresión, incluye además una etapa de enfriamiento de nitrógeno y una conversión entre isómeros orto y para con la idea de reducir el consumo energético del proceso.

Aquí hay una función muy importante del CALOMAT 7, los átomos de hidrógeno tienen un cierto estado cuántico, hay dos formas isométricas, el Orto Hidrógeno en la que los 2 protones tienen los espines alineados en paralelo y el Para Hidrógeno en los que los protones están en antiparalelo.

A temperatura ambiente el 75% de los átomos de hidrógeno está en estado isomérico Orto, que tiene un mayor nivel energético, de hecho la conversión de orto a para libera más energía.

En esta situación la solución de instrumentación sería el SIPROCESS GA700, es una aplicación especial del CALOMAT 7 que va calibrada para medir Orto Hidrógeno en un rango de 25% a 100%.



## 3 Grúas

---

En este capítulo se abordarán tanto las grúas industriales como las grúas portuarias, poniendo énfasis en la modernización de equipos ya instalados. Es importante tener en cuenta que, a menudo, cuando se menciona el término "grúas", se tiende a referir exclusivamente a las grúas portuarias. Sin embargo, no debemos olvidar las numerosas grúas industriales existentes, por lo que es relevante destacar la importancia de modernizar este tipo de equipos.

Desde tiempos antiguos, las grúas han sido utilizadas para el transporte y movimiento de cargas pesadas. Por lo tanto, resulta significativo comprender la evolución que han experimentado a lo largo de los años.

### 3.1 Clasificación Grúas Portuarias e Industriales

La distinción entre una grúa industrial y una grúa portuaria es Figura 3.1 que las grúas industriales se utilizan en diversos entornos, como fábricas y almacenes, las grúas portuarias se encuentran específicamente en puertos marítimos. En el ámbito industrial, podemos mencionar el puente grúa y otras variantes, como las grúas de cuchara. En este capítulo, nos centraremos en aquellas grúas industriales que cuentan con cierto grado de automatización, independientemente de su potencia.[2]

En cuanto a las grúas portuarias en la península, debido a su geografía, hay un gran número de estas ya instaladas. Es importante destacar que tanto las grúas industriales como las grúas portuarias llevan un tiempo considerable en el mercado y tienen la capacidad de ser modernizadas, ya sea de manera parcial o completa. Esto permite mejorar su rendimiento, adaptarlas a nuevas tecnologías y garantizar su eficiencia en las operaciones.

Es fundamental tener en cuenta que, en el caso de las grúas industriales, se busca implementar cierto nivel de automatización para optimizar los procesos y asegurar la seguridad en el entorno laboral. Esta automatización puede incluir sistemas de control avanzados y dispositivos de seguridad mejorados. Por otro lado, las grúas portuarias están diseñadas específicamente para manejar cargas pesadas en el entorno portuario, con el objetivo de facilitar la carga y descarga eficiente de contenedores u otros tipos de carga en los buques.

#### 3.1.1 Clasificación de grúas más típicas

Dentro de las grúas industriales, destaca la grúa de pórtico (puente grúa) Figura 3.2. Esta grúa es especialmente notable debido a su amplio uso en entornos industriales. La grúa de pórtico, también



**Figura 3.1** Grúas industriales(1) y portuarias(2)[2].

conocida como puente grúa, es una de las opciones más populares y versátiles para el manejo de carga en fábricas, almacenes y otras instalaciones industriales.



**Figura 3.2** Landle Crane (Puente Grúa)[2].

Por otro lado, en el caso de las grúas portuarias, se observa una mayor variedad de opciones destacables, como la grúa ship-to-shore (STS) Figura 3.3. Esta grúa desempeña un papel fundamental en la descarga de contenedores de barcos en los puertos. La grúa STS es especialmente diseñada para operar en muelles y permite una eficiente transferencia de contenedores entre el barco y la terminal portuaria. Su destacada capacidad de carga y alcance la convierten en una herramienta esencial en las operaciones portuarias.

En el caso de la descarga de graneles, se destaca la grúa de cuchara (GSU) Figura 3.4. Esta grúa se utiliza específicamente para la manipulación de graneles, como granos, minerales, productos químicos a granel, entre otros. La grúa de cuchara GSU está diseñada para cargar y descargar estos materiales a granel de forma eficiente en los puertos. Su mecanismo de cuchara permite agarrar y verter el material de manera controlada, facilitando su transporte y almacenamiento en las instalaciones portuarias. Esta grúa es una opción destacable cuando se trata de operaciones de carga y descarga de graneles en los puertos.

Una vez completada la descarga, para trasladar la mercancía por todo el puerto se utilizan las grúas rubber-tired gantry (RTG) Figura 3.5. Por otro lado, para apilar la mercancía en montones, las grúas más adecuadas son las rail-mounted gantry (RMG) Figura 3.6. Estas grúas desempeñan un papel esencial en la logística portuaria, permitiendo el manejo eficiente y ordenado de la carga. Las grúas RTG, equipadas con neumáticos de caucho, son capaces de moverse de ma-



**Figura 3.3** Grúa STS[2].



**Figura 3.4** Grúa GSU[2].

nera ágil y versátil por las áreas del puerto, facilitando el transporte de contenedores o cargas a lo largo de distancias extensas. Por otro lado, las grúas RMG, montadas sobre raíles, brindan una mayor estabilidad y precisión al apilar la mercancía en montones ordenados, optimizando el espacio disponible en el puerto. Tanto las grúas RTG como las RMG desempeñan un papel crucial en las operaciones portuarias, contribuyendo a la eficiencia y fluidez del movimiento de la carga.



**Figura 3.5** Grúa RTG[2].

Aunque existen otras opciones disponibles, en este capítulo nos centraremos en las grúas más utilizadas en el contexto portuario. Estas grúas destacadas incluyen las mencionadas anteriormente:



**Figura 3.6** Grúa RMG[2].

las grúas RTG para el traslado de la mercancía por todo el puerto, y las grúas RMG para la apilación ordenada en montones. Estas son las opciones preferidas y ampliamente empleadas en la industria portuaria debido a su eficiencia y versatilidad.

## 3.2 Modernización

EL concepto de modernización consiste que haya donde haya la necesidad de sustituir equipos ya sea porque el mercado haya dejado de fabricarlos, además de sustituirlos cabe la posibilidad de añadir nuevas tecnologías que mejoren su funcionamiento.

Es decir se añade tecnología con el enfoque de mejorar la productividad y seguridad. También se puede dar el caso de que la necesidad sea la de ampliar la funcionalidad, en este caso se buscará la ampliación de la vida útil de esta.

### 3.2.1 Propuesta para grúa instalada

El negocio de las modernizaciones surgió con la aparición de la obsolescencia del MASTERDRIVES, un dispositivo utilizado en la industria. En realidad, las modernizaciones se enfocan en actualizar equipos obsoletos, como PLC, motores o reductores en mal estado. Compañías como SIEMENS ofrecen facilidades para reemplazar sus equipos antiguos por otros más modernos, como parte de estrategias de actualización. Por ejemplo, se puede sustituir un MASTERDRIVE por otro de igual potencia.

Es importante mencionar que un MASTERDRIVE es un tipo de drive, un componente utilizado en sistemas de control y automatización industrial. El drive es responsable de controlar y regular la velocidad, el torque y otras características de los motores eléctricos. El MASTERDRIVE fue ampliamente utilizado en el pasado, pero con el avance tecnológico y la aparición de opciones más modernas, su obsolescencia se hizo evidente. Por ello, las modernizaciones buscan reemplazar estos equipos antiguos por otros más actualizados y eficientes en función de las necesidades de la industria.

### Plusvalías de modernización

Al llevar a cabo una modernización, se logra aumentar la vida útil de las máquinas. Aunque la estructura de una máquina pueda estar en buen estado, es probable que su parte eléctrica presente deficiencias. La modernización brinda la oportunidad de solucionar problemas de repuestos y, al mismo tiempo, incorporar mejoras tecnológicas que aumentan la productividad. Además, se puede

abordar la seguridad, incluyendo nuevas conexiones como PROFINET, que en el momento de la puesta en marcha del equipo no estaban disponibles.

En sistemas conectados, se observa una clara mejora en la ciberseguridad. Los equipos que no cumplen los estándares de Microsoft pueden ser reemplazados por otros que sí los cumplen, lo que garantiza un mayor nivel de seguridad. Es importante destacar que todos estos equipos están fabricados de acuerdo con las últimas regulaciones de maquinaria, lo cual beneficia al usuario final.

### Drives

La modernización de equipos incluye la incorporación de nuevos drives regenerativos, especialmente en grúas y sistemas que desplazan cargas verticalmente. En estas aplicaciones, se genera una considerable cantidad de energía que se devuelve a la red eléctrica al bajar la carga. Esta regeneración de energía puede resultar en un ahorro de hasta un 60% en la factura eléctrica, lo que permite una amortización más rápida en comparación con los drives no regenerativos Figura 3.7.

La regeneración de energía es un proceso en el cual la energía cinética generada durante el descenso de la carga se recupera y se convierte en energía eléctrica utilizable. Los nuevos drives regenerativos desempeñan un papel clave al capturar y canalizar esta energía de vuelta a la red eléctrica en lugar de disiparse en forma de calor. Esto se logra al utilizar tecnologías avanzadas que permiten convertir la energía cinética en electricidad y redirigirla para su reutilización en otros equipos o procesos.

La ventaja de los drives regenerativos radica en su capacidad para optimizar la eficiencia energética y reducir los costos operativos. Además, las fuentes SMARTLINE se destacan por ser una opción de bajo costo que brinda la posibilidad de regenerar energía. En caso de ser necesario, estos drives también pueden trabajar con resistencias de frenado, lo que ofrece una mayor flexibilidad y adaptabilidad en el control de la energía.

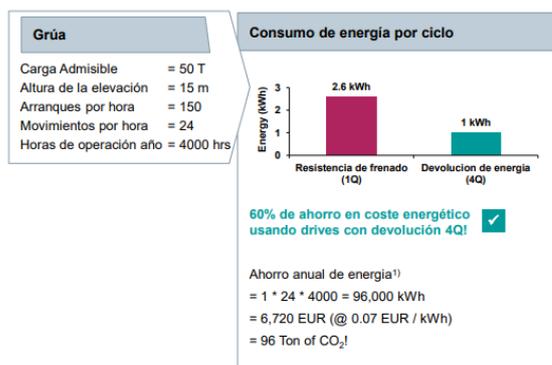


Figura 3.7 Ahorro drives regenerativos[2].

### 3.3 SIMOCRANE: Un enfoque integral para la modernización de grúas industriales en función de su tecnología

Se realiza una distinción entre las grúas que utilizan tecnología de nivel medio y aquellas que emplean tecnología de alto nivel. Todos los productos de SIEMENS relacionados con este campo se agrupan bajo el nombre de SIMOCRANE Figura 3.1. Dentro de SIMOCRANE, se encuentran

las soluciones conocidas como Basic Technology, a las cuales se les pueden agregar tecnologías adicionales para ampliar su funcionalidad.

SIMOCRANE se presenta en el mercado como una opción de biblioteca, es decir, una solución estándar que unifica tanto el hardware como el software instalable. Se considera como el núcleo (kernel) en el cual se basan las demás soluciones. Al añadir estas soluciones adicionales, se garantiza que los desarrollos posteriores sean compatibles y se integren de manera fluida con el sistema existente.

**Tabla 3.1** Cuadro resumen Simocrane[2].

		High Performance	Mid Performance
<b>SIMOCRANE</b>	Crane Management System	(Remote) CMS	CMS Lean
	Advanced Technology	Sway Control Skew Control 2D-Trajectory Truck Position System ECO Technology	Drive-Based Sway Control
	Basic Technology	Basic technology	Drive-Based Technology
<b>Platform</b>	Motion Controller	SIMOTION D435-2	
	Drive Controller	Advanced CUD	CU320-2    CU310-2
	Drives	DCM    Crane Cabinet Modules    Chassis	Book-size    PM Chassis    PM240-2 (FSA-FSG)
	Motors	DC-Motor    1LP1 /1LQ1 1LM1    1PH8	1PC1    1LE1

### 3.3.1 Drive based technology

Está enfocada en grúas industriales del mercado de automatización media, que operan utilizando el controlador CU310-2/320-2. Este enfoque tiene la ventaja de reducir el tiempo de ingeniería y puesta en marcha. Su objetivo principal es mejorar la productividad y la seguridad. Un ejemplo de esto es la función de debilitamiento de campo, que permite que la grúa se mueva a una velocidad duplicada cuando no tiene carga. En otras palabras, cuando la grúa no requiere un alto consumo de par motor, puede operar en debilitamiento de campo, lo que reduce los tiempos de ciclo en los movimientos.

Esta solución viene preconfigurada con el funcionamiento del freno, el joystick y la gestión del límite de software mediante límites de switch. Estas soluciones, de bajo costo, generan una biblioteca que agrega valor a nuestras grúas y las prepara para el futuro. Quedan completamente preparadas para adaptarse a nuevos requerimientos de funcionamiento o avances tecnológicos.

En cuanto a la referencia a CU310-2/320-2, es importante destacar que se trata de controladores de Siemens pertenecientes a la familia SIMATIC S7-300. Estos controladores son parte del sistema de automatización industrial de Siemens y proporcionan capacidades de control y monitoreo para diversos tipos de maquinaria y procesos, incluyendo grúas.

### 3.3.2 Drive Based Sway Control

Se presenta una solución de software para el antibalaneo en grúas industriales, que se enfoca principalmente en aplicaciones en interiores debido a las dificultades que el viento puede presentar. Este enfoque ofrece un antibalaneo matemático simple en lazo abierto, lo cual conlleva un bajo costo y permite reducir el movimiento pendular de la carga, mejorando así los tiempos de ciclo.

El antibalaneo se logra mediante una serie de cálculos matemáticos que tienen en cuenta el diseño mecánico de la grúa y la velocidad proporcionada por el joystick. Esto permite ajustar el movimiento del trolley para alinearse de manera precisa sobre la carga, evitando oscilaciones y mejorando la estabilidad durante las operaciones.

Además, esta solución ofrece la posibilidad de agregar capacidades de posicionamiento, lo que permite la robotización de la grúa. Esto implica que la grúa puede ser controlada para moverse a una ubicación específica a través de una interfaz, como una pantalla o cualquier otra solución determinada por la ingeniería. Figura 3.8

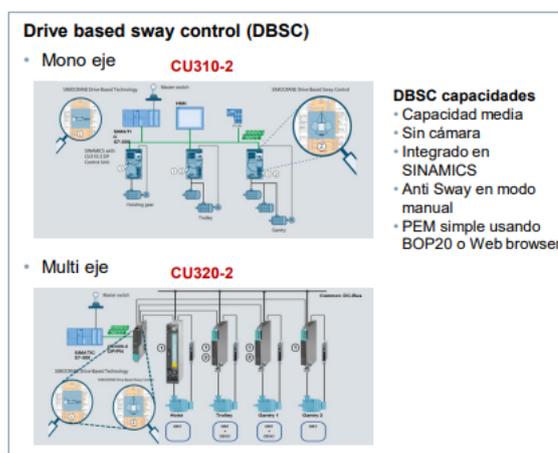


Figura 3.8 Drive based sway control (DBSC)[2].

### SIMOCRANE sway control (SC)

En el caso de las grúas industriales, como se mencionó anteriormente, existen dos versiones de antibalaneo matemático. Una versión está diseñada para aplicaciones de un solo eje, mientras que la otra versión se utiliza en casos en los que se emplea una única unidad de control (CU) en una aplicación de varios ejes.

Es importante destacar que este antibalaneo matemático no reemplaza la solución existente desde hace varios años. En cambio, se basa en un enfoque de lazo cerrado que utiliza un láser y un receptor para mejorar el equilibrio de la carga tanto en entornos interiores como exteriores. Esto se logra reduciendo el balanceo al mínimo e incorporando zonas de exclusión y otras características.

Este antibalaneo se aplica tanto a grúas industriales como a grúas portuarias, pero se utiliza en niveles de automatización más avanzados. Ofrece una mejora significativa en términos de estabilidad de carga y seguridad, lo que resulta especialmente beneficioso en entornos industriales que requieren un alto nivel de precisión y control durante las operaciones de elevación y desplazamiento Figura 3.9.

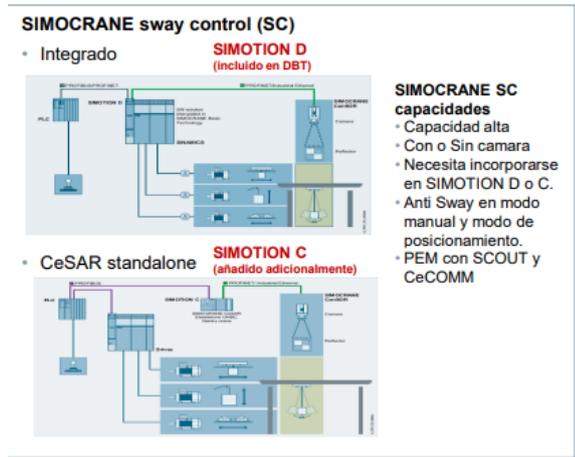


Figura 3.9 SIMOCRANE sway control (SC)[2].

### 3.4 CeNIT Straight-run Controller

Se presenta una solución eficiente pero sencilla que consiste en la adición de dos sensores, o en realidad cuatro, dos en la pata trasera y dos en la delantera, para grúas puente, sin importar el fabricante de los drives Figura 3.10. Estos sensores tienen como objetivo evitar el cruzamiento de la grúa en los raíles, lo cual puede ocasionar desgaste en las ruedas.

Al implementar esta solución, se logra reducir los tiempos de parada para reparaciones, así como la necesidad de reemplazar equipos o ruedas, lo que resulta en un ahorro de costos tanto en tiempo como en material. El retorno de inversión asociado a esta solución puede ser alcanzado en cuestión de meses, dependiendo del uso de la grúa.

Esta solución se destaca como una de las primeras propuestas de Siemens para grúas industriales. Aunque es una solución simple, demuestra su eficacia al proporcionar mejoras significativas en términos de mantenimiento y reducción de costos operativos en las grúas puente.

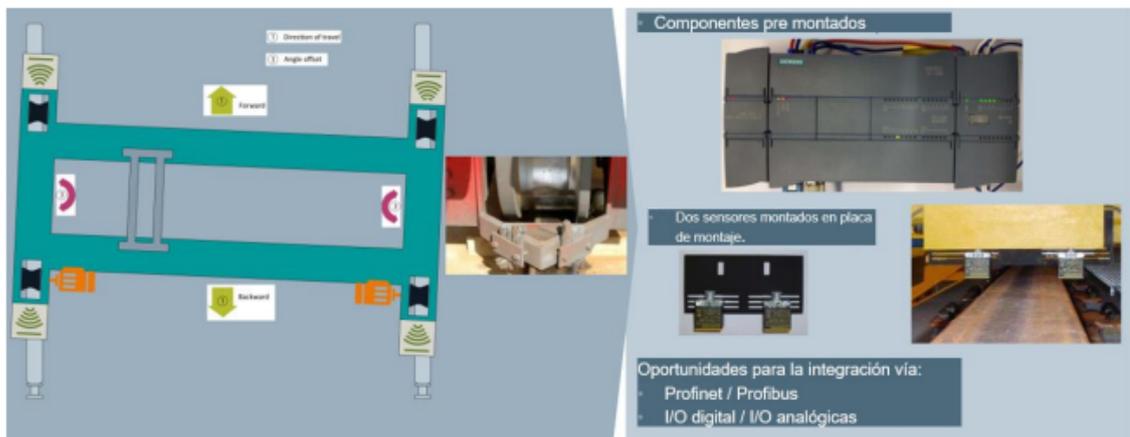


Figura 3.10 CeNIT Straight-run Controller.

### 3.5 RCOS-Remote Control Operation System

Se presenta una solución aplicable tanto a grúas industriales como portuarias, que se utiliza como una especie de pupitre para el control remoto Figura 3.11. Su principal ventaja radica en mejorar las condiciones laborales al permitir a los operadores realizar el control de las grúas desde una sala más cómoda y ergonómica, evitando ambientes sucios o poco saludables y proporcionando una mejor posición para la espalda.

En términos de instalación, esta solución conlleva una mejora en la productividad, ya que un solo operador puede controlar varias grúas simultáneamente, lo que agiliza las operaciones y optimiza el uso de los recursos.

En cuanto al costo, este varía según el tipo de grúa y su nivel de automatización. Proyectos con un mayor valor tecnológico tienden a ser más costosos. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los beneficios en términos de seguridad, eficiencia y comodidad pueden superar ampliamente los costos asociados con la implementación de esta solución.

En resumen, la solución de control remoto tipo pupitre proporciona mejoras sustanciales en las condiciones de trabajo de los operadores de grúas, permitiéndoles controlar las máquinas de forma remota desde una sala cómoda y ergonómica. Esto mejora la productividad al permitir el control de varias grúas a la vez. Si bien el costo puede variar según el tipo de grúa y nivel de automatización, los beneficios en términos de eficiencia y bienestar del personal pueden ser significativos.



Figura 3.11 RCOS - Remote Control Operation System[2].

### 3.6 SIMOCRANE CMS: Conectividad a MindSphere

SIMOCRANE, como sustituto del antiguo sistema Sigma, se utiliza en grúas con un nivel mínimo de automatización. Es importante mencionar que muchas grúas instaladas actualmente ya cuentan con un sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), el cual puede estar obsoleto.

SCADA es un sistema de control y adquisición de datos que se utiliza para supervisar y controlar procesos industriales. Proporciona una interfaz gráfica que permite a los operadores visualizar el estado de la máquina y recibir información en tiempo real. Además, el SCADA gestiona las alarmas y eventos de la planta, brindando a los operadores una visión completa del rendimiento y la

eficiencia de la grúa.

Uno de los aspectos destacados del SCADA es su capacidad de conectividad remota. Esto permite a los operadores acceder y controlar la grúa desde ubicaciones remotas, lo que mejora la flexibilidad operativa y facilita el monitoreo y la toma de decisiones en tiempo real.

En el contexto de las grúas, el SCADA desempeña un papel crucial al proporcionar una visión clara del estado de la máquina y permitir la gestión eficiente de alarmas y eventos. También es fundamental para la recopilación de datos y la generación de informes que respaldan la toma de decisiones y la optimización del rendimiento de la grúa.

Es importante mencionar que, en el caso de las grúas, el SCADA se integra con el Sistema de Gestión de Condiciones (CMS) Figura 3.12 para almacenar y analizar la información generada. Esto contribuye a una gestión más eficaz y a la mejora continua del rendimiento de la grúa en términos de seguridad, eficiencia y productividad.

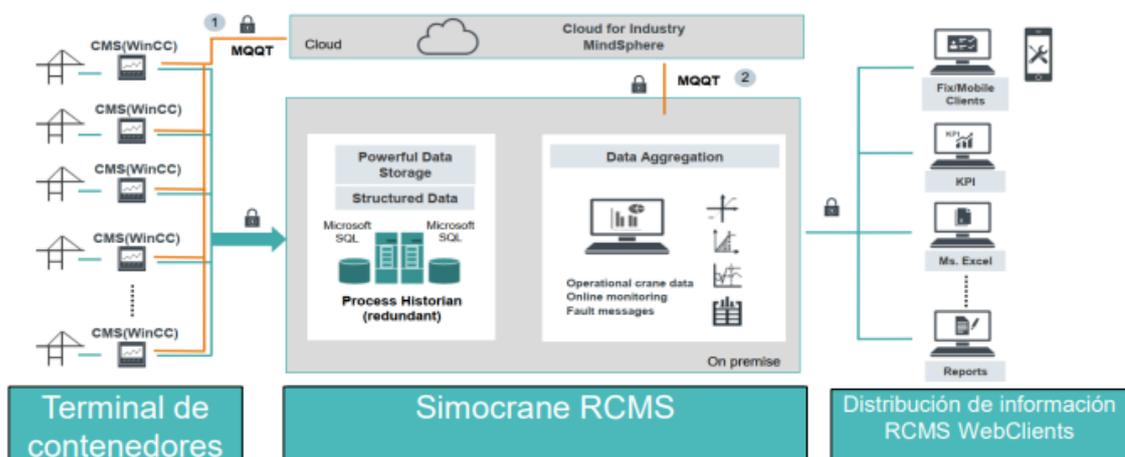


Figura 3.12 SIMOCRANE CMS: Conectividad a MindSphere.

## 3.7 Soluciones para Grúas puerto

### 3.7.1 TPS – Truck Positioning System

El Truck Positioning System (TPS) es una solución altamente beneficiosa que permite posicionar el camión de carga de manera precisa bajo la grúa utilizando un sistema de semáforo. Esta innovadora solución tiene como objetivo mejorar la eficiencia de la descarga y prevenir posibles accidentes que puedan ocurrir durante este proceso. Figura 3.13

El TPS es una solución simple pero efectiva que se puede implementar de forma independiente o en combinación con otras soluciones. Su funcionamiento es sencillo: mediante el uso de semáforos, se guía al conductor del camión para que se posicione adecuadamente debajo de la grúa. Esto optimiza los costos de la operación de descarga al reducir los tiempos de maniobra y minimizar los errores de posicionamiento.

La principal ventaja del TPS es su capacidad para mejorar la eficiencia y la seguridad en las operaciones de carga y descarga. Al proporcionar una guía clara al conductor del camión, se evitan colisiones y accidentes potenciales, reduciendo así los riesgos asociados con estas operaciones. Además, al optimizar el posicionamiento del camión, se mejora la productividad al reducir los tiempos de espera y los costos asociados con maniobras innecesarias.

En resumen, el Truck Positioning System es una solución valiosa que facilita el posicionamiento preciso del camión bajo la grúa durante las operaciones de carga y descarga. Su implementación ayuda a mejorar la eficiencia, reducir los costos y prevenir accidentes. Esta solución puede implementarse de manera individual o combinada con otras soluciones para obtener un mayor nivel de automatización y optimización en el entorno de trabajo.



**Figura 3.13** TPS – Truck Positioning System.

### 3.7.2 Addon LCPS & FLS (Load Collision Prevention System & Final Landing System)

El sistema Load Collision Prevention (LCPS) y el sistema Final Landing (FLS) son soluciones innovadoras que utilizan tecnología láser para crear un perímetro alrededor de los contenedores apilados. Estas soluciones tienen como objetivo prevenir posibles accidentes causados por colisiones entre la carga suspendida y las cargas almacenadas Figura 3.14.

El LCPS se encarga de monitorear y supervisar constantemente el entorno de trabajo, utilizando sensores láser de alta precisión para crear una zona de seguridad alrededor de las pilas de contenedores. Si la carga suspendida se acerca demasiado a estas áreas, se activan alarmas visuales o sonoras para alertar al operador y prevenir colisiones.

Por otro lado, el FLS se enfoca en garantizar un aterrizaje final preciso y seguro de la carga suspendida. Utilizando tecnología láser, el FLS mide con precisión la distancia entre la carga y el área de aterrizaje deseada. Esto ayuda al operador a realizar una maniobra de aterrizaje suave y precisa, evitando daños a la carga o a las estructuras circundantes.

Estas soluciones, el LCPS y el FLS, están diseñadas para mejorar la productividad al minimizar los tiempos de parada y los costos asociados con posibles colisiones o errores en el aterrizaje de la carga. Además, al priorizar la seguridad, se reduce el riesgo de accidentes y se protegen tanto la carga como las instalaciones.



Figura 3.14 - Addon LCPS & FLS.

### 3.8 Objetivo de todas las soluciones vistas

El objetivo de todas las soluciones presentadas es lograr la automatización en las operaciones de grúas. Estos desarrollos pueden ser implementados de manera individual o combinados en un sistema integral, con el fin de alcanzar el modo semi automático en las tareas de manipulación de carga.

Estas soluciones buscan automatizar las operaciones a un nivel en el cual el operario solo necesita intervenir al inicio y al final de la trayectoria de la grúa. Esta evolución es especialmente importante considerando que las grúas modernas son cada vez más altas, lo que dificulta la visibilidad desde la cabina. Para abordar este desafío, se han incorporado soluciones software que ayudan a reducir esta limitación visual.

La mejora en la automatización y el uso de estas soluciones tienen como resultado un aumento en el rendimiento y la seguridad de las operaciones de grúas. La integración de tecnologías como antibalaceo matemático, control remoto, sistemas de posicionamiento y prevención de colisiones permite optimizar los procesos, reducir los tiempos de operación y minimizar los riesgos de accidentes.

## 4 PCS7

---

En esta sección se abordará principalmente la industria de procesos, la cual está estrechamente relacionada con los sistemas de control distribuido, como el SIMATIC PCS7. Se mencionarán las plantas paquetes, donde el controlador más utilizado es el 410E, así como el uso de bibliotecas y la integración con Open OS, especialmente en sistemas de terceros o paquetes que resulten interesantes, como la gestión de cargas, el telemando y los sistemas de seguridad. Por último, se discutirá acerca de los Module Type Packages (MTP).

### 4.1 Industria de proceso: SIMATIC PCS7

Cuando se habla de la industria, se pueden distinguir dos grandes categorías: la industria de proceso, donde se realiza la transformación de la materia, y la industria discreta, que se encuentra ampliamente representada en sectores como el automotriz y la electrónica. En la industria de procesos, es común utilizar sistemas de control distribuido, aunque también pueden existir casos de industrias híbridas. En la mayoría de las plantas, se sigue utilizando el sistema SIMATIC PCS7 para el control distribuido[3].

En los sistemas de control distribuido (DCS), es posible comenzar con una planta pequeña y expandirla de manera sencilla a medida que crece, incorporando servidores redundantes e incluso formando parejas de servidores con otras aplicaciones. La siguiente imagen ilustra de manera más precisa la arquitectura de una planta SIMATIC PCS7 Figura 4.1.

Con el objetivo de satisfacer las necesidades de las plantas de proceso, se requieren características como alta disponibilidad y capacidad para realizar cambios en caliente. Existe una variedad de controladores disponibles, desde simples hasta redundantes, que se utilizan en diferentes redes de comunicación como PROFINET y PROFIBUS. Estas redes varían en complejidad y consideran aspectos como cabeceras y periféricos. A medida que se avanza en la jerarquía de la planta, según sus requisitos y tamaño, es posible incorporar servidores redundantes para aplicaciones de lotes, gestión de rutas, mantenimiento y gestión de datos, entre otros. Los clientes se encuentran en el centro de control de la planta.

El centro de control constituye la parte principal de la planta, y a menudo es necesario integrar otras secciones donde se puede seleccionar el controlador apropiado para cada caso.

Cuando se trata de integrar una planta, se sugiere considerar el controlador inicial 410E. Esto se debe a que se dispone del controlador 410-5H, diseñado específicamente para satisfacer las necesidades de la industria de procesos. Este controlador es adecuado tanto para aplicaciones simples como

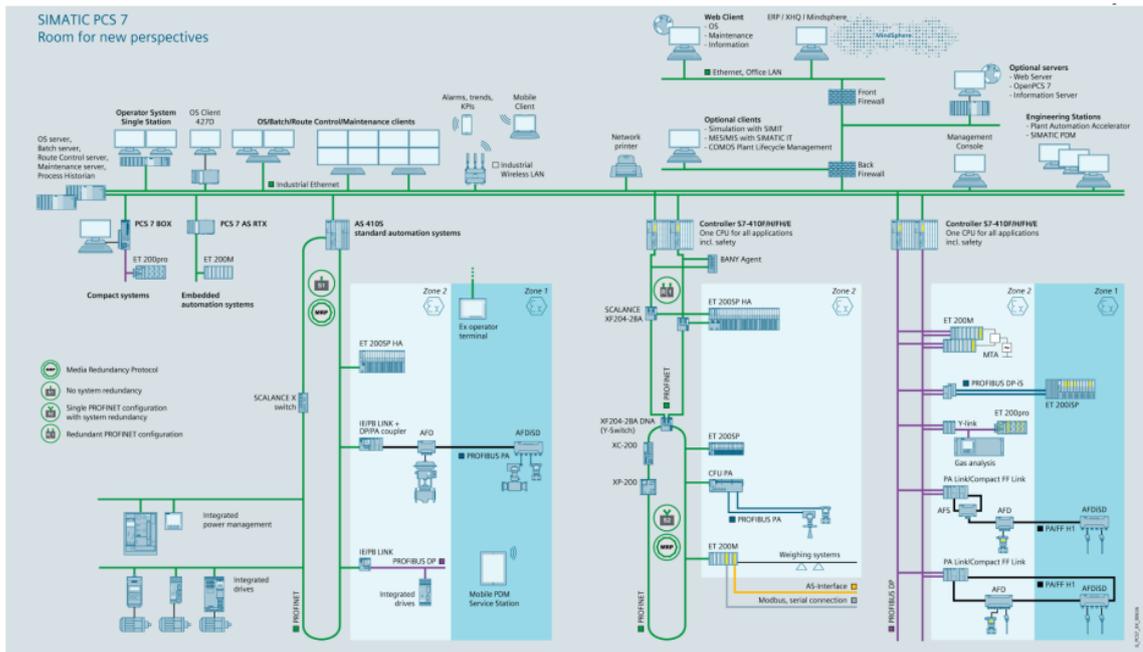


Figura 4.1 Arquitectura.

para las más complejas, y ofrece la posibilidad de alta disponibilidad a través de la redundancia. Además, cumple con los requisitos de sistemas instrumentados de seguridad y aplicaciones en línea.

Por otro lado, para plantas más pequeñas se utiliza la CPU 410E, donde la "E" indica que pertenece a la gama de entrada. La elección de este modelo se basa en varias ventajas. En primer lugar, ofrece todas las características y potencia de la versión estándar 410, es decir, tiene las mismas especificaciones técnicas que el modelo más grande (410-5H), pero a un precio reducido. La única limitación que presenta se encuentra en los Process Objects, como se muestra en la tabla comparativa Figura 4.1.

En cuanto a la diferencia entre PROFINET y PROFIBUS, es importante destacar que PROFINET es una tecnología de comunicación basada en Ethernet industrial, lo que permite una mayor flexibilidad, escalabilidad y capacidad de integración. Permite la transferencia de grandes cantidades de datos y admite tanto la comunicación en tiempo real como la no en tiempo real. Por otro lado, PROFIBUS es una tecnología de comunicación de campo ampliamente utilizada en la automatización industrial. Se basa en una arquitectura de bus, donde los dispositivos se conectan en serie a través de un único cable de bus. PROFIBUS tiene dos variantes principales: PROFIBUS DP para comunicación rápida y en tiempo real entre controladores y periféricos, y PROFIBUS PA para aplicaciones de automatización de procesos en entornos peligrosos. En resumen, PROFINET se basa en Ethernet industrial y ofrece mayores capacidades de comunicación, mientras que PROFIBUS es una tecnología de comunicación de campo más establecida pero con menos flexibilidad.

Tabla 4.1 Comparativa 410-5H y 410E.

Diferencias	410-5H	410E
Process Objects	100 ... 2k+ (2600)	200
Work memory (Code/Data)	32 Mbyte	4 Mbyte
Process area	DP: 6 kbyte PN: 8 kbyte	DP: 1536 byte PN: 1536 byte

Un Process Object se refiere a un elemento o dispositivo utilizado en un sistema de control de proceso, como una válvula, un motor o un controlador PID. La CPU 410E tiene una limitación de hasta 200 Process Objects, pero ofrece las mismas características y funcionalidades. Además, cuenta con dos interfaces PROFINET para la comunicación interna de la planta y se conecta al servidor aguas arriba.

## 4.2 Industry Library

La industry library es una librería concreta de PCS7, que aportará tres grandes bloques[4]:

- Nuevas funcionalidades en el sistema PCS7 para integrar plantas auxiliares.
- Integración de paneles HMI distribuidos por la planta.
- Comunicaciones con SIMATIC

En los siguientes apartados se desarrollarán los puntos mencionados anteriormente.

### 4.2.1 Integración de Controladores

La integración de plantas auxiliares, como las Plantas de Frío/Calor (HVAC) o sistemas de gestión de cargas, se lleva a cabo mediante el uso de librerías específicas que simplifican su incorporación en un sistema de control distribuido. Estas librerías proporcionan funciones predefinidas que agilizan el procesamiento y la gestión de datos, lo que permite una integración más eficiente de estas plantas auxiliares en el entorno general de la planta.

Al utilizar estas librerías, se pueden realizar una variedad de funciones relacionadas con la climatización y el control de entornos, como la regulación de la temperatura y la humedad en las áreas de trabajo, la gestión del flujo de aire, la detección y control de contaminantes, y la creación de zonas de temperatura controlada, entre otras. Estas funciones tecnológicas se implementan mediante bloques de función predefinidos que simplifican su configuración y operación Figura 4.2.

La integración de estas plantas auxiliares en un sistema de control distribuido brinda numerosos beneficios. Por un lado, se logra una mayor eficiencia en la gestión de la planta, ya que se centraliza la supervisión y control de todos los sistemas, lo que facilita el monitoreo y la toma de decisiones. Además, al contar con una única plataforma de control, se optimiza el intercambio de información y se mejora la comunicación entre los diferentes equipos y sistemas.

En la práctica, esto se traduce en una mayor eficiencia energética, una mejor calidad del ambiente de trabajo y una reducción de los costos de operación y mantenimiento. Además, la integración de estas plantas auxiliares dentro del sistema de control distribuido permite una gestión más precisa y coordinada de las operaciones en la planta, lo que conduce a una mayor productividad y seguridad.

Por otra parte, se encuentra la gestión de cargas, que involucra la administración de cargas y generadores en función del consumo actual Figura 4.3. Mediante un enfoque predictivo, se evalúa el consumo de energía y se toman decisiones para agregar o eliminar cargas según sea necesario. Esta gestión activa de cargas permite optimizar la distribución de energía y garantizar un uso eficiente de los recursos disponibles. Al monitorear continuamente el consumo y adaptar la carga en tiempo real, se puede lograr un equilibrio adecuado entre la demanda y la capacidad de generación, evitando sobrecargas o subutilización de los generadores. En última instancia, esto conduce a una mayor eficiencia energética y ahorro de costos en el sistema de energía de la planta.



La imagen muestra la interfaz que se observaría tanto en PCS7 como en el panel Figura 4.4. En PCS7 se visualizan el símbolo y el faceplate de una bomba, aunque es posible realizar modificaciones según sea necesario. También se puede acceder directamente a otros faceplates desde uno, lo que significa que se pueden enlazar faceplates para facilitar la navegación y el acceso a la información relevante. Se logra una solución sencilla que ayuda a reducir posibles fallos en la planta.

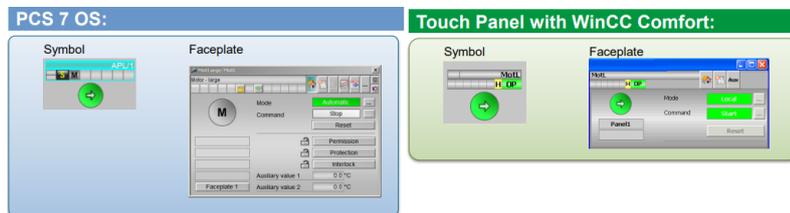


Figura 4.4 Paneles PCS7.

### 4.2.3 Comunicaciones SIMATIC

En la planta principal, se utiliza una CPU 400, que se considera la opción más adecuada para la industria de procesos, como se mencionó anteriormente. Se desea agregar una planta auxiliar que incluye una CPU 1500, y será necesario establecer un intercambio de datos entre ellas. La elección de la forma de intercambio de datos dependerá de si se utiliza PROFIBUS, PROFINET u otras formas de comunicación.

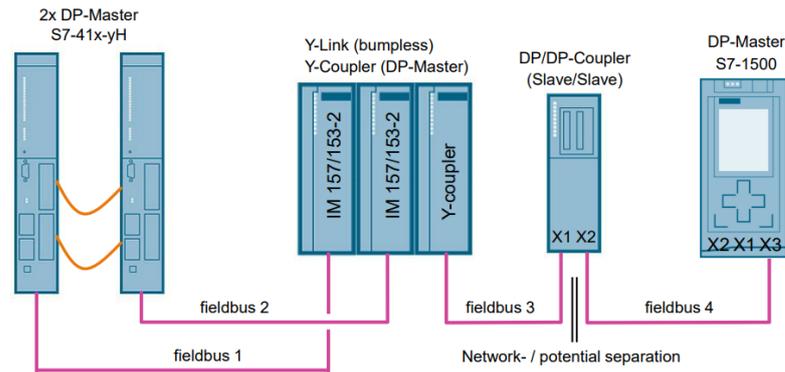
En el caso que se va a estudiar, se cuenta con una CPU 400 redundante y una CPU 1500 con comunicación PROFIBUS. Dado que se dispone de una CPU 400 redundante, se descarta la opción de una conexión directa entre las dos CPUs. En su lugar, se utiliza una configuración llamada "Y" que combina dos señales en una. A continuación, se utiliza un DP/DP Coupler que permite a la CPU 1500 leer y escribir datos. Esta misma solución sería aplicable también con CPUs 300 y 1200 en lugar de la CPU 1500.

Esta configuración es válida cuando la CPU 400 no tiene capacidad de comunicación PROFINET y cuando el volumen de datos a intercambiar es pequeño. Una ventaja fundamental de esta solución es que proporciona una separación de redes, lo que contribuye a mantener una estructura de comunicación más ordenada y controlada Figura 4.5.

En resumen, en el escenario descrito, la integración de una planta auxiliar con una CPU 1500 y una planta principal con una CPU 400 redundante se realiza mediante una configuración en forma de "Y" y el uso de un DP/DP Coupler para el intercambio de datos. Esta solución proporciona una separación de redes y es aplicable en casos en los que la CPU 400 no tiene capacidad de comunicación PROFINET y cuando el volumen de datos a transferir es reducido.

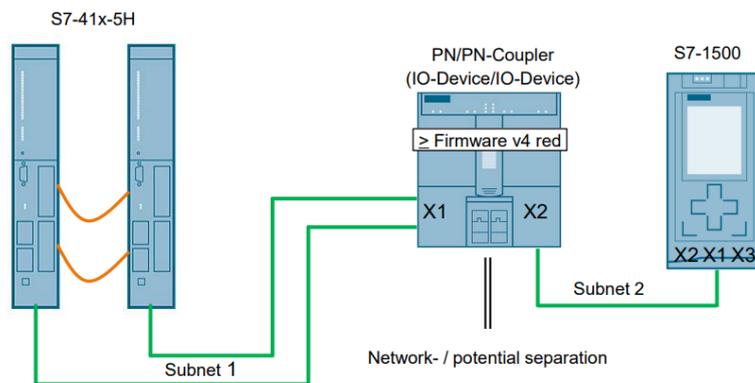
En un escenario en el que se utiliza una red PROFINET, se puede presentar una situación similar en la que se desea integrar una planta auxiliar con una CPU 1500 y una planta principal con una CPU 400 redundante. En este caso, se puede utilizar un PN/PN Coupler para lograr la comunicación entre las dos CPUs, manteniendo así la separación de redes. La ventaja de este enfoque es que el PN/PN Coupler incorpora los dispositivos necesarios para conectar las dos señales, por lo que no se requiere ningún dispositivo adicional.

El PN/PN Coupler permite establecer la comunicación entre la CPU 1500 y la CPU 400 redundante a través de la red PROFINET, asegurando la transferencia de datos necesaria. Al utilizar este



**Figura 4.5** Integración de plantas en PROFIBUS PCS7.

dispositivo, se mantiene la separación de redes y se logra una estructura de comunicación más ordenada y controlada.



**Figura 4.6** Integración de plantas en PROFINET PCS7.

Es posible realizar la integración entre una planta auxiliar con una CPU 1500 y una planta principal con una CPU 400 redundante sin la necesidad de mantener una separación de redes. Esta configuración permite un intercambio más eficiente y amplio de datos entre las CPUs.

En lugar de mantener una separación de redes, se puede establecer una conexión directa entre las dos CPUs utilizando un PN/PN Coupler en el caso de una red PROFINET. Este enfoque elimina la necesidad de mantener redes separadas y facilita la transferencia de un mayor volumen de datos entre las plantas auxiliares y la planta principal Figura 4.6.

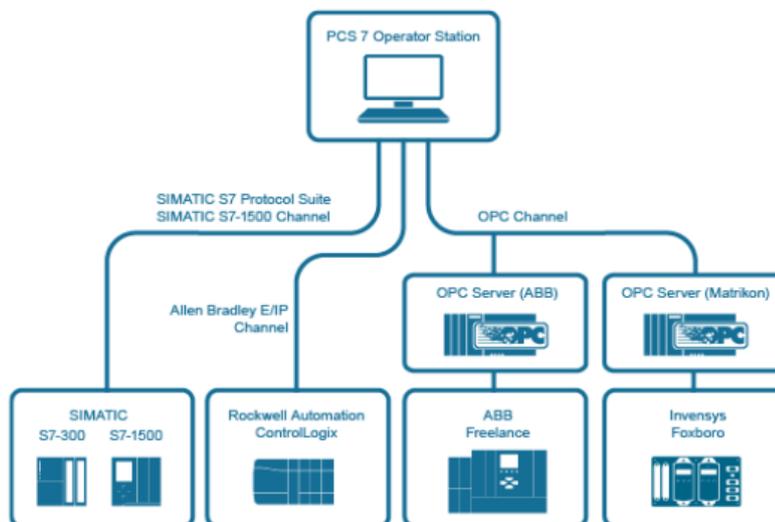
La conexión directa entre las CPUs ofrece ventajas en términos de velocidad y capacidad de intercambio de información, lo que permite una comunicación más rápida y efectiva. Además, al eliminar la separación de redes, se simplifica la configuración y se reduce la complejidad del sistema de comunicación.

## 4.3 Open OS

El Open OS es una arquitectura que permite la integración de diversos sistemas de una manera sencilla y con mínima intervención Figura 4.7. Proporciona una plataforma flexible para la integración de sistemas de terceros utilizando canales de comunicación como OLE for Process Control (OPC), así como la posibilidad de incorporar sistemas propios a través de controladores de comunicación integrados.

El núcleo central de esta arquitectura es el Data Base Automation (DBA), que facilita la gestión y organización de los datos en el sistema. El DBA permite el intercambio de información entre diferentes sistemas y garantiza la coherencia y consistencia de los datos en toda la plataforma.

El Open OS ofrece una solución especialmente útil en proyectos de migración, ya que permite la integración de sistemas existentes con nuevos sistemas de una manera sencilla. También resulta útil en la integración de plantas paquete o auxiliares, brindando una plataforma común para la gestión de todos los sistemas involucrados.



**Figura 4.7** Open OS.

Se busca comprender la ingeniería del sistema al separar el DBA y el Type Editor en diferentes funciones. Por un lado, el DBA se encarga de la comunicación con sistemas de terceros, recopilando los datos necesarios para generar los elementos típicos, como bombas o motores. Por otro lado, el Type Editor se utiliza para crear la jerarquía de la planta y generar automáticamente los elementos típicos.

Una vez que se han generado los elementos típicos, se instancian en la planta. En este proceso, se establece una jerarquía que organiza los elementos y se crea una estructura típica. Esto permite una rápida y eficiente configuración de la planta.

Además, se ofrece la posibilidad de exportar la configuración a un formato de Excel para facilitar la edición y completar cualquier información adicional en la tabla. Una vez finalizada la edición, la configuración se puede compilar rápidamente en el sistema, garantizando una implementación

eficiente y precisa Figura 4.8.

En resumen, al dividir la ingeniería en el DBA y el Type Editor, se logra una separación de funciones que permite una comunicación fluida con sistemas de terceros y una generación automatizada de elementos típicos en el sistema. Esto agiliza el proceso de configuración de la planta y ofrece la posibilidad de exportar la configuración a Excel para su edición y posterior compilación en el sistema.

De esta forma, una vez completada la configuración, se procederá a la compilación del sistema, lo

**DBA Type Editor**  
Definición de los típicos

**Excel sheet**  
generación de las instancias

Attribute name	Attribute type	Default value	Instance editable
Instance Name	String		yes
unit	String		yes
Lower limit	Float	0	yes
Upper limit	Float	100	yes

**DBA**  
Creación de las instancias en la Plant hierarchy

Hierarchy Path	Instance name	Unit	Lower limit	Upper limit
/Plant/Pump1	Pressure_1	mBar	0	3,000
/Plant/Motor1	Temp_1	°C	-20	70
/Plant/Pump1	Flow_1	l/h	0	10,000

Bulk engineering import/export

Figura 4.8 Import Export Assistant.

que resultará en la generación de la jerarquía de la planta, así como de los símbolos correspondientes a los elementos como bombas o motores. Además, se establecerá una conexión directa con los faceplates, asegurando una visualización coherente y facilitando el acceso a la información relevante.

La compilación del sistema implica la implementación de la estructura de la planta y la generación de los componentes gráficos necesarios para representar los elementos típicos. Esta etapa es crucial para asegurar el correcto funcionamiento y la visualización adecuada de la planta en el sistema de control distribuido.

Una vez completada la compilación, la jerarquía de la planta estará lista y los símbolos correspondientes a los elementos típicos, como bombas o motores, estarán disponibles para su visualización y control en los faceplates correspondientes. Esta integración directa entre los símbolos y los faceplates garantiza una experiencia de usuario fluida y facilita las operaciones de supervisión y control.

Con este sistema se pueden tener varios tipos de arquitecturas:

- Arquitectura redundante integrada PCS 7 OS
- Arquitectura redundante separada

#### 4.4 PowerControl y Telecontrol

En el contexto del sistema de control distribuido, existe otra área dedicada al control de la energía y las subestaciones eléctricas. Tradicionalmente, estas dos áreas han estado separadas, lo que ha generado la necesidad de una integración efectiva entre ellas. Sin embargo, con el sistema PCS7, es posible lograr una integración conjunta de ambas áreas utilizando comunicación estándar.

PCS7 ofrece la capacidad de integrar tanto la parte de proceso como la de energía en una plataforma común. Esto permite una gestión más eficiente y efectiva al tener un control unificado de los procesos industriales y la distribución de energía eléctrica Figura 4.9.

Las ventajas descritas de la integración conjunta de las áreas de proceso y energía en el sistema PCS7 utilizando comunicación estándar se pueden enumerar de la siguiente manera:

- Optimización de la gestión de la energía y los procesos industriales.
- Mayor visibilidad y control del consumo de energía en relación con los procesos productivos.
- Mejora en la sincronización y coordinación entre las subestaciones eléctricas y el sistema de control distribuido.
- Mayor rendimiento general de la planta al tener un control unificado de las áreas de proceso y energía.
- Flexibilidad y interoperabilidad gracias al uso de comunicación estándar.
- Eficiencia en la gestión de la energía y toma de decisiones en tiempo real.
- Combinación eficiente del proceso y la energía de la planta.
- Crecimiento conjunto de las responsabilidades en la operación, análisis y mantenimiento de la planta.
- Menor esfuerzo en la integración de sistemas.
- Minimización del riesgo del proyecto al contar con un enfoque integrado y coherente.
- Menores costos en el ciclo de vida de la planta al utilizar un sistema centralizado.

El PowerControl es una solución diseñada para abarcar el control de media y baja tensión en sistemas eléctricos. Se basa en el estándar mundial IEC 61850, que establece una comunicación con dispositivos inteligentes utilizando Ethernet TCP/IP como protocolo de comunicación.

Esta solución proporciona una plataforma robusta y confiable para la gestión y control de sistemas eléctricos de media y baja tensión. El uso de dispositivos inteligentes y la comunicación basada en Ethernet TCP/IP permiten una integración más eficiente y una mayor flexibilidad en la configuración y supervisión de los sistemas eléctricos.

El estándar IEC 61850 garantiza una comunicación interoperable y estandarizada entre los dispositivos inteligentes, lo que simplifica la integración y facilita la comunicación y el intercambio de datos entre ellos. Esto resulta en un control más preciso y eficiente de los sistemas eléctricos, lo que a su vez contribuye a la optimización del consumo de energía y al mantenimiento adecuado de los equipos.

Existen varias opciones para la comunicación entre subestaciones y servidores en sistemas de control distribuido, como se detalla a continuación:

- La primera opción consiste en establecer una comunicación directa entre los dispositivos de protección (IED) y los servidores de PCS7. Esta configuración se logra utilizando la herramienta mencionada anteriormente, el Open OS, que permite la comunicación directa y gestionada entre ellos.
- En caso de requerir una configuración con redundancia, se puede utilizar el Station Gateway. Esta solución proporciona redundancia en las comunicaciones tanto aguas arriba como aguas abajo. En este caso, la comunicación se realiza con el controlador redundante, y se establecen conexiones gestionadas desde el PCS7.
- Con el Station Controller, se tiene la opción de tener ambas vistas, tanto cliente como servidor. Se programa este dispositivo utilizando la ingeniería de CFC, y luego se carga en él utilizando el protocolo S7.

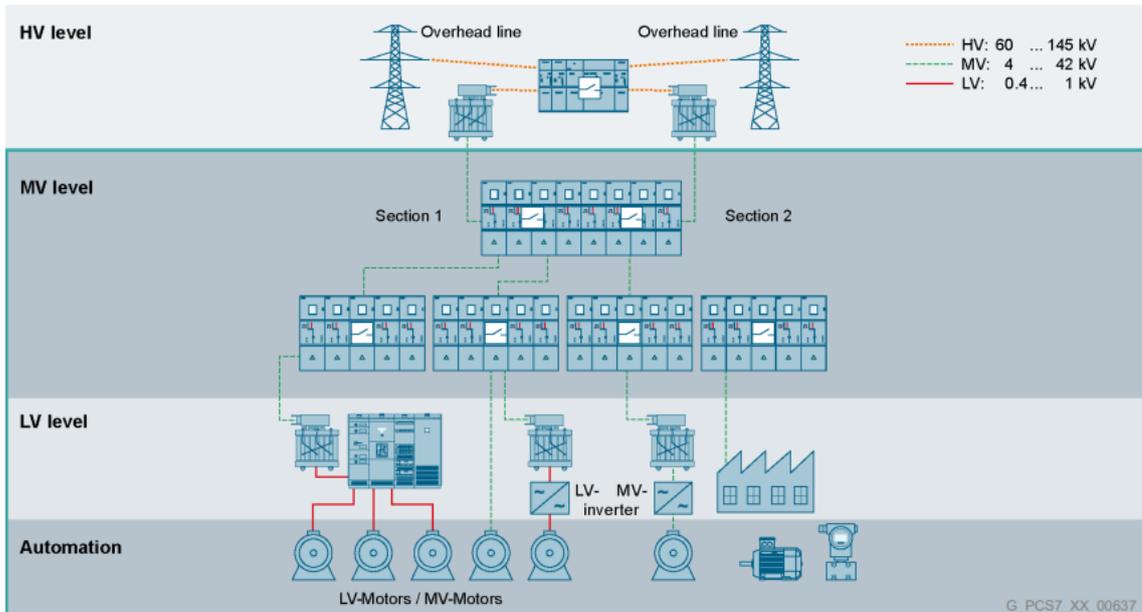


Figura 4.9 Vista general.

Estas configuraciones ofrecen diferentes enfoques para la comunicación entre subestaciones y servidores en sistemas de control distribuido, brindando flexibilidad y opciones adaptadas a las necesidades específicas de cada sistema.

Además, es importante destacar la librería de Power Control, que ofrece diversas funcionalidades

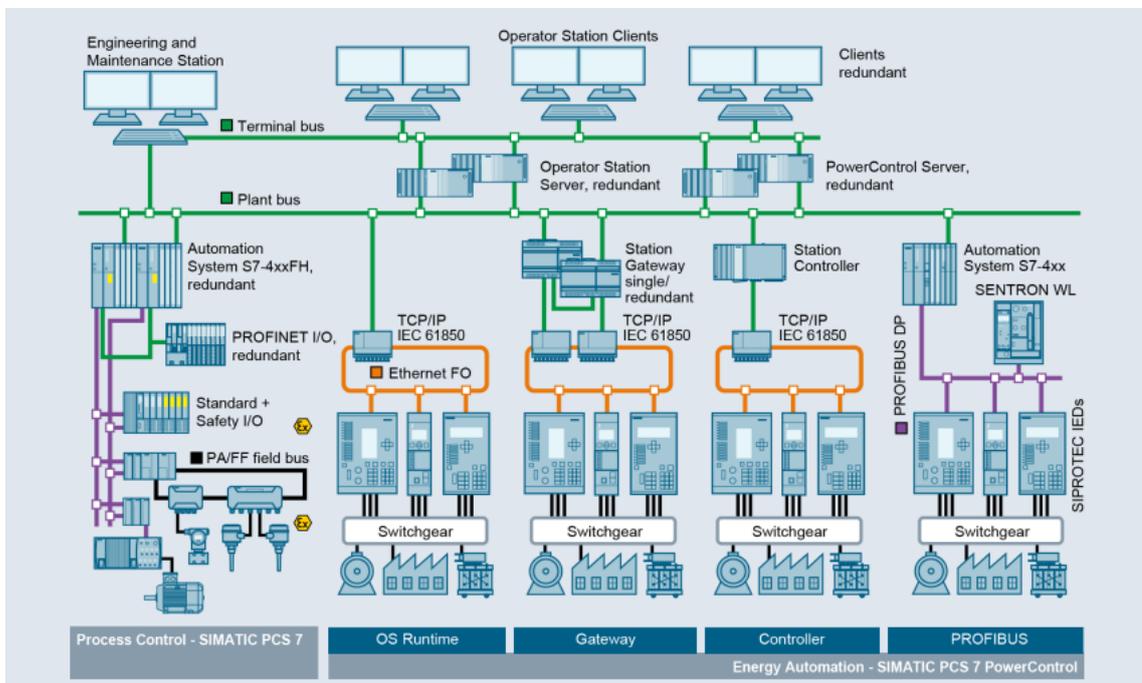


Figura 4.10 Configuraciones para Subestaciones.

para generar y gestionar iconos o faceplates, así como para el procesamiento de datos relacionados.

El telecontrol, por otro lado, se refiere a la comunicación distribuida con las RTU (Unidades Terminales Remotas) que suelen estar presentes en aplicaciones de Oil and Gas o agua. Estas RTU

tienen un perfil de automatización medio o bajo y se comunican de diversas formas. En este contexto, se abordan necesidades específicas como la redundancia, y es relevante hacer mención de la librería que facilita todas estas funcionalidades.

En cuanto a las opciones para las subestaciones Figura 4.10, existen varias alternativas de comunicación, ya sea estableciendo una comunicación directa entre los dispositivos de protección (IED) y los servidores de PCS7 utilizando la herramienta Open OS, o utilizando el Station Gateway en configuraciones con redundancia. En este último caso, la comunicación se realiza con el controlador redundante y se establecen conexiones gestionadas desde el PCS7. Por otro lado, con el Station Controller, se puede tener una perspectiva tanto de cliente como de servidor, programando este dispositivo con ingeniería de CFC y luego cargándolo mediante el protocolo S7.

Estas opciones ofrecen diferentes enfoques para la comunicación entre subestaciones y servidores, proporcionando flexibilidad y adaptabilidad a las necesidades particulares de cada sistema.

## 4.5 SIS Compact

Otra de las partes comunes en la mayoría de las plantas de procesos es el Sistema Instrumentado de Seguridad (SIS), utilizado para reducir los riesgos en la planta. Dependiendo de las necesidades, se puede implementar de forma integrada o aislada, utilizando la comunicación seleccionada.

Las aplicaciones del SIS pueden incluir:

- Sistemas de apagado de emergencia (ESD, por sus siglas en inglés).
- Sistemas de gestión de quemadores (BMS, por sus siglas en inglés).
- Sistemas de detección de fuego y gas (F&G, por sus siglas en inglés).
- Sistemas de Protección de Alta Integridad de Presión (HIPPS, por sus siglas en inglés).

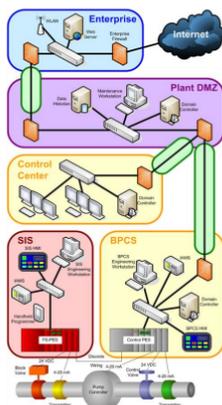
Existen diferentes opciones disponibles en el sistema de seguridad SIS, que se encuentran agrupadas en 4 paquetes y se adaptan según las necesidades específicas:

- Paquete SIMATIC SIS Basic - Single: Incluye la ingeniería de la parte de seguridad y el controlador en un paquete básico.
- Paquete SIMATIC SIS Basic - Redundante: Similar al anterior, pero con funcionalidad de redundancia.
- Paquete SIMATIC SIS Basic con visualización: Incorpora capacidades de visualización al paquete básico.
- Paquete SIMATIC SIS Basic con visualización redundante: Incluye la funcionalidad de redundancia junto con las capacidades de visualización.

A la hora de integrar estos sistemas de seguridad, existen varias opciones, que se representan en la siguiente Figura 4.11: Estas opciones permiten adaptar el sistema de seguridad SIS a las necesidades específicas de cada planta, brindando flexibilidad y garantizando una mayor seguridad en los procesos industriales.

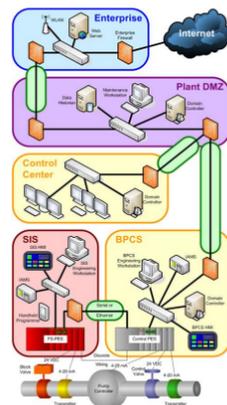
### Aislado

En este diseño, el SIS está aislado lógicamente y físicamente de comunicarse con el resto de las zonas.



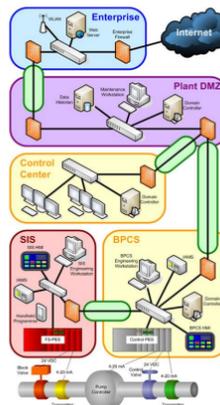
### Interconectado

SIS y BPCS todavía están conectados mediante un cableado discreto, pero ahora incluyen una conexión de comunicación directa punto a punto.



### Integración en 2 zonas

Los sistemas BPCS y SIS están totalmente integrados y proporcionan comunicación directa en tiempo real entre los sistemas.



### Integración en 1 zona

Los sistemas SIS y BPCS están totalmente integrados, proporcionando una mayor comunicación entre esos sistemas y los sistemas de nivel superior.

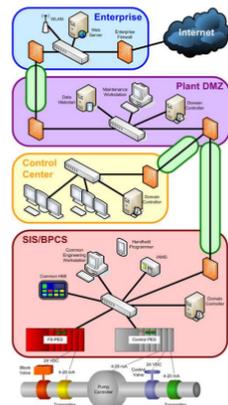


Figura 4.11 Integración de sistemas de seguridad.

## 5 Conclusión

---

**E**n conclusión, este trabajo ha destacado tres avances tecnológicos de gran relevancia. En primer lugar, se ha demostrado el potencial del hidrógeno verde como una nueva fuente de almacenamiento de energía, tanto en su obtención limpia como en su obtención no limpia.

Además, se ha resaltado cómo la modernización eléctrica de grúas estructuralmente sólidas puede conducir a mejoras significativas en términos de eficiencia, vida útil y disponibilidad de repuestos en el sector industrial.

Por último, se ha discutido la importancia del sistema de control distribuido PCS7 en el control de procesos de una planta, proporcionando recomendaciones sobre las mejores prácticas en términos de CPU, conexión y recolección de datos para su análisis.

Estos avances tecnológicos representan oportunidades emocionantes para impulsar la eficiencia, la sostenibilidad y la optimización en diversas industrias. A medida que continuamos avanzando en el ámbito tecnológico, es fundamental seguir explorando y adoptando soluciones innovadoras que nos permitan enfrentar los desafíos actuales y futuros.

### 5.1 Líneas de trabajo e investigación

A pesar de los avances tecnológicos presentados, existen áreas en las que se pueden realizar mejoras y continuar investigando. Estas mejoras podrían impulsar aún más la eficiencia y el desarrollo sostenible en los temas abordados.

En el campo del hidrógeno verde, es necesario seguir investigando y perfeccionando los métodos de obtención, tanto en términos de eficiencia energética como de reducción de costos. Además, se pueden explorar nuevas formas de almacenamiento y distribución del hidrógeno, mejorando su viabilidad a gran escala.

En cuanto a la modernización de grúas, se puede profundizar en la integración de tecnologías como la inteligencia artificial y el Internet de las cosas para mejorar la automatización y la monitorización de las grúas. Esto permitiría una gestión más eficiente y predictiva de las operaciones, optimizando aún más su rendimiento.

En el ámbito del control de procesos en planta, se pueden explorar soluciones más avanzadas en términos de análisis de datos y optimización. La implementación de algoritmos de aprendizaje

automático y la integración de sistemas ciberfísicos podrían permitir una toma de decisiones más precisa y una gestión más inteligente de los procesos industriales.

En resumen, las futuras mejoras y líneas de trabajo se enfocan en la búsqueda continua de la eficiencia, la sostenibilidad y la optimización en los avances tecnológicos presentados. Mediante la investigación y la implementación de nuevas tecnologías, se podrán superar los desafíos actuales y alcanzar un futuro más avanzado y sostenible en diversos sectores industriales.

# Índice de Figuras

---

2.1	Reacción para obtención de hidrógeno	4
2.2	SIPART PS2	6
2.3	Planta HyCO-Proceso SMR	7
2.4	Reacción de Electrólisis	8
2.5	Ejemplo de una planta con Electrolizador PEM con distintos puntos de medida	9
2.6	Electrolizador-Monitorización del gas de proceso	10
2.7	Homogeneización de la capa de oro en los sellos del diafragma.	11
2.8	SITRANS P320/420	12
2.9	SITRANS TS500	12
2.10	SITRANS TS300	13
2.11	Tubería de transporte de hidrógeno con caudalímetro no invasivo[1]	15
2.12	Estudio de DNV para SITRANS FS230[1]	15
2.13	Producción de "acero verde"	16
2.14	Reacción "metanol verde"	16
3.1	Grúas industriales(1) y portuarias(2)[2]	20
3.2	Landle Crane (Puente Grúa)[2]	20
3.3	Grúa STS[2]	21
3.4	Grúa GSU[2]	21
3.5	Grúa RTG[2]	21
3.6	Grúa RMG[2]	22
3.7	Ahorro drives regenerativos[2]	23
3.8	Drive based sway control (DBSC)[2]	25
3.9	SIMOCRANE sway control (SC)[2]	26
3.10	CeNIT Straight-run Controller	26
3.11	RCOS - Remote Control Operation System[2]	27
3.12	SIMOCRANE CMS: Conectividad a MindSphere	28
3.13	TPS – Truck Positioning System	29
3.14	- Addon LCPS & FLS	30
4.1	Arquitectura	32
4.2	Bloques de Función PCS7	34
4.3	Gestión de cargas PCS7	34
4.4	Paneles PCS7	35
4.5	Integración de plantas en PROFIBUS PCS7	36
4.6	Integración de plantas en PROFINET PCS7	36

4.7	Open OS	37
4.8	Import Export Assistant	38
4.9	Vista general	40
4.10	Configuraciones para Subestaciones	40
4.11	Integración de sistemas de seguridad	42

# Índice de Tablas

---

2.1	Probabilidad de presencia de impurezas en la obtención de hidrógeno[1]	13
2.2	Medida real cromatógrafo MAXUM II[1]	14
3.1	Cuadro resumen Simocrane[2]	24
4.1	Comparativa 410-5H y 410E	32



# Bibliografía

---

- [1] F. M. Villasanta. (2023) Webinar-hidrógeno verde. [Online]. Available: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:4662883b-9639-4f47-b7c5-4d378b4f73d9/analizadores-e-instrumentacion-para-1-14-video.mp4>
- [2] F. M. G. Arevalo. (2023) Webinar-grúas. [Online]. Available: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:6fb4ad02-a08b-4586-9543-7ce6f49de99d/version:1592988719/2020-simocrane-soluciones-avanzadas-para-la-elevacion-es.pdf>
- [3] R. I. Mármoll. (2023) Pcs 7 curso del sistema. [Online]. Available: <https://www.siemens.com/es/es/productos/services/sitrain/automatizacion-industrial/pcs7-curso-del-sistema.html>
- [4] H. R. Crespo. (2023) Webinar-pcs7. [Online]. Available: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:66bc2027-8eba-4d0a-9209-6052c8a5de17/version:1591784032/webinar-automatizacion-de-plantas-paquete-en-industria-de-proces.pdf>



