



Trabajo Fin de Grado

Automatización de planta industrial de generación de hidrógeno verde

Industrial Green Hydrogen Generation Plant Automation

Autor

Eduardo Pérez González

Director

Alejandro Acero Oliete

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia

Junio 2023

Página intencionadamente en blanco.



**Escuela Universitaria
Politécnica - La Almunia**
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

MEMORIA

**Automatización de planta industrial de
generación de hidrógeno verde**

**Industrial Green Hydrogen Generation Plant
Automation**

424 22 21

Autor: Eduardo Pérez González

Director: Alejandro Acero Oliete

Fecha: 07 2023

Página intencionadamente en blanco.

INDICE DE CONTENIDO BREVE

1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	2
3. INTRODUCCIÓN	3
4. ESTADO DEL ARTE	4
5. DESARROLLO	25
6. RESULTADOS	67
7. CONCLUSIONES	77
8. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	78
9. BIBLIOGRAFÍA	79

INDICE DE CONTENIDO

1. RESUMEN	1
1.1. PALABRAS CLAVE	1
2. ABSTRACT	2
2.1. KEY WORDS	2
3. INTRODUCCIÓN	3
4. ESTADO DEL ARTE	4
4.1. ANTEDECENTES	4
4.1.1.1. Demo4Grid	5
4.1.1.2. Power to Green Hydrogen Mallorca	7
4.1.2. EVOLUCIÓN DE LOS AUTOMATISMOS INDUSTRIALES	8
4.1.2.1. Lógica Cableada	8
4.1.2.2. Lógica Programada	9
4.2. MARCO TEÓRICO	12
4.2.1. <i>Tecnologías verdes</i>	12
4.2.1.1. TIPOS DE HIDRÓGENO	13

INDICES

4.2.1.2. MÉTODOS DE AISLAMIENTO DE HIDRÓGENO	15
4.2.1.2.1. ELECTRÓLISIS	15
4.2.1.2.2. TERMÓLISIS	18
4.2.1.2.3. ALMACENAMIENTO DEL HIDRÓGENO PRODUCIDO	19
4.2.1.2.4. TRANSPORTE DEL HIDRÓGENO	21
4.2.2. TIA PORTAL	22
4.2.3. SIMATIC S7-1500	23
5. DESARROLLO	25
5.1. ESPECIFICACIONES DE PRODUCCIÓN	25
5.1.1. CALCÚLO CAUDAL NECESARIO	25
5.1.2. ESTADOS DE OPERACIÓN UML	26
5.1.3. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA	28
5.1.4. PRESUPUESTO	29
5.2. LISTADO DE SEÑALES Y ACTUADORES	30
5.3. REQUISITOS DE CADA ESTADO	37
5.3.1. ESTADO APAGADO	37
5.3.1.1. VARIABLES DE CONTROL	37
5.3.1.2. CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA	38
5.3.2. ESTADO COLD STAND BY	38
5.3.2.1. VARIABLES DE CONTROL	39
5.3.2.2. CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA	40
5.3.2.3. ALARMAS Y CONDICIONES DE CORRECTO FUNCIONAMIENTO	40
5.3.3. ESTADO DE INTERTIZACIÓN	41
5.3.3.1. VARIABLES DE CONTROL	41
5.3.3.2. CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA	42
5.3.3.3. ALARMAS Y CONDICIONES DE CORRECTO FUNCIONAMIENTO	42
5.3.4. ESTADO DECALENTAMIENTO	44
5.3.4.1. VARIABLES DE CONTROL	44
5.3.4.2. CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA	45
5.3.4.3. ALARMAS Y CONDICIONES DE CORRECTO FUNCIONAMIENTO	45
5.3.5. ESTADO RAMPA SUBIDA INTENSIDAD	46
5.3.5.1. VARIABLES DE CONTROL	46
5.3.5.2. CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA	47
5.3.5.3. ALARMAS Y CONDICIONES DE CORRECTO FUNCIONAMIENTO	47
5.3.6. ESTADO DE VENTEO	47
5.3.6.1. VARIABLES DE CONTROL	48
5.3.6.2. CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA	49
5.3.6.3. ALARMAS Y CONDICIONES DE CORRECTO FUNCIONAMIENTO	50

INDICES

5.3.7. ESTADO DE PRESURIZACIÓN	52
5.3.7.1. VARIABLES DE CONTROL	52
5.3.7.2. CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA	53
5.3.7.3. ALARMAS Y CONDICIONES DE CORRECTO FUNCIONAMIENTO	53
5.3.8. ESTADO DE OPERACIÓN	55
5.3.8.1. VARIABLES DE CONTROL	55
5.3.8.2. CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA	56
5.3.8.3. ALARMAS Y CONDICIONES DE CORRECTO FUNCIONAMIENTO	56
5.3.9. ESTADO RAMPA BAJADA DE INTENSIDAD	58
5.3.9.1. VARIABLES DE CONTROL	58
5.3.9.2. CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA	59
5.3.9.3. ALARMAS Y CONDICIONES DE CORRECTO FUNCIONAMIENTO	59
5.3.10. ESTADO HOT STAND BY	60
5.3.10.1. VARIABLES DE CONTROL	60
5.3.10.2. CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA	61
5.3.10.3. ALARMAS Y CONDICIONES DE CORRECTO FUNCIONAMIENTO	61
5.3.11. ESTADO DESPRESURIZACIÓN	62
5.3.11.1. VARIABLES DE CONTROL	62
5.3.11.2. CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA	63
5.3.11.3. ALARMAS Y CONDICIONES DE CORRECTO FUNCIONAMIENTO	63
5.3.12. ESTADO RAMPA SUBIDA DE INTENSIDAD II	64
5.3.12.1. VARIABLES DE CONTROL	64
5.3.12.2. CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA	65
5.3.12.3. ALARMAS Y CONDICIONES DE CORRECTO FUNCIONAMIENTO	65
5.3.13. ESTADO PARADA DE EMERGENCIA	65
6. RESULTADOS	67
6.1. ESTRUCTURA DEL PROGRAMA DEL AUTOMATISMO	67
6.2. PANTALLAS SCADA-HMI	70
7. CONCLUSIONES	77
8. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	78
9. BIBLIOGRAFÍA	79

INDICE DE ILUSTRACIONES

INDICES

Ilustración 1. Funcionamiento Demo4Grid.....	5
Ilustración 2. Funcionamiento Power to Green Hydrogen Mallorca	7
Ilustración 3. Armario basado en lógica cableada.....	9
Ilustración 4. Microcontrolador industrial	10
Ilustración 5. Simatic S5.....	11
Ilustración 6. Índice de limpieza de hidrogeno	14
Ilustración 7. Proceso de electrólisis para el Hidrógeno	16
Ilustración 8. Proceso de inertización	17
Ilustración 9. Tipos de termólisis	18
Ilustración 10. Logística del Hidrógeno	19
Ilustración 11. Características transporte.....	22
Ilustración 12. Integración en TIA PORTAL.....	23
Ilustración 13. Modelos PLC SIEMENS	23
Ilustración 14. Funcionamiento SIMATIC S7-1500	24
Ilustración 15. Diagrama UML Fases del proceso.....	27
Ilustración 16. Localización parcela de la planta.....	28
Ilustración 17. Estado apagado.....	37
Ilustración 18. Estado Cold Stand By.....	38
Ilustración 19. Estado Inertización	41
Ilustración 20. Estado Calentamiento	44
Ilustración 21. Estado Subida Intensidad	46
Ilustración 22. Estado de Venteo.	48
Ilustración 23. Estado de Presurización.....	52
Ilustración 24. Estado Procedimiento Operativo	55
Ilustración 25. Estado Rampa Bajada de Intensidad.	58
Ilustración 26. Estado Hot Stand By.....	60
Ilustración 27. Estado Despresurización.....	62
Ilustración 28. Estado Rampa Subida Intensidad II	64



INDICES

Ilustración 29.Estado Parada de Emergencia	66
Ilustración 30. Conexión Ethernet	67
Ilustración 31. Main (OB1)	68
Ilustración 32. Asignación de variables	68
Ilustración 33.Transiction states	69
Ilustración 34.Pantalla HOME	70
Ilustración 35. Estado Apagado	70
Ilustración 36.Cold Stand By	71
Ilustración 37.Estado de Inertización.....	71
Ilustración 38. Estado de Calentamiento	72
Ilustración 39. Estado Rampa subida Intensidad	72
Ilustración 40. Estado de viento.....	73
Ilustración 41.Estado presurización.....	73
Ilustración 42.Operación.....	74
Ilustración 43.Rampa Bajada intensidad	74
Ilustración 44.Hot Stand By	75
Ilustración 45.Rampa subida intensidad 2	75
Ilustración 46.Estado Despresurización	76
Ilustración 47.Estado parada de emergencia.	76

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla listada de señales y actuadores.....	35
---	----



1. RESUMEN

En el contexto de crisis energética y climática en el que nos encontramos es crucial el desarrollo y diseño de nuevas fuentes de energía que permitan un desarrollo sostenible en el sector industrial.

En ello va enfocado este proyecto de diseño e implementación, con el objetivo de unir industria con las energías verdes, haciéndome valer del control lógico que ofrece la automatización para conseguir alcanzar una fuente renovable completamente automatizada.

El proceso productivo gozara de distintas fases que serán tratadas como estados de programación, cada uno con sus propias características y finalidades. Por tanto, en la lógica de programación se ha de tener en cuenta que sensores o alarmas actúan en cada momento y ofrecer una solución tecnológica que funcione y sea viable, se asumirá que la planta industrial de generación de hidrógeno verde se quiere montar en el municipio de Zaragoza para fomentar el desarrollo de la región.

1.1. PALABRAS CLAVE

- Hidrógeno verde
- Automatización
- Proceso productivo
- Fuente de energía renovable
- Lógica programada

Abstract

2. ABSTRACT

In the context of the energy and climate crisis in which we find ourselves, the development and design of new energy sources that allow sustainable development in the industrial sector is crucial.

This design and implementation project is focused on this, with the aim of uniting industry with green energy, making use of the logical control offered by automation to achieve a fully automated renewable source.

The productive process will have different phases that will be treated as programming states, each one with its own characteristics and purposes. Therefore, in the programming logic it must be taken into account that sensors or alarms act on each state and to be capable of offer a technological solution that works and is plenty viable, it will be assumed that the green hydrogen generation industrial plant is to be set up in the municipality of Zaragoza to promote the development of the region.

2.1. KEY WORDS

- Green Hydrogen
- Automation
- Productive process
- Renewable energy source
- Programmed logic

Introducción

3. INTRODUCCIÓN

El proyecto constará de varias partes bien diferenciadoras, la parte teórica donde se reunirán todos los conceptos claves sobre hidrógeno o tecnologías que puedan ayudar al desarrollo de este. Por otro lado albergara unos determinados apartados que calculen, estimen y dimensionen la planta así como los dispositivos tanto de entrada como de salida que necesitará para su correcta automatización. En último lugar se presentará el software de mi propia autoría que cumple y satisface todos los requerimientos anteriores, haciendo viable la simulación de este proyecto en todos los ámbitos.

Los objetivos propuestos en el proyecto no son otros que conocer los impedimentos y ventajas de la creación de energía a partir del hidrógeno y diseñar una planta de hidrógeno mediante diseño por ordenador y automatizada mediante software, que pueda funcionar con la presencia mínima de operarios humanos y permitiéndoles estar fuera de peligro en todo momento.

En cuanto a las razones por las que planteo esta tarea por encima de otras opciones que tenía sobre la mesa es debido a la rigurosa actualidad mundial, en el cual está ocurriendo una emergencia climática, lo que hace de manera absolutamente urgente soluciones como esta que permitan una transición ecológica hacia un modelo de creación y uso de energía más sostenible y menos perjudicial.

ESTADO DEL ARTE

4. ESTADO DEL ARTE

4.1. ANTEDECENTES

4.1.1 CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROYECTO

Sin duda, uno de los mayores retos que se va a enfrentar la sociedad en el futuro reciente es el calentamiento global y su origen reside en la emisión de gases de efecto invernadero, siendo estas principalmente, cantidades ingentes de dióxido de carbono emitidas a la atmósfera. La causa de lo anterior es la quema de combustibles fósiles con la finalidad de generar energía en un corto periodo de tiempo y estimular la economía a través de su uso.

Para paliar este fenómeno, se diseñó un plan global bautizado como la Agenda 2030, adoptado por la ONU en Septiembre de 2015 para tomar decisiones específicas sobre los desafíos mundiales, incluido el cambio climático, para ello definió los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) los cuales son parte integral de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Entre algunos de sus objetivos se encuentran el de alcanzar un desarrollo sostenible y promover la energía renovable teniendo en mente reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

El hidrógeno verde es un concepto interesante ante esta tensión de situación global ya que es una alternativa a los combustibles fósiles y puede ser utilizado como una fuente de energía sostenible. El hidrógeno verde se produce a partir de fuentes renovables de energía, principalmente de la energía solar o eólica, y no emite gases de efecto invernadero durante su proceso productivo. Por lo tanto, su adopción podría ayudar a reducir la dependencia de los combustibles fósiles y a paralelamente reducir el calentamiento global.

En conclusión, el presente trabajo Trabajo Final de Grado para automatizar una planta de hidrógeno verde halla su relevancia porque contribuye a la perseguir los objetivos de la Agenda 2030 y a la lucha contra el calentamiento global, al ofrecer una alternativa sostenible y de bajas emisiones a los combustibles fósiles.

4.1.2 PLANTAS HIDROGENERAS EN EL MUNDO

4.1.1.1. Demo4Grid

El proyecto europeo “Demo4Grid” tiene como objetivo demostrar la viabilidad técnica y económica de la producción de hidrógeno verde a gran escala a través de la combinación de energías renovables y tecnologías avanzadas de almacenamiento de energía. El proyecto se lleva a cabo en la región de Vorarlberg, Austria, el cual se basa en la producción de hidrógeno a partir de energía eólica, solar o hidroeléctrica, con el objetivo de almacenar y distribuir hidrógeno de manera segura y sostenible para su uso en la industria, el transporte y la energía.(Home D4G - Demo4Grid, s. f.)

Para ello, se llevará a cabo la integración y despliegue de un electrolizador alcalino de 4 MW, alimentado por la red o en la medida de lo posible por una planta hidroeléctrica local , mediante el método de la electrólisis del agua , consigue separar y aislar el hidrógeno , el cual será posteriormente almacenado , hasta su posterior quema y utilización como posible combustible para la logística de la cadena de supermercados MPREIS , para su uso como combustible para vehículos personales o para sustituir parcialmente el uso de gas natural en comercios locales como panaderías o carnerías .

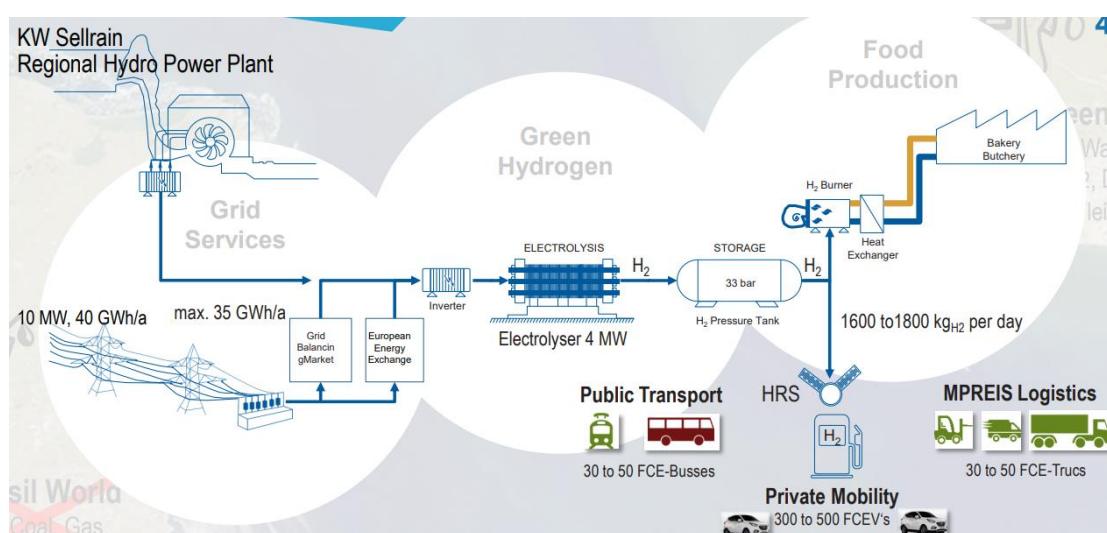


Ilustración 1. Funcionamiento Demo4Grid (DEMO4GRID, s. f.)

ESTADO DEL ARTE

El proyecto Demo4Grid es una colaboración entre varias empresas de una amplia gama de sectores, incluyendo entre otras a la empresa de energías renovables Vorarlberger Illwerke AG (VIW), la empresa de tecnológica AIT Austrian Institute of Technology GmbH, la compañía de energías verdes Enercon GmbH, la empresa de tecnología de almacenamiento y suministro de energía Fronius International GmbH y la Universidad de Tecnología de Graz.

Este proyecto se inició en 2017 y su plan de ruta espera que este completado en 2023, con una capacidad de producción esperable de hidrógeno verde de en torno a 30 toneladas al año.

ESTADO DEL ARTE

4.1.1.2. Power to Green Hydrogen Mallorca

Se trata de un proyecto con el objetivo de desarrollar una cadena de valor en base al hidrógeno verde persiguiendo el objetivo de la reindustrialización de las islas Baleares. Para lograrlo, aislan el hidrógeno mediante el método de la electrolisis, sirviéndose de 14 MW de energía solar fotovoltaica para su uso en movilidad e inyección en la red gasista, así como otros usos como el sector industrial, de servicios y residencial, para la generación de calor y electricidad encargada del suministro eléctrico o dirigido para proveer de combustible a flotas de vehículos de alquiler o transportes públicos.

El proyecto incluye la construcción de una planta de electrólisis, la puesta a punto de dos plantas fotovoltaicas las cuales proporcionaran la energía proveniente de fuentes renovables para la posterior alimentación de la planta de electrólisis, así como una estación de Servicio de Hidrógeno verde en las islas. (*Proyecto Power 2 Green Hydrogen Mallorca, s. f.*)

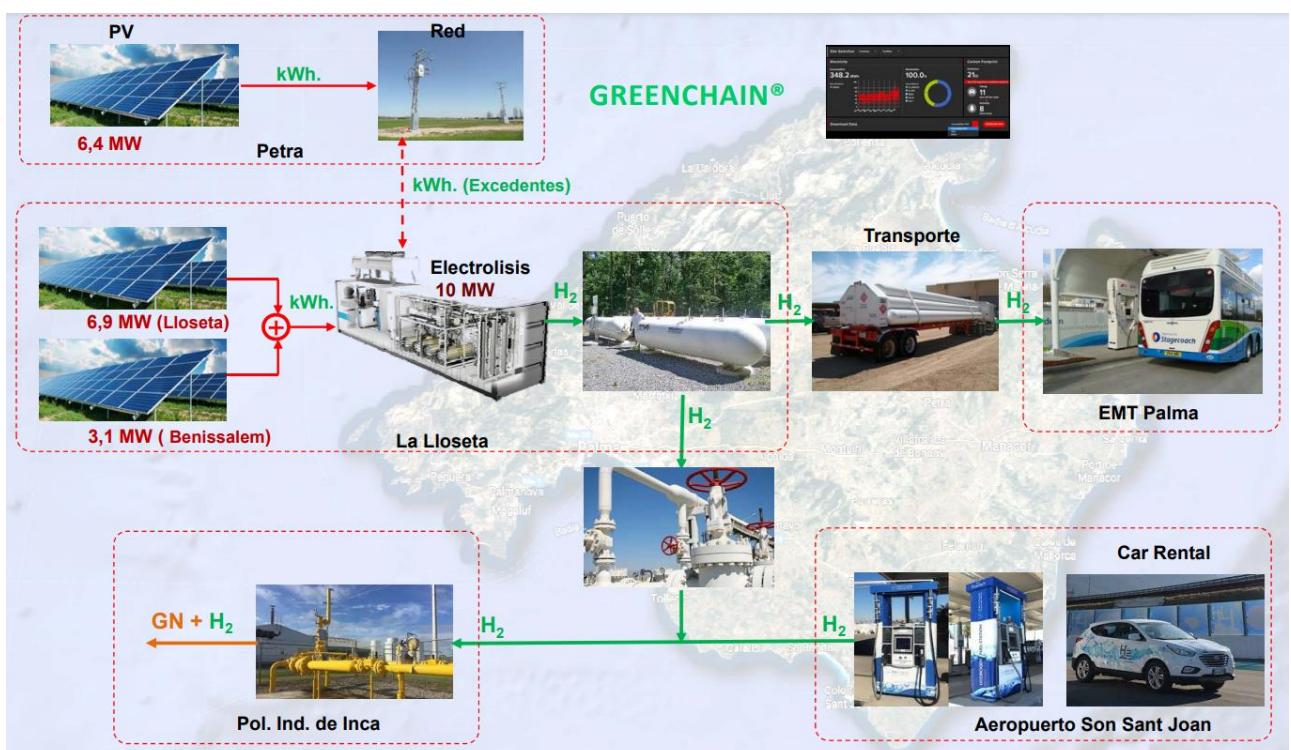


Ilustración 2. Funcionamiento Power to Green Hydrogen Mallorca (Acciona, s.f.)

ESTADO DEL ARTE

Se servirá de un electrolizador de 10 MW, aprovechando los momentos en los que la energía solar opere a máximos potenciales para convertir esa energía sobrante en energía combustible y recuperable en cualquier parte del día, independientemente del clima que haga. El modelo de Power to Green Hydrogen Mallorca servirá como referente a replicar en otros cinco territorios insulares (Valentia, Ameland, Tenerife, Madeira, Portugal, y las Islas Griegas).(*Proyecto Power 2 Green Hydrogen Mallorca, s. f.*)

4.1.2. EVOLUCIÓN DE LOS AUTOMATISMOS INDUSTRIALES

La industria desde sus inicios se encuentra en constante cambio, para diferenciar y clasificar estos cambios se dividen en generaciones de revoluciones industriales, y la manera de controlar los procesos que ocurren en ella no es una excepción, por ello es necesario conocer los distintos tipos de lógicas que se han utilizado para su adecuado control a lo largo del siglo anterior.

4.1.2.1. Lógica Cableada

A principios del siglo XX, la electrificación del conjunto de fábricas e industrias permitió el desarrollo de la primera forma de automatización, la lógica cableada, que se sirve de relés para generar el automatismo que se desea a base de interconexiones de estos con otros elementos en serie o en paralelo, pudiendo ser estos elementos temporizadores, relés de conmutación, contactores

Dos de los grandes inconvenientes que presenta este tipo de automatismo son , por una parte el extenso volumen que ocupa dentro de las industrias , teniendo que dedicar un armario de considerables dimensiones para albergar todos los dispositivos necesarios , además cuando los esquemas se complican y se requiere de una dificultad mayor para cumplir los requerimientos , son más ineficaces debido a las limitadas funciones que pueden realizar (comutación , negación) , teniendo que poner un mayor número de relés , con el importante aumento de volumen que ello conlleva . Por otra parte, si se demanda algún tipo de cambio de funcionalidad en el automatismo se ha de abrir

ESTADO DEL ARTE

el armario y cablear de nuevo, lo que entorpece la capacidad de adaptación ante posibles variaciones (Aragonès et al., s. f.)

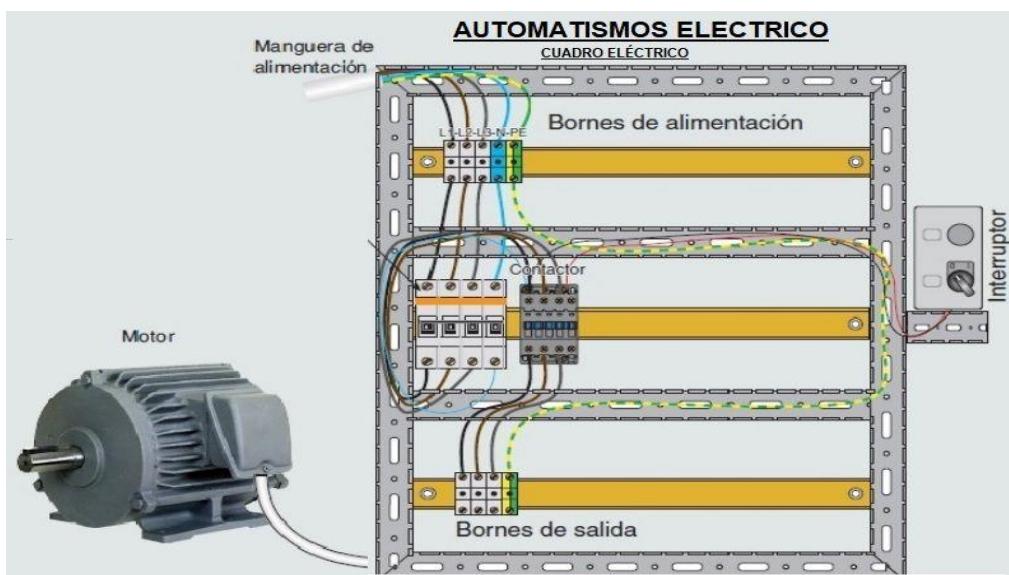


Ilustración 3. Armario basado en lógica cableada (Areatecnología, s.f)

No obstante, no se encuentra en desuso total en la actualidad debido a que en automatismos sencillos esta solución continúa teniendo ventajas ya que la lógica cableada es la única que no requiere forzosamente un cambio de los niveles de tensión entre el automatismo y los elementos a controlar. (Aragonès et al., s. f.)

4.1.2.2. Lógica Programada

Persiguiendo una solución a los inconvenientes anteriores de la lógica cableada y en paralelo el gran desarrollo del sector de los microprocesadores se decidió añadirlos como sistema de control, por su gran capacidad de reducir el volumen de los circuitos electrónicos, haciéndolos mucho más compactos y ligeros. A la vez presenta la ventaja de ser un sistema programable, por lo que realizar modificaciones en las funciones lógicas del automatismo es fácilmente subsanable. No obstante, aún siguen albergando la desventaja de que ante una aumento del número de entradas que leer o de salidas que ofrecer se tendría que confeccionar otra placa de circuito impreso, con el costo de tiempo que lleva tanto su diseño como su fabricación, haciendo al proceso industrial no operativo el periodo de tiempo que esto conlleve.(Aragonès et al., s. f.)

ESTADO DEL ARTE



Ilustración 4. Microcontrolador industrial(Alsina, 2018)

Como respuesta al proceso de mejora de los microcontroladores industriales y siguiendo el mismo principio de lógica programada se introdujo el ordenador de gestión industrial. El computador permite a la industria la implantación de mucho más avanzados algoritmos de control como pueden ser el control adaptativo u óptimo. Su mayor desventaja es la necesidad de personal de mantenimiento muy cualificado, con conocimientos tanto del área informática como del área de automatización, reduciendo a un personal muy específico y escaso el número de posibles candidatos(Aragonès et al., s. f.)

En 1968 General Motors solicitó propuestas para la progresiva sustitución de sus sistemas controlados por relés (lógica cableada) por innovadores sistemas electrónicos programables. De este planteamiento nació los primeros PLC (Programmable Logic Controller), un dispositivo programable capaz de sustituir a la lógica cableada, solventando considerablemente los grandes inconvenientes de los microprocesadores industriales y de los ordenadores de gestión industriales (*Academia.edu*, s. f.)

Por una parte eran dispositivos basados en un microprocesador pero pero cuyas funciones eran fácilmente programables y modificables a la situación lo que eliminaba el tiempo de reemplazamiento de placas de circuitos impresos que albergaba el control por microprocesadores. (Aragonès et al., s. f.)

ESTADO DEL ARTE

Por otra parte, con el objetivo de reducir la formación necesaria para la programación y mantenimiento de los equipos, se ideo un lenguaje de programación basado en los esquemas eléctricos de relés, eliminando la necesidad de formación en informática haciendo que fuera más sencillo encontrar personal con los conocimientos necesarios. (Aragonès et al., s. f.)

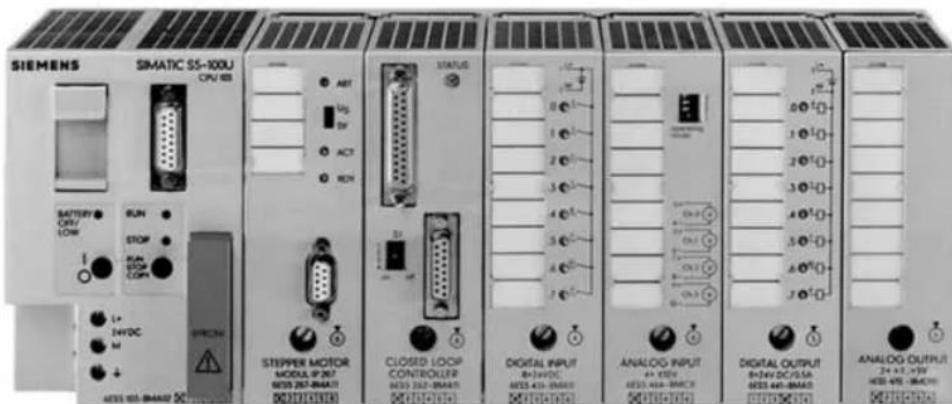


Ilustración 5. Simatic S5(*Electronic Board*, 2020)

Varias empresas empezaron a desarrollar sus propias marcas de PLC, entre otras Siemens, Omron, Allen Bradley o Keyence . A su vez también fueron actualizando los modelos y a diferenciarlos por generaciones, en el caso de Siemens por ejemplo entre el Simatic 5 y Simatic 7.

Las grandes ventajas que presenta frente al resto de sus competidores de lógica programada y respecto a la lógica cableada, unido a el gran desarrollo de estos mediante un gran número de empresas privadas interesadas en comerciar su propia marca propició que a día de hoy sea el dispositivo de control industrial por excelencia.

ESTADO DEL ARTE

4.2. MARCO TEÓRICO

En este proyecto se puede subdividir en dos partes claras a desarrollar en el estado del arte.

- Tipos de hidrógenos que existen y su utilización, tipos de métodos de aislamiento del hidrógeno, explicación paso a paso del proceso de electrolisis y formas de almacenamiento y transporte de hidrógeno verde.
- Software usado, modelo de PLC utilizado junto con su arquitectura, tipos de sensores a utilizar con su principio de funcionamiento.

4.2.1 *Tecnologías verdes*

Las tecnologías verdes son aquellas que mediante el uso de recursos y disciplinas novedosas tienen como objetivo mitigar las consecuencias que provoca el ser humano en el medio ambiente, aportando energía de naturaleza no contaminante y persiguiendo un desarrollo sostenible en la sociedad.

Uno de los campos más importantes dentro de las tecnologías verdes es la producción de hidrógeno. El hidrógeno, en específico el verde, es una fuente de energía limpia y renovable, la cual se puede utilizar como combustible en motores o celdas de combustible. Sin embargo, el hidrógeno es prácticamente imposible encontrarlo en estado puro en la naturaleza, por lo tanto, para obtenerlo es necesario aislarlo de otras sustancias que lo alberguen, como pueden ser el gas natural o la agua.

Además, la combustión de hidrógeno en sí misma no genera gases contaminantes para la atmósfera, en su lugar genera principalmente vapor de agua. No obstante, esto depende del tipo de hidrógeno y el proceso por el cual se obtiene, ya que en algunos tipos si se puede emitir dióxido de carbono a la atmósfera, por lo que es de crucial importancia el conocer los tipos de hidrógeno que existen y sus respectivas diferencias.

ESTADO DEL ARTE

4.2.1.1. TIPOS DE HIDRÓGENO

El hidrógeno es un elemento químico con el número atómico 1 y contiene 1 protón y 1 electrón, por consecuencia es el más ligero y además de ello, el más abundante en el universo. Gracias a sus características, el hidrógeno se ha convertido en un material de interés en una gran variedad de aplicaciones, incluyendo entre otras la generación de energía, el hidrógeno como cualquier otro elemento se puede subdividir dependiendo del estado que se encuentre, pero además goza de otra clasificación para distinguir los tipos de hidrógeno, éste se clasifica en colores en función de su impacto ambiental:

- **Hidrógeno gris:** Este es el hidrógeno más consumido en toda Europa, es el hidrógeno que se produce a partir de energía procedente de combustibles fósiles, como el gas natural o el petróleo. Aunque es más accesible y económico que el hidrógeno verde, el hidrógeno gris emite gases de efecto invernadero (sobre todo dióxido de carbono) durante su producción y su uso, lo que lo provoca que sea mucho menos sostenible desde un punto de vista estrictamente medioambiental. Existen variaciones de este tipo de hidrógeno como el “hidrógeno negro” producido con energías provenientes de la quema de carbón o el “hidrógeno marrón” que se genera a partir de lignito. Sin embargo, se acaban englobando todos dentro de la tipología de “hidrógeno gris” (*Fundación Naturgy , s. f.*)
- **Hidrógeno verde:** Se define como aquel bajo en carbono que se obtiene a partir de fuentes renovables lo que implica que el proceso debe tener un impacto ambiental menor a uno establecido. Así mismo este tipo de hidrógeno debe cumplir debe cumplir estas dos premisas: proceder de fuentes renovables inagotables y tener un bajo impacto ambiental en su proceso de productivo. Este tipo de hidrógeno ofrece la posibilidad de almacenar energía renovable en forma de combustible, solventando uno de los mayores inconvenientes de energías como la solar o la eólica, la inexistencia de baterías de corriente alterna a gran escala dificulta su almacenamiento en horas donde la producción es alta para su posterior producción en una zona de tiempos de menor producción, condenándolas a ser unas energías situacionales. Aunque es cierto que durante el proceso de aislamiento la contaminación resultante es reducida o prácticamente nula, también, hay que evaluar las emisiones indirectas en fases de construcción, operación y desmantelamiento de los distintos equipos, para determinar si se trata de hidrógeno verde u de otro tipo. (*Fundación Naturgy , s. f.*)

ESTADO DEL ARTE

- **Hidrógeno azul:** El hidrógeno azul es un tipo de hidrógeno producido a partir de energía proveniente de combustibles fósiles, como el gas natural o el petróleo entre otros. Sin embargo, como diferencia sustancial al hidrógeno gris presenta que la gran parte de las emisiones de dióxido de carbono se capturan por un tiempo que según normativa legal debería ser de al menos de 100 años, lo que le convierte en un tipo de hidrógeno relativamente bajo en emisiones de carbono. En perspectiva con el hidrógeno verde, el hidrógeno azul no es una fuente de energía renovable y no es considerado una solución ambientalmente sostenible a largo plazo. Por el contrario, aún es ampliamente utilizado en la producción de productos químicos y en muchos casos, puede llegar a ser utilizado como combustible para vehículos y sistemas de energía. (*Fundación Naturgy , s. f.*).

Una vez explicado las diferencias de cada tipo de hidrógeno cabe resaltar que todo proceso, por muy verde que sea, tiene asociadas un determinado número de emisiones emitidas a la atmósfera, bien puede ser en la fase de construcción, transporte, operación o desmantelamiento de las instalaciones donde se obtiene mediante la metodología del Análisis de Ciclo de Vida, más conocido como (ACV). Cuando se intenta averiguar la procedencia del hidrógeno (azul, verde o gris), se emplea la aproximación cradle-to-gate (de la cuna a la puerta), la cual tiene en cuenta todos los impactos del proceso de generación del hidrógeno desde el principio hasta que se entrega al cliente.(Dawood, 2020)

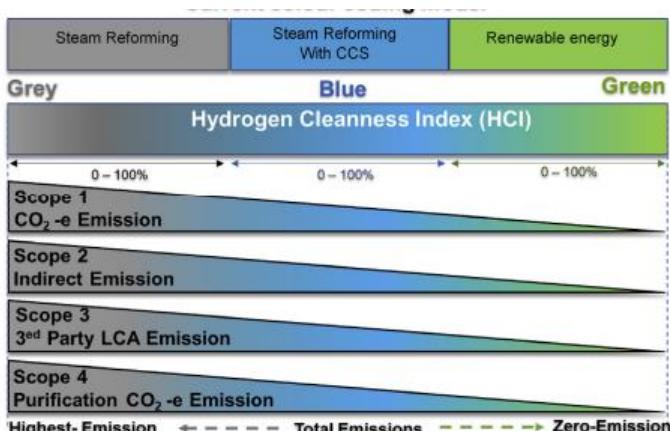


Ilustración 6. Índice de limpieza de hidrógeno (Dawood, 2020)

ESTADO DEL ARTE

4.2.1.2. MÉTODOS DE AISLAMIENTO DE HIDRÓGENO

El aislamiento del hidrógeno es un proceso fundamental dentro de la industria química y energética. Como hemos mencionado anteriormente, este gas dependiendo del método de aislamiento el origen de la energía para llevarlo a cabo, es una fuente en menor o mayor medida limpia, lo que convierte en vital el conocimiento sobre los distintos tipos de procesos de aislamiento y su posterior correcta elección dependiendo de los objetivos que nos sean requeridos.

En este apartado, se examinarán los diferentes métodos que existen para aislar el hidrógeno y se describirán las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

4.2.1.2.1. ELECTRÓLISIS

El proceso de electrólisis en el hidrógeno es un proceso químico por el cual se separa el hidrógeno a partir de un compuesto primario que lo contiene, generalmente el agua, utilizando elevadas cantidades de Amperios. Este proceso es indispensable en la producción a gran escala de hidrógeno puro, siendo el más utilizado mundialmente.(Llera Sastresa et al, 2011)

La electrólisis se fundamenta en la descomposición de una sustancia en disolución en elementos que la componen, se produce una reacción química redox (reducción – oxidación) en el electrolizador debido al paso de altas cantidades de Amperios (corriente eléctrica), provocando la separación de los iones positivos y negativos en una solución conductora, para mejorar las capacidades conductoras del agua pura se utiliza disoluciones acuosas de ácido hidroclórico o hidróxido de potasio, dependiendo de si se trata de electrólisis de agua ácida o electrólisis de agua alcalina, a estas sustancias se les conoce técnicamente como electrolitos.(Llera Sastresa et al , 2011)

Un electrolizador, que es el lugar durante ocurre todo el proceso químico, se compone de diversos grupos de celdas o comúnmente conocidas como "stack", albergando un ánodo (electrodo positivo) y un cátodo (electrodo negativo), los cuales se definen como los terminales eléctricos que permiten la entrada y la salida a través de la solución conductora. Estos electrodos se encuentran sumergidos dentro del electrolito, el cual facilita el movimiento de los iones de un electrodo a otro, pero impide el paso de los electrones ya que es una sustancia dieléctrica. (Sánchez Delgado, 2019)

ESTADO DEL ARTE

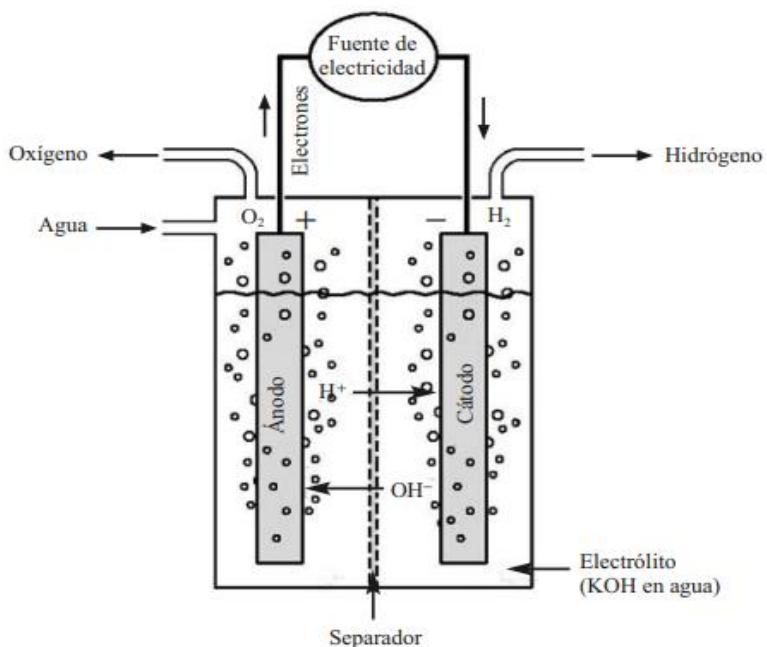


Ilustración 7. Proceso de electrólisis para el Hidrógeno (Llera Sastresa et al, 2011).

Se aplica corriente continua en vez de corriente alterna por diversas razones. La principal de ellas es debido al control de la dirección de la corriente, la corriente continua siempre fluye en una sola dirección mientras que, por el contrario, la corriente alterna permite la dirección periódicamente, lo que dificulta el movimiento de los iones en una solución acuosa. Además de esto último, el uso de corriente alterna puede causar polarización de los electrodos lo que genera una reducción considerable en su eficiencia en la producción de hidrógeno.

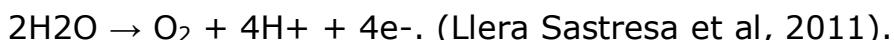
Como podemos ver en la imagen anterior la电解质 provoca la descomposición del agua en hidrógeno y oxígeno. El hidrógeno se produce alrededor del electrodo negativo mientras que el oxígeno se produce alrededor del electrodo positivo, esto es debido a la reacción redox que tiene lugar tanto en el cátodo como el ánodo

Por una parte, en el cátodo los iones de hidrógeno (H^+) reciben electrones de la corriente eléctrica y se combinan para formar moléculas de hidrógeno (H_2):



ESTADO DEL ARTE

Por otra parte, en el ánodo de forma simultánea los iones de hidrógeno (H^+) se oxidan y los iones de oxígeno (O_2^-) reciben electrones y se combinan para formar moléculas de oxígeno (O_2).



Cabe mencionar que, aunque el Nitrógeno es un elemento intrínsecamente no necesario para el proceso de electrolisis, la mayoría de los sistemas de electrólisis a gran escala pueden llegar a incorporarlo dentro del proceso como protección contra la oxidación y la contaminación. El Nitrógeno se utiliza para cubrir la superficie de la solución y evitar la entrada de oxígeno u otros gases contaminantes que puedan afectar la calidad del hidrógeno producido.

A este proceso se le llama “inertizado” cuya finalidad es la de proteger el sistema contra explosiones y fuegos debido a la acumulación de hidrógeno, así como evitar la oxidación del hidrógeno y su degradación.



Ilustración 8. Proceso de inertización (Esindus, s. f.)

El proceso de inertizado consiste en reemplazar el aire con un gas inerte, como el nitrógeno, en el interior del tanque de almacenamiento de hidrógeno para ello hace uso de compresores para el nitrógeno y bombas de transferencia. El compresor aumenta la presión del nitrógeno, generando una diferencia de presiones entre el nitrógeno y el aire que permite la sustitución del aire por nitrógeno.

ESTADO DEL ARTE

Una vez que el tanque de almacenamiento de hidrógeno se encuentre lleno de nitrógeno, se mantiene una presión constante para asegurar que no entre aire u otro gas que genere impurezas en el sistema durante el proceso de producción de hidrógeno. (Sánchez Delgado, 2019)

4.2.1.2.2. TERMÓLISIS

La termólisis es el proceso por el cual se consigue el aislamiento de hidrógeno mediante la aplicación de calor y elevadas temperaturas, consiste en la extracción del hidrógeno de la molécula que lo alberga produciéndose la rotura de los enlaces químicos y por lo tanto la liberación del hidrógeno.(Bañalez, s. f.)

Usualmente se suele usar como materia prima para este proceso hidrocarburos como el metanol, etanol, alcanos y alquenos o en su defecto agua. Adquiriendo esta definición de termólisis, el reformado, la gasificación y la pirólisis se pueden englobar como procesos de termólisis. En términos generales el proceso de termólisis consta de calentar el hidrocarburo seleccionado a altas temperaturas, normalmente entre la horquilla de 500 a 700 grados Celsius, con la indispensable presencia de un catalizador, el cual permite acelerar la reacción y acondiciona a que se produzca en temperaturas y presiones más bajas. (Bañalez, s. f.)

Clase I $T \leq 1.000\text{ K}$		
Proceso	Reacción endotérmica	T(K)
Ciclos termoquímicos de temperaturas "moderadas"	Ciclos de la familia del azufre	Descomposición del ácido sulfúrico $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{g}) \longrightarrow \text{SO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) + 1/2 \text{O}_2(\text{g})$ $T \approx 1.000$
	Ciclos del tipo UT-3	Hidrólisis del bromuro de calcio y del bromuro de hierro $\text{CaBr}_2(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \longrightarrow \text{CaO}(\text{s}) + 2\text{HBr}(\text{g})$ $3\text{FeBr}_3(\text{s}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \longrightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}) + 6\text{HBr}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$ $T \approx 900$
Clase II $1.000\text{ K} \leq T \leq 2.500\text{ K}$		
Proceso	Reacción endotérmica	T(K)
Descarbonización de combustibles fósiles	Reducción óxidos metálicos	Disociación del óxido metálico $\text{M}_x\text{O}_y \longrightarrow x\text{M} + y/2\text{O}_2$ $T \approx 2.500$
	Pirólisis (cracking)	Descomposición térmica de hidrocarburos $\text{C}_x\text{H}_y \longrightarrow x\text{C}(\text{g}) + y/2\text{H}_2$ $T \approx 1.000$
	Reformado	Descarbonización de hidrocarburos ligeros $\text{C}_x\text{H}_y + x\text{H}_2\text{O} \longrightarrow x\text{CO} + (y/2+x)\text{H}_2$ $T \approx 1.000$
Termólisis directa del agua	Gasificación	Descarbonización de hidrocarburos pesados o carbón $\text{C}_x\text{H}_y + x\text{H}_2\text{O} \longrightarrow x\text{CO} + (y/2+x)\text{H}_2$ $T \approx 1.100$
Clase III $T > 2.500\text{ K}$		
Proceso	Reacción endotérmica	T(K)
Termólisis directa del agua	Disociación del agua $\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2 + 1/2 \text{O}_2$	$T \approx 2.500$

Ilustración 9. Tipos de termólisis (Bañalez, s. f.)

ESTADO DEL ARTE

Se trata de uno de los métodos más contaminantes que existen para la producción de hidrógeno y al mismo tiempo uno de los más usados hoy en día. Dependerá en gran medida la cantidad de emisiones que desprenderá del tipo de clase de termólisis como podemos ver en la imagen anterior.

4.2.1.2.3. ALMACENAMIENTO DEL HIDRÓGENO PRODUCIDO

El hidrógeno producido necesita de tecnologías de almacenamiento para mantenerlo sin degradación en el tiempo o para transportarlo al lugar donde se desea consumir, para ello existen varias formas de almacenar el hidrógeno puro. La elección del método propicio para adoptar vendrá dado por distintos factores, entre los cuales destacan el caudal producido en la planta y caudal de consumo en cada punto que vayamos a abastecer, así como distancia entre punto de producción y punto de consumo. Dependiendo de las características anteriores se procederá a elegir una de las siguientes alternativas disponibles. (*Energia Gob, s. f.*)

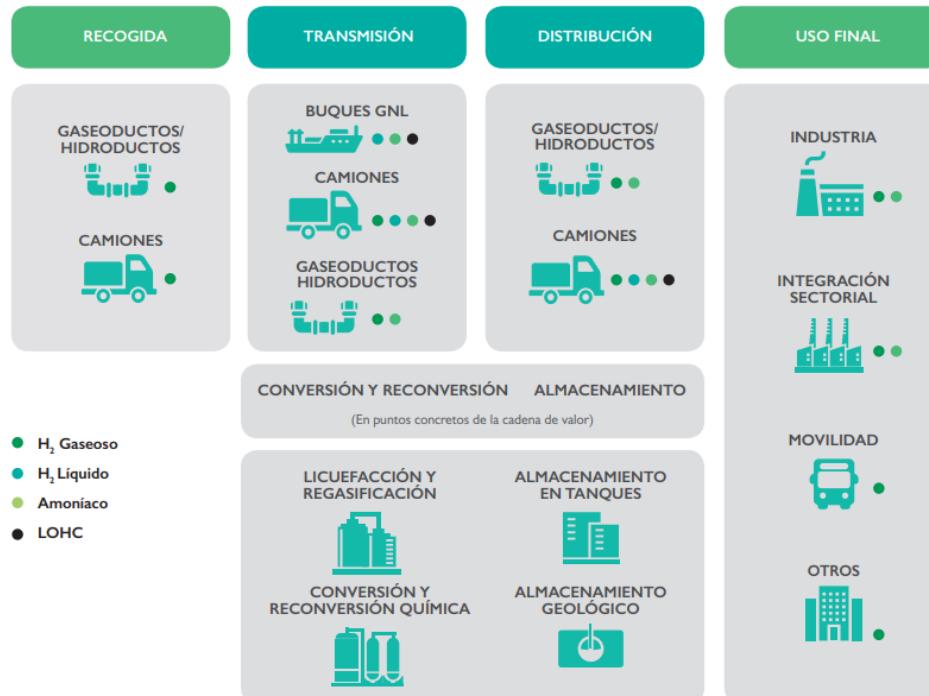


Ilustración 10. Logística del Hidrógeno (*Energia Gob, s. f.*)

ESTADO DEL ARTE

- **Portadores de hidrógeno como amoniaco o líquidos orgánicos (LOHC):** Empleando distintos tipos de sustancias, principalmente el metanol, octanol, amoniaco o líquidos orgánicos como el metilciclohexano, el hidrógeno puede convertirse y transportarse en estado líquido através de una reacción química. Las ventajas de este método es que proporciona una alta densidad de energía, así como seguridad de mayor grado respecto al resto de métodos. No obstante, es el más costoso económicamente hablando. (*Energia Gob*, s. f.)
- **Hidrógeno en estado gaseoso:** Este tipo de almacenamiento y transporte aprovecha las propiedades intrínsecas del hidrógeno, como su baja densidad, para acumularlo a presiones altas en forma de hidrogeno comprimido (alrededor de 700 bar). Para desplazamientos largos presenta una ventaja, puede transporte através de gaseoductos, así como ser inyectado en una red gasista. Este método de almacenamiento es simple y económico, pero requiere un alto consumo de energía para comprimir el gas. (*Energia Gob*, s. f.)
- **Hidrógeno licuado:** Utilizando la misma tecnología que con el gas licuado (GNL), el hidrógeno se puede almacenar en estado líquido a temperaturas extremadamente bajas. Esta tecnología es muy apropiada para almacenar grandes cantidades de hidrógeno durante un periodo de tiempo no muy a largo plazo, ya que requiere de un importante aporte energético y debe de almacenarse en tanques aislados para evitar la evaporación y el riesgo de explosión. (*Energia Gob*, s. f.)
- **Depósito a altas presiones:** Es uno de los métodos de almacenamiento más usados y el propicio para almacenar hidrogeno a pequeña escala y durante un corto periodo de tiempo. Se basa en mantener el hidrogeno gaseoso a presiones de entre 300 y 750 bares, en el transporte y almacenamiento se emplean presiones de entre 200 a 1000 bares. La principal desventaja de estos depósitos es su volumen ya que poseen menor densidad energética que los anteriores métodos nombrados. (*Energia Gob*, s. f.)

ESTADO DEL ARTE

4.2.1.2.4. TRANSPORTE DEL HIDRÓGENO

En concordancia con el apartado anterior, existen distintas opciones de transporte del hidrógeno, la elección de una de estas vendrá condicionada por las características del trayecto en sí.

- **Transporte de carretera:** En este tipo de transporte se suele emplear camiones cisterna de tanto hidrogeno líquido como comprimido. Dependiendo del tipo de hidrogeno que lleven cambia su capacidad, para hidrogeno comprimido pueden transportar alrededor de 360 kg de hidrogeno como máximo. Esta cantidad asciende considerablemente si se trata de hidrogeno líquido, hasta los 4300 kg de hidrogeno. Este tipo de transporte resulta idóneo para transportar pequeñas cantidades de hidrógeno. (*Energia Gob, s. f.*)
- **Transporte por ferrocarril:** De una forma similar al transporte por carretera, se usan cisternas de ferrocarril, por lo que para este tipo de transporte es importante tener en cuenta que el transporte de hidrógeno líquido requiere una infraestructura adecuada. Las capacidades de transporte son mayores que las de por carretera llegando hasta 9000 kg de hidrogeno. (*Energia Gob, s. f.*)
- **Transporte marítimo:** Se usan para el transporte buques de carga los cuales pueden albergar unas 70 toneladas de hidrogeno, haciéndolos los propicios para el transporte a gran escala a puntos de consumo alejados. (*Energia Gob, s. f.*)
- **Transporte mediante red gasista:** El hidrogeno puede ser transportado haciendo uso de las actuales infraestructuras para transportar gas natural, mediante la inyección de hidrogeno, como haciendo uso de las infraestructuras para transporte de líquidos como el amoniaco. Estas opciones requieren poco coste de inversión de infraestructuras y reutilizan las ya construidas. (*Energia Gob, s. f.*)

La posterior imagen nos sirve a modo de resumen gráfico de las capacidades y características de cada tipo de transporte mencionado previamente.

ESTADO DEL ARTE

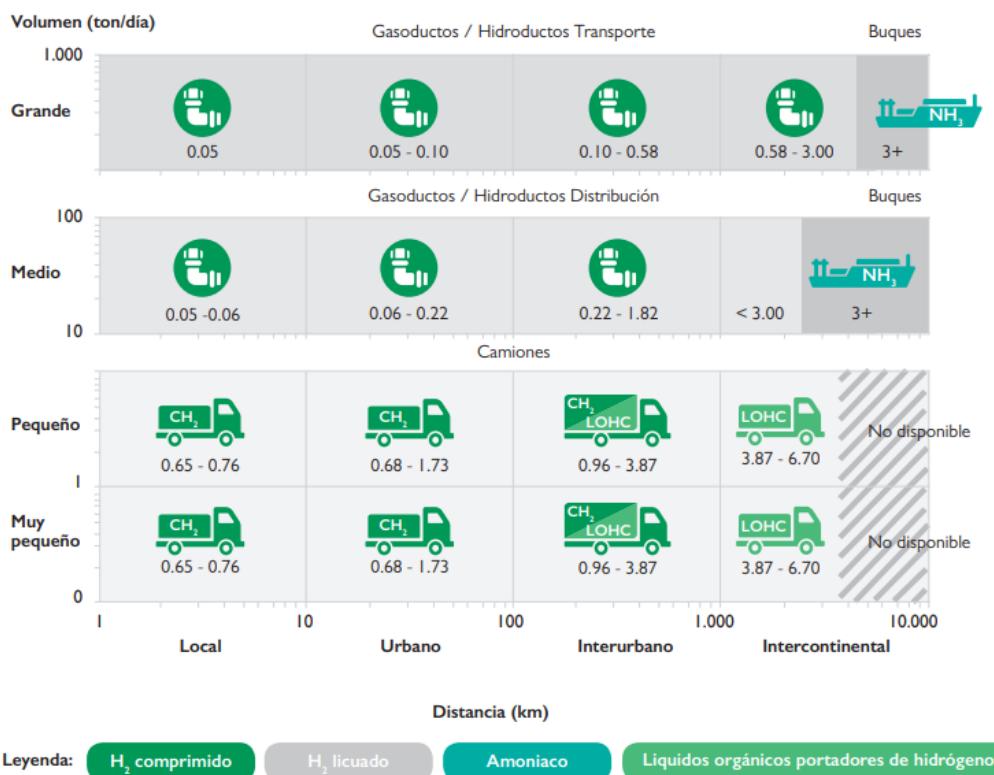


Ilustración 11. Características transporte (Energia Gob , s. f.).

4.2.2. TIA PORTAL

Este software, que es la abreviación de (Totally Integrated Automation Portal) proporciona un entorno de trabajo en el que todas las herramientas de automatización están reunidas en un interfaz de visualización común para el usuario con una sola base de datos única y común. Este software es utilizado por ingenieros y técnicos de automatización en todo el mundo para desarrollar soluciones de automatización en diversos sectores, siendo actualmente el software más novedoso de Siemens. Otra ventaja de TIA PORTAL frente a sus predecesores o competidores es la amplia gama de lenguajes de programación que permite, siendo alguno de estos ejemplos KOP, AWL y SCL entre otros.(Uvigo, s. f.)

ESTADO DEL ARTE



Ilustración 12. Integración en TIA PORTAL (Uvigo f. s. f.)

4.2.3. SIMATIC S7-1500

Se trata del último modelo de controlador programable fabricado por la empresa Siemens y el que mayor rendimiento ofrece de todos ellos.

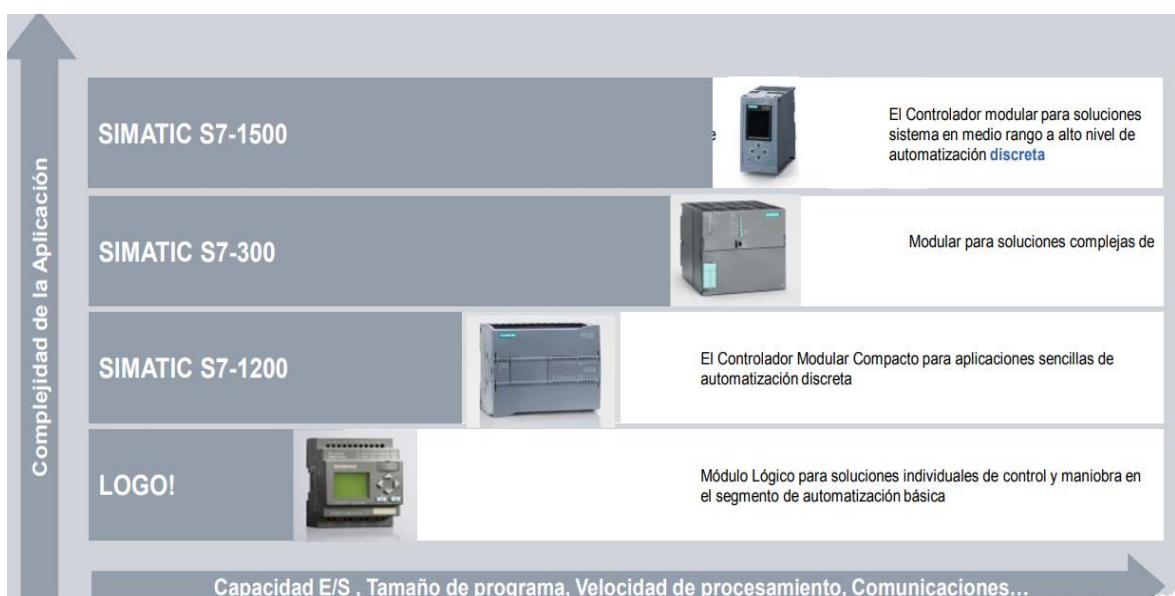


Ilustración 13. Modelos PLC SIEMENS (Uvigo , s. f.)

ESTADO DEL ARTE

Entre sus principales características destacan una dimensión de módulos que puede albergar hasta 32 módulos sin necesidad de expansión de IM. Cuenta con una fuente de alimentación que puede ser de distintos modelos, pero cuya función principal es alimentar a todos los componentes del controlador. Esta fuente es la encargada de transformar la potencia que recibe de la red en un voltaje y una corriente estable que pueda suministrar a los circuitos del controlador y a sus respectivos módulos de expansión. (Uvigo, s. f.)

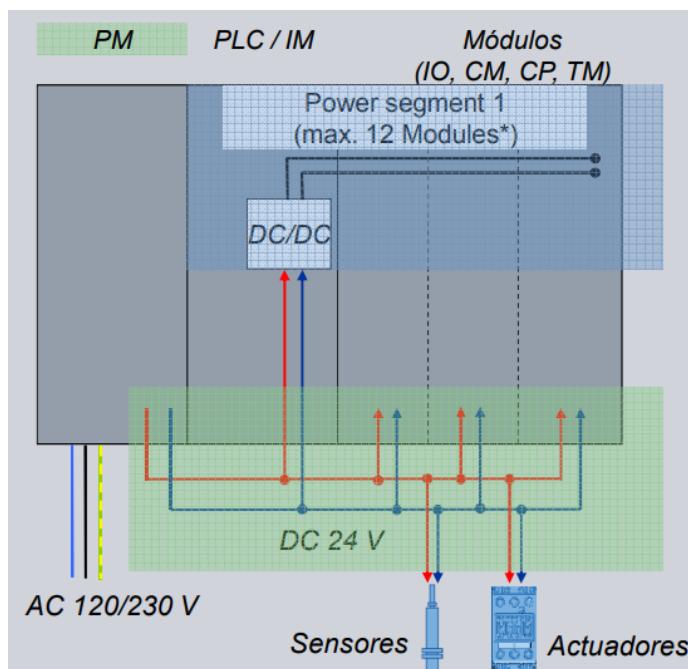


Ilustración 14. Funcionamiento SIMATIC S7-1500 (Uvigo, s. f.)

En cuanto a términos de arquitectura del autómata programable, la fuente de alimentación del autómata se constituye de un transformador de entrada, un rectificador, un filtro de entrada, un regulador de voltaje y un circuito de protección. El transformador es el encargado de reducir la tensión de entrada a un nivel dentro de los niveles adecuados para el circuito del controlador. El rectificador, a su vez, convierte la corriente alterna en corriente continua y el filtro de entrada suaviza la corriente de entrada para ayudar a mitigar el ruido eléctrico. (Uvigo, s. f.)

DESARROLLO

5. DESARROLLO

5.1. ESPECIFICACIONES DE PRODUCCIÓN

El objetivo de esta planta es poder suministrar hidrógeno verde a una flota de camiones de 20 unidades de una sola entidad a corta distancia. Para ello es necesario calcular el caudal de kilos de hidrógeno por hora necesario para cumplir con las obligaciones que hemos mencionado, así como la ubicación de la planta y sus estados de operación.

5.1.1. CALCULO CAUDAL NECESARIO

Se necesita abastecer de combustible a 20 camiones de hidrógeno verde durante todo el año por lo que asumiremos las siguientes condiciones:

- Un camión de hidrógeno suele tener capacidad de tanque de almacenamiento de entre 5 a 10 kilos de hidrógeno dependiendo del modelo, para sobredimensionar la producción se asume **10 kilos** como capacidad máxima, lo que aporta unos 600 km de autonomía.
- La media de kilómetros que hace un camión al año son en torno a 100.000 km, por lo que si cada vez que reposta tiene autonomía para 600 km, el equivalente a 10 kilogramos de hidrógeno.

$$\frac{100.000}{600} * 10 = 1666,67 \text{ kg de hidrogeno por camion al año}$$

Para sobredimensionar el sistema se asume **1800 kg** de hidrogeno necesario por camión al año

Si se multiplica este número por veinte nos dará el número total de kilos de hidrógeno necesarios para abastecer a toda la flota en total.

$$1800 * 20 = \mathbf{36000 \text{ kilos de hidrógeno}}$$

- Se asume que la planta industrial no opera los domingos ni los festivos nacionales, por lo que se toma unos **300 días** al año, con doble turno de 8 horas, es decir se encontrara operativa **16 horas** al día.

DESARROLLO

- Si se divide el total de los kilos entre el número totales de horas del año que está operativa la planta nos resultara el caudal necesario de hidrógeno por hora

$$\frac{36000}{300 * 16} = 7,5 \text{ kg/hora}$$

Con la misma filosofía que se ha aplicado con anterioridad, se procede a sobredimensionar el valor de caudal de hidrógeno por hora con la finalidad de tener un coeficiente de seguridad de producción con el que se asegure cumplir los requerimientos del cliente, por lo que se aproxima a **8 kg/hora** el caudal de hidrógeno verde necesario.

Por lo que se puede concluir una vez hallado el caudal, que la planta de generación de hidrógeno verde tendrá unas dimensiones reducidas.

5.1.2. ESTADOS DE OPERACIÓN UML

Para ejecutar correctamente el proceso por el cual se aísla hidrógeno y programar su posterior automatización es necesario conocer las distintas fases que hay que poner en marcha, algunos de ellos siendo procesos automatizados, es decir se pasa al siguiente estado cuando se cumple una determinada condición sin intervención humana. Por otro lado, otros estados cambian a partir de una condición manual, se necesita que la intervención humana presione algún botón en el SCADA.

Este proceso productivo al estar trabajando con gases que en determinadas proporciones pueden ser tóxicos o incluso que conllevan peligro de explosión, se puede considerar como altamente peligroso por lo que se instalaran a lo largo de las fases de producción elementos de seguridad que deriven al estado de parada de emergencia en el momento que se cumplan unas ciertas condiciones.

DESARROLLO

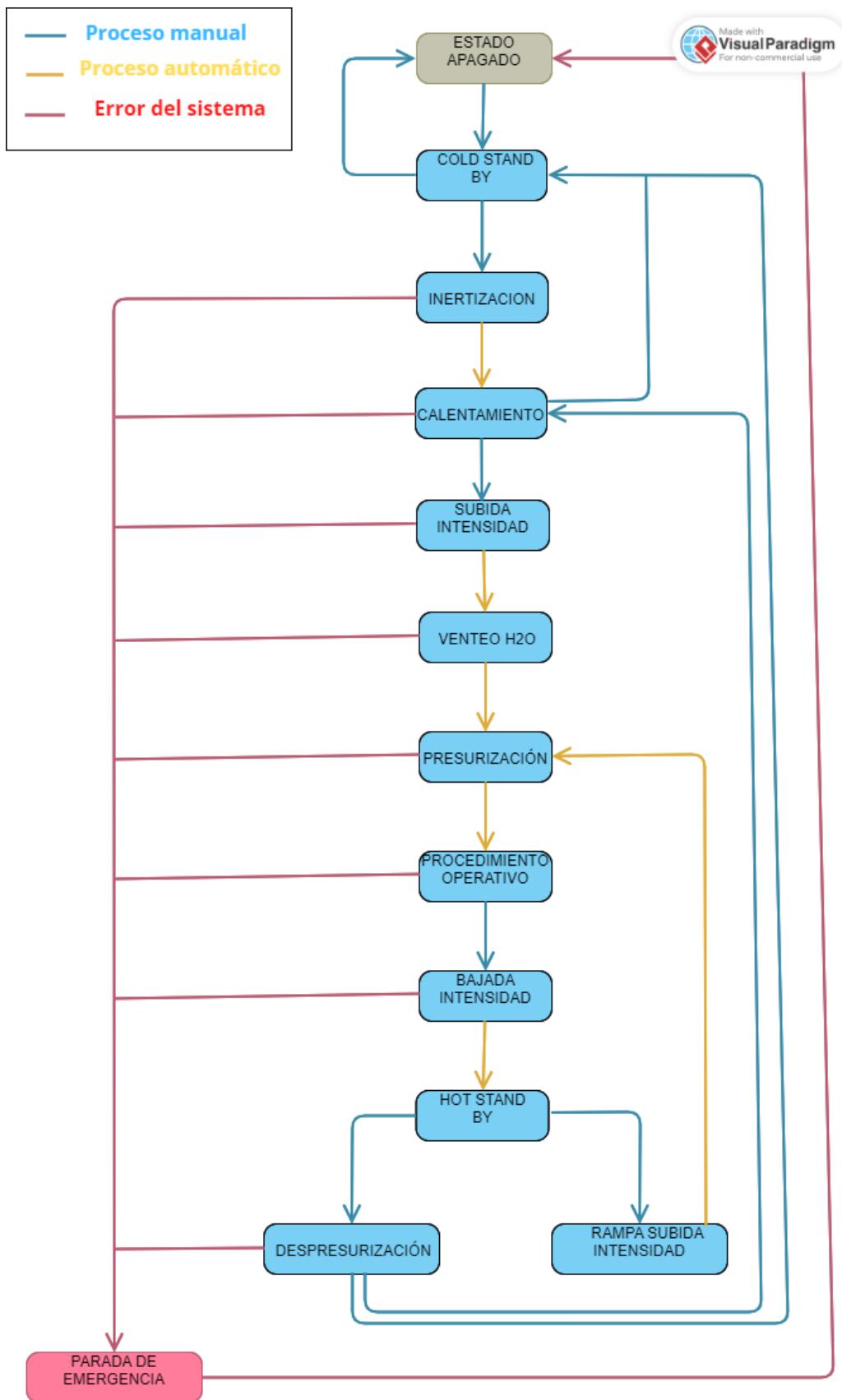


Ilustración 15. Diagrama UML Fases del proceso

Autor: Eduardo Pérez González

424 22 21

- 27 -

DESARROLLO

Las condiciones de paso entre cada uno de los estados se definirán posteriormente cuando se analice detalladamente cada uno de los estados.

5.1.3. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

Por el tipo de actividad que queremos realizar se necesita suelo consolidado de uso industrial para la creación e instalación de la planta, por lo que, barajando opciones dentro del municipio de Zaragoza, se estima que el mejor sitio para su establecimiento es el polígono industrial de Plaza, donde existen buenas comunicaciones con la misma Zaragoza, así como para salir de ella. Sin embargo, nuestro comprador se encuentra en la ciudad de Zaragoza por lo que el trayecto se catalogaría como trayecto de corta distancia de menos de 15 kilómetros. Mas concretamente se establecerá en la calle CASTILLO DE CAPUA en el número 9 dentro de la parcela ALI-6.5.3 como se puede ver en la siguiente ilustración del catastro digital.

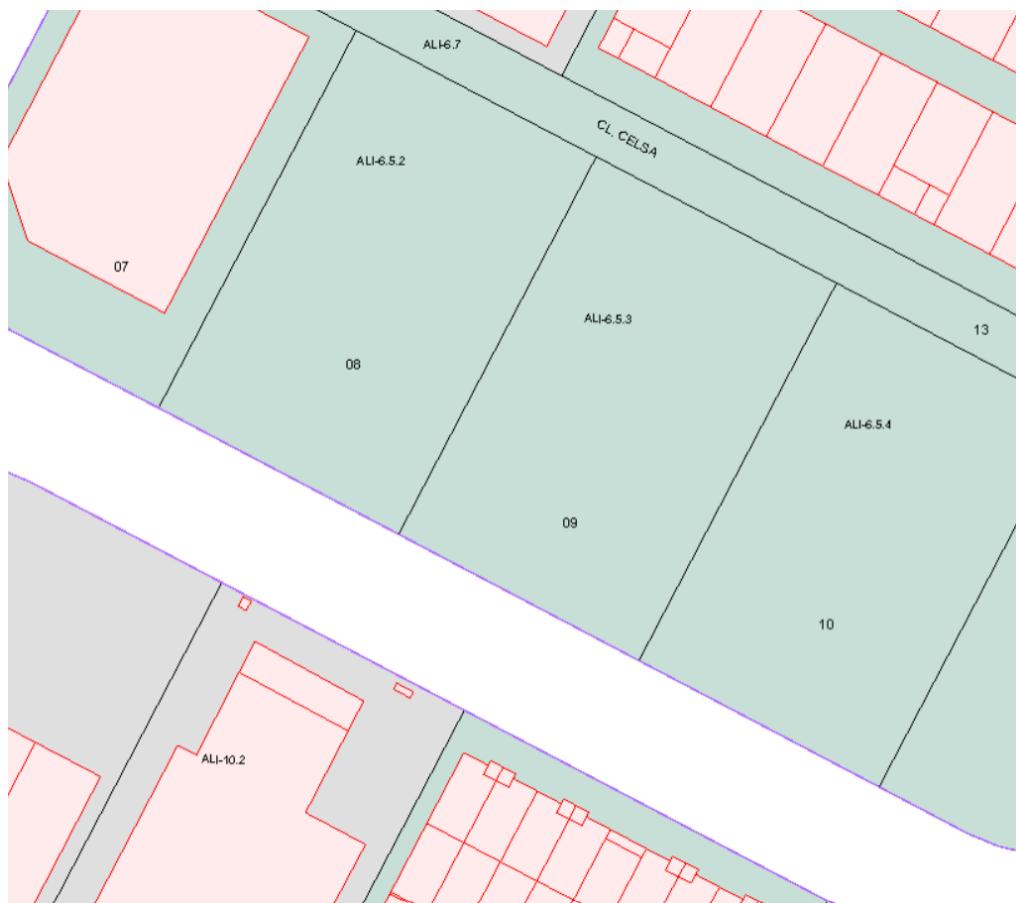


Ilustración 16. Localización parcela de la planta

DESARROLLO

La parcela goza de 15.000 m², espacio que viendo el PGOU de Zaragoza y el tamaño de la planta que queremos instalar, es sin duda más que suficientes para albergar la planta.

5.1.4. PRESUPUESTO

A la hora de presupuestar el costo de este proyecto, se tendrá en cuenta el presupuesto y caudal de hidrogeno generado de los distintos proyectos que hemos mencionado previamente para generar una horquilla de precio estimada de cuanto valdría ejecutar nuestro proyecto.

- A partir de los costos y caudal que conocemos de la planta de Mallorca, haciendo una regla de 3 podemos estimar el precio final del proyecto.

-Caudal en kg por hora que produce Mallorca: 34.25 kg

-Caudal en kg por hora que produce nuestra planta: 8 kg

-Presupuesto para la planta de hidrogeno verde de Mallorca: 10 millones de euros

Nuestra planta por tanto costara $(34.25*8) /10=2.33$ millones de euros

- De manera análoga si se hace estas estimaciones con otros proyectos, como por ejemplo el proyecto austriaco de Demo4Grid, teniendo 7.7 millones de euros de presupuesto, pero con fuertes ayudas de la comisión europea, genera un caudal en kg a la hora de 60 kg de hidrogeno, extrapolado a las características de nuestra planta seria un poco más de 1 millón de euros.

Si tenemos en cuenta de ambas estimaciones de gastos queda que el costo total estimado se encuentra entre el millón de euros y los 2.5 millones de euros, dependiendo del lugar de localización y las características de cada proyecto en específico.

5.2. LISTADO DE SEÑALES Y ACTUADORES

TAG Dispositivo			Descripción	Función
Función	Sistema	Índice		
AT	000	01	Detector de fugas	Detección de fugas de H2
AT	000	02	Detector de fugas	Detección de fugas de O2
AT	300	01	Analizador de gas	Medición de pureza en H2
AT	300	02	Analizador de gas	Medición de pureza en O2
AC	100	03	Switch de conductividad	Alarma asociada a CT10003
AC	100	04	Switch de conductividad	Alarma asociada a CT10004
CT	100	03	Sensor de conductividad	Conductividad H2
CT	100	04	Sensor de conductividad	Conductividad O2
DT	100	01	Sensor de nivel diferencial	Medir nivel redundante de H2 en el separador

AUTOMATIZACIÓN DE PLANTA DE GENERACIÓN DE HIDRÓGENO VERDE

DESARROLLO

DT	100	02	Sensor de nivel diferencial	Medir nivel redundante de O2 en el separador
EH	100	01	Calentador eléctrico	Calentar la corriente del electrolito
FS	500	01	Switch caudal	Salta a un determinado caudal
FT	100	01	Transmisor de caudal	Medición del caudal de entrada en el stack
FT	100	02	Transmisor de caudal	Medición de caudal de agua de reposición
FT	100	03	Transmisor de caudal	Medición de caudal de agua de refrigeracion
LT	100	01	Sensor de nivel	Medición de nivel flotador H2 del separador
LT	100	02	Sensor de nivel	Medición de nivel flotador O2 del separador
LT	100	03	Sensor de nivel	Medición de nivel flotador H2 HW
LT	100	04	Sensor de nivel	Medición de nivel flotador O2 OW
LS	100	09	Sensor de nivel	Medición de nivel tanque agua demi
LS	100	08	Sensor de nivel	Cadena de 4 interruptores de nivel de agua

AUTOMATIZACIÓN DE PLANTA DE GENERACIÓN DE HIDRÓGENO VERDE

DESARROLLO

LS	100	00	Switch de nivel	Medición de nivel del tanque V601
LS	100	01A	Switch de nivel	Alarma de nivel alto separador de H2
LS	100	01B	Switch de nivel	Alarma de nivel bajo separador de H2
LS	100	02A	Switch de nivel	Alarma de nivel alto separador de O2
LS	100	02B	Switch de nivel	Alarma de nivel bajo separador de O2
LS	100	03A	Switch de nivel	Alarma de nivel alto separador de H2
LS	100	03B	Switch de nivel	Alarma de nivel bajo separador de H2
LS	100	04A	Switch de nivel	Alarma de nivel alto separador de O2
LS	100	04B	Switch de nivel	Alarma de nivel bajo separador de O2
TH	100	006L	Switch de temperatura	Alarma Temp Baja asociada a T10600
TH	100	007L	Switch de temperatura	Alarma Temp Baja asociada a T10700
TI	100	02	Switch de temperatura	Alarma Temp Alta a T10002

AUTOMATIZACIÓN DE PLANTA DE GENERACIÓN DE HIDRÓGENO VERDE

DESARROLLO

TI	100	03	Switch de temperatura	Alarma Temp Alta a T10003
P	100	1	Bomba centrífuga	Recirculación de electrolito
P	100	2	Bomba desplazamiento positivo	Reposición de agua
P	100	3	Bomba centrífuga	Bomba potasa
PS	100	01	Pressure switch	Presión separador H2
PS	100	02	Pressure switch	Presión separador O2
PS	400	05	Pressure switch	Alarma alta presión entrada al chiller
PS	400	06	Pressure switch	Alarma alta presión salida del chiller
PS	500	100H	Pressure switch	Alarma alta presión de N2
PS	500	100L	Pressure switch	Alarma baja presión de N2
PT	100	01	Transmisor de presión	Medida de presión separador de H2
PT	100	02	Transmisor de presión	Medida de presión separador de O2

AUTOMATIZACIÓN DE PLANTA DE GENERACIÓN DE HIDRÓGENO VERDE

DESARROLLO

VO	100	01	Válvula solenoide abre/cierra	Dar paso al N2 de inertizado al separador de H2
VO	100	02	Válvula solenoide abre/cierra	Dar paso al N2 de inertizado al separador de O2
VO	100	03	Válvula solenoide proporcional	Salida de gas oxígeno venteo
VO	100	04	Válvula solenoide proporcional	Salida de gas hidrógeno venteo
VO	100	05	Válvula solenoide abre/cierra	Salida de condensados de OW
VO	100	06	Válvula solenoide abre/cierra	Salida de condensados de OW
VO	100	07	Válvula solenoide abre/cierra	Entrada de agua a OW
VO	100	08	Válvula solenoide abre/cierra	Salida de condensados de HW
VO	100	09	Válvula solenoide abre/cierra	Entrada de agua a HW
VO	100	10	Válvula solenoide abre/cierra	Entrada de agua desmineralizada
VO	100	11	Válvula solenoide abre/cierra	Seguridad cierre O2
VO	100	12	Válvula solenoide abre/cierra	Seguridad cierre H2

AUTOMATIZACIÓN DE PLANTA DE GENERACIÓN DE HIDRÓGENO VERDE

DESARROLLO

VO	300	01	Válvula solenoide abre/cierra	Entrada de hidrógeno al analizador
VO	300	02	Válvula solenoide abre/cierra	Entrada de oxígeno al analizador
VO	300	03	Válvula solenoide abre/cierra	Entrada de N2 al analizador de línea de H2
VO	300	04	Válvula solenoide abre/cierra	Entrada e N2 al analizador de línea de O2
TT	100	01	Sensor de temperatura	Medición de T ^a a la entrada del stack
TT	100	02	Sensor de temperatura	Medición de T ^a a la salida el stack en el lado de H2
TT	100	03	Sensor de temperatura	Medición de T ^a a la salida el stack en el lado de O2
TT	100	04	Sensor de temperatura	Temperatura conductímetro O2
TT	100	05	Sensor de temperatura	Medición de T ^a a la salida en intercambiador líquido/líquido
TT	100	06	Sensor de temperatura	Temperatura intercambiador O2
TT	100	07	Sensor de temperatura	Temperatura intercambiador H2
TT	100	08	Sensor de temperatura	Temperatura del heater, seguridad interna

AUTOMATIZACIÓN DE PLANTA DE GENERACIÓN DE HIDRÓGENO VERDE

DESARROLLO

TT	400	03	Sensor de temperatura	Medición de T ^a a la entrada del chiller
TT	400	04	Sensor de temperatura	Medición de T ^a a la salida del chiller
TT	400	05	Sensor de temperatura	Temperatura entrada cooler
TT	400	06	Sensor de temperatura	Salida aerotermo
TT	400	07	Sensor de temperatura	Medicion de T ^a redundante
V	100	01	Tension stack	Tension stack
PS	400	04	Pressure switch	Alarma alta presión entrada al chiller

5.3. REQUISITOS DE CADA ESTADO

En este apartado definiremos la función de cada estado del automatismo en el proceso, así como sus condiciones de entrada y sus condiciones de salida y las variables que se necesitaran para su control.

5.3.1. ESTADO APAGADO

Estado para en el cual todos los sistemas se encuentran fuera de servicio o apagados, por lo que no existe ningún consumo de energía y no se realiza ningún control sobre ningún dispositivo.

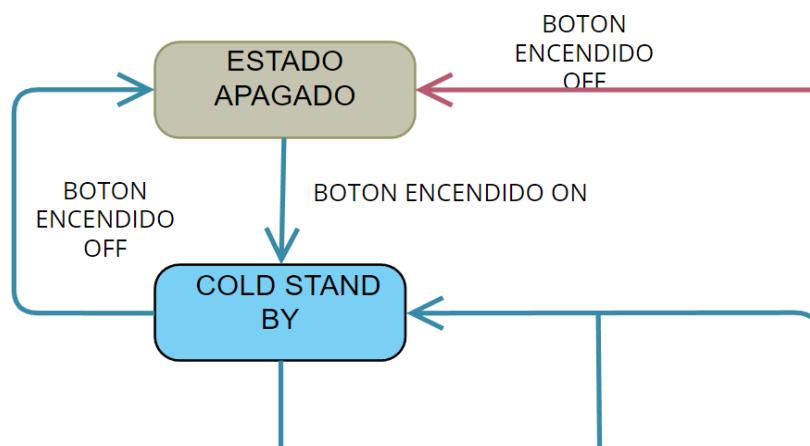


Ilustración 17. Estado apagado

5.3.1.1. VARIABLES DE CONTROL

Para este estado no se necesita controlar ninguna variable ni activar ningún actuador. Todas las electroválvulas se encontrarán en su posición natural, así como los actuadores y las alarmas apagadas.

DESARROLLO

5.3.1.2. CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA

- **De entrada:**

- Desde estado "COLD STAND BY", si se pulsa botón "**BOTON ENCENDIDO OFF**".
- Desde estado "PARADA DE EMERGENCIA", si se pulsa botón "**BOTON ENCENDIDO OFF**".

- **De salida:**

- Hacia estado "COLD STAND BY", si se pulsa botón "**BOTON ENCENDIDO ON**".

5.3.2. ESTADO COLD STAND BY

Estado inoperante, apagado y listo para un arranque rápido. En este estado no se suministra potencia al stack, únicamente se enciende el sistema secundario de potencia que suministra a los actuadores de la planta. Sin embargo, si que contara con un control de temperatura del sistema, del caudal de Nitrógeno, así como el caudal de KOH debido a que su siguiente estado natural es inertización.

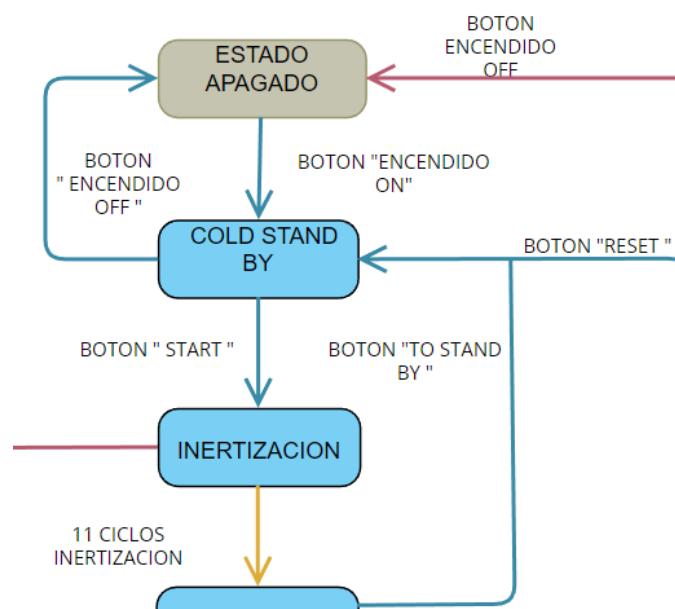


Ilustración 18. Estado Cold Stand By

DESARROLLO

Este estado se alcanza al pulsar un interruptor manual “MAIN SWITCH ON” en planta cuando se está completamente apagado, desde el estado de CALENTAMIENTO si se pulsa el botón “Cold Stand-By”.

5.3.2.1. VARIABLES DE CONTROL

En este estado, puesto que se puede llegar a él desde CALENTAMIENTO, se realiza un control de la temperatura. Además, se controla que la línea de nitrógeno se encuentre en condiciones óptimas, para poder realizar el inertizado en el siguiente estado.

Además, aquí se empieza a bombear la potasa, por lo que la bomba P-101 se enciende.

Control de N₂:

Se controlará que no haya fugas de nitrógeno través del interruptor FS-501 y que la presión en la línea sea suficiente para realizar el inertizado, a través de sensor PS-501. En caso de detectarse fugas de nitrógeno, se activará un warning y se mostrará una alarma por pantalla.

Control caudal de KOH:

Puesto que el bombeo de potasa estará activo gracias al funcionamiento de P-101, el caudal de la disolución se controlará con el transmisor FT-101, el cual debe arrojar una medida entre 90-110% del Setpoint. Si esta se sale del rango establecido se aumentaría la frecuencia de bombeo de la bomba P-102, encargada de inyectar agua al sistema.

Control de temperatura:

En este estado, al contemplarse la opción de llegar a él desde CALENTAMIENTO, será necesario monitorizar la temperatura y tener el circuito de refrigeración disponible en caso de ser necesario. Para evitar sobrecalentamientos se realizarán las siguientes mediciones:

- Si el transmisor de temperatura TT-10500 registra un aumento de la temperatura a la entrada del stack a partir de 90°C, se activa el circuito de refrigeración del E-101 actuando sobre el variador de frecuencia de P-103 y el COOLER-402.
- Si los transmisores TT-10100 TT-10200 y TT-10300 registran una temperatura superior a 87 °C actúa sobre el variador de frecuencia de P-103.

DESARROLLO

5.3.2.2. CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA

DE ENTRADA:

Desde estado de **APAGADO**:

- Si se pulsa Interruptor manual “**MAIN SWITCH ON**”

Desde estado de **CALENTAMIENTO**:

- Si se pulsa botón de “**COLD STAND-BY**”

Desde estado de **DESPRESURIZACIÓN**:

- Si se llega al valor de presión requerido establecido.

DE SALIDA:

Hacia estado de **INERTIZACIÓN**:

- Si se pulsa botón de “**START**”

5.3.2.3. ALARMAS Y CONDICIONES DE CORRECTO FUNCIONAMIENTO

Dependiendo del tipo de alarma se procederá a parar el sistema y llevarlo al modo de parada de emergencia o por el contrario será tenido en cuenta por el PLC pero solo activara un warning en pantalla o se podrá consultar su estado en la tabla de visualización del PLC.

- **Presión alta de nitrógeno:** (Presión del sensor PS-501 > 15)

Activa un warning en el SCADA y lleva el estado a parada de emergencia sino se corrige en un determinado tiempo

- **Presión baja de nitrógeno:** (Presión del sensor PS-501 < 8)

Activa un warning en el SCADA y lleva el estado a parada de emergencia sino se corrige en un determinado tiempo

- **Temperatura circuito refrigerante baja:** (TT-40600 o TT-40500<2°C).

- **Temperatura baja de gases:** (TT-10600 o TT-10700<2°C).

- **FS-501≠0:** (Que el interruptor de fuga de nitrógeno no informe de una fuga en la misma).

Condición expresamente necesaria para pasar de estado.

DESARROLLO

5.3.3. ESTADO DE INTERTIZACIÓN

Estado en el que se realiza una limpieza del sistema pasando nitrógeno. Se realiza un control de temperatura de forma simultánea, para garantizar la seguridad del proceso.

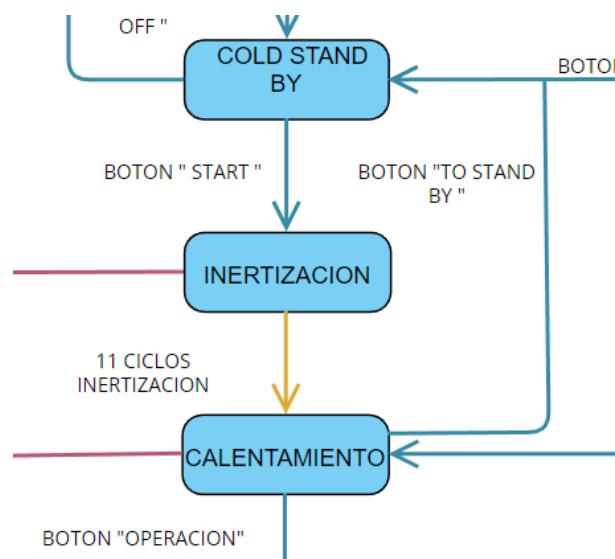


Ilustración 19. Estado Inertización

5.3.3.1. VARIABLES DE CONTROL

El proceso de inertizado consta de 11 ciclos de presurización y despresurización, siguiendo la siguiente estructura en cada ciclo:

Presurización: En esta subfase se pretende establecer una presión de 4.5 bar, medida a través de los sensores PT-101 y los PT-102 (ubicados en los tanques V-101 y V-102). Con este objetivo, se realiza un control de la presión mediante las electroválvulas VO-10100 y VO-10200 (las cuales son todo/nada y controlan la línea de nitrógeno a la entrada de los depósitos, abriendolas y cerrándolas de manera que no se descontrolle la diferencia de presión entre los depósitos).

Despresurización: En esta subfase se pretende llegar a una presión de 1.6 bar.

Para ello se realiza un control de presión de la línea de hidrógeno a través de la válvula proporcional VO-10400, mediante los sensores PT-101 y los PT-102.

DESARROLLO

Además, se realiza un control de niveles de las líneas de hidrógeno y oxígeno a través de las válvulas proporcionales VO-10003 y VO-10004, midiéndolo a través de los transmisores LT-10001, LT-10002, DLT-10001 y DLT 10002

Las válvulas VO-30300 y VO-30400 se mantendrán abiertas y las válvulas VO-10100 y VO-10200 se cerrarán, para evitar que siga entrando nitrógeno en el circuito.

La electroválvula VO-30100 se mantendrá cerrada en todo momento y las electroválvulas VO-10011 y SOV-10012 se mantendrán abiertas en todo momento.

En el último ciclo de inertizado, es decir en el ciclo 11, se deberá rebajar la presión a 0.6 bar, para posibilitar pasar al siguiente estado. Para ello se abrirán las válvulas VO-10003, VO-10004, VO-10011 y VO-10012 hasta que los trasmisores de presión PT-101 y PT-102 registren una presión inferior a 0.6 bar.

5.3.3.2. CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA

DE ENTRADA:

Desde estado de **COLD STAND BY**:

- Si se pulsa botón de “**START**”

DE SALIDA:

Hacia estado de **CALENTAMIENTO**:

- Si se cumplen **11 ciclos de inertizado**.

5.3.3.3. ALARMAS Y CONDICIONES DE CORRECTO FUNCIONAMIENTO

Dependiendo del tipo de alarma se procederá a parar el sistema y llevarlo al modo de parada de emergencia o por el contrario será tenido en cuenta por el PLC pero solo activara un warning en pantalla o se podrá consultar su estado en la tabla de visualización del PLC.

DESARROLLO

- **FT-101 ≠ 90-110% SP:** (Que el transmisor de caudal FT-101 proporcione una medida del caudal de potasa de entrada al stack comprendida entre el 90% y el 110% del Setpoint)

- **FS-501≠0** (Que el interruptor de fuga de nitrógeno no informe de una fuga en la misma).

- **V10001>1 Amp** (Que el valor de la intensidad del stack no supere el Amperio. Lo normal sería que fuera cercano a 0 realmente)

- **Presión alta de nitrógeno:** (Presión del sensor PS-501 > 15)

Activa un warning en el SCADA y lleva el estado a parada de emergencia sino se corrige en un determinado tiempo

- **Presión baja de nitrógeno:** (Presión del sensor PS-501 < 8)

Activa un warning en el SCADA y lleva el estado a parada de emergencia sino se corrige en un determinado tiempo

- **Temperatura circuito refrigerante baja:** (TT-40600 o TT-40500<2°C).

- **Temperatura baja de gases:** (TT-10600 o TT-10700<2°C).

- **Intensidad alta:** (V10001 > 15A)

Activa un temporizador que en caso de no subsanación de esta sobrecorriente manda el sistema al estado de parada de emergencia.

-Temperatura alta en stack: TT-10200 o TT-10300 dan señal de una temperatura superior a 100 °C.).

DESARROLLO

5.3.4. ESTADO DE CALENTAMIENTO

Estado al que se accede de manera automática tras completarse los ciclos marcados en INERTIZACIÓN ENTRADA o de manera manual, al pulsar el botón “CALENTAMIENTO” desde el estado de DESPRESURIZACIÓN.

La principal función de este estado es llevar al equipo a la temperatura de consigna para poder comenzar con la generación de hidrógeno.

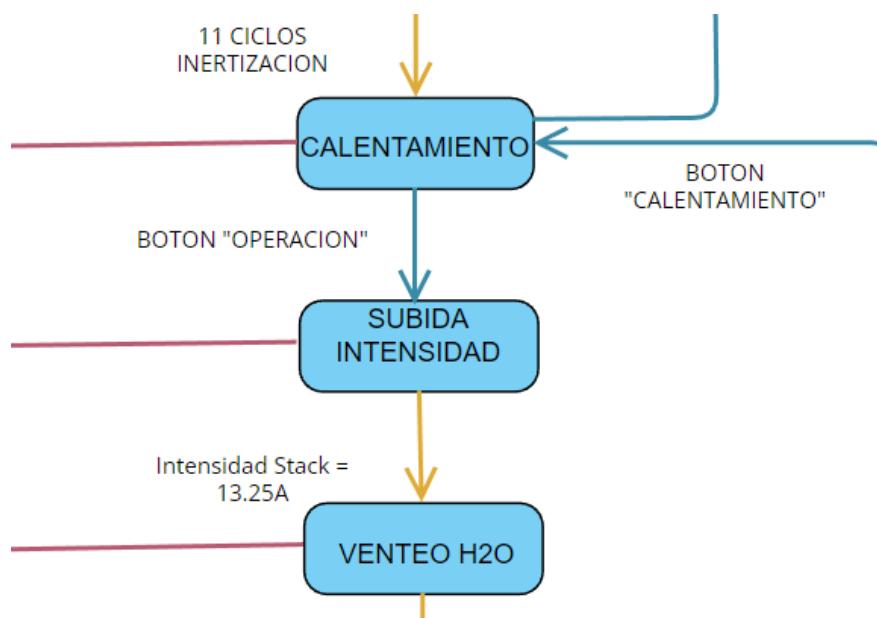


Ilustración 20.Estoado Calentamiento

5.3.4.1. VARIABLES DE CONTROL

En este estado se mantiene constante el bombeo de potasa, por ello la P-101 estará en operación. Nos aseguraremos de que el caudal se mantiene entre 90-110% del S.P. a través del transmisor FT-101, el cual registra el caudal de potasa que alimenta al stack.

Análogamente con el estado Cold Stand By se realizará un control y seguimiento de la temperatura a través de los sensores de temperatura TT-10003, TT-10002, TT-10005.

También se monitorizará el interruptor de caudal FS-501 (que comprueba si se producen fugas de nitrógeno), de manera que si este sensor se activa, se activará también un warning.

DESARROLLO

5.3.4.2. CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA

DE ENTRADA:

Desde estado de **INERTIZACIÓN**:

- Si se completan 11 ciclos de inertizado

Desde estado de **DESPRESURIZACIÓN**:

- Si se presiona el botón “**Calentamiento**”

DE SALIDA:

Hacia estado de **RAMPA SUBIDA INTENSIDAD**:

- Si se presiona el botón “**Operación**”

Hacia estado de **COLD STAND BY**:

- Si se presiona el botón “**COLD STAND BY**”

5.3.4.3. ALARMAS Y CONDICIONES DE CORRECTO FUNCIONAMIENTO

Dependiendo del tipo de alarma se procederá a parar el sistema y llevarlo al modo de parada de emergencia o por el contrario será tenido en cuenta por el PLC pero solo activara un warning en pantalla o se podrá consultar su estado en la tabla de visualización del PLC.

- **FT-101 ≠ 90-110% SP:** (Que el transmisor de caudal FT-101 proporcione una medida del caudal de potasa de entrada al stack comprendida entre el 90% y el 110% del Setpoint)

- **FS-501≠0** (Que el interruptor de fuga de nitrógeno no informe de una fuga en la misma).

- **V10001>1 Amp** (Que el valor de la intensidad del stack no supere el Amperio. Lo normal sería que fuera cercano a 0 realmente)

- **Presión alta de nitrógeno:** (Presión del sensor PS-501 > 15)

Activa un warning en el SCADA y lleva el estado a parada de emergencia sino se corrige en un determinado tiempo

- **Presión baja de nitrógeno:** (Presión del sensor PS-501 < 8)

Activa un warning en el SCADA y lleva el estado a parada de emergencia sino se corrige en un determinado tiempo

DESARROLLO

- **Temperatura circuito refrigerante baja:** ($TT-40600$ o $TT-40500 < 2^\circ C$).
- **Temperatura baja de gases:** ($TT-10600$ o $TT-10700 < 2^\circ C$).
- **Intensidad alta:** ($V10001 > 15A$)

Activa un temporizador que en caso de no subsanación de esta sobrecorriente manda el sistema al estado de parada de emergencia.

-Temperatura alta en stack: $TT-10200$ o $TT-10300$ dan señal de una temperatura superior a $100^\circ C$.).

- **Presión entrada chiller baja:** ($PS-405$ activo).
- **Presión salida chiller alta:** ($PS-406$ activo)
- **Detector ambiental de H₂:** ($AT-001$ o $AT-002$ activan señal digital de alarma).

5.3.5. ESTADO RAMPA SUBIDA INTENSIDAD

A este estado se accede de manera manual desde CALENTAMIENTO al pulsar el botón “OPERACIÓN” estando el sistema a la temperatura de consigna marcada por el operario.

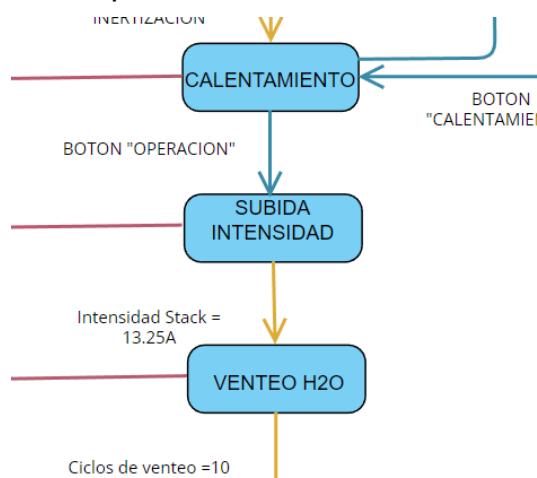


Ilustración 21. Estado Subida Intensidad

5.3.5.1. VARIABLES DE CONTROL

La idea de este estado es elevar la corriente que se le suministra al stack de manera progresiva, a través de una rampa con una pendiente medida en Amperios/Segundos y que será configurable por el operario a través de la interfaz de SCADA.

DESARROLLO

Por tanto, una vez se entre en este estado, se elevará de manera inmediata la corriente desde 0 Amp (o la corriente residual que se tuviera en el estado anterior) hasta el 20% de la corriente de operación. A continuación, se iniciará una subida progresiva de la corriente desde el 20% hasta el 100% de la corriente de operación, con una rampa que contará con la pendiente detallada anteriormente.

Por lo cual la única variable monitorizada es V10001 ya que del resto de variables ya se han tenido en cuenta en anteriores estados y por la poca duración de este, no es necesario una monitorización

5.3.5.2. CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA

DE ENTRADA:

Desde estado de **CALENTAMIENTO**:

- Si se presiona el botón “**Operación**”

DE SALIDA:

Hacia estado de **VENTEO**:

- Si se llega a **13,25 A** en la intensidad de Stack.

5.3.5.3. ALARMAS Y CONDICIONES DE CORRECTO FUNCIONAMIENTO

En este estado solo habrá dos únicas alarmas, las cuales están relacionadas con la intensidad de operación.

- **Intensidad alta:** (V10001 > 15A)

Activa un temporizador que en caso de no subsanación de esta sobrecorriente manda el sistema al estado de parada de emergencia.

- **Intensidad baja:** (V10001 < 12A)

Activa un temporizador que en caso de no subsanación de esta infracorriente manda el sistema al estado de parada de emergencia.

5.3.6. ESTADO DE VENTEO

A este estado se llega automáticamente desde RAMPA SUBIDA DE INTENSIDAD cuando se consigue suministrar al Stack la corriente indicada de 13,25 A. En este estado se realizan ciclos cortos de presurización y despresurización para ventear el nitrógeno del sistema.

DESARROLLO

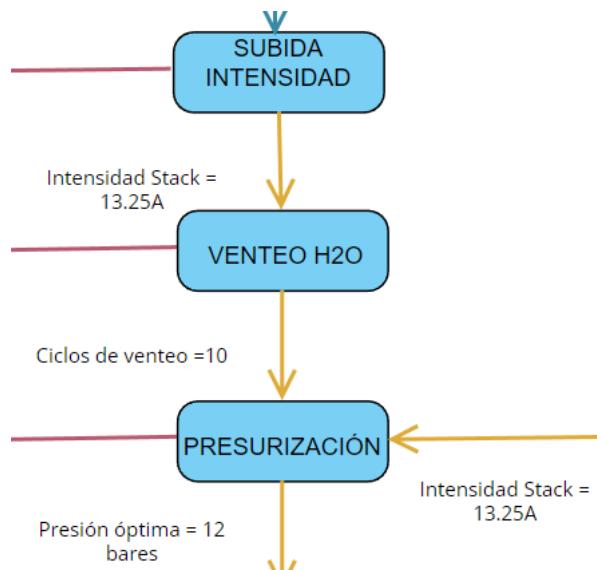


Ilustración 22. Estado de Venteo.

5.3.6.1. VARIABLES DE CONTROL

Se realizarán 10 ciclos de venteo que cada uno consiste en una fase de presurización y despresurización por ese orden.

Presurización: En esta fase se pretende llegar a una presión de 4.5 bar, medida a través de los transmisores PT-101 y los PT-102 (ubicados en los tanques V-101 y V-102). Para ello, se realiza un control de la presión mediante las electroválvulas proporcionales VO-10003 y VO-10004, cerrándolas hasta llegar a la presión de consiga.

Despresurización: En esta fase se pretende llegar a una presión de 1.6 bar, medida a través de los transmisores PT-101 y los PT-102 (ubicados en los tanques V-101 y V-102). Para ello, se realiza un control de la presión mediante las electroválvulas proporcionales VO-10003 y VO-10004, abriéndolas hasta llegar a la presión de consigna.

Durante todo el proceso, las válvulas VO-10011 y VO-10012 se mantendrán abiertas, mientras que las válvulas VO-30003, VO-30004, se mantendrán cerradas.

Además, durante la fase de venteo se mantendrá un control de los niveles en los separadores, esta condición como novedad de este estado, del caudal de KOH, de la temperatura del sistema y de fugas de nitrógeno e hidrógeno, tal y como se ha descrito en los estados previos.

DESARROLLO

CONTROL DE LOS SEPARADORES:

Mediante los transmisores LT-10001 y LT-10002 se monitoriza el nivel del separador de hidrógeno y de oxígeno respectivamente:

- El sistema debe registrar una medida de LT-10001+LT-10002>115 y a su vez <125 para poder avanzar de estado.
- El sistema debe registrar una medida de LT-10001-LT-10002<10 para poder avanzar de estado.
- El sistema debe registrar una medida de LT-10002-LT-10001<10 para poder avanzar de estado.

Mediante los transmisores DT-10001 y DT-10002 se monitoriza el nivel del separador de hidrógeno y de oxígeno respectivamente.

- El sistema debe registrar una medida de DLT-10001+DLT-10002>115 y a su vez <125 para poder avanzar de estado.
- El sistema debe registrar una medida de DLT-10001-DLT-10002<10 para poder avanzar de estado.
- El sistema debe registrar una medida de DLT-10002-DLT-10001<10 para poder avanzar de estado.

Control de fuga N2 y H2:

Se controlará que no haya fugas de nitrógeno través del interruptor FS-501 y que no haya fugas de hidrógeno a través de los transmisores AT-001A y AT-001B.

Los controles de temperatura, de caudal de KOH y de presión de N2 se llevará cabo a imagen y semejanza de los anteriores estados previos.

5.3.6.2. CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA

DE ENTRADA:

Desde estado de RAMPA SUBIDA DE INTENSIDAD:

-Si se llega a **13,25 A** en la intensidad de Stack.

DE SALIDA:

Hacia estado de PRESURIZACIÓN:

-Si se llega completan 10 ciclos de venteo.

DESARROLLO

5.3.6.3. ALARMAS Y CONDICIONES DE CORRECTO FUNCIONAMIENTO

Dependiendo del tipo de alarma se procederá a parar el sistema y llevarlo al modo de parada de emergencia o por el contrario será tenido en cuenta por el PLC pero solo activara un warning en pantalla o se podrá consultar su estado en la tabla de visualización del PLC.

- **FT-101 ≠ 90-110% SP:** (Que el transmisor de caudal FT-101 proporcione una medida del caudal de potasa de entrada al stack comprendida entre el 90% y el 110% del Setpoint)
- **FS-501≠0** (Que el interruptor de fuga de nitrógeno no informe de una fuga en la misma).
- **Presión alta de nitrógeno:** (Presión del sensor PS-501 > 15)

Activa un warning en el SCADA y lleva el estado a parada de emergencia sino se corrige en un determinado tiempo

- **Presión baja de nitrógeno:** (Presión del sensor PS-501 < 8)
- Activa un warning en el SCADA y lleva el estado a parada de emergencia sino se corrige en un determinado tiempo.
- **Temperatura circuito refrigerante baja:** ($TT-40600$ o $TT-40500 < 2^{\circ}C$).
- **Temperatura baja de gases:** ($TT-10600$ o $TT-10700 < 2^{\circ}C$).
- **Intensidad alta:** ($V10001 > 15A$)

Activa un temporizador que en caso de no subsanación de esta sobrecorriente manda el sistema al estado de parada de emergencia.

- **Intensidad baja:** ($V10001 < 12A$)
- Activa un temporizador que en caso de no subsanación de esta infracorriente manda el sistema al estado de parada de emergencia.
- **Temperatura alta en stack:** ($TT-10200$ o $TT-10300$ dan señal de una temperatura superior a $100^{\circ}C$.).

DESARROLLO

- **Presión entrada chiller baja:** (*PS-405 activo*).
- **Presión salida chiller alta:** (*PS-406 activo*)
- **Detector ambiental de H₂:** (*AT-001 o AT-002 activan señal digital de alarma*).
 - **Nivel bajo total separadores:** (*LT-10002+LT-10001 o DLT-10002+DLT-10001<115*).
 - **Nivel alto total separadores:** (*LT-10002+LT-10001 o DLT-10002+DLT-10001>125*).
- **Nivel alto en burbujeador O₂:** (*LT-10400>60*).
- **Nivel alto en burbujeador H₂:** (*LT-10300>60*).

DESARROLLO

5.3.7. ESTADO DE PRESURIZACIÓN

A este estado se llega automáticamente desde VENTEO H₂ al completarse 10 ciclos de venteo de manera satisfactoria, o bien desde RAMPA SUBIDA DE INTENSIDAD de manera automática si se llega al S.P. de corriente.

En este estado se comienza la presurización del sistema hasta alcanzar la presión de operación nominal (12 bar) para poder empezar a almacenar hidrógeno en los tanques.

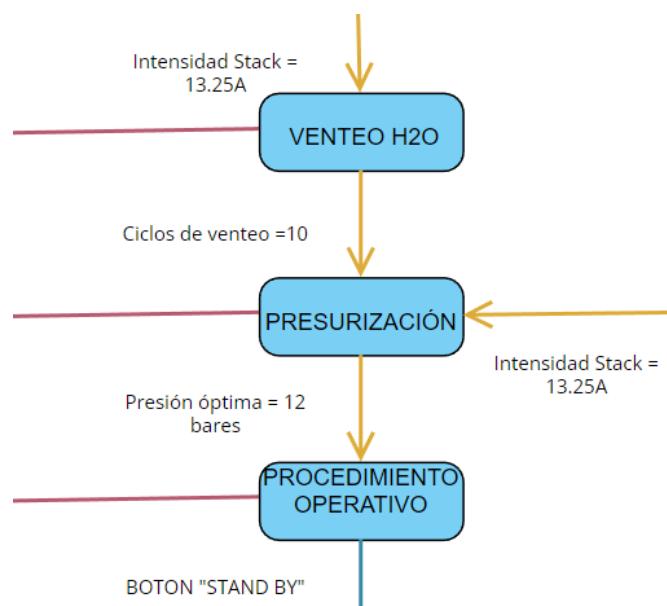


Ilustración 23. Estado de Presurización.

5.3.7.1. VARIABLES DE CONTROL

Una vez superado el estado de VENTEO H₂ las válvulas proporcionales SOV-103 y la SOV-104 se cierran para que el sistema pueda alcanzar la presión de operación nominal a base de producción de hidrógeno y su almacenamiento dentro del propio sistema.

Para saber cuándo se alcanza la presión de 12 bares necesaria para pasar al estado de operación, se emplearán los transmisores de presión PT-101 y PT-102.

Además, durante este estado se mantendrá un control de los niveles en los separadores, del caudal de KOH, de la temperatura del sistema y de fugas de nitrógeno e hidrógeno, tal y como se ha descrito en los estados previos.

DESARROLLO

5.3.7.2. CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA

DE ENTRADA:

Desde estado de **VENTEO**:

- Si se llega a 10 ciclos de venteo

Desde estado de **RAMPA SUBIDA DE INTENSIDAD II**:

- Si se llega a **13,25 A** en la intensidad de Stack.

DE SALIDA:

Hacia estado de **OPERACIÓN**:

- Si se llega a la presión óptima de 12 bares.

5.3.7.3. ALARMAS Y CONDICIONES DE CORRECTO FUNCIONAMIENTO

Dependiendo del tipo de alarma se procederá a parar el sistema y llevarlo al modo de parada de emergencia o por el contrario será tenido en cuenta por el PLC pero solo activara un warning en pantalla o se podrá consultar su estado en la tabla de visualización del PLC.

- **FT-101 ≠ 90-110% SP:** (Que el transmisor de caudal FT-101 proporcione una medida del caudal de potasa de entrada al stack comprendida entre el 90% y el 110% del Setpoint)

- **FS-501≠0** (Que el interruptor de fuga de nitrógeno no informe de una fuga en la misma).

- **Presión alta de nitrógeno:** (Presión del sensor PS-501 > 15)

Activa un warning en el SCADA y lleva el estado a parada de emergencia sino se corrige en un determinado tiempo

- **Presión baja de nitrógeno:** (Presión del sensor PS-501 < 8)

Activa un warning en el SCADA y lleva el estado a parada de emergencia sino se corrige en un determinado tiempo.

- **Temperatura circuito refrigerante baja:** (TT-40600 o TT-40500<2°C).

- **Temperatura baja de gases:** (TT-10600 o TT-10700<2°C).

DESARROLLO

- Intensidad alta: ($V10001 > 15A$)

Activa un temporizador que en caso de no subsanación de esta sobrecorriente manda el sistema al estado de parada de emergencia.

- Intensidad baja: ($V10001 < 12A$)

Activa un temporizador que en caso de no subsanación de esta infracorriente manda el sistema al estado de parada de emergencia.

-Temperatura alta en stack: *TT-10200 o TT-10300 dan señal de una temperatura superior a 100 °C.).*

- Presión entrada chiller baja: (*PS-405 activo*).

- Presión salida chiller alta: (*PS-406 activo*)

- Detector ambiental de H₂: (*AT-001 o AT-002 activan señal digital de alarma*).

- Nivel bajo total separadores: (*LT-10002+LT-10001 o DLT-10002+DLT-10001<115*).

- Nivel alto total separadores: (*LT-10002+LT-10001 o DLT-10002+DLT-10001>125*).

- Nivel alto en burbujeador O₂: (*LT-10400>60*).

- Nivel alto en burbujeador H₂: (*LT-10300>60*).

- Caudal agua bajo: (*FT-102<2*).

- Pureza de oxígeno baja: (*AT-30002<98.0%*).

- Pureza de hidrógeno baja: (*AT-30001<98.0%*).

DESARROLLO

5.3.8. ESTADO DE OPERACIÓN

Al estado de OPERACIÓN se puede llegar únicamente tras haberse alcanzado la presión nominal de producción de hidrógeno (SetPoint = 12 Bar), viniendo del estado de PRESURIZACIÓN.

Este estado es en el cual se produce hidrógeno acorde a la potencia/intensidad nominal establecida o al perfil de operación introducido. En este estado, el electrolizador está produciendo hidrógeno al régimen de carga que se desee desde el 10% hasta el 100% de Intensidad, sin embargo, este recomendado trabajar a 13,25 A para homogeneizar las condiciones del proceso.

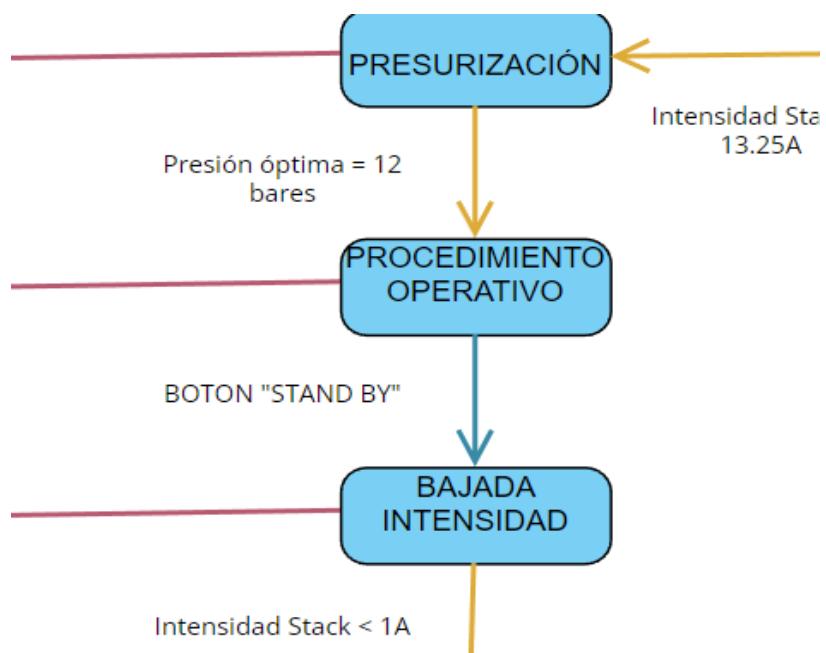


Ilustración 24. Estado Procedimiento Operativo

5.3.8.1. VARIABLES DE CONTROL

Durante el estado de OPERACIÓN, el sistema monitoriza los parámetros controlados en estados anteriores (nivel, presión, temperatura, etc). Serán controladas exactamente las mismas variables que en el estado presurización con el añadido de que en este estado la intensidad tiene la opción, aunque no recomendada, de ser regulable.

5.3.8.2. CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA

DE ENTRADA:

Desde estado de **PRESURIZACIÓN**:

-Si se llega a la presión óptima de 12 bares.

DE SALIDA:

Hacia estado de **BAJADA DE INTENSIDAD**:

-Si se llega presiona el botón "**Stand By**".

5.3.8.3. ALARMAS Y CONDICIONES DE CORRECTO FUNCIONAMIENTO

Dependiendo del tipo de alarma se procederá a parar el sistema y llevarlo al modo de parada de emergencia o por el contrario será tenido en cuenta por el PLC pero solo activara un warning en pantalla o se podrá consultar su estado en la tabla de visualización del PLC.

- **FT-101 ≠ 90-110% SP**: (Que el transmisor de caudal FT-101 proporcione una medida del caudal de potasa de entrada al stack comprendida entre el 90% y el 110% del Setpoint)

- **FS-501≠0** (Que el interruptor de fuga de nitrógeno no informe de una fuga en la misma).

- **Presión alta de nitrógeno**: (Presión del sensor PS-501 > 15)

Activa un warning en el SCADA y lleva el estado a parada de emergencia sino se corrige en un determinado tiempo

- **Presión baja de nitrógeno**: (Presión del sensor PS-501 < 8)

Activa un warning en el SCADA y lleva el estado a parada de emergencia sino se corrige en un determinado tiempo.

- **Temperatura circuito refrigerante baja**: (TT-40600 o TT-40500<2°C).

- **Temperatura baja de gases**: (TT-10600 o TT-10700<2°C).

DESARROLLO

- **Intensidad alta:** ($V10001 > 15A$)

Activa un temporizador que en caso de no subsanación de esta sobrecorriente manda el sistema al estado de parada de emergencia.

- **Intensidad baja:** ($V10001 < 12A$)

Activa un temporizador que en caso de no subsanación de esta infracorriente manda el sistema al estado de parada de emergencia.

- **Temperatura alta en stack:** *TT-10200 o TT-10300 dan señal de una temperatura superior a 100 °C.).*

- **Presión entrada chiller baja:** (*PS-405 activo*).

- **Presión salida chiller alta:** (*PS-406 activo*)

- **Detector ambiental de H₂:** (*AT-001 o AT-002 activan señal digital de alarma*).

- **Nivel bajo total separadores:** (*LT-10002+LT-10001 o DLT-10002+DLT-10001<115*).

- **Nivel alto total separadores:** (*LT-10002+LT-10001 o DLT-10002+DLT-10001>125*).

- **Nivel alto en burbujeador O₂:** (*LT-10400>60*).

- **Nivel alto en burbujeador H₂:** (*LT-10300>60*).

- **Caudal agua bajo:** (*FT-102<2*).

- **Pureza de oxígeno baja:** (*AT-30002<98.0%*).

- **Pureza de hidrógeno baja:** (*AT-30001<98.0%*).

DESARROLLO

5.3.9. ESTADO RAMPA BAJADA DE INTENSIDAD

A este estado se accede desde OPERACIÓN cuando el operario decide que ya no es necesario producir más H₂ y pulsa el botón "HOT STAND-BY".

En este estado se baja la intensidad del momento de salida del estado de OPERACIÓN, siguiendo la misma pendiente de intensidad vs tiempo configurada para RAMPA SUBIDA INTENSIDAD, pero negativa. El 20% final se baja de forma brusca hasta llegar a los 0 amperios.

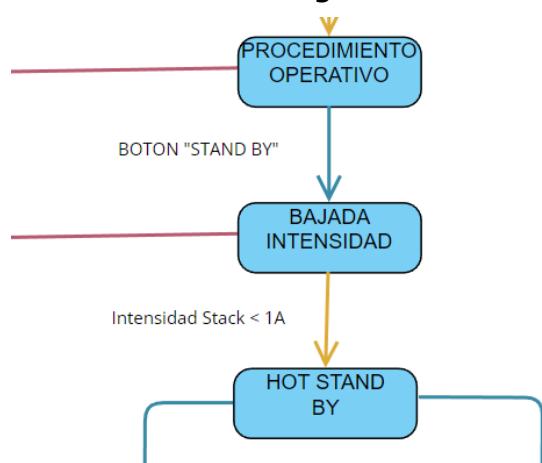


Ilustración 25. Estado Rampa Bajada de Intensidad.

5.3.9.1. VARIABLES DE CONTROL

No se controlará otra variable en este estado que la intensidad suministrada al Stack (V10001), se empleará la misma pendiente del estado "RAMPA SUBIDA DE INTENSIDAD" para bajar gradualmente la corriente hasta llegar al 20%, donde instantáneamente esta bajará a 0%. Para ello se visualizará en una gráfica en tiempo real el valor de la variable V10001. En este estado se controlarán los mismos parámetros que en operación, es decir, nivel de los separadores, temperatura, presión, fuga de H₂...

DESARROLLO

5.3.9.2. CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA

DE ENTRADA:

Desde estado de **OPERACION**:

- Si se llega presiona el botón “**Stand By**”.

DE SALIDA:

Hacia estado de **HOT STAND BY**:

- Si se llega a una intensidad del Stack menor a 1 A.

5.3.9.3. ALARMAS Y CONDICIONES DE CORRECTO FUNCIONAMIENTO

Análogamente con el estado de rampa subida intensidad. En este estado solo habrá dos únicas alarmas, las cuales están relacionada con la intensidad de operación. Se llevará el control de otras variables sin embargo no tendrán alarma para ellas en este estado ya que este está programado para durar un espacio muy reducido de tiempo.

- **Intensidad muy alta:** ($V10001 > 12A$)

Activa un temporizador que en caso de no subsanación de esta sobrecorriente manda el sistema al estado de parada de emergencia.

- **Intensidad alta:** ($V10001 < 2A$)

Activa un temporizador que en caso de no subsanación de esta sobrecorriente manda el sistema al estado de parada de emergencia

Esta alarma llevará al estado de emergencia si al cabo de un minuto la corriente de operación no se ha reducido en menos de 2 A , dando por hecho que algo en el sistema ha fallado y debe ser subsanado de manera inmediata.

DESARROLLO

5.3.10. ESTADO HOT STAND BY

A el estado de HOT STAND-BY se accede de manera automática desde RAMPA BAJADA DE INTENSIDAD al bajar la corriente que se le suministra al Stack de 1A ($V-10001 < 1A$).

Se trata de un estado operativo del equipo, en el cual se encuentra encendido, calentado y listo para operación de servicio inmediata.

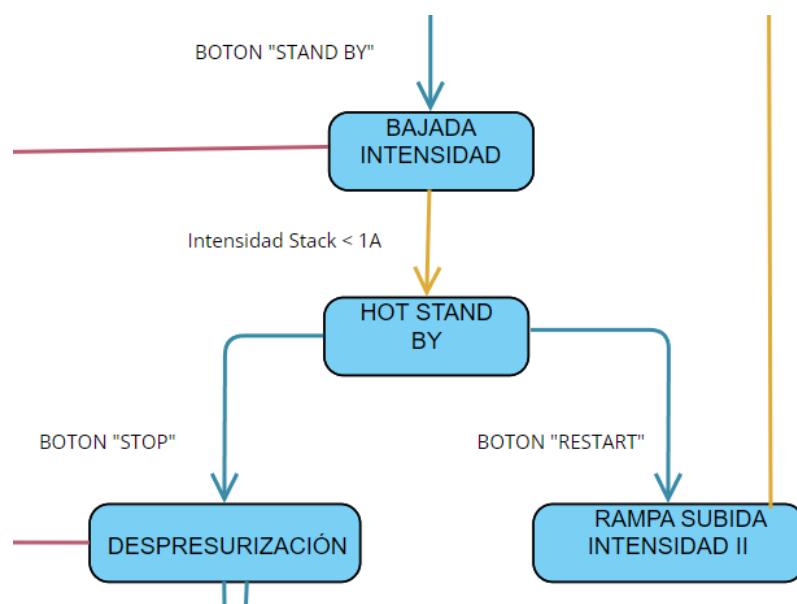


Ilustración 26. Estado Hot Stand By.

5.3.10.1. VARIABLES DE CONTROL

En el estado de "HOT STAND-BY", el sistema mantiene el mismo control que durante el estado de "COLD STAND BY" con el sobreañadido de un control de la intensidad suministrada al Stack, ya que tiene como entrada un estado y como salida otro estado en el que este apartado es clave, por eso precisáramos de su control.

DESARROLLO

5.3.10.2. CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA

DE ENTRADA:

Desde estado de **RAMPA BAJADA INTENSIDAD**:

- Si se llega a una intensidad del Stack menor a 1 A.

DE SALIDA:

Hacia estado de **DESPRESURIZACIÓN**:

- Si se presiona el botón de “**STOP**”.

Hacia estado de **RAMPA SUBIDA INTENSIDAD 2**:

- Si se presiona el botón de “**RESTART**”.

5.3.10.3. ALARMAS Y CONDICIONES DE CORRECTO FUNCIONAMIENTO

Como hemos mencionado este estado tiene una gran semejanza con el estado “Cold Stand By” por lo que gozara de las mismas alarmas, contando con el añadido de alarmas de control de intensidad.

- **Presión alta de nitrógeno:** (Presión del sensor PS-501 > 15)

Activa un warning en el SCADA y lleva el estado a parada de emergencia sino se corrige en un determinado tiempo

- **Presión baja de nitrógeno:** (Presión del sensor PS-501 < 8)

Activa un warning en el SCADA y lleva el estado a parada de emergencia sino se corrige en un determinado tiempo

- **Temperatura circuito refrigerante baja:** (TT-40600 o TT-40500<2°C).

- **Temperatura baja de gases:** (TT-10600 o TT-10700<2°C).

- **FS-501≠0:** (Que el interruptor de fuga de nitrógeno no informe de una fuga en la misma).

Condición expresamente necesaria para pasar de estado.

- **Intensidad alta:** (V10001 < 15A)

Activa un temporizador que en caso de no subsanación de esta sobrecorriente manda el sistema al estado de parada de emergencia

DESARROLLO

5.3.11. ESTADO DESPRESURIZACIÓN

Al estado de DESPRESURIZACIÓN se entra desde HOT STAND BY al pulsar el botón “STOP”.

En este estado se libera presión del equipo para ayudar a llevarlo a un estado seguro que permita reiniciar el sistema o llevarlo finalmente a un estado de apagado.

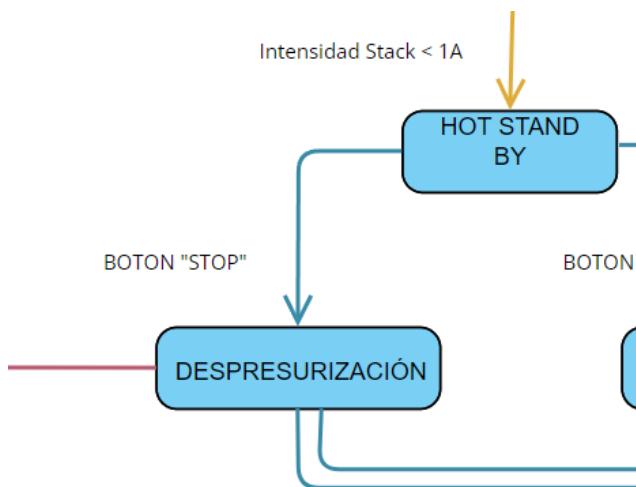


Ilustración 27. Estado Despresurización.

5.3.11.1. VARIABLES DE CONTROL

Al ser un estado transición cuya única función es disminuir la presión del sistema a través de las válvulas VO10003 y VO10004, las únicas variables a controlar serán la presión de ambos separadores cuya medida será dada por los transmisores de presión PT-101 y PT-102. Se pretende llegar a una presión de operación de 0.7 bares, por lo que seguirá la siguiente lógica de control.

- Si la Presión es mayor a **1,5 bares** las válvulas proporcionales VO10003 Y VO10004 se abrirán al **100%** de su capacidad
- Si la Presión es mayor a **0,65 bares** las válvulas proporcionales VO10003 Y VO10004 se abrirán al **75%** de su capacidad
- Si la Presión es menor a **0,65 bares** las válvulas proporcionales VO10003 Y VO10004 cerraran completamente

5.3.11.2. CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA

DE ENTRADA:

Desde estado de **HOT STAND BY**:

- Si se presiona el botón de “**STOP**”.

DE SALIDA:

Hacia estado de **CALENTAMIENTO**:

- Si se presiona el botón de “**CALENTAMIENTO**”.

5.3.11.3. ALARMAS Y CONDICIONES DE CORRECTO FUNCIONAMIENTO

Debido a que este estado por su naturaleza y utilidad está relacionado con la presión del sistema, la totalidad de las alarmas en activo en este estado serán para asegurarse que el proceso de despresurización funciona correctamente.

- **Presión alta en separador de H₂.** (PT101>2 bar). Se activa un temporizador que si al cabo de 5 minutos la presión no es inferior a este valor, el sistema entra en estado de emergencia al entender que algo falla.
- **Presión alta en separador de O₂.** (PT102>2 bar). Se activa un temporizador que si al cabo de 5 minutos la presión no es inferior a este valor, el sistema entra en estado de emergencia al entender que algo falla.

DESARROLLO

5.3.12. ESTADO RAMPA SUBIDA DE INTENSIDAD II

Este estado es una replica del estado anterior Rampa Subida de Intensidad con la salvedad de que su entrada viene desde el estado Hot Stand By mediante el botón “RESTART”. Su función es proporcionar la intensidad necesaria para que vuelva a operar el sistema mediante una rampa progresiva.

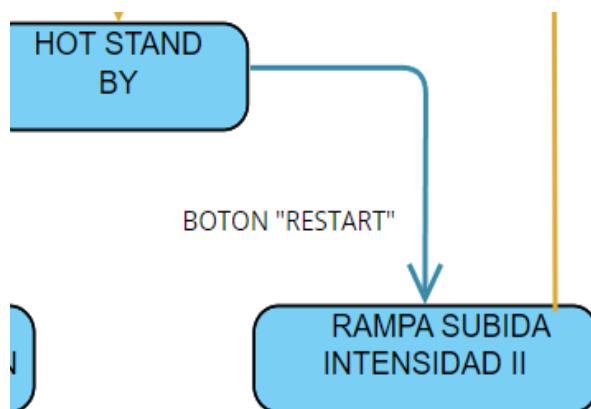


Ilustración 28. Estado Rampa Subida Intensidad II

5.3.12.1. VARIABLES DE CONTROL

La idea de este estado es elevar la corriente que se le suministra al stack de manera progresiva, a través de una rampa con una pendiente medida en Amperios/Segundos y que será configurable por el operario a través de la interfaz de SCADA.

Por tanto, una vez se entre en este estado, se elevará de manera inmediata la corriente desde 0 Amp (o la corriente residual que se tuviera en el estado anterior) hasta el 20% de la corriente de operación. A continuación, se iniciará una subida progresiva de la corriente desde el 20% hasta el 100% de la corriente de operación, con una rampa que contará con la pendiente detallada anteriormente.

Por lo cual la única variable monitorizada es V10001 ya que del resto de variables ya se han tenido en cuenta en anteriores estados y por la poca duración de este, no es necesario una monitorización.

DESARROLLO

5.3.12.2. CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA

DE ENTRADA:

Desde estado de **HOT STAND BY**:

- Si se presiona el botón “**RESTART**”

DE SALIDA:

Hacia estado de **PRESURIZACIÓN**:

- Si se llega a **13,25 A** en la intensidad de Stack.

5.3.12.3. ALARMAS Y CONDICIONES DE CORRECTO FUNCIONAMIENTO

En este estado solo habrá dos únicas alarmas, las cuales están relacionada con la intensidad de operación.

- **Intensidad alta:** ($V10001 > 15A$)

Activa un temporizador que en caso de no subsanación de esta sobrecorriente manda el sistema al estado de parada de emergencia.

- **Intensidad baja:** ($V10001 < 12A$)

Activa un temporizador que en caso de no subsanación de esta infracorriente manda el sistema al estado de parada de emergencia.

5.3.13. ESTADO PARADA DE EMERGENCIA

Este estado se puede acceder desde todos los estados, con la excepción del estado de apagado, al no cumplirse determinadas condiciones de estado o alarmas pasa automáticamente la variable de estado a este. En este estado no se tiene ninguna alarma y se fuerza al paro de todos los dispositivos, además gracias a la variable de estado anterior del PLC podemos averiguar en que estado más concretamente se dio el fallo grave que nos condujo al estado de emergencia actual.

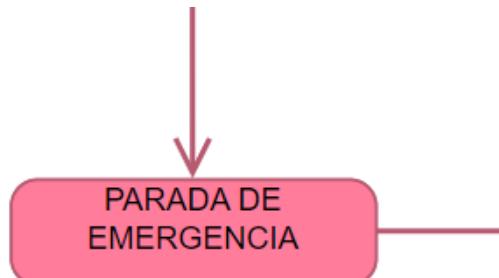


Ilustración 29. Estado Parada de Emergencia

Una vez se llegue a este estado se dispondrá de un botón en el SCADA llamado ENCENDIDO OFF para pretar cuando se haya localizado y subsanado el error que nos condujo previamente al estado de parada de emergencia, resetando todas las variables y empezando el ciclo del sistema desde cero.

Este estado además gozara de un botón directo en el resto de los estados que aparecerá con una alarma en rojo en cada pantalla del SCADA que pueda saltar al mismo, para poder disponer de la posibilidad de un reinicio y subsanamiento rápido. El anterior botón solo será visible y por tanto clicable cuando alguna alarma active el booleano del estado de emergencia, por lo que sino es el caso no se podrá saltar a esta pantalla, esto se hace con miras a no confundir a los operarios que estén en el encargo de supervisar el sistema.

Resultados

6. RESULTADOS

En el apartado de resultados se dispone a presentar la estructura del programa realizado en el entorno de automatización de Siemens, así como las distintas pantallas del SCADA y su funcionamiento con el simulador PLCSIM.

6.1. ESTRUCTURA DEL PROGRAMA DEL AUTOMATISMO

Escogemos los componentes que queremos utilizar para constituir el sistema de control, un modelo de PLC y otro de HMI para la correcta visualización del SCADA. Ambos irán interconectados gracias a una conexión tipo Ethernet ya que ambos dispositivos gozan de conectores que lo posibilitan.

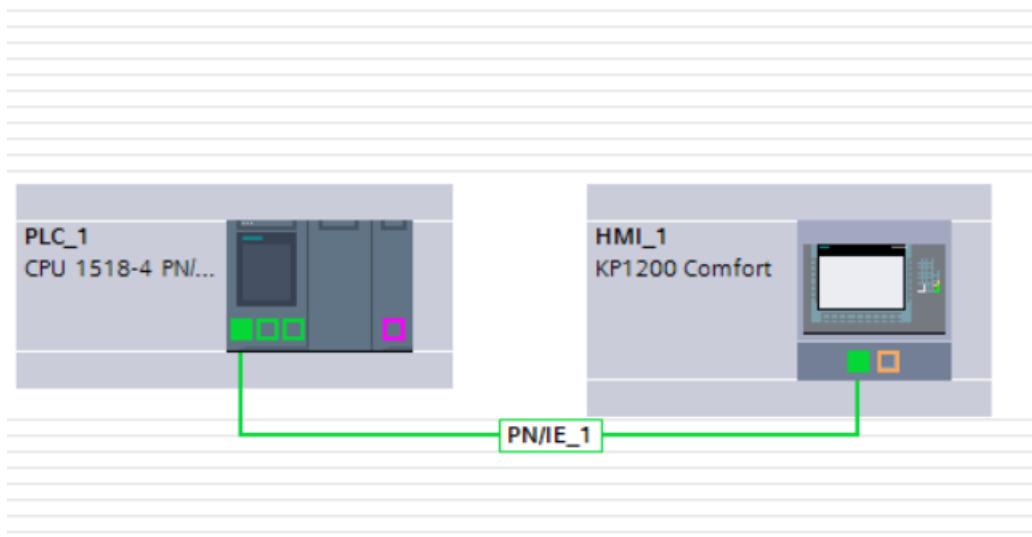


Ilustración 30. Conexión Ethernet

El automatismo se divide en varias funciones de tipo FC y FB que se llamarán desde el OB1, el código principal del programa, ejecutándolas en bucle cada ciclo de scan.

Resultados

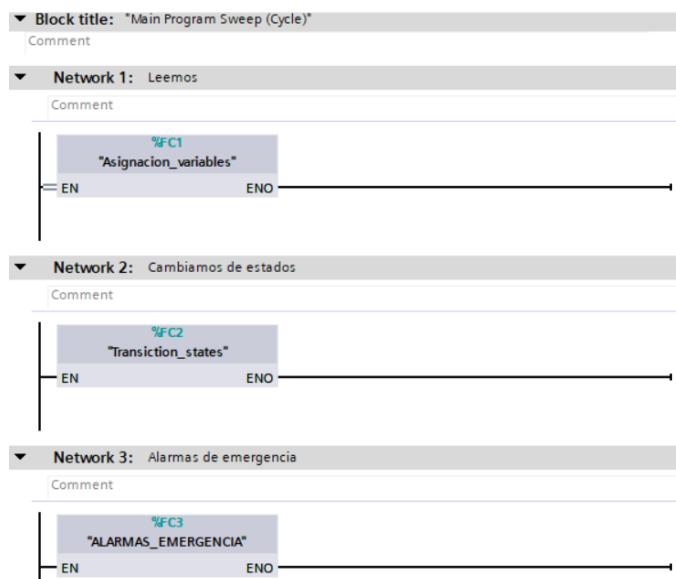


Ilustración 31. Main (OB1)

Se llama a tres FC externas creadas por el usuario la primera de ellas "Asignación de variables" la cual es la encargada de leer, mapear y convertir las entradas según el tipo que sean en variables que pueda usar el PLC, así como variables que ha usado el PLC en salidas para que puedan recibir señales de control los actuadores. Dependerá de si es entrada o salida y si es analógica o digital el tratamiento y procesamiento que tendrá dentro de la función.

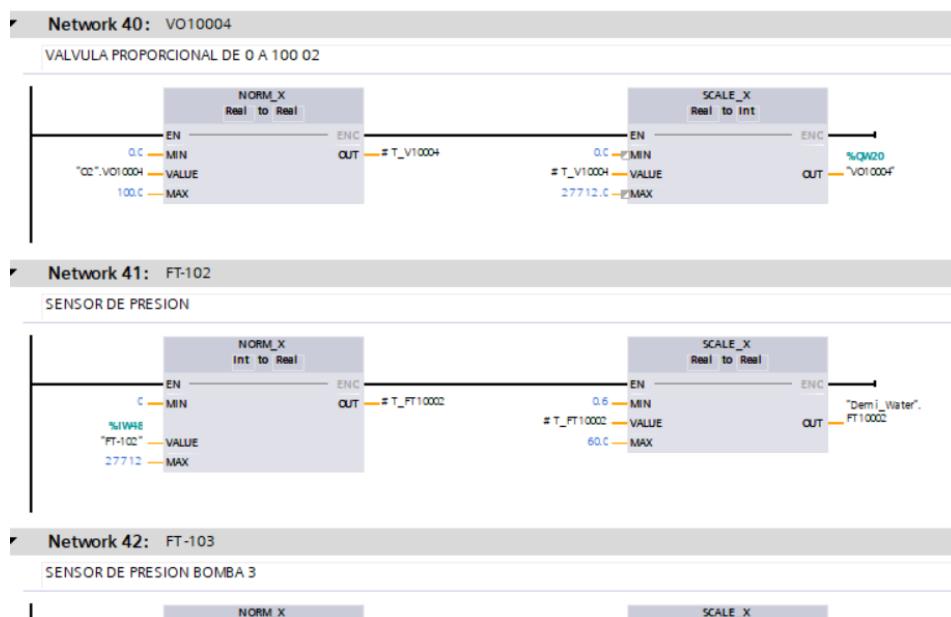


Ilustración 32. Asignación de variables.

Resultados

En algunas variables escalables se hace uso de variables temporales que nos permiten guardar el resultado de la operación sin gastar mucha memoria del PLC, esto se hace con la intención de acortar el ciclo de scan y que el automatismo tenga más capacidad de reacción a un desajuste fortuito.

La segunda función en el main OB1 se trata de "Transiction_states" en la cual se plantea los cambios de estado según el cumplimiento de ciertas condiciones expresas anteriormente en los diagramas de estado, así como la entrada y llamada al resto de funciones FB, una para cada estado.

```
63 IF "States".State_actual=12 THEN
64   "States".State_emergency := TRUE;
65   "E12_PARADA_EMERGENCIA_DB"();
66 ELSE
67   "States".State_emergency := FALSE;
68 ;
69 END_IF;
70
71
72
73 IF "States".State_actual = 0 AND "SCADA".Encendido THEN
74   "States".State_actual := 1;
75   "States".State_anterior := 0;
76   "States".State_apagado := FALSE;
77   "States".State_Cold_Stand_By := True;
78
79
80 ; //PASA DE APAGADO A COLD STAND BY
81 END_IF;
82
83 IF "States".State_actual=1 AND "States".State_anterior=0 AND "SCADA".START THEN
84   "States".State_actual := 2;
85   "States".State_anterior := 1;
86   "States".State_Cold_Stand_By := FALSE;
87   "States".State_invert := TRUE.
```

Ilustración 33.Transiction states

Por último, la última función "Alarms de emergencia" tiene en cuenta el tratamiento de alarmas en cada uno de los estados y sus respectivas consecuencias, es crucial que este estado se ejecute lo más rápido posible para poder evitar fallos fatales en el sistema de producción de hidrógeno verde.

Resultados

6.2. PANTALLAS SCADA-HMI

En este último apartado se simulará el automatismo generado y se visualizará un ejemplo de cada pantalla, una para cada estado y una pantalla raíz HOME la cual servirá para informar y como pantalla inicial.



Ilustración 34. Pantalla HOME

La pantalla HOME indica la leyenda de estados para que el operario lo tenga siempre a mano y permite pasar al estado apagado o a Cold stand By si se ha dejado con anterioridad suspendido el proceso.



Ilustración 35. Estado Apagado

Resultados

Con el botón "ON" se pasa al siguiente estado, para cambiar de pantalla se necesita pulsar al botón "E1 COLD STAND BY", esto se hace únicamente en este estado para necesitar de una doble confirmación para empezar el proceso debido a que por error en esta pantalla puede dar a lugar a puestas en marcha no deseosas.

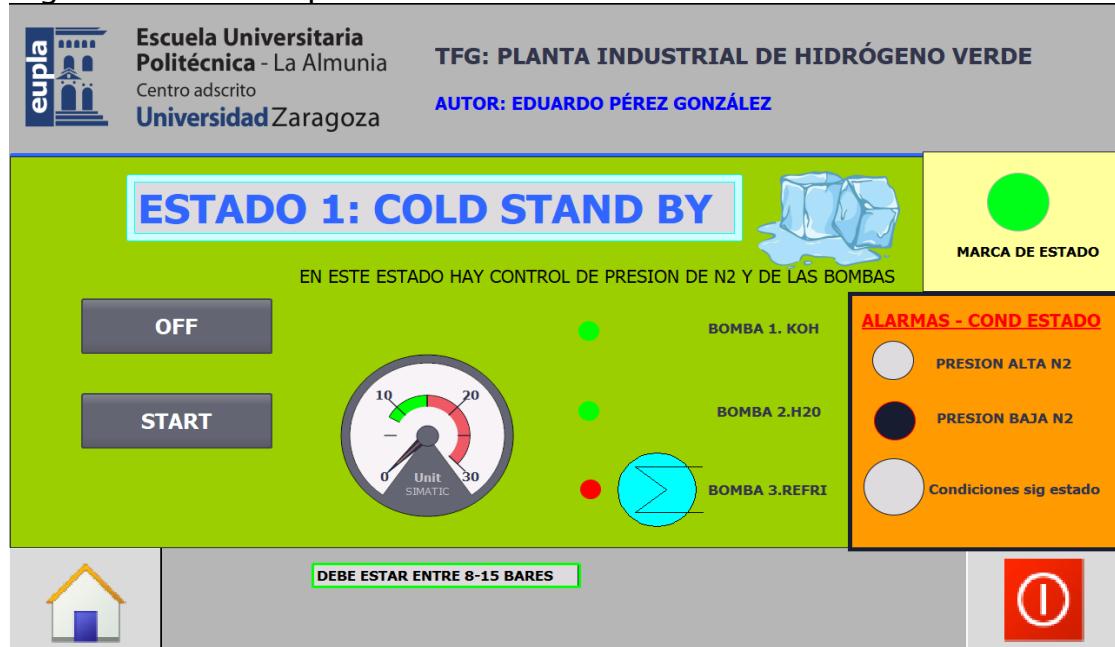


Ilustración 36.Cold Stand By

Si clicamos "START" avanzamos al estado Inertización.



Ilustración 37.Estado de Inertización

Resultados

Al completar 11 ciclos de inertizado pasa automáticamente al siguiente estado, el de Calentamiento.



Ilustración 38. Estado de Calentamiento

Al pulsar el botón de “Operación” pasa al estado de rampa subida de intensidad donde se otorgará intensidad al stack.

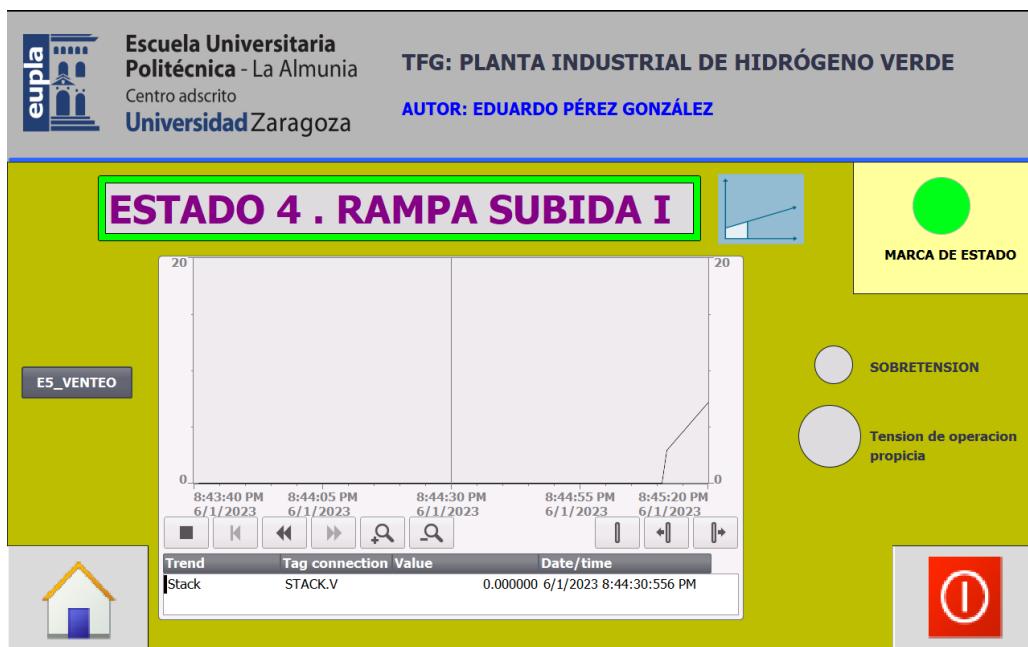


Ilustración 39. Estado Rampa subida Intensidad

Resultados

Una vez llegue a la intensidad de operación se lleva el sistema al estado venteo.



Ilustración 40. Estado de venteo

Una vez se llegue a 10 ciclos de venteo se pasa al estado de presurización

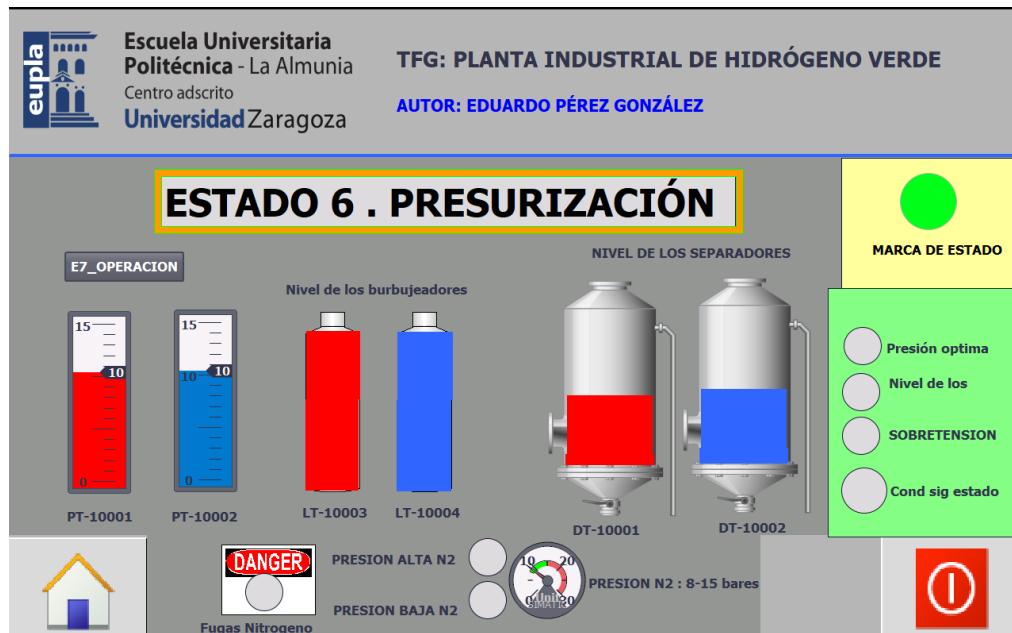


Ilustración 41. Estado presurización.

Resultados

Una vez se llegue a 12 bares se pasa al estado de Operación.



Ilustración 42.Operación

Una vez se quiere finalizar el proceso de generación de hidrógeno se presionará el botón de "Stand By" para bajar la intensidad del stack a 0A en el siguiente estado.

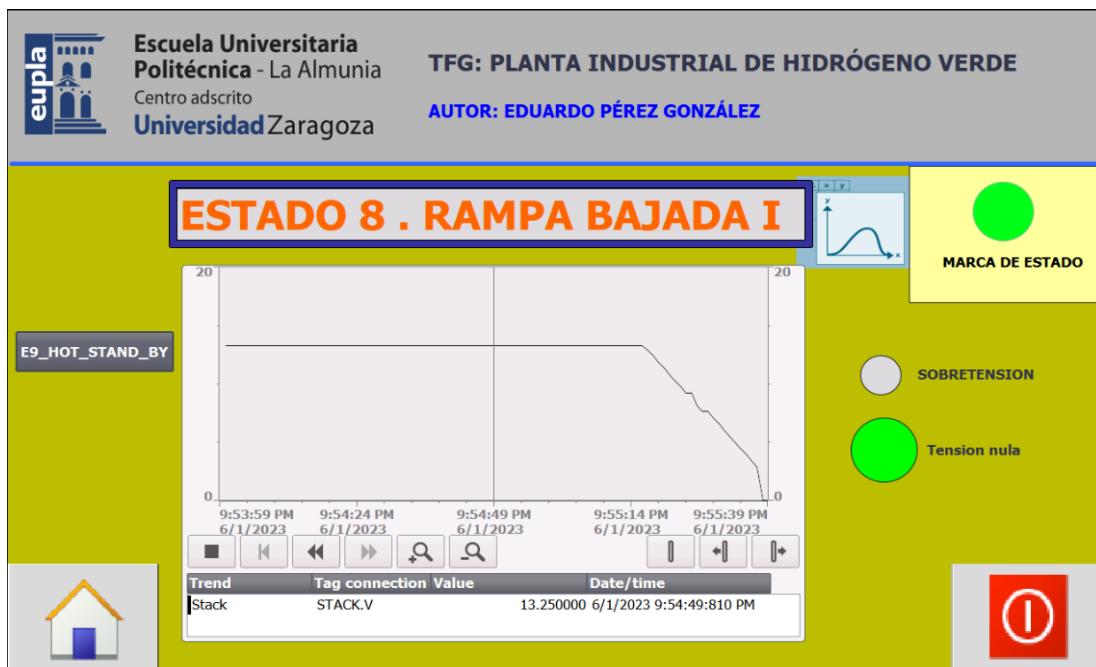


Ilustración 43.Rampa Bajada intensidad

Resultados

Después de limitar la intensidad del stack a valores cercanos a 0 se pasa al estado Hot Stand By, un estado similar al Cold Stand By pero con mas rapidez para ponerse a funcionar.

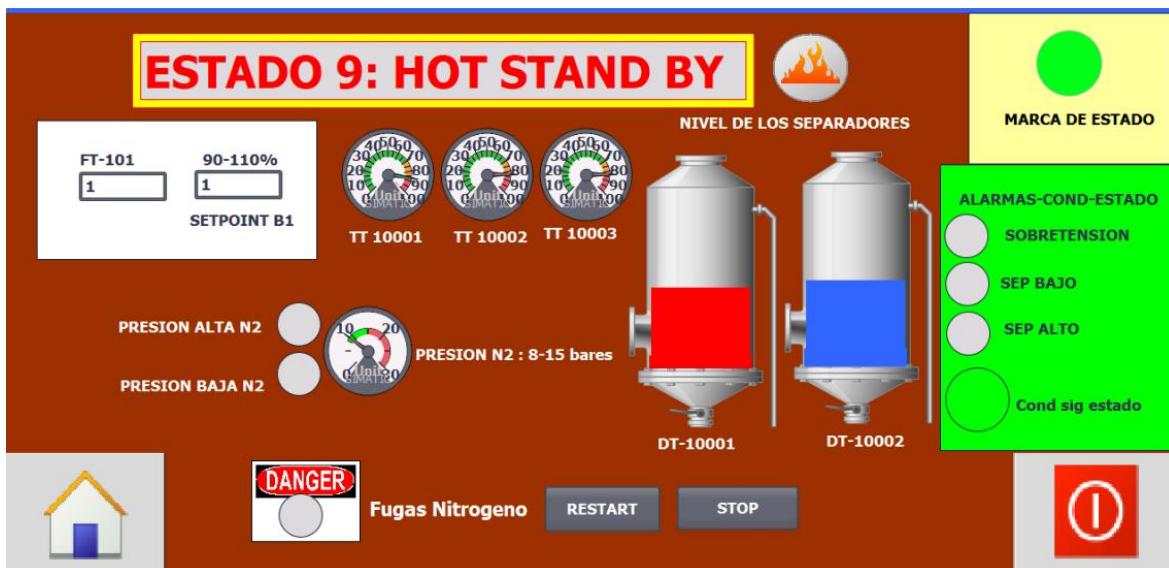


Ilustración 44.Hot Stand By.

Una vez que las condiciones generales para pasar al siguiente estado se cumplen podemos elegir dos estados a los que pasar, Rampa Subida Intensidad 2 para reemplazar el ciclo o Despresurización.

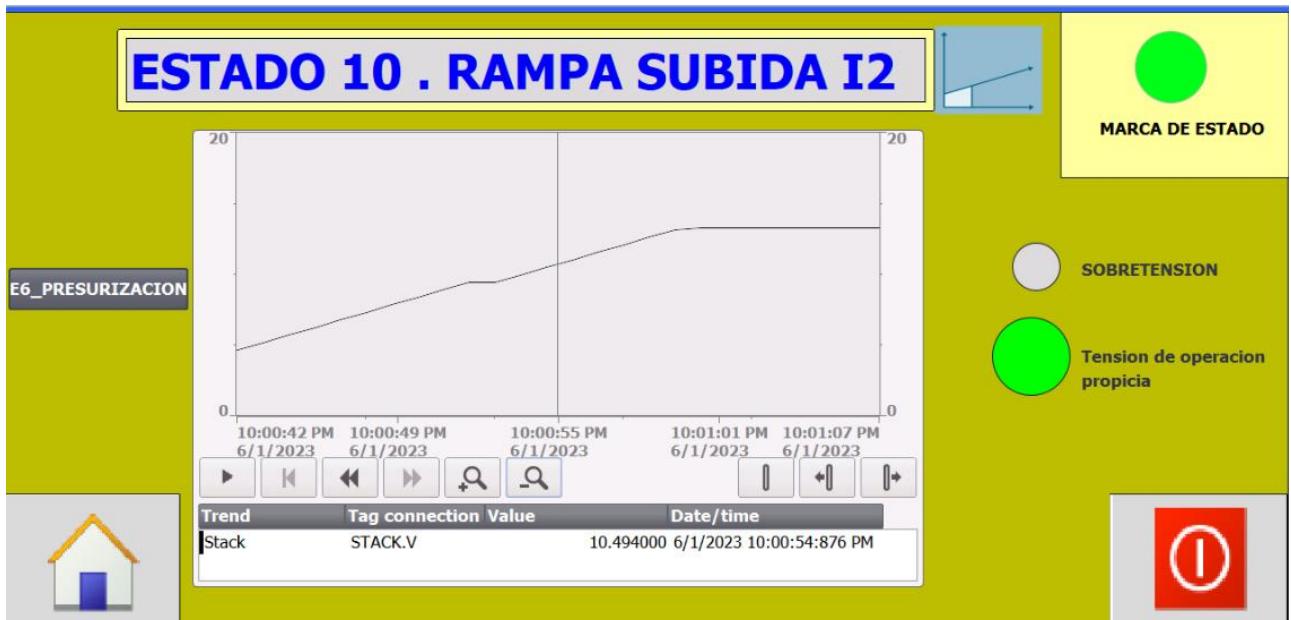


Ilustración 45.Rampa subida intensidad 2

Resultados



Ilustración 46.Estado Despresurización

Por último, la pantalla del último estado “Parada de emergencia” donde indica una luz roja si se ha llegado a ese estado y desde cual estado.



Ilustración 47.Estado parada de emergencia.

7. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha intentado buscar una solución alternativa a los combustibles fósiles de manera completamente autónoma y automatizada cosa que de una forma simplificada a una solución real de gran escala se ha conseguido. Desde el aspecto de viabilidad y reducción de emisiones es uno de los grandes agentes prometedores que pueden desbancar a los combustibles no renovables, sin embargo , es cierto que el proceso productivo no solo es peligroso debido a la toxicidad de los gases que se manejan en purezas altas sino que además complejo y muy técnico , por lo que debe ser dirigido y supervisado por personal con mucha experiencia en el ámbito y con conocimientos de varias ramas de las ciencias , lo que hace difícil encontrar personal cualificado para poder montar un parque de hidrogeneras verde.

Desde el ámbito económico es necesario realizar una fuerte inversión tanto en plantas industriales de hidrogeno verde como en parques de fuentes renovables que nutran al Stack de energías verdes para su uso.

Desde la perspectiva del presente trabajo y su futuro, es muy moldeable a especificaciones que se requieran extras o a otros condicionantes específicos por lo que sería fácilmente adaptable a encargos profesionales de tamaño reducido , aunque como ya se ha dicho este trabajo está limitado por mi conocimiento del proceso que he podido investigar en el último año , por lo que hay posibilidades no descartables , de que me haya quedado corto en dimensionar los sensores , actuadores necesarios , o incluso en el número de estados necesarios .

Desde el tamaño del material con el que se ha realizado el automatismo, conviene mencionar que no se ha dispuesto de una prueba en marcha en un PLC físico, sino que se ha utilizado simuladores que emulan el funcionamiento de un PLC físico y ha pasado todas las compilaciones

Dicho todo esto creo que se han cumplido con creces los objetivos que me propuse y que tenía en mente cuando planteo el presente trabajo, haciendo posible el diseño y posterior automatización de una pequeña planta industrial de hidrogeno verde que pueda servir para sustituir a los combustibles fósiles y pueda ayudar en los objetivos que marca la Agenda 2030 de lucha contra el cambio climático.

Objetivos de Desarrollo Sostenible

8. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los objetivos de este Trabajo Fin de Grado están alineados con los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y correspondientes metas, de la Agenda 2030:

- Objetivo 7 - Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna.
 **7 ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE**
- Meta 7.2 De aquí a 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas.
- Objetivo 9 - Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación.
 **9 INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA**
- Meta 9.4 De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas.

Bibliografía

9. BIBLIOGRAFÍA

(Alsina, 2018, *Microcontrolador IoT industrial*).

(Aragonès et al,(s. f.), *Automatismos eléctricos programables*)

(Areatecnologia, (s. f.), *Automatismos Electricos. Aparatos, Esquemas y Normativa*).

(Bañalez, R. (s. f.). *El hidrogeno y la energía*).

(Academia.edu, (s. f.). *Controlador lógico programable*.).

(Dawood, F. (2020). Hydrogen production for energy: An overview.
International Journal of Hydrogen Energy).

(DEMO4GRID, (s.f.) , *DEMO4GRID_IHT_Session_3.pdf*)

(Electronic Board, 2020 septiembre 1, *El 30 de Septiembre llega el fin de la vida útil de Siemens Simatic S5*).

(Energia Gob (s. f.). *Hoja_de_ruta_del_hidrogeno.pdf*).

(Demo4Grid. (s. f.) *Home D4G - Demo4Grid*).

(Esindus. (s. f.) , Inertización) .

(Fundación Naturgy (s. f.). *LIBRO HIDROGENO*).

(Llera Sastresa et al, (2011). *Hidrógeno: Producción, almacenamiento y usos energéticos* (1^a ed.))

(Uvigo(s. f.) *PONENCIA_SIEMENS_TIAPORTAL_JAI2014.pdf*).

Bibliografía

(ACCIONA Energía, (s. f.). , *Proyecto Power 2 Green Hydrogen Mallorca.*)

Sánchez Delgado, M. (2019). *Desarrollo y validación de un modelo para la simulación de sistemas de electrólisis alcalina para la producción de hidrógeno a partir de energías renovables*

(Acciona , (s.f.). , 07_enrique_iriarte_acciona.pdf)



Relación de documentos

- (X) Memoria 86 páginas
(_) Anexos 74 páginas

La Almunia, a 6 de junio de 2023

Firmado: Eduardo Pérez González