

Trabajo Fin de Máster
Máster en Ingeniería Electrónica Robótica y
Automática.

Desarrollo de SCADA para microrred experimental.

Autor: Gabriel Triana Osorio

Tutores: Francisco Javier Pino Lucena

Sergio Jesús Navas Herrera

Dpto. de Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020



Trabajo Fin de Máster
Máster en Ingeniería Electrónica Robótica y Automática

Desarrollo de SCADA para microrred experimental.

Autor:

Gabriel Triana Osorio

Tutores:

Francisco Javier Pino Lucena

Sergio Jesús Navas Herrera

Dpto. de Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020

Trabajo Fin de Carrera: Desarrollo de SCADA para microrred experimental.

Autor: Gabriel Triana Osorio

Tutores: Francisco Javier Pino Lucena
Sergio Jesús Navas Herrera

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El secretario del Tribunal

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad de Sevilla y a la Universidad de Pamplona por haberme dado la oportunidad de formar parte de ellas. A mis padres y hermanas por apoyarme incondicionalmente siempre que lo he necesitado, le agradezco a mi pareja por cuidarme y animarme en aquellos momentos de debilidad o duda.

A pesar de la situación actual, los profesores Francisco Javier Pino Lucena, Sergio Jesús Navas Herrera, y Juan Manuel Escaño González, han hecho todo lo posible por colaborar en el desarrollo de este trabajo, por este motivo aprovecho la oportunidad para agradecerles por su gran ayuda.

Gabriel Triana Osorio

Sevilla, 2020

Resumen

Inicialmente se realizará un estudio de los tipos de micro redes que se manejan actualmente, de los programas empleados para la implementación del SCADA, y los protocolos de comunicación usados en los sistemas SCADA, por último, se hará una revisión del estado del arte, todo esto con la intención de crear una idea general del funcionamiento de un sistema SCADA.

En este trabajo se realizará la interfaz para ser enlazada posteriormente con un SCADA de la microrred experimental situada en la escuela técnica superior de ingeniería (ETSI), para ello se empleará el programa Vijeo SCADA, programa que se usarán para diseñar la interfaz, y lograr facilitar la forma de visualizar el comportamiento del proceso a tiempo real.

Abstract

Initially a study of the types of micro-networks that are currently handled, of the programs used for the implementation of SCADA, and communication protocols used in SCADA systems, finally, there will be a review of the state of the art, all with the intention of creating a general idea of the functioning of a SCADA system.

In this work the interface will be made to be linked later with a SCADA of the experimental micro-grid located in the Superior Technical School of Engineering (ETSI), for this we will use the program Vijeo SCADA, program that will be used to design the interface, and to facilitate the way to visualize the behavior of the process in real time.

Índice

| | |
|--|-----------|
| Agradecimientos | 7 |
| Resumen | 9 |
| Abstract | 11 |
| Índice | 12 |
| Índice de Tablas | 14 |
| Índice de Figuras | 15 |
| 1 Introducción | 16 |
| 1.1 <i>Planteamiento del problema y justificación.</i> | 17 |
| 1.2 <i>¿Por qué usar un SCADA?</i> | 17 |
| 1.3 <i>Marco teórico</i> | 18 |
| 1.3.1 Microrred | 18 |
| 1.3.2 PLC | 20 |
| 1.3.3 SCADA | 22 |
| 1.3.4 Protocolos de comunicación en redes industriales. | 26 |
| 1.4 <i>Estado del arte</i> | 28 |
| 1.4.1 Proyectos de Microrredes. | 28 |
| 1.4.2 Otros temas que se están trabajando actualmente en las microrredes | 29 |
| 2 Descripción del proyecto | 30 |
| 2.1 <i>Objetivos</i> | 30 |
| 2.1.1 General. | 30 |
| 2.1.2 Específicos. | 30 |
| 2.2 <i>Diagrama general de la planta.</i> | 30 |
| 2.3 <i>Descripción del funcionamiento de la planta.</i> | 31 |
| 3 Especificaciones de los componentes. | 33 |
| 3.1 <i>Equipos</i> | 33 |
| 3.1.1 Fuente Electronica programable. | 33 |
| 3.1.2 Carga electronica programable. | 33 |
| 3.1.3 PLC. | 34 |
| 3.1.4 Baterías de plomo ácido. | 34 |
| 3.1.5 Tanques de Hidruros metálicos. | 35 |
| 3.1.6 Pila de combustible PEM. | 36 |
| 3.1.7 Baterías de iones de litio. | 36 |
| 3.1.8 Paneles solares. | 37 |
| 3.1.9 Electrolizador PEM (ELS500). | 37 |
| 3.1.10 Convertidores DC/DC. | 39 |
| 3.2 <i>Software SCADA</i> | 39 |
| 3.2.1 Proyectos. | 40 |
| 3.2.2 Topología. | 40 |
| 3.2.3 Modelo del Sistema. | 41 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.2.4 | Visualización. | 41 |
| 3.2.5 | Seguridad. | 41 |
| 3.2.6 | Estándares. | 41 |
| 3.2.7 | Configuración. | 41 |
| 3.2.8 | Compilar el Proyecto activo. | 42 |
| 3.2.9 | Ejecutar el Proyecto activo. | 42 |
| 3.2.10 | Distribución. | 42 |
| 3.2.11 | Inicio del constructor de gráficos Citect. | 42 |
| 3.2.12 | Inicio el editor Citect Cicode. | 42 |
| 3.2.13 | Buscar y remplazar texto en el proyecto. | 42 |
| 3.2.14 | Opciones. | 42 |
| 3.2.15 | Concesión de licencias. | 42 |
| 3.2.16 | Ayuda. | 42 |
| 4 | Diseño del proyecto | 43 |
| 4.1 | <i>Requerimientos</i> | 43 |
| 4.1.1 | Requisitos de interfaz del usuario. | 43 |
| 4.2 | <i>Diseño de la pantalla.</i> | 45 |
| 4.2.1 | Explicación. | 48 |
| 5 | Validación. | 51 |
| 6 | Conclusiones | 57 |
| 7 | Bibliografía | 58 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Equipos de la microrred. | 33 |
| Tabla 2. Características de la batería. | 35 |
| Tabla 3. Módulo de energía de pila de combustible | 36 |
| Tabla 4. Características de la batería de litio. | 37 |
| Tabla 5. Pureza del Hidrógeno (sin unidad de secado) | 38 |
| Tabla 6. Especificaciones técnicas del electrolizador. | 38 |
| Tabla 7. CADs de los equipos. | 45 |
| Tabla 8. Variables usadas en la programación del estado de cada equipo | 48 |
| Tabla 9. Variables usadas en los botones de activar o desactivar. | 48 |
| Tabla 11. Relación entre equipos y páginas. | 49 |
| Tabla 10. Relación entre los CADs y las pantallas a las que redirigen. | 51 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Pirámide de Automatización.[2] | 16 |
| Figura 2. Esquemático general de una microrred.[4] | 18 |
| Figura 3. Jerarquía de control en una microrred.[5] | 19 |
| Figura 4. categorías de las microrredes.[6] | 19 |
| Figura 5. Disposición de los componentes básicos de un sistema PLC.[8] | 21 |
| Figura 6. Programa en Ladder.[8] | 22 |
| Figura 7. componentes típicos de un sistemas SCADA.[11] | 24 |
| Figura 8. cables de fibra óptica de vidrio.[11] | 26 |
| Figura 9. Esquema general de la planta. | 30 |
| Figura 10. Esquema eléctrico general de la microrred. | 31 |
| Figura 11. Actual Esquema de comunicaciones OPC del PLC, SCADA y electrolizador. | 31 |
| Figura 12. Pantalla Principal del primer SCADA instalado. [20] | 32 |
| Figura 13. PLC M340 instalado en la microrred. [20] | 34 |
| Figura 14. Esquema de los posibles estados del programa. [20] | 34 |
| Figura 15. Tanque de hidruro metálico.[21] | 35 |
| Figura 16. Disposición del Electrolizador.[24] | 38 |
| Figura 17. Interface del Citect SCADA. | 40 |
| Figura 18. menú del Citect. | 40 |
| Figura 19. Primer diseño de la pantalla principal. | 45 |
| Figura 20. Segundo diseño de la pantalla principal. | 47 |
| Figura 21. Diseño final de la pantalla principal. | 47 |
| Figura 22. Resultados de probar los botones de activado y desactivado en cada uno de los equipos. | 53 |
| Figura 23. Cuadro de pruebas. | 53 |
| Figura 24. Resultados generados al probar la señal de encendido, error, y advertencia. | 54 |
| Figura 25. Resultado de los equipos que demandan energía o hidrógeno. | 55 |
| Figura 26. Resultado de los equipos que suministran energía o hidrógeno. | 55 |
| Figura 27. Página de estado de operación. | 56 |

1 INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia se han desarrollado máquinas que minimizan la fuerza y el trabajo que deben realizar las personas. Así mismo se fueron desarrollando técnicas con las cuales reducir los tiempos de fabricación y mejorar la calidad en los procesos, pero no es sino hasta comienzos de siglo veinte que se empieza a usar la automatización en procesos complejos. [1]

La fabricación automatizada surge de la relación entre las fuerzas económicas e innovaciones técnicas, como por ejemplo la división del trabajo, técnica con la que se incrementa la producción y se reduce el nivel de especialización de obreros. [1]

En la automatización se integran tecnologías clásicas como la mecánica, electrónica, informática, telecomunicación, etc... Esta combinación de tecnologías puede verse representada en la pirámide de automatización, CIM (Computer Integrated Manufacturing), como se puede apreciar en la **Figura 1**. [2]

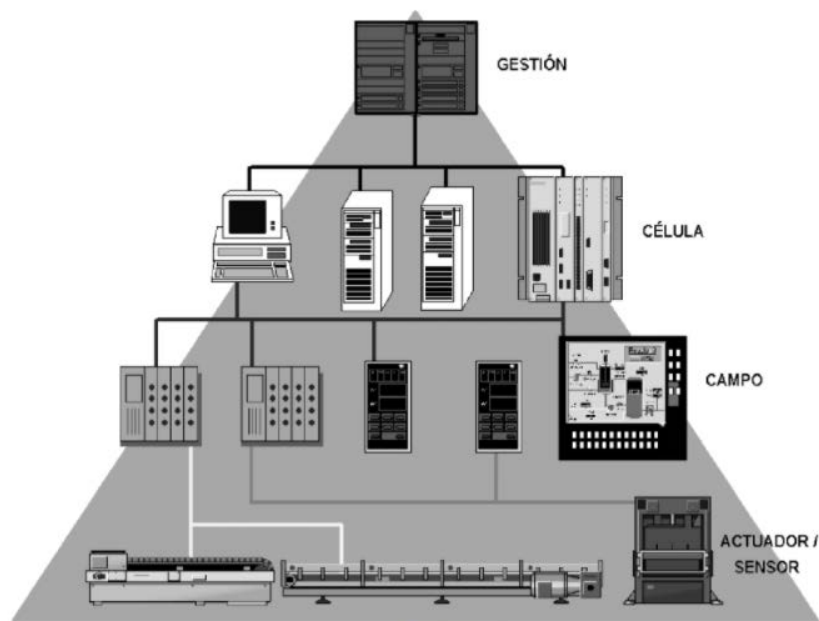


Figura 1. Pirámide de Automatización.[2]

Los niveles de la pirámide son:

Nivel de gestión: Es donde se procesan las tareas de tipo corporativo, y es por este motivo es que maneja grandes cantidades de información. Desde este nivel se puede acceder a cualquier punto de la red y recoger datos del proceso, además de transmitir nuevas consignas de producción.

Los equipos que se encuentran en esta capa son ordenadores personales, grandes equipos informáticos, y minicomputadores. Desde esta capa se accede al exterior mediante el uso de redes WAN-

Nivel de célula: Aquí se procesan las tareas de automatización. La transferencia de información es considerable, convirtiéndose en un aspecto primordial la seguridad de envío de los datos

En este nivel se encuentran los autómatas, PCs, y equipos de visualización.

Nivel de campo: Unifica las instalaciones del proceso con los equipos que los controlan. Se crea una comunicación entre los equipos de control de la maquinaria y los equipos situados en el nivel de célula.

La periferia asignada en la planta, formada por módulos de I/O (entrada/salida), medidores, Pantallas de operador, controles de velocidad o válvulas, requieren de técnicas de transmisión eficiente, que permita trabajar

a tiempo real, utilizando comunicaciones cíclicas o acíclicas.

Nivel actuador sensor: En este nivel, las cantidades de información se reducen a uno o varios bits de información, los equipos situados en este nivel trabajan con muy poca información, y su gestión es relativamente sencilla.

Las interfaces usan técnicas sencillas y de bajo coste, empleando el mismo medio para alimentar a los elementos de campo y transmitir la información por medio de comunicaciones cíclicas.[2]

1.1 Planteamiento del problema y justificación.

Desde que se instaló la microrred del Grupo de Termotecnia en la Universidad de Sevilla, han trabajado en ella. Diferentes técnicos, centrandó su trabajo en la operación de un único equipo o de la microrred en su conjunto. En cualquiera de los casos se ve reflejada la necesidad de poder contemplar de forma rápida y segura, lo que ocurre a tiempo real en la planta.

Desde el punto de vista de seguridad, el hecho de no tener un acceso rápido genera una acción de control demorada al momento de visualizar un comportamiento anormal en la planta, pudiéndose ocasionar un gasto innecesario de algún componente o consumo excesivo de energía. Las personas a cargo de la planta no podrán darse cuenta de forma oportuna si algún equipo está siendo forzado a trabajar con sus capacidades máximas, lo que crea un desgaste prematuro de piezas.

Un sistema que permita una visualización rápida de lo que está ocurriendo en la planta a tiempo real, reduce el tiempo empleado en la búsqueda de información en el proceso, ayuda a una mejor interpretación de lo que ocurre y permite tomar decisiones de forma más sencilla y rápida, además de poder ayudar a tomar acciones correctivas en caso de un mal funcionamiento, o prevenir puntos de operación críticos en la planta.

Los profesores que expongan el funcionamiento de la planta a sus alumnos podrán apoyarse del SCADA para dar una idea gráfica de lo que ocurre en ella, además de poder extraer un histórico de las variables manejadas en la práctica.

1.2 ¿Por qué usar un SCADA?

La implementación de un SCADA en la planta permitiría realizar una monitorización a tiempo real del proceso que se esté realizando, pudiendo extraer el valor de constantes críticas, como pueden serlo la temperatura o presión.

El sistema permite almacenar datos, y pudiendo almacenarlos, se pueden analizar para ser mejorados, y prevenir posibles fallos y un mejor rendimiento. A estos datos se puede acceder desde cualquier lugar, por lo que se puede acceder desde cualquier ubicación.

Este histórico de datos puede ser vendido a otras universidades que no cuentan con la infraestructura para realizar procesos como los que se llevan a cabo en la microrred, para mejorar la infraestructura en la planta.

Se mejora la seguridad para los usuarios que operen la planta, ya que se pueden crear alarmas cuando ocurra algún evento crítico o fuera de lo normal.

Se resuelven problemas de forma remota pudiendo modificar y controlar las operaciones que ocurren en el proceso.

Un sistema SCADA facilita las modificaciones que se tengan que realizar, pudiendo agregar, o hacer una integración completa de todos los dispositivos de la planta, autómatas y PLCs.

Hay un aumento de productividad y eficiencia, gracias al poder tener un control total de todo lo que ocurre desde un solo lugar.

1.3 Marco teórico

Hoy en día los locales, hogares, y negocios están conectados a la red, por este mismo motivo al momento de presentarse algún problema, es necesario cortar el suministro de la red, dejando sin energía a los usuarios por poco o mucho tiempo dependiendo de la gravedad de la avería. Para evitar pasar por esta situación se puede usar una microrred, que generalmente está conectada a la red, pero puede romperse u operar con energía local al momento de corte o avería, estas microrredes pueden ser alimentadas por recursos renovables, generadores o baterías.[3]

1.3.1 Microrred

Una microrred es una red de energía local con capacidad de control, por lo que puede operar siendo desconectada de la red convencional, y seguir operando de forma autónoma.[3]

En la **Figura 2**, se puede ver un diagrama esquemático de una microrred, donde se tiene tanto la generación, como el consumo de energía.

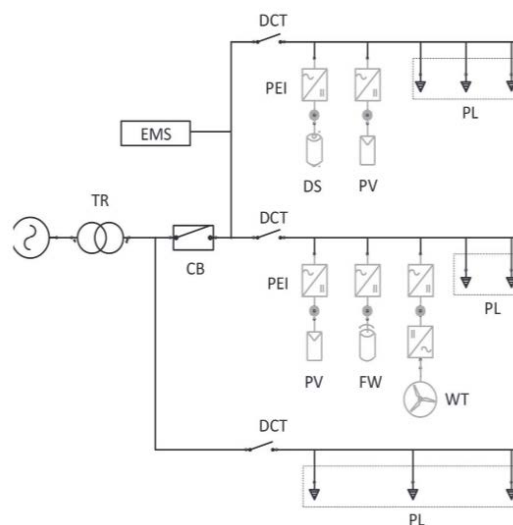


Figura 2. Esquemático general de una microrred.[4]

En cada generación distribuida (GD) en la microrred hay una interfaz de electrónica de potencia (PEI) que permite controlar los variadores de tensión y frecuencia. El interruptor de circuito (CB) y los seleccionadores (DCT), realizan la función de conexión y desconexión de la microrred a la red principal. El circuito cuenta con un controlador central (EMS) encargado de gestionar los estados de operación en los generadores distribuidos (GD), y las decisiones de recepción o envío de energía a la red.[4]

Este circuito tiene un sistema de almacenamiento (DS), que suaviza los picos encontrados en la curva de oferta de potencia. Generalmente este sistema está compuesto por baterías, pero ya se están trabajando con otros sistemas de almacenamiento térmico. Otros componentes del circuito son:

PV (Generador fotovoltaico).

WT (aerogenerador).

FW (volante de inercia).

PL (Consumidor de potencia eléctrica).

TR (Transformador de distribución con el que la red principal guía a baja tensión la energía eléctrica hasta los niveles de servicio en que será distribuido a lo largo de la microrred)

Si se incluyen interfaces de electrónica de potencia, se introducen técnicas de control para las microrredes, como lo son:

Control autónomo o local Plug and Play.

Control Point to Point.

Control EMS o Control Central.

Control basado en tecnología multi-agente, entre otros.

Algunos escritores del tema dan a conocer tres niveles de control en una microrred, esta jerarquía se aprecia en la **Figura 3**.

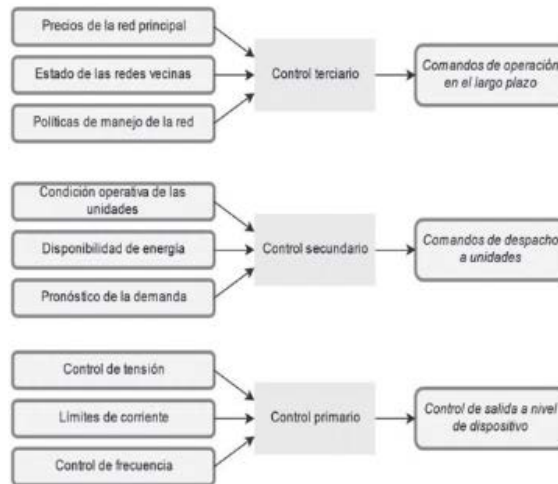


Figura 3. Jerarquía de control en una microrred.[5]

En esta jerarquía el control primario usa la información local para regular los voltajes, frecuencias de la red y corrientes en cada unidad de generación durante eventos transitorios, teniendo en cuenta la potencia activa y reactiva. El control secundario realiza tareas que gestionan la potencia eléctrica además de trabajos relacionados con las decisiones globales de envío o recepción de energía desde y hacia otras redes. Por último, el tercer nivel corresponde a la coordinación de múltiples redes por parte de un agente operador.[4]

Actualmente las microrredes están estructuradas por su modo de conexión a la red principal y su tipo de propiedad, se puede ver un ejemplo ilustrativo en la **Figura 4**.



Figura 4. categorías de las microrredes.[6]

En la figura 4 se muestra sobre el eje x el modo de conexión de la microrred mientras que sobre el eje y están representados los tipos de microrred.

1.3.1.1 Microgrids fuera de la red- Microgrids de compañías eléctricas.

Es uno de los más comunes a nivel mundial, y se suele encontrar en áreas remotas a las que no puede acceder la red convencional. Algunas de estas redes son bases militares, minas, lugares industriales o edificios aislados. Estos tipos de redes poseen energía con pocas pérdidas de producción y se integran con energías renovables bajas en carbono.[6]

1.3.1.2 Microgrids fuera de la red- Microgrids comunitarias.

Estas microrredes se encuentran en lugares donde la red principal esta fuera de alcance, pero a diferencia de la microrredes de compañías, estas abarcan varios activos de la comunidad con la finalidad de asegurar un distribución de energía fiable para todos los servicios comunitarios vitales. Algunos de los beneficios más importantes de estas microrredes, es la baja dependencia de energías no renovables, gracias al uso de energía solar, biomasa, y energía eólica. [6]

1.3.1.3 Microgrids conectadas a la red- Microgrids de compañías eléctricas.

Son redes conectadas en la red principal, con la intención de poder mantener una demanda constante de energía en lugares propensos a sufrir cortes, o en los casos donde la compañía eléctrica ofrece incentivos en precios por la desconexión de ciertas cargas al sistema eléctrico, algunos de estos ejemplos se pueden ver en negocios de corporación, hospitales, centros de datos, campus universitarios, etc. Principalmente, el beneficio de estas microrredes se ve reflejado en las facturas de energía, la capacidad de recuperación, y el uso de fuentes renovables.[6]

1.3.1.4 Microgrids conectadas a la red- Microgrids comunitarias.

Estas microrredes están conectadas a la red principal, o son administradas como una unidad despachable, con intercambios de energía optimizados con la red, y tienen múltiples consumidores y generadores. Los principales beneficios que se obtienen con este tipo de redes es que se logra optimizar el costo de la energía, y se garantiza la capacidad de recuperación, sin mencionar que se integran más fuentes renovables. Algunos ejemplos de estas redes se pueden encontrar en campus de negocios de ciudades, pequeños municipios, pueblos ecológicos, o eco-distritos.[4]

1.3.2 PLC

En la industria ha surgido la necesidad de tener controladores de bajo coste, que sean fáciles de programar, fiables, robustos y de fácil puesta en marcha, es por este motivo que se desarrollaron los controladores lógicos programables (PLC), ya que ofrecen:

- Fácil programación y reprogramación, pudiendo ser modificado en planta, para reducir el tiempo empleado en desplazamientos, sin necesidad de alterar la secuencia normal de operación.
- Facilita el mantenimiento y reparación.
- Al permitir una reprogramación se reduce la cantidad de material usado a la hora de realizar una modificación, por lo que su uso resulta favorable al medio ambiente.
- Tiene unas dimensiones menores que su equivalente de relé.
- El costo es inferior comparado con los sistemas de relés de estado sólido.

El PLC fue diseñado por primera vez por General Motors of America en 1968, como solución a la necesidad de reprogramación al momento de fabricar un nuevo modelo de coche.[7]

1.3.2.1 Sistema PLC

Un sistema PLC consta de cinco componentes básicos, que son:

Unidad procesadora o unidad central de procesamiento (CPU) la cual contiene el microprocesador, que interpreta las señales de entrada y realiza las acciones de control comunicando las decisiones a forma de señales

de acción a las salidas.

Unidad de fuente de alimentación encargada de pasar la corriente alterna (CA) a corriente continua (CC), y a el voltaje que requiera el PLC para el correcto funcionamiento del procesador, circuitos, y módulos de interfaz de I/O.

Dispositivo de programación, usado para ingresar el programa requerido a la memoria del procesador. El programa se realiza en el dispositivo y puede ser transferido a la memoria del PLC.

La unidad de memoria es el lugar en donde se almacena el programa con el cuál se realizarán las acciones de control que va a llevar a cabo el microprocesador.

Secciones de entrada y salida en donde el procesador recibe y envía información a los diferentes dispositivos conectados a él. Cada una de las entradas y salidas tiene su propia dirección en el sistema. Las entradas al dispositivo pueden ser interruptores, y las salidas pueden ser bobinas. Estos canales de salidas proporcionan funciones de acondicionamiento de señal y aislamiento, para poder conectar sensores y actuadores sin necesidad de otros circuitos. El aislamiento eléctrico con el exterior se suele realizar mediante optoacopladores. Las salidas suelen ser especificadas de tipo relé, transistor o triac.[8]

En la **Figura 5** se muestra una disposición básica de los componentes básicos de un sistema PLC.

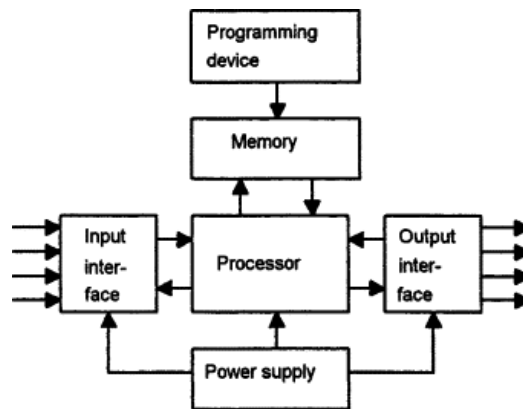


Figura 5. Disposición de los componentes básicos de un sistema PLC.[8]

1.3.2.1.1 Programación PLC.

En la actualidad existen dos tipos de lenguajes con los que poder programar un PLC, ya sean los lenguajes de tipo visual o escritos, también llamados lenguajes gráficos y textuales.

Se conocen como de bajo nivel aquellos lenguajes que compilan directamente con el microprocesador, siendo lenguajes antiguos y complejos que describen todas las instrucciones a ejecutar. Los lenguajes de alto nivel están provistos de una interfaz gráfica que facilitan la programación, pero a su vez limita sus parámetros preestablecidos.[9]

1.3.2.1.1.1 Lenguajes de bajo nivel.

1.3.2.1.1.1.1 Lista de instrucciones(STL o IL)

Usado normalmente en pequeñas aplicaciones, esto a causa de la complejidad en su estructura. Usa instrucciones de mando que el procesador obedece siempre y cuando exista la parte operacional y el operando que da respuesta a la operación.[9]

1.3.2.1.1.1.2 Texto estructurado(ST)

Este tipo de lenguaje usa expresiones aritméticas complejas con valores digitales y analógicos, disponiendo de estructura para bucles, funciones y condicionales, además soporta ciclos de interacción y alterna letras mayúsculas y minúsculas en su código. Incluye formulación de las tareas del programa.[9]

1.3.2.1.1.2 Lenguajes de alto nivel

1.3.2.1.1.2.1 Diagrama Ladder o de contacto(LD)

Una forma básica de programación usada en los PLCs es programación en Ladder. En este tipo de diagrama tiene la fuente de alimentación representada con dos líneas verticales situadas en los laterales, y las conexiones

en el circuito se representan con líneas horizontales un ejemplo de este tipo de programación se ve representado en la **Figura 6.(b).**[8]

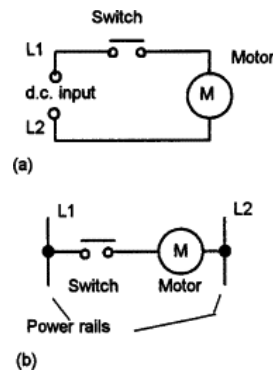


Figura 6. Programa en Ladder.[8]

1.3.2.1.1.2.2 Diagrama de bloques(SFD)

Este tipo de representación gráfica usa símbolos lógicos, en donde su elemento característico son los bloques de función, en estos bloques están albergadas las variables que transforman la secuencia.

Las señales de salida son el resultado del producto entre la señal de entrada y la operación del bloque que representa una variable asignada (estas variable nunca se conectan entre sí). [9]

1.3.2.1.1.2.3 Diagrama de funciones secuenciales(SFC)

Es una representación diagramática de secuencias de control en un programa en donde se pueden organizar las subrutinas que afectan al producto de las funciones posteriores.

La energía fluye en el programa cada vez que se cumple una condición, este lenguaje proviene del estándar francés GRAFCET.

Las secuencias del diagrama de funciones secuenciales son representadas por cajas rectangulares que almacenan las etapas que están conectadas mediante líneas verticales llamadas transiciones, y finalmente los elementos condicionales son aquellos que desbloquean la acción para continuar con las siguientes funciones.[9]

1.3.3 SCADA

El sistema SCADA (sus siglas en ingles son: Supervisory Control and Data Adquisition que en español se traduce como Control de Supervisión y Adquisición de Datos)es empleado con la finalidad de poder supervisar y adquirir datos de un determinado proceso, siendo un software o grupo de aplicaciones implementadas en un PC, permiten la interacción entre el operario y la máquina, ya que mediante una interfaz amigable, se puede simular el proceso que se desea controlar sin necesidad de que la persona a cargo se encuentre manipulándola presencialmente, evitando de esta manera desplazamientos innecesarios, y permitiendo una mejor supervisión.

El término maestro SCADA se suele usar a la hora de referirse a la estación maestra, teniendo en cuenta el hardware y software. Los maestros SCADA solían estar destinados a comunicaciones con terminales remotas (RTU's), puesto que anteriormente, la estación maestra y la RTU formaban el núcleo del SCADA. Posteriormente el software SCADA fue capaz de comunicarse con los PLC's, y actualmente el software es capaz de comunicarse prácticamente con cualquier tipo de dispositivo dotado de comunicaciones avanzadas.

Los primeros maestros de SCADA era software sin compatibilidad entre proveedores, pero con el auge de las computadoras, los proveedores se vieron obligados a desarrollar productos compatibles con el uso de los PC's, pudiendo ser ejecutados hoy en día la mayoría de los productos creados por los principales proveedores de software SCADA en un PC. En los casos de software SCADA aplicados a la automatización de sistemas de potencia hay algunos proveedores de SA que usan su propio software patentado, mientras que otros usan software SCADA desarrollado por desarrolladores independientes con capacidad de admitir multitud de protocolos de comunicación.

El éxito en el funcionamiento de un SCADA depende del hardware, software, unas comunicaciones fiables, y

la integración de diversos componentes del sistema.[10]

A medida que aumentaba la necesidad de tener sistemas más pequeños e inteligentes, se empezaron a diseñar sensores con la inteligencia de los PLC y los DCS (controles distribuidos de sistemas). A estos dispositivos se les conoce como IED's (dispositivos electrónicos inteligentes). Estos IEDs se conectan en un bus de campo, como profibus, devicenet, o foundation fieldbus al PC. Estos sensores tienen la inteligencia necesaria para adquirir datos, comunicarse con otros dispositivos y mantener su parte del programa general. Un IED podría combinar un sensor de entrada analógica, control PID, sistema de comunicación, y memoria de programación en un dispositivo.[11]

1.3.3.1 Requisitos para la estación maestra SCADA

Algunas funciones que debería realizar una estación maestra SCADA en un sistema automatizado son:

- Mostrar datos en tiempo real recibidos de los IED, relés, controladores de bahía, RTU o PLC conectados al sistema.
- Mantener registros históricos de los datos recibidos, y recuperación de estos cuando sea necesario.
- Activación de alarmas cuando sea necesario.
- Visualización de informes de secuencia de eventos y registros de perturbaciones cuando sea necesario.
- Brindar una interfaz de operador activa para realizar supervisión y control remoto.
- Control sobre la comunicación de la red, según el protocolo usado.

1.3.3.2 Ventajas y desventajas de los sistemas PLC/ DCS SCADA

1.3.3.2.1 Ventajas:

- El PC puede guardar y registrar gran cantidad de datos.
- Los datos pueden ser mostrados a gusto del usuario.
- Pueden ser conectados al sistema gran cantidad de sensores que abarcan una amplia zona.
- El operador puede añadir al sistema simulaciones de datos reales.
- Brinda la facilidad de observar datos desde cualquier lugar.
- Se pueden recopilar gran variedad de datos provenientes de las RTU.

1.3.3.2.2 Desventajas

- La complejidad del sistema es mayor que la del sensor a tipo de panel.
- Se requieren habilidades de análisis de sistemas además de programación.
- Al conectar gran cantidad de sensores, aumenta proporcionalmente el cableado a conectar.
- El operador sólo puede ver hasta el PLC.

1.3.3.3 SCADA Hardware

El Sistema SCADA consiste en un número de RTUs que recopilan los datos de campo y los envían a una estación maestra por medio de un sistema de comunicación. La estación maestra muestra los datos adquiridos y permite realizar operaciones remotas o tareas de control al operador.

Si se tiene unos datos precisos y oportunos, se puede optimizar el funcionamiento del procesador y la planta, lo que genera una mayor eficiencia, fiabilidad, y seguridad.

El RTU proporciona una interfaz para los sensores de campo digitales o analógicos situados cada uno en un lugar remoto.

El sistema de comunicaciones proporciona una comunicación entre la estación maestra y los sitios remotos, este sistema puede ser por medio de cable, fibra óptica, línea telefónica, radio, microondas o satélite.

La estación maestra o submaestra recoge los datos de las RTUs y normalmente ofrece al operador una interfaz

que permite al operador visualizar y controlar la información de los sitios remotos. En grandes sistemas de telemetría, la estación submaestra recoge la información de los lugares remotos y actúa como un relé de vuelta a la estación maestra de control.[11]

1.3.3.3.1 Jerarquías en sistemas SCADA complejos.

En los sistemas SCADA complejos, se pueden distinguir esencialmente cinco niveles o jerarquías:

- Instrumentación a nivel de campo y dispositivos de control.
- RTU y terminales de clasificación.
- Sistema de comunicaciones.
- La/s estación/es maestra/s.
- Sistema informático del departamento de procesamiento de datos comerciales.

1.3.3.4 SCADA Software

El software SCADA se encuentra libre o privado. Las empresas que desarrollan software privado para comunicarse con su hardware presentan el problema de crear una gran dependencia del proveedor del sistema. Por otro lado, los sistemas de software abierto permiten interoperabilidad entre equipos de diferentes fabricantes en el mismo sistema. Los componentes típicos de un sistema SCADA se muestran en la **Figura 7**. [11]

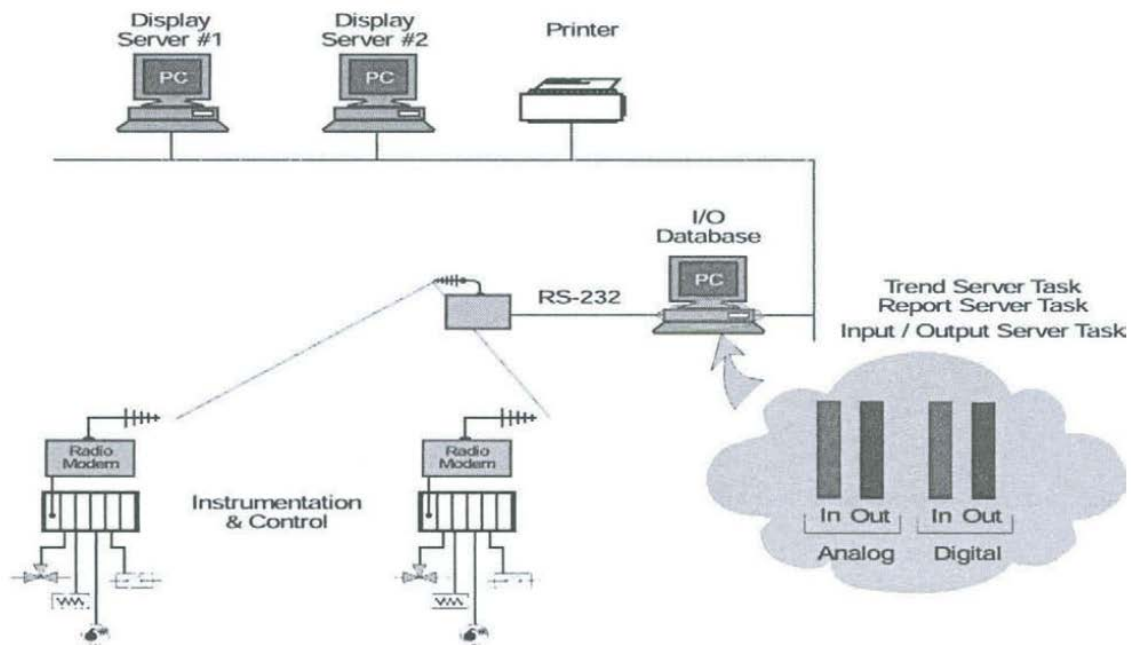


Figura 7. componentes típicos de un sistemas SCADA.[11]

Algunos software SCADA son:

1.3.3.4.1 Siemens WinCC.

Es un sistema implantado y potente. Puede vincularse con SO (sistemas operativos) Windows, por lo que se facilita el proceso de conexión.

Este software SCADA permite trabajar con sistemas multipuesto y monopuesto. Permite la visualización de los procesos de forma escalable y con constante monitorización. [12]

1.3.3.4.2 Simatic Scada

Software de Siemens, con características de sistemas HMI de fácil integración, y facilidad de migración.[12]

1.3.3.4.3 LabView

Disponible dentro de la suite de LabView (de National Instruments). Tiene como fortaleza la velocidad de acceso

a los dispositivos conectados. Este software tiene un método de programación basado en gráficos.

A causa de la facilidad de su control, se disminuye el tiempo de supervisión. Posee también una buena integración con terceros.[12]

1.3.3.4.4 Citect SCADA

Es un software de Schneider Electric es una poderosa solución intuitiva de monitoreo a tiempo real, también proporciona herramientas de configuración intuitivas y potentes funciones de ingeniería para consolidar y optimizar el control. Capacidades de visualización sólidas que proporcionan una visión holística de las operaciones.[13]

1.3.3.4.5 Freescada

Solución Open Source que permite a las empresas utilizar el código fuente y realizar los cambios que consideren necesarios. Además permite adaptar la fuente a las características de normativa y control específicos.[12]

1.3.3.4.6 Wincos

Reconocido Software en la industria, así como su tecnología Manufacturing Execution System.

Su sistema de análisis y detección de errores abarca casi todos los procesos que pueda tener una industria.

Analiza los tiempos de consumo, nivel de energía, parada, entre otros. Por lo que cuenta con ochenta módulos y numerosos tipos de sensores.[12]

1.3.3.4.7 Características clave del software SCADA.

- Interfaz de usuario.
- Pantallas de gráficos.
- Alarmas.
- Tendencias.
- Interfaz RTU(y PLC).
- Escalabilidad.
- Acceso a datos.
- Base de datos.
- Redes.
- Tolerancia a fallos y redundancia.
- Procesamiento distribuido cliente/servidor.

1.3.3.5 Líneas terrestres para SCADA.

Dada la cantidad de cable usado para conectar los diferentes equipos al sistema SCADA, se pueden generar problemas de interferencia o ruido, factores muy relevantes a la hora de implementar un sistema de comunicación de datos.

El uso del cable de par trenzado blindado categoría cinco es un requisito en la mayoría de los sistemas. Al usar un buen cable y unas técnicas de instalación correctas aseguran que el sistema estará libre de ruido tanto como sea posible. Actualmente ha ido ganando popularidad el cable de fibra óptica por su inmunidad al ruido. En la **Figura 8** se muestra un diagrama de cables de fibra óptica de vidrio.[11]

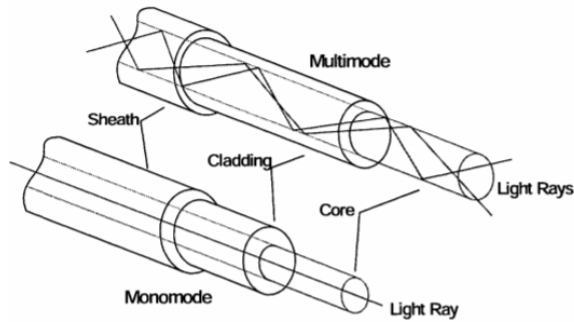


Figura 8. cables de fibra óptica de vidrio.[11]

1.3.4 Protocolos de comunicación en redes industriales.

Los protocolos de comunicaciones industriales son un tipo de estandarización. Estos protocolos son usados con la intención de trabajar a nivel internacional con los mismos protocolos de comunicación.[14]

Principalmente existen dos tipos de protocolos de comunicación estándares:

1.3.4.1 Factory bus

Son redes utilizadas en el nivel más alto de control en la fábrica.[14]

1.3.4.2 Field bus.

Situado en la parte más baja de comunicación, usada para la comunicación entre sensores y actuadores del proceso.

El nivel en donde están situados los sensores y controladores, la comunicación se realiza por medio de un bus de campo. En este nivel la comunicación se realiza a través de autómatas programables o robots.

Con el uso de PLC's se controlan los buses de campo, y con ello poder tener una comunicación con varios dispositivos.[14]

1.3.4.3 Bus de Comunicación .

El bus de campo se encuentra en el nivel más bajo dentro de la estructura de comunicaciones industriales, realiza la función de medio de conexión entre diferentes equipos permitiéndoles intercambiar datos entre sí en cualquier momento y lugar.[14][15]

Hay diversos buses, algunos de los más extendidos son:

1.3.4.3.1 Modbus Modicon:

marca registrada de GOULD INC. Define un protocolo de comunicación de topología maestro- esclavo, con el gran inconveniente de no estar reconocido de forma internacional. Modbus se suele usar en la conexión entre una RTU(Unidad remota)y un PC en sistemas SCADA[15] [16]Los más utilizados actualmente son:

1.3.4.3.1.1 Modbus TCP/IP

Permite a equipos como PLC's, drivers para motores, PC's y otros dispositivos físicos de I/O comunicarse sobre una red Ethernet.[16]

1.3.4.3.2 BITBUS.

Registrado por Intel, pero se considera un estándar abierto. Está reconocido por la normativa IEE 1118. Es un bus síncrono con un protocolo gestionado completamente por el microcontrolador 8044. Es de tipo maestro/ esclavo, permiten 56 conexiones esclavo.[15][16]

1.3.4.3.3 Profibus.

Promocionado por los principales fabricantes alemanes. Está impulsado por ser un estándar abierto y bajo la norma DIN 19.245, y su interfaz permite una amplia aplicación en procesos, fabricación y automatización predial.[15][16][14]

Profibus ofrece las siguientes versiones:

1.3.4.3.3.1 Profibus-DP

Usado para conseguir una alta velocidad de transmisión. Es de tipo plug&play, con sus equipos identificados unitariamente, y esta especialmente diseñado para establecer comunicación entre el controlador programable y los dispositivos de I/O a nivel de campo.[14][16]

1.3.4.3.3.2 Profibus-PA

Diseñado para conseguir una comunicación a alta velocidad y fiable en ambientes donde exista peligro de explosión, además de permitir que sensores y actuadores puedan estar conectados en una única línea de bus.[14][16]

1.3.4.3.3.3 Profibus-FMS

Bus usado para comunicar dispositivos principales, en donde importa más el volumen de información y no el tiempo de respuesta, siendo este el nivel más alto soportado por Profibus.[14][16]

1.3.4.3.4 S-BUS.

No es un bus de campo, sino un sistema multiplexor/demultiplexor que permite conexión de I/O remotas por medio de dos pares trenzados.[15]

1.3.4.3.5 FIP(Factory Instrumentation Bus)

Impulsado por fabricantes y organismos franceses.[15]

1.3.4.3.6 MIL-STD-1553B

Usado por fabricantes en USA. [15]

1.3.4.3.7 Profinet.

Basado en Ethernet industrial, TCP/IP y algunos estándares de comunicación pertenecientes al campo IoT(Internet Of Things que en español se traduce como: Internet de las cosas). Es Ethernet en tiempo real, en donde los dispositivos comunicados por el bus de campo acuerdan cooperar en el procesamiento de solicitudes que se realizan en el bus. [16]

Existen varios protocolos dentro del contexto Profinet, los cuales son:

1.3.4.3.7.1 Profinet/CBA.

Asociado a aplicaciones de automatización distribuida en entornos industriales. [16]

1.3.4.3.7.2 Profinet/DCP.

Protocolo basado en la capa de enlace, usado para configurar nombres de dispositivos y direcciones IP. [16]

1.3.4.3.7.3 Profinet/IO.

También llamado Profinet-RT (Real Time), usado en Comunicaciones con periféricas descentralizadas. [16]

1.3.4.3.7.4 Profinet/MRP.

Empleado en redundancia de medios. usa los principios básicos de reestructuración en caso de sufrir una avería en redes con topología de anillo. [16]

1.3.4.3.7.5 Profinet/MRRT.

Busca dar solución a la redundancia de medios para Profinet/RT. [16]

1.3.4.3.7.5.1 *Profinet/PTCP.*

Realiza control de precisión de tiempo real basado en la capa de enlace, con la finalidad de sincronizar señales de reloj/tiempo en varios PLC. [16]

1.3.4.3.7.5.2 *Profinet/RT.*

Transferencia de datos a tiempo real. Profinet/IRT (transferencia de datos isócrono en tiempo real). [16]

1.3.4.3.8 *Serial attached SCSI(SAS)*

Es una tecnología de transferencia de datos hacia dispositivos de almacenamiento, sucesor del SCSI, aumentando la velocidad, y rapidez en la conexión y desconexión. Puede gestionar una tasa de transferencias, si se aumenta la cantidad de dispositivos conectados, serán más rápidas las transferencias. [16]

Los protocolos de comunicación con los que cuenta SAS son:

1.3.4.3.8.1 *SSP(Serial SCSI Protocol)*

Permite el transporte de comandos SCSI entre dispositivos SCSI. [16]

1.3.4.3.8.2 *STP(Serial ATA Tunneled Protocol)*

Permite el transporte de comandos ATA Hacia múltiples dispositivos SATA. [16]

1.3.4.3.8.3 *SMP(Serial Management Protocol)*

Permite el transporte de las funciones de gestión del dominio. [16]

1.3.4.3.9 *EtherCAT*

Protocolo de código abierto para informática, de alto rendimiento que usa protocolos ethernet en el ambiente industrial siendo uno de los protocolos más rápidos en la actualidad. EtherCAT es un estándar abierto publicado como especificación del IEC basada en entrada del grupo de la tecnología de EtherCAT.

EtherCAT puede ser accionado con o sin interruptores, adecuado para ambientes industriales o de control, es idóneo para aplicaciones rápidas.

Sus capacidades de sincronización y utilización completa del ancho de banda son ideales en aplicaciones en las que se requiere de un gran número de unidades. Encaja en el espectro de aplicaciones de ethernet en donde el rendimiento, la topología y el costo general de implementación es un factor determinante. [16]

1.3.4.3.10 *DeviceNet*

Usado en la industria de automatización para interconectar dispositivos de control para el intercambio de datos. Permite que los dispositivos individuales se comuniquen con el controlador de red.

Proporciona un sistema de cable único, fácil de conectar y de operar, diseñado para dispositivos más simples. Una de las características del AS-INTERFACE es que puede conectar con el PLC de manera sencilla, directa y a modo de enlace descentralizado con sistemas de bus situados aguas arriba. [16]

1.4 Estado del arte

1.4.1 Proyectos de Microrredes.

Algunos proyectos que se han manejado con universidades nacionales son, por ejemplo:

1.4.1.1 *MIREN-CON(Micro generación -Minigeneración Renovable/Microgeneration-Minigeneration with Renewal Sources)*

Proyecto liderado por el grupo ZiV, Universidad de Zaragoza, centro de Desarrollo de energías

renovables(CEDER-CIEMAT), y la universidad complutense de Madrid. En este proyecto se desarrolló una infraestructura avanzada de medición y control, convirtiendo la red eléctrica del CEDER en una red inteligente. Las instalaciones que se encuentran en el ceder son: generadores de energía eólica, generadores de energía solar, micro – turbinas, volantes, además de otros elemento de última generación.[17]

Con este proyecto se han podido desarrollar trabajos como:

1.4.1.1.1 Estudio comparativo de diferentes configuraciones de red.

En este estudio se usó un entorno de simulación de microrredes en tiempo real de forma paralela con sus propias curvas de carga y condiciones meteorológicas, en este estudio se realizó una comparativa del comportamiento de las microrredes controladas automáticamente con respecto a aquellas que no cuentan con una supervisión. Para lograr esta comparativa, se usaron cuatro microrredes de forma simultánea, con la misma topología, pero a algunas se les añadieron nuevos elementos. El resultado obtenido de la generación renovable reduce la energía exportada al final de la simulación, además de observar una reducción de la energía importada y otra en la factura al momento de incluir una gestión de baterías.

1.4.1.1.2 Simulación autónoma de microrredes.

En este proyecto se desarrolló un marco que permite la experimentación con cuadrículas de forma realista. Procesando las decisiones del sistema por medio de una herramienta microgrid llamada gridlabd, con la que se logra realizar un análisis estático de una microrred para determinar configuraciones de microrredes estables o de sobrecarga.

1.4.1.1.3 Gestión de respuesta a la demanda basada en inteligencia computacional en una microrred

Este proyecto propone un sistema de gestión de respuesta a la demanda(DRM), en el cuál un proveedor de servicios determina una solución óptima para la empresa de servicios públicos y los clientes en un entorno de microrred. Para el desarrollo del proyecto se usó una microrred que consta de un vecindario inteligente de doce clientes como base de estudio experimental y se usó una infraestructura de medición avanzada(AMI) con una estrategia de beneficio mutuo. Este proyecto empleó el método de punto interior para resolver la función de punto objetivo y se exploró la aplicación de la optimización del enjambre de partículas y los sistemas inmunes artificiales para la respuesta a la demanda.[18]

1.4.2 Otros temas que se están trabajando actualmente en las microrredes

En la actualidad los métodos de control de caída se han investigado ampliamente y de han adoptado para poder compartirlo dentro de una microrred, lo que les da la capacidad de eliminar enlaces de conmutación decisivos entre las generaciones distribuidas. Pero, por otro lado, el control de caída tradicional carece de un rendimiento transitorio eficiente, existe un conflicto connatural entre la precisión de la distribución de energía y las desviaciones de frecuencia / voltaje, etc. Últimamente, se ha previsto que un control jerárquico en las microrredes juega un papel especialmente importante, puesto que tiene la ventaja de lograr mantener la fuerza del control de caída, elimina las desviaciones de frecuencia / voltaje, y guía los flujos de energía hacia la red y desde la red.

Recientemente se ha trabajado en solucionar los problemas ocasionados por la demanda variable de energía, como lo es una frecuencia inestable, voltaje inestable, y la interacción de energía compleja en la red eléctrica. Para solucionar estos problemas se han empezado a usar modelos de control predictivo (MPC) o también llamado control de horizonte en retroceso en sistemas de generación distribuidas equipados con convertidores de potencia o microrredes con múltiples RES(Renovable Energy Solutions), es por esto por lo que los comportamientos de control óptimos se deciden en función de una serie de funciones de coste predefinidas. Es por este comportamiento que el MPC proporciona grandes ventajas .[19]

2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1 Objetivos

2.1.1 General.

- Desarrollo de la interfaz gráfica del PLC de la microrred “HyLab” del Grupo de Termotecnia de la Universidad de Sevilla.

2.1.2 Específicos.

- Realizar un reconocimiento de los componentes instalados en la planta.
- Realizar CADs de los equipos, para darle un mejor aspecto a la HMI.
- Estudio del estado del arte de software para el control/visualización de PLC's

2.2 Diagrama general de la planta.

La planta ha sido diseñada siguiendo el diagrama de Grantt. El diseño de esta planta facilita en funcionamiento individual o conjunto de los equipos, lo que favorece a la modelación de sus componentes, además de permitir seguir operando en casos de mantenimiento o avería.

Desde el punto de vista académico, su estructura permite la realización de prácticas en donde se pueda combinar el funcionamiento de los equipos.[20]

En la **Figura 9**, se aprecia un esquema general de la conexión de los dispositivos en la planta.

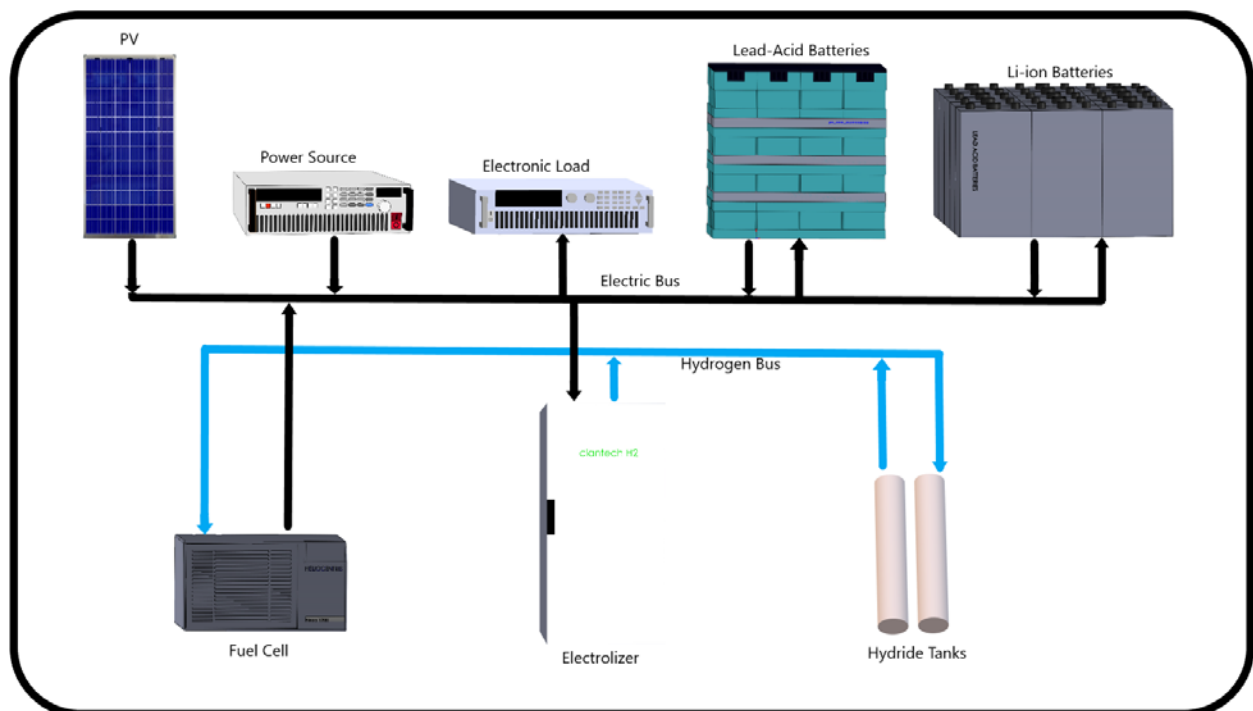


Figura 9. Esquema general de la planta.

Los equipos se encuentran conectados entre sí a través de un bus de corriente en CC, con un voltaje de 48V mantenido por el banco de baterías. La fuente electrónica puede emular la potencia originada por diversos tipos de fuentes renovables, y el exceso de energía podrá ser almacenado en las baterías o por medio de la producción de hidrógeno.

En la **Figura 10** se observa un esquema eléctrico de la instalación en la microrred HyLab.

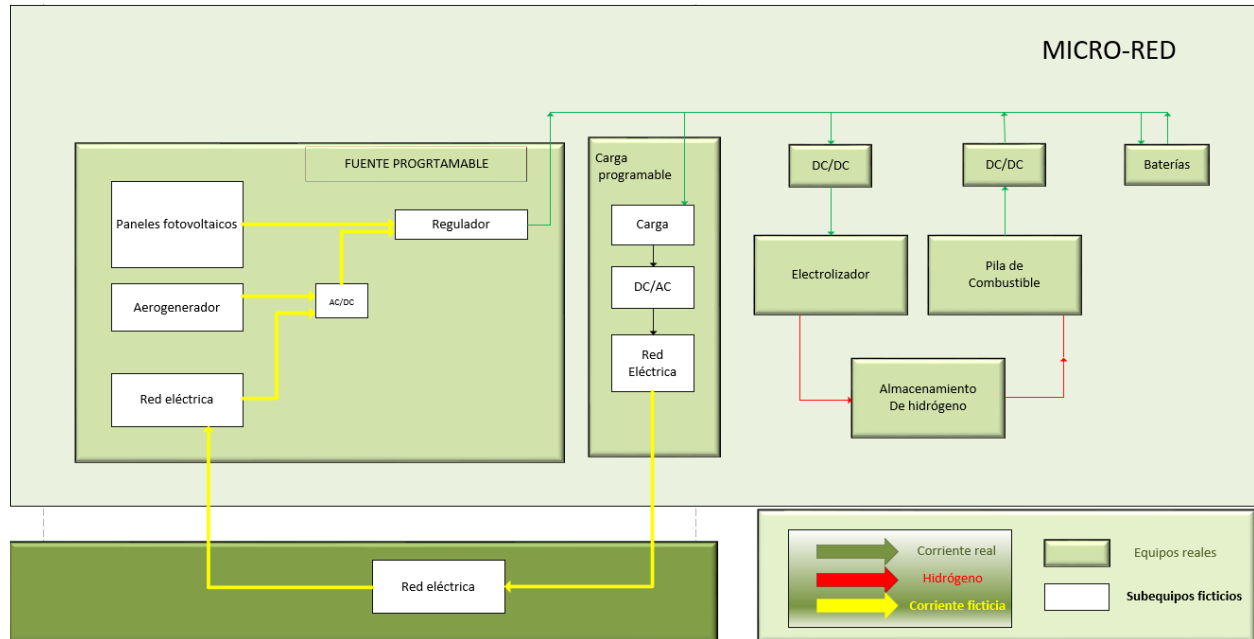


Figura 10. Esquema eléctrico general de la microrred.

2.3 Descripción del funcionamiento de la planta.

La planta esta esta dotada con un PLC a donde llega toda la información recogida por los sensores instalados, también realiza la gestión de las electroválvulas y de los diferentes set-points de los equipos. La microrred cuenta con un sistema de comunicación basado en CANOpen. El control de la pila de combustible y de los convertidores de potencia se controlan por medio del bus CAN. El electrolizador se comunica con el PLC principal mediante comunicación OPC (Ole Process Control). Actualmente hay un sistema SCADA instalado que funciona a modo de intercambiador de variables entre el PLC del electrolizador y el del control general, con este sistema los servidores pueden leer y escribir variables en el PLC de la planta y proporcionar información relevante.[20]

En la **Figura 11** se muestra el sistema de comunicaciones actuales en el HyLab.

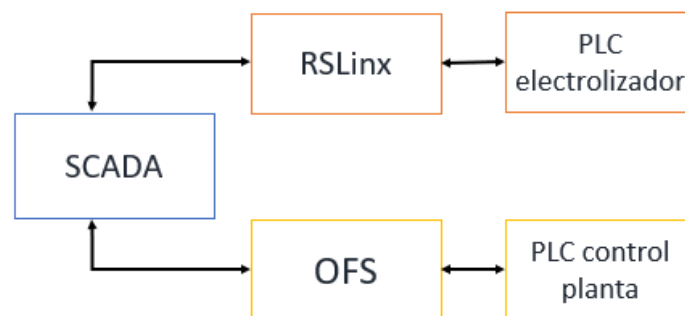


Figura 11. Actual Esquema de comunicaciones OPC del PLC, SCADA y electrolizador.

El SCADA que está instalado actualmente consta de seis pantallas que despliegan una sub-pantalla al momento de pulsar sobre ellas, con estas pantallas se puede registrar, visualizar, y guardar las variables del sistema.

El sistema cuenta con un dispositivo virtual para el guardado de parámetros de configuración, este dispositivo revisa cada dos segundos si coinciden los valores de las variables guardadas en el PLC con los valores almacenados en el dispositivo. El sistema también cuenta con dos bases de datos en formato DBF (Data Base File) que suministrará los datos de generación y demanda al SCADA, y de este al PLC de control.[20]

En la **Figura 12** se muestra la pantalla principal del SCADA instalado actualmente.



Figura 12. Pantalla Principal del primer SCADA instalado. [20]

3 ESPECIFICACIONES DE LOS COMPONENTES.

A continuación, se realizará una descripción de los elementos que forman parte de la microrred.

3.1 Equipos

En la **Tabla 1** se realizará un listado de los equipos que componen la microrred, así como la capacidad nominal que poseen.

Tabla 1. Equipos de la microrred.

| Equipo | Capacidad Nominal | Fabricante |
|--------------------------------|----------------------------|--------------|
| Fuente Electrónica programable | 6 kW | POWERBOX |
| Carga Electrónica programable | 2.5 kW | AMREL |
| PLC | M340-Canbus | SCHNEIDER |
| Banco de baterías plomo-ácido | C ₁₂₀ = 1106 Ah | EXIDE |
| Tanques de Hidruros metálicos | 14 Nm ³ , 5 bar | LABTECH |
| Pila de combustible PEM | 1.2 kW | HELIOCENTRIS |
| Baterías de iones de litio | 100 Ah | GBS |
| Paneles solares(A-265P) | 4 kW pico | ATERSA |
| Electrolizador PEM (ELS500) | 500NI/h a 30 bar | HELIOCENTRIS |
| Convertidores DC/DC | 1.5 kW, 1 kW | WINDINERTIA |

3.1.1 Fuente Electronica programable.

Esta Fuente cuenta con una alimentación trifásica, con protección eléctrica. Esta dotada de una serie de puertos de comunicación analógica en tensión con los que se puede establecer una consigna de control remoto a forma de consigna de tensión y otra de corriente, los puertos están conectados a las salidas analógicas del PLC. Teniendo en cuenta que el PLC realiza un control en corriente, por lo que convierte las señales de control a voltaje de 0-10 Volts en DC, y que la fuente cuenta con dos puertos para la medición de voltaje y corriente real de funcionamiento, al conectar estas señales al PLC se logra una realimentación de control.[20]

3.1.2 Carga electronica programable.

La carga electrónica esta alimentada con corriente alterna monofásica, alimentación situada aguas debajo de la protección contra contactos indirectos que hay instalada, así como de la protección contra sobrecorrientes con la que cuenta el laboratorio en donde está instalada la microrred.

Esta carga puede ser controlada según el modo escogido; corriente, resistencia, tensión o potencia. Además de esto cuenta con una señal de consigna con la que se puede controlar proporcionalmente el modo elegido, señal que estará conectada a la salida digital del PLC. La carga cuenta con dos puertos de señales para medidas de tensión y corriente real de funcionamiento, señales que estarán conectadas a las entradas analógicas del PLC. [20]

3.1.3 PLC.

El PLC instalado en la microrred es de la casa Schneider Electric, de CPU BMC P34 20302, con una fuente de alimentación CPS2000, un módulo de entradas digitales DDI1602, tres módulos de entradas analógicas AMI 0402, un módulo de salidas digitales DDO1602, y dos módulos de salidas analógicas AMO 0210. [20]

En la **Figura 13** se ve el PLC instalado en planta.



Figura 13. PLC M340 instalado en la microrred. [20]

El esquema de control con el que cuenta el PLC puede ser descrito por el esquema presentado en la **Figura 14**.

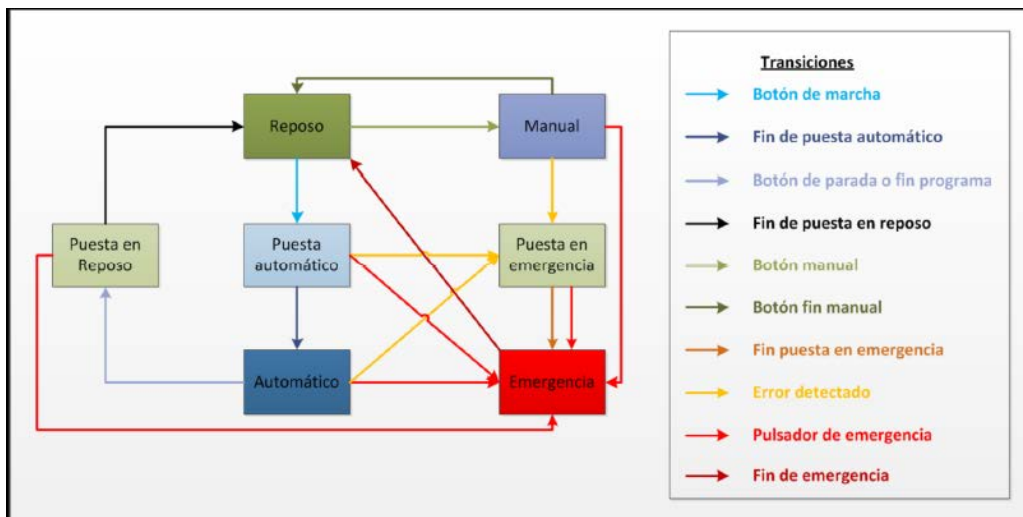


Figura 14. Esquema de los posibles estados del programa. [20]

El PLC está encargado del control primario del sistema, a este le llegan todas las variables del sistema, y se encarga de supervisar un correcto funcionamiento. Si una variable se encuentra fuera de rango, el sistema entra en estado de emergencia, logrando prevenir así posibles accidentes.

3.1.4 Baterías de plomo ácido.

La microrred cuenta con 24 monobloques de dos voltios nominales cada uno. Estas baterías de tipo estacionario cuentan con una capacidad de $C_{120} = 1106$ Ah. Son usadas como dispositivo secundario de almacenamiento de energía, con la intención de suavizar aquellos desajustes creados durante la generación y demanda en la red. [20]

Las características se muestran en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Características de la batería.

| Característica | valor |
|---|-----------|
| Tensión Nominal (V) | 2 |
| Capacidad de batería | 1154 |
| Capacidad Nominal C120, 1.85 Vpe 25°C (Ah) | 1106 |
| Rango de Capacidad Batería C120, 1.85 Vpe 25°C (Ah) | 1001-5000 |
| Amperios-Hora (C120) | 1154 |

3.1.5 Tanques de Hidruros metálicos.

El hidruro es un material poroso que está dispuesto en el interior de los cilindro de una estructura de acero inoxidable en forma de intercambiador de carcasa y tubo que forman el tanque de almacenamiento de hidrógeno, en la **Figura 15** puede verse un ejemplo. [20]



Figura 15. Tanque de hidruro metálico.[21]

Durante el proceso de carga se aloja el hidrógeno en forma de átomos en los orificios intersticiales de la matriz metálica. La matriz se expande durante el proceso de absorción de hidrógeno.

La absorción o desorción de hidrógeno por un hidruro metálico es asociada con calor (aproximadamente 30 W/mol hidrógeno), que tiene que ser extraído o administrado según el proceso que se desee realizar.

El laboratorio cuenta con un sistema de almacenamiento de hidrógeno por medio de hidruros metálicos, instalado con la intención de experimentar su capacidad de almacenamiento, además de balancear las variaciones ocasionadas por la generación y demanda existente en la microrred. El modelo HBond-7000H fabricado por LsbTech, es un hidruro que funciona a baja presión y temperatura, condiciones idóneas para el ambiente del laboratorio, ya que estará frecuentado por estudiantes. Trabaja con almacenamiento de hidrógeno en estado sólido.

El hidruro tiene una estructura dotada de tuberías y conducciones que faciliten el flujo de agua fría y caliente

para favorecer al proceso de absorción o desorción respectivamente. La microrred cuenta con un sistema de calefacción conformado por un térmico eléctrico y una bomba, elementos encargados de recirculan el fluido y suministrarlo a una temperatura comprendida entre 40-70°C a la entrada del hidruro. El hidruro metálico de la microrred requiere de agua a temperatura comprendida entre 15-20°C para el proceso de desorción, motivo por el cual se puede usar agua directamente desde la red.

La velocidad nominal de entrega de hidrógeno para el sistema de almacenamiento se sitúa en un rango de 4.4-7 Nm³/h a temperaturas de 40 y 70 °C respectivamente.

3.1.6 Pila de combustible PEM.

Módulo de energía de pila de combustible de 1200 W que comprende la pila FCgen™ 1020 ACS de Heliocentris. También cuenta con un software que facilita el control del sistema. El módulo de potencia con el que esta dotada permite una sencilla integración en diferentes aplicaciones.[22]

En la **Tabla 3**, se muestran las características de la pila de combustible.

Tabla 3. Módulo de energía de pila de combustible

| Característica | valor |
|--------------------------------|--|
| Potencia nominal | 1200W |
| Corriente nominal | 52 Adc |
| Voltaje de salida(sin regular) | 20-36 Vdc |
| Temperatura de operación | 5-35°C |
| Calidad del Hidrógeno | 4.0 (99.99 o mejor) |
| Consumo de Hidrógeno | 15 slpm (salida nominal) |
| Consumo de aire | 335 m ³ /h (a la salida nominal, 30°C temperatura ambiente) |

3.1.7 Baterías de iones de litio.

El paquete de baterías que hay instalado de la microrred tiene cuatro celdas de 3,2 V nominales a 100 Ah c/u, con una energía disponible de 1280 Watts/hora.

Estas baterías ofrecen la seguridad de no explotar o incendiarse al momento de producirse un cortocircuito o sufrir una perforación.

Dada la estructura de la celda se facilita la integración del sistema de administración de energía y la formación de arreglos de paquetes de baterías.

Las características generales de las baterías se ven reflejadas en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Características de la batería de litio.

| Características | Valor |
|-------------------------------|--|
| Voltaje nominal | 12,8V(4 celdas x 3,2V) |
| Capacidad Nominal | 100 Ah |
| Voltaje de operación | 11.2 a 14,4V |
| Corriente de recarga máxima | 3C |
| Corriente de descarga máxima. | 3C(de forma continua)/10C(de forma momentánea) |
| Ciclo de vida | 2000 (80%DOD) |
| Temperatura de operación | 20 – 65°C |
| Porcentaje de Auto Descarga | < 3% mensual. |

3.1.8 Paneles solares.

Actualmente hay quince paneles solares de 265W pico cada uno, cada uno de estos tiene 60 células. Este módulo esta especialmente destinado para ser conectado a la red, permite trasladar la energía a la red con el uso de un micro inversor.

El panel fotovoltaico tiene un alto nivel de transmisividad, por lo que se puede aprovechar toda la luz solar.

Esta placa puede llegar a generar una corriente de 9.01 A.[23]

3.1.9 Electrolizador PEM (ELS500).

El ELS500 produce hidrógeno puro.

Compuesto por:

- Un armario exterior con IP55, espesor del metal 5/10 mm, no inflamable,
- Generador de hidrógeno EL500, que produce 500 NI/h, a una presión máxima de salida de hidrógeno igual a 35 bar.
- Depósito de agua auxiliar con 30 L de capacidad.

Se le pueden incluir:

- Módulo secador.
- Módulo de purificación del agua.

En la **Figura 16** se muestra la disposición general del sistema.

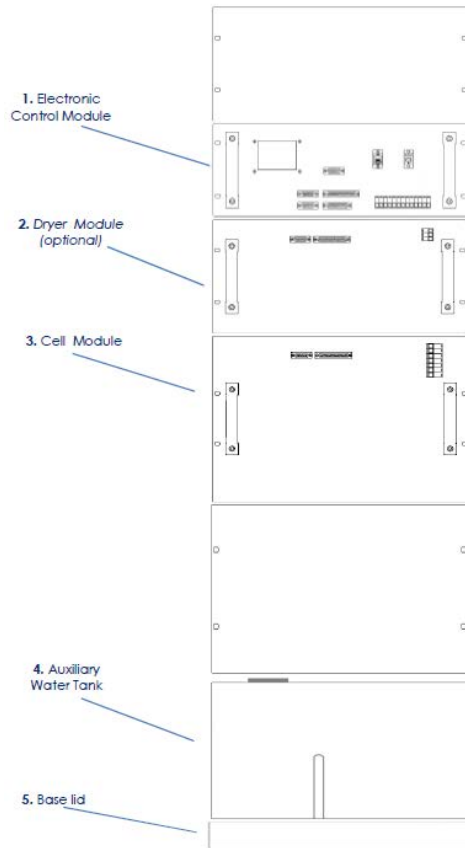


Figura 16. Disposición del Electrolizador.[24]

La pila electrolítica AES500, que es el elemento central, permite generar el hidrógeno puro que será usado posteriormente por la pila de combustible.

La AEM (Anion Exchange Membrane que en español se traduciría como membrana de intercambio aniónico) evita que se produzca una mezcla en proporciones explosivas entre el hidrógeno y el oxígeno, para lograrlo crea una barrera física entre ambos. El AEM puede usar agua desmineralizada simple. [24]

Los labores de la pureza del hidrógeno, se muestran en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Pureza del Hidrógeno (sin unidad de secado)

| Compuesto o Elemento - Presión | Partes por millón. |
|--------------------------------------|--------------------|
| H ₂ O @ 30 bar | 600 ppm |
| H ₂ O @ 5 15 bar | 4800 ppm |
| Oxígeno @ 15 bar | 9 ppm |
| Nitrógeno @ 15 bar | 5 ppm |
| CO ₂ , CO, ARGON @ 15 bar | < 0.5 ppm |

Algunas especificaciones técnicas se pueden ver en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Especificaciones técnicas del electrolizador.

| ELS500 | ELS500 / SECADORA |
|--------|-------------------|
|--------|-------------------|

| | | |
|---|--------------------------|------------------|
| Caudal máximo de hidrógeno a 20C°/ 1 bar. | 500 l/h | |
| Presión máxima de salida de hidrógeno | 35 bar | |
| Pureza del Hidrógeno | 99,94% @ 30 bar | 99,999% @ 30 bar |
| Consumo de energía operativa | 2200w | 2300w |
| Consumo máximo de energía | 2800w | 2900w |
| Voltaje de alimentación | 230Vac /50 Hz | |
| Temperatura de operación | 45°C | |
| Factor de potencia | 0,98 | |
| Especificación de agua: | 10µS/cm | |
| Agua desmineralizada: | | |
| Conductividad máxima (a 25°C) | | |
| Comunicación y alarmas: | PC a través de Ethernet. | |
| Monitoreo y control remoto: | | |

El equipo maneja el protocolo de comunicación Modbus. [24]

3.1.10 Convertidores DC/DC.

La microrred cuenta con convertidores de potencia asociados la pila de combustible, esto con la finalidad de adecuar los niveles de tensión intensidad entre los equipos, permitiendo un flujo de energía eléctrica entre ambos.

Los convertidores DC/DC están alimentados del bus de corriente. Los dispositivos cuentan con cuatro conectores, dos dedicados al bus de corriente y los restantes a las conexiones que van a los equipos (pila de combustible). Los convertidores se encuentran situados en el armario de control.[20]

Los convertidores instalados en la planta fueron instalados por la compañía WindInertia Technologies S.L.

El convertidor asociado a la pila de combustible visto desde el punto de vista del bus de corriente funciona como una fuente de energía, que suministra potencia a la tensión del bus.

El convertidor de la pila de combustible es reductor-elevador, por lo que es capaz de aumentar o disminuir la tensión con el fin de adaptar la tensión del bus de corriente. Esta función es relevante debido a las oscilaciones de tensión que hay presentes en la pila de combustible con respecto a la potencia a la que trabaja el bus.

El convertidor puede ser puesto en marcha de forma física o remota, gracias a la comunicación CANbus que dispone. Tiene configurado por defecto una serie de tensiones, corrientes, potencias máximas y mínimas, además de esto, puede limitar la pendiente de demanda de potencia. Los equipos se encuentran protegidos por software, y elementos físicos como fusibles contra sobretensiones, logrando tener un sistema redundante en seguridad de instalación.[20]

3.2 Software SCADA

Es software usado para el SCADA es el Vijeo Citect™, que es un componente operativo y de monitoreo de la

empresa Schneider Electric PlantStruxure™. Posee capacidades de visualización y características operativas, brinda el conocimiento procesable más rápido, ofreciéndoles a los operadores la posibilidad de una rápida reacción ante perturbaciones.[25]

En la **Figura 17** se muestra la interface del Citect SCADA.

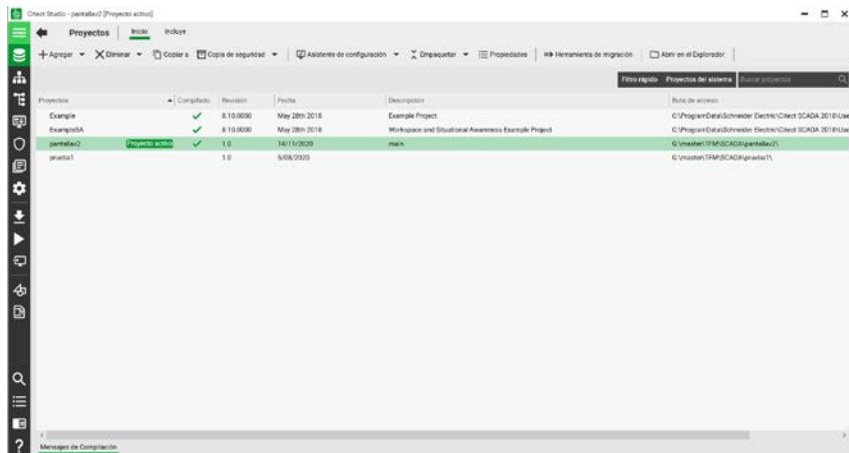


Figura 17. Interface del Citect SCADA.

En la parte izquierda de la interface está situado el menú, en donde encontraremos las diferentes opciones de configuración, en la **Figura 18** se muestra el menú.

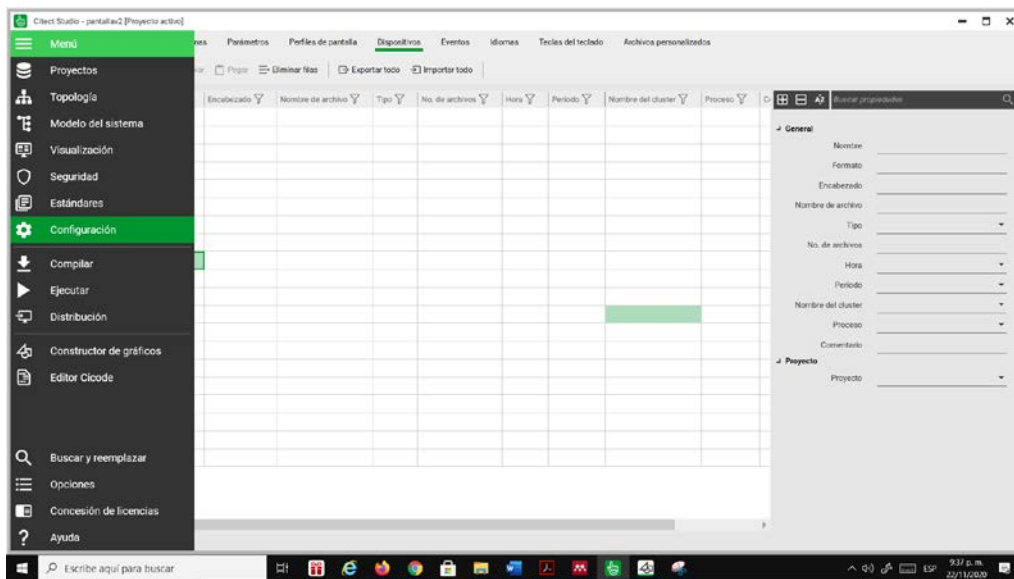


Figura 18. menú del Citect.

Las opciones que hay dentro del menú son:

3.2.1 Proyectos.

Con esta opción se puede visualizar, agregar o eliminar cada uno de los proyectos cargados en el programa. Esta opción cuenta con otras dos:

- Inicio
- Incluye

3.2.2 Topología.

- Formado por las opciones:
- Equipos

- Editar.
- Perfiles.
- Dispositivos de E/S.
- Componentes y asignación.

3.2.3 Modelo del Sistema.

- Equipo.
- Variables.
- Alarmas.
- Tendencias.
- Acumulaciones.
- SPC

3.2.4 Visualización.

- Configuración de menu.
- Páginas.
- Tipos de contenidos.
- Comandos de teclado.

3.2.5 Seguridad.

- Funciones.
- Usuarios.

3.2.6 Estándares.

- Etiquetas.
- Grupos.
- Fuentes.

3.2.7 Configuración.

- Alarmas.
- Parámetros.
- Perfiles de pantalla.
- Dispositivos.
- Eventos.
- Idiomas.
- Teclas de teclado.
- Archivos personalizados.

- 3.2.8 Compilar el Proyecto activo.
- 3.2.9 Ejecutar el Proyecto activo.
- 3.2.10 Distribución.
 - Equipos.
 - Versiones.
 - Configuraciones.
- 3.2.11 Inicio del constructor de gráficos Citect.
- 3.2.12 Inicio el editor Citect Cicode.
- 3.2.13 Buscar y remplazar texto en el proyecto.
- 3.2.14 Opciones.
- 3.2.15 Concesión de licencias.
- 3.2.16 Ayuda.

4 DISEÑO DEL PROYECTO

A continuación, se exponen los requerimientos establecidos y los apartados que derivan de este.

4.1 Requerimientos

4.1.1 Requisitos de interfaz del usuario.

En este apartado se van a explicar los requisitos acerca de la interfaz del usuario.

4.1.1.1 Diseño de los objetos.

Ante la falta de elementos en el programa Citect SCADA con los que poder diseñar la interfaz, se decide crear un CAD (Diseño asistido por computadora) por cada uno de los elementos que aparecerán en la pantalla principal. Al incorporar estos diseños al proyecto, no solo se logrará suplir la ausencia de los elementos en el programa, además de esto se conseguirá dar un aspecto realista que facilitará en gran medida a la interpretación del proceso.

Los requisitos que se piden para las variables de la pantalla principal SCADA son:

4.1.1.1.1 Campo fotovoltaico

- Irradiancia (W/m²)
- Potencia (W). Este valor debe aparecer junto a la flecha que sale del campo y va al bus eléctrico. Esta flecha debe cambiar de color cuando su valor sea diferente de 0.

4.1.1.1.2 Fuente electrónica

- Tensión (V)
- Intensidad (A)
- Potencia (W). Este valor debe aparecer junto a la flecha que sale de la fuente y va al bus eléctrico. Esta flecha debe cambiar de color cuando su valor sea diferente de 0.

4.1.1.1.3 Carga electrónica

- Tensión (V)
- Intensidad (A)
- Potencia (W). Este valor debe aparecer junto a la flecha que sale del bus eléctrico y va a la carga. Esta flecha debe cambiar de color cuando su valor sea diferente de 0.

4.1.1.1.4 Baterías de plomo-ácido

- Tensión (V)
- SOC (%). Esta variable debe aparecer como una barra que oscila entre 0 y 100% y que se va cambiando de color empezando por el 0 hasta llegar al 100% en función del valor de la variable.
- Potencia (W). Este valor debe aparecer junto a la flecha que corresponda según el valor de la misma (positiva implica que se está introduciendo energía y negativa que se está extrayendo). Estas flechas deben cambiar de color cuando su valor sea diferente de 0.

4.1.1.1.5 Baterías de ion-litio

- Tensión (V)
- SOC (%). Esta variable debe aparecer como una barra que oscila entre 0 y 100% y que se va cambiando de color empezando por el 0 hasta llegar al 100% en función del valor de la variable.
- Potencia (W). Este valor debe aparecer junto a la flecha que corresponda según el valor de la misma (positiva implica que se está introduciendo energía y negativa que se está extrayendo). Estas flechas deben cambiar de color cuando su valor sea diferente de 0.

4.1.1.1.6 Pila de combustible

- Caudal de H₂ (NI/min). Este valor debe aparecer junto a la flecha que sale del bus de hidrógeno y va a la pila. Esta flecha debe cambiar de color cuando su valor sea diferente de 0 (este color debe ser diferente al utilizado para las variables asociadas al bus eléctrico).
- Presión (bar)
- Potencia (W). Este valor debe aparecer junto a la flecha que sale de la pila y va al bus eléctrico. Esta flecha debe cambiar de color cuando su valor sea diferente de 0.

4.1.1.1.7 Electrolizador

- Caudal de H₂ (NI/h). Este valor debe aparecer junto a la flecha que sale del electrolizador y va al bus de hidrógeno. Esta flecha debe cambiar de color cuando su valor sea diferente de 0 (este color debe ser diferente al utilizado para las variables asociadas al bus eléctrico).
- Potencia (W). Este valor debe aparecer junto a la flecha que sale del bus eléctrico y va al electrolizador. Esta flecha debe cambiar de color cuando su valor sea diferente de 0.
- Presión (bar)

4.1.1.1.8 Tanques de hidruros

- Caudal de H₂ (NI/min). Este valor debe aparecer junto a la flecha que corresponda según la procedencia del mismo (si es diferente de 0 el valor de caudal de hidrógeno del electrolizador implica que se está introduciendo hidrógeno y, si es diferente de 0 el valor de caudal de hidrógeno de la pila, que se está extrayendo). Estas flechas deben cambiar de color cuando su valor sea diferente de 0.
- Caudal de agua (l/min)
- Presión (bar)
- Temperaturas de entrada/salida del agua (°C)
- SOC (%). Esta variable debe aparecer como una barra que oscila entre 0 y 100% y que se va cambiando de color empezando por el 0 hasta llegar al 100% en función del valor de la variable.

4.1.1.1.9 Condiciones generales

- De forma general deberá implementarse que al clicar sobre cada uno de los equipos se abra la ventana correspondiente para la monitorización y actuación completa de dichos equipos.

4.1.1.2 Requisitos de seguridad.

En la interfaz se deben cumplir los siguientes criterios:

- Deberá aparecer un botón de parada de emergencia de la planta.
- Debe aparecer la opción de deshabilitar cada uno de los equipos, así como un aviso si se produce algún error o advertencia en cada uno de ellos.
- Debe aparecer un botón llamado “Estado de operación ”que al pulsarlo lleve a una pantalla en la que se pueda seleccionar el estado de operación. Debajo de este deberá aparecer el estado de operación actual en el que se encuentra la planta.

4.2 Diseño de la pantalla.

Inicialmente se partió del esquema mostrado en la **Figura 9** para realizar un primer diseño de la pantalla principal. Este diseño logró dar una idea general de cómo organizar los equipos dentro de la pantalla y como conectarlos entre sí. El diseño puede verse en la **Figura 19**.

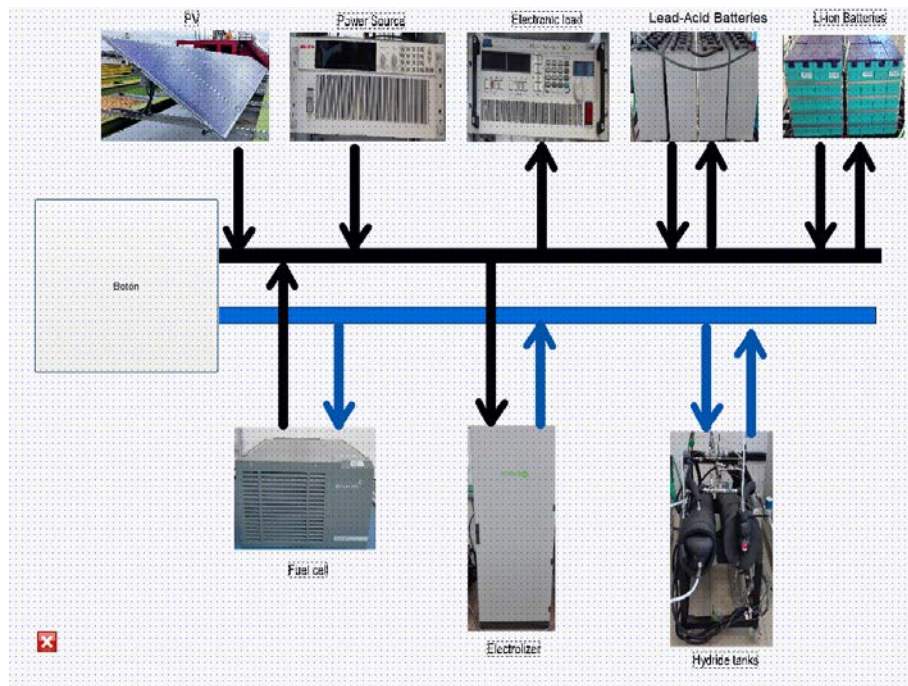


Figura 19. Primer diseño de la pantalla principal.

El siguiente paso fue el diseño de los CADs para los equipos. En la **Tabla 7** pueden verse.

Tabla 7. CADs de los equipos.

| Equipo. | CAD |
|--------------------|---|
| Campo fotovoltaico |  |

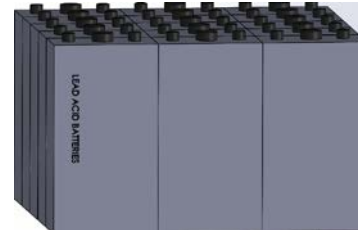
Carga electrónica.



Fuente electrónica.



Baterías de plomo-ácido



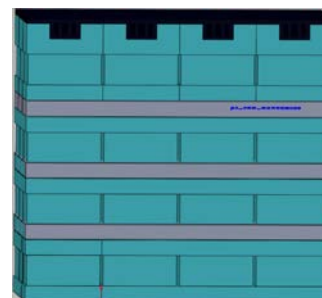
Pila de combustible.



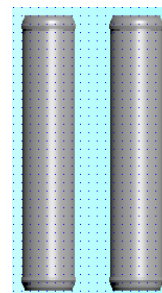
Electrolizador.



Baterías de ion-litio.



Tanques de Hidruros.



Teniendo ya los diseños de los equipos se rediseñó la pantalla para cumplir con los requerimientos. El segundo

diseño se muestra en la **Figura 20**.

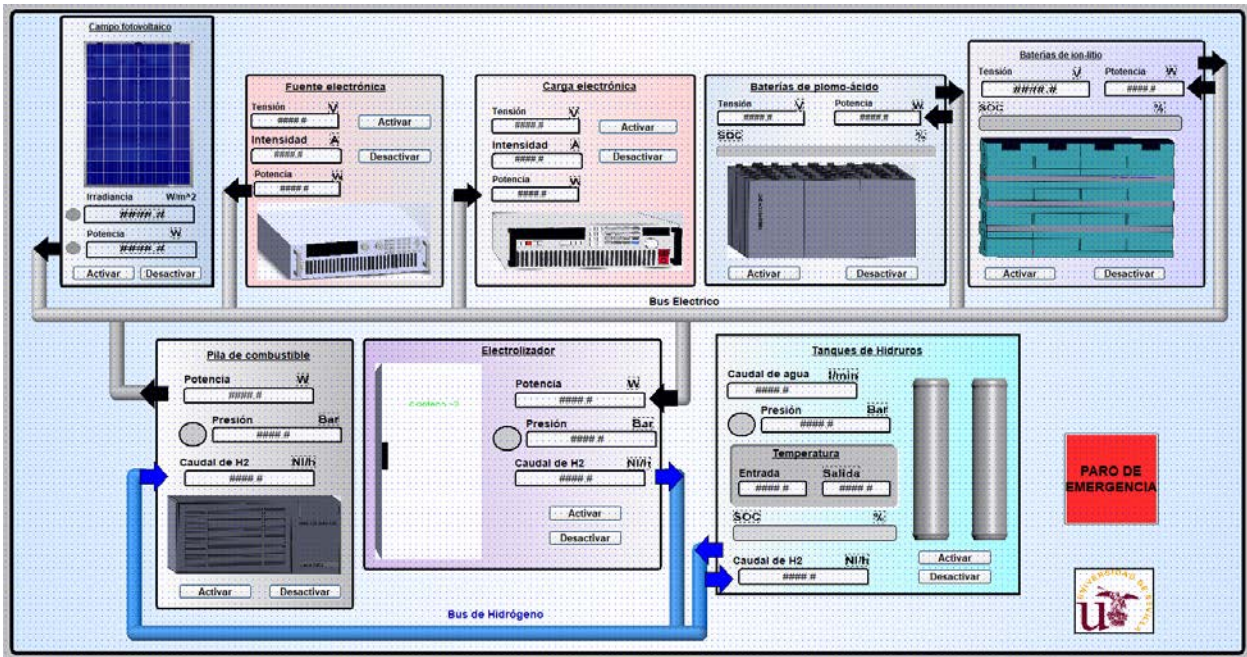


Figura 20. Segundo diseño de la pantalla principal.

Por último, se realizó un último diseño con los cambios requeridos por los usuarios. Entre estos cambios estaba la modificación de la distribución que tenía el bus de Hidrógeno y el Eléctrico. También se añadió un indicador de estado para cada uno de los componentes.

También se añadió un recuadro que indica el estado de funcionamiento actual en la planta, además de un botón que redirige a una nueva página en donde se puede seleccionar el estado de funcionamiento.

El diseño final de la pantalla principal se muestra en la **Figura 21**.

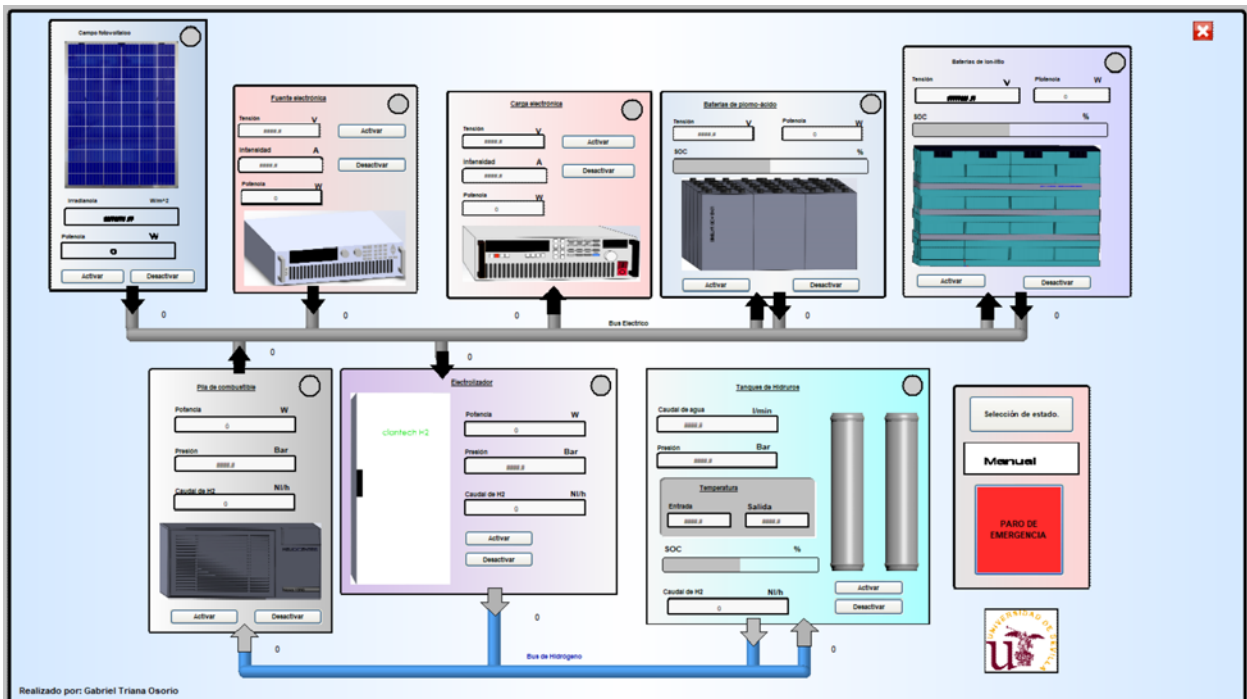


Figura 21. Diseño final de la pantalla principal.

4.2.1 Explicación.

La pantalla principal cuenta con nueve recuadros, ocho de ellos corresponde a un equipo instalado en la planta y uno a la selección del modo de operación.

En cada recuadro correspondiente a un equipo, se encontrará de forma general:

4.2.1.1 Indicador de estado

Este elemento se encuentra situado en la parte superior derecha, y tiene los siguientes estados:

- Gris, si el equipo se encuentra apagado.
- Verde, cuando el equipo está activado
- Amarillo, cuando hay algún tipo de advertencia.
- Rojo, si el equipo presenta algún error.

4.2.1.1.1 Variables usadas para la programación.

En la **Tabla 8** se muestra una relación entre las variables usadas en la programación y los equipos instalados en la planta.

Tabla 8. Variables usadas en la programación del estado de cada equipo

| Equipo | Variable asignada |
|--------------------------|-------------------|
| Campo fotovoltaico | camp_fv |
| Carga electrónica. | carga_elect |
| Fuente electrónica. | fuelle_elect |
| Baterías de plomo-ácido. | bat_plomo |
| Pila de combustible. | pila |
| Electrolizador. | electrolizador |
| Baterías de ion-litio. | bat_ion |
| Tanques de Hidruros. | tanques |

4.2.1.2 Botones para activar o desactivar el equipo.

Estos botones activan o desactivan el equipo que se encuentre en el mismo recuadro que ellos.

4.2.1.2.1 Variables usadas para la programación.

En la **Tabla 9** hay una demostración de la programación usada para cada uno de estos botones.

Tabla 9. Variables usadas en los botones de activar o desactivar.

| Equipo | Variable asignada | Activado | Desactivado |
|--------------------|-------------------|-----------|-------------|
| Campo fotovoltaico | camp_fv | camp_fv=1 | camp_fv=0 |

| | | | |
|--------------------------|----------------|------------------|------------------|
| Carga electrónica. | carga_elect | carga_elect=1 | carga_elect=0 |
| Fuente electrónica. | fuelle_elect | fuelle_elect=1 | fuelle_elect=0 |
| Baterías de plomo-ácido. | bat_plomo | bat_plomo=1 | bat_plomo=0 |
| Pila de combustible. | pila | pila=1 | pila=0 |
| Electrolizador. | electrolizador | electrolizador=1 | electrolizador=0 |
| Baterías de ion-litio. | bat_ion | bat_ion=1 | bat_ion=0 |
| Tanques de Hidruros. | tanques | tanques=1 | tanques=0 |

4.2.1.3 CADs

Cada uno de los CADs que se encuentran en la pantalla principal, fue programado de tal forma que al clicar sobre ellos nos redirijan a una nueva página con información específica de cada uno de ellos.

4.2.1.3.1 Páginas usadas para la programación.

Con ayuda de la **Tabla 11** se puede ver la relación que hay entre las páginas y los equipos: a la izquierda están situados los equipos, y a la derecha los nombres de las páginas.

Tabla 10. Relación entre equipos y páginas.

| Equipo | Variable asignada |
|--------------------------|---------------------|
| Campo fotovoltaico | campo_fv |
| Carga electrónica. | carga_electronica |
| Fuente electrónica. | fuelle_electronica |
| Baterías de plomo-ácido. | baterias_de_plomo |
| Pila de combustible. | pila_de_combustible |
| Electrolizador. | electrolizador |
| Baterías de ion-litio. | bateria_ion |
| Tanques de Hidruros. | tanques_de_hidruros |

4.2.1.4 Flechas.

Las flechas están asociadas al sentido de flujo de la electricidad o hidrógeno de cada equipo instalado en la planta. Estas cambian de color al momento de ser activadas

Hay tres tipos de equipos en la pantalla principal, los cuales son:

4.2.1.4.1 Aquellos que solo están conectados al bus de electricidad.

- Campo fotovoltaico
- Carga electrónica.
- Fuente electrónica.

- Baterías de plomo-ácido.
- Baterías de ion-litio.

Las flechas asociadas a estos equipos son de color negro al momento de estar desactivadas, pasan a color verde cuando aportan energía a la red, y a amarillo cuando consumen energía de la red.

4.2.1.4.2 Los que están conectados al bus de hidrogeno y al eléctrico.

- Pila de combustible.
- Electrolizador.

Las flechas asociadas a estos equipos son de color negro (conexiones al bus eléctrico) y gris (conexiones al bus de hidrógeno) al momento de estar desactivadas. Cuando se activan las flechas conectadas al bus eléctrico pasan a ser de color verde cuando aportan energía a la red, o amarillo cuando consumen energía de la red, y aquellas conectadas al bus de hidrógeno pueden ser de color azul cuando hidrógeno a la red, o morado cuando consumen hidrógeno de la red.

4.2.1.4.3 Aquellos que solo están conectados al bus de hidrógeno.

- Tanques de Hidruros.

Tiene dos flechas asociadas que son de color gris cuando no están activas, y pasan a ser de color azul cuando aportan hidrógeno a la red, o morado cuando consumen hidrógeno de la red.

4.2.1.5 Caja de texto

En las cajas de texto se visualizan los valores de las variables correspondientes a cada equipo.

4.2.1.6 Barras de nivel.

Solo tres equipos cuentan con este elemento en su recuadro, estos son:

- Baterías de plomo-ácido.
- Baterías de ion-litio.
- Tanques de Hidruros.

Estas barras muestran el porcentaje de SOC de cada equipo.

Las barras varían su color de izquierda a derecha, siendo transparentes cuando el porcentaje es igual a cero y van volviéndose grises conforme alcanzan el 100 por ciento.

4.2.1.7 Caja de modo de funcionamiento.

En este recuadro se encuentran dos botones y una caja de texto. Uno de los botones es un paro de emergencia, y el otro redirige a una página en donde se puede visualizar y seleccionar el estado de funcionamiento de la planta.

En la caja de texto se visualiza el modo de funcionamiento actual de la planta.

4.2.1.7.1 Variables usadas para la programación.

- Selector

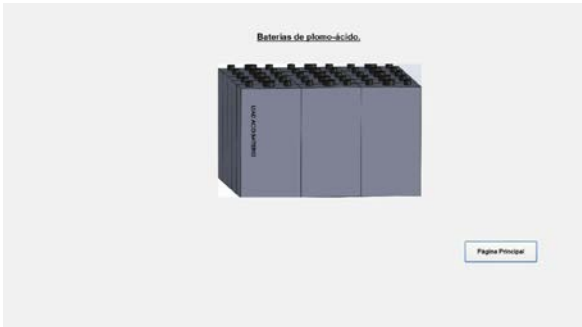
Esta variable redirige a la página:

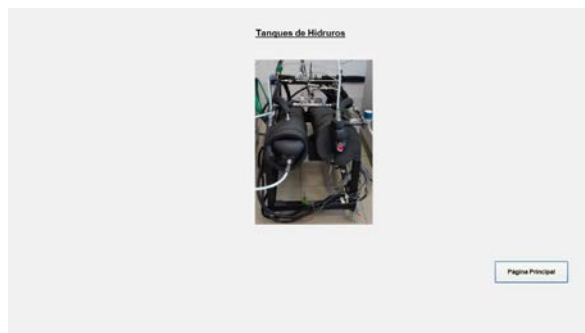
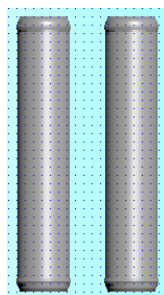
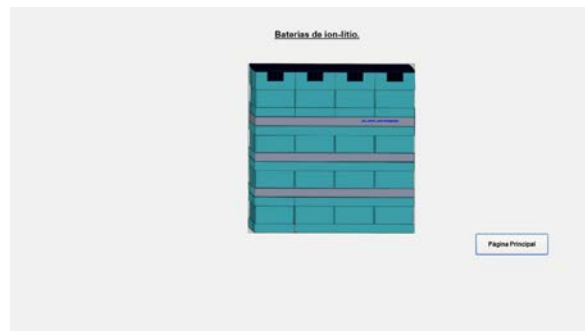
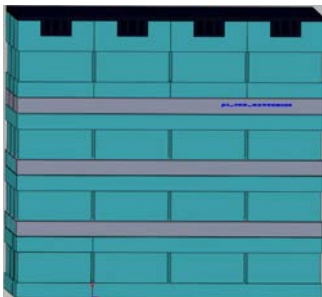
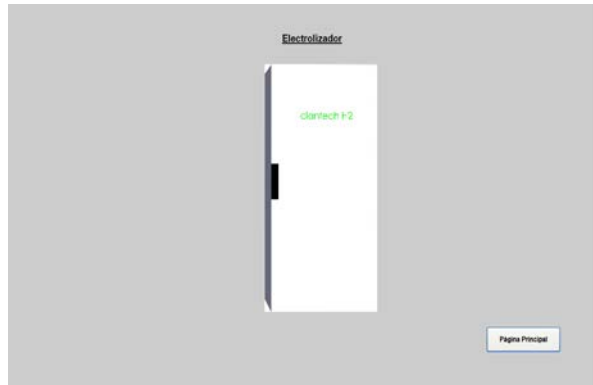
- estado_de_operacion

5 VALIDACIÓN.

La primera prueba que se realizó fue el comprobar que cada uno de los CADs abriese la página que se le asoció. En la **Tabla 10** se muestran los resultados de comprobar que cada uno de los CADs la pantalla a la que se le asignó.

Tabla 11. Relación entre los CADs y las pantallas a las que redirigen.

| CAD | Pantalla |
|---|--|
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |



El segundo paso fue comprobar los botones de activación y desactivación de cada uno de los equipos, en la **Figura 22** se muestran los resultados.

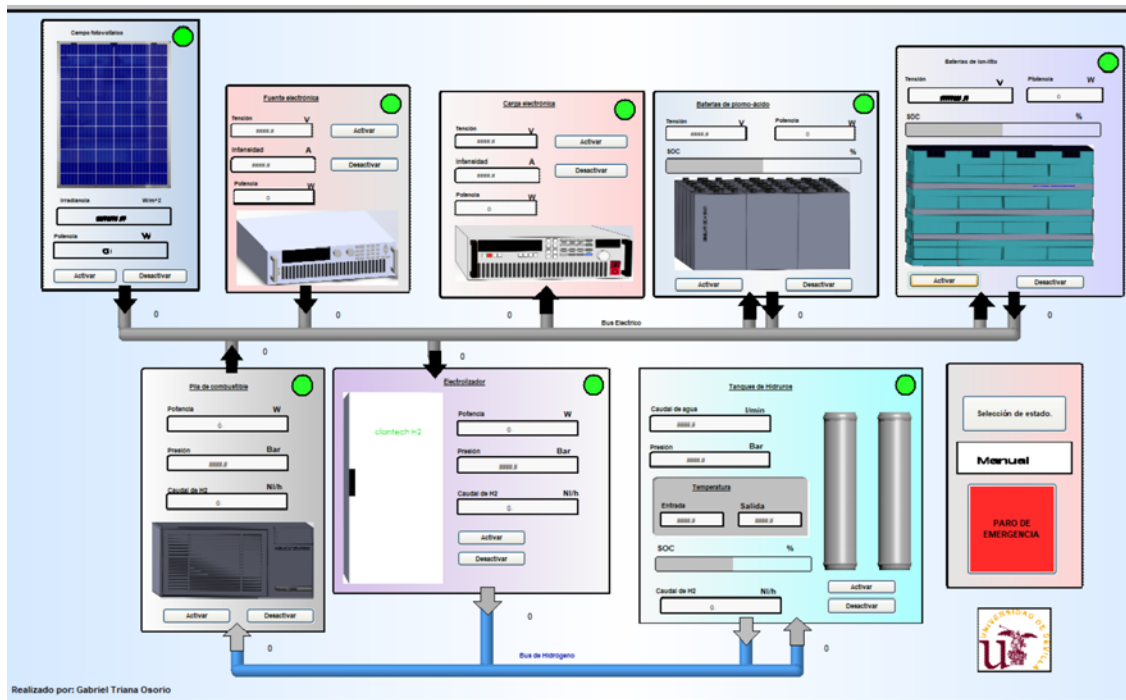


Figura 22. Resultados de probar los botones de activado y desactivado en cada uno de los equipos.

Para poder comprobar el funcionamiento de las flechas, barras, cajas de texto, señales de error, y señales de emergencia, se creó un cuadro de pruebas con el cual se puede asignar un valor a cada variable. En la **Figura 23** se puede ver el cuadro de pruebas.

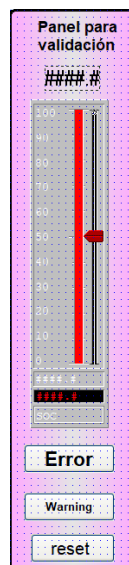


Figura 23. Cuadro de pruebas.

Una vez creado el cuadro de pruebas, se probó el funcionamiento de las señales de advertencia y error.

Para esta prueba se tuvo en cuenta que:

- La señal de error tiene prioridad sobre la de advertencia y encendido.
- La señal advertencia tiene prioridad sobre la de encendido.

Los resultados se muestran en la **Figura 24**.

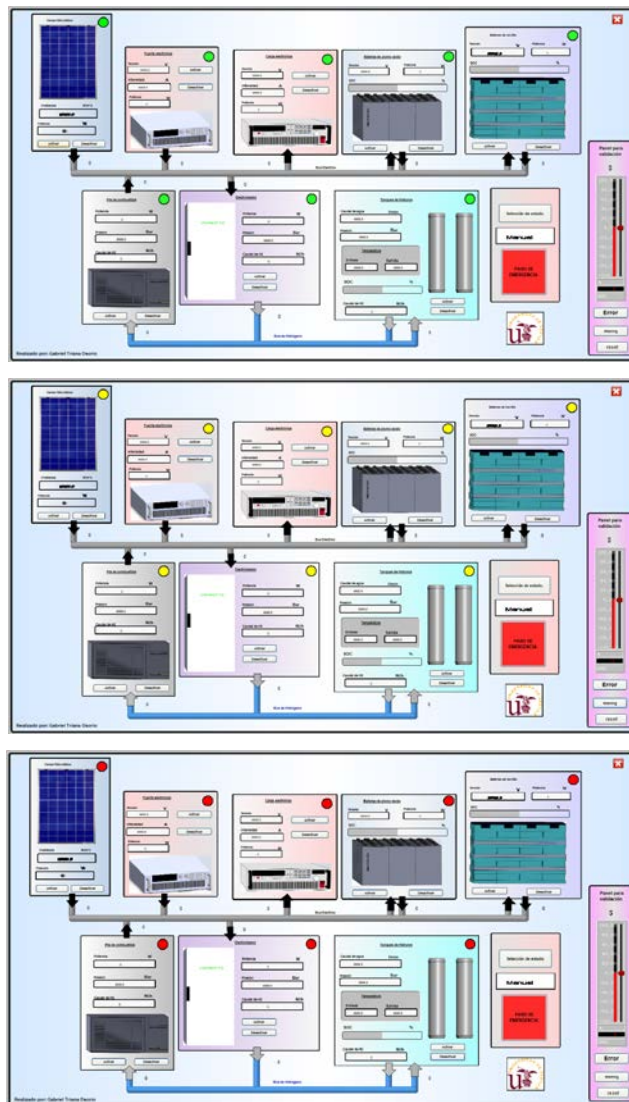


Figura 24. Resultados generados al probar la señal de encendido, error, y advertencia.

Se probó el correcto funcionamiento de las flechas. Las primeras pruebas se realizaron sobre las flechas situadas en los equipos que demandan ya sea energía o hidrógeno. En la **Figura 25** se muestra el resultado.

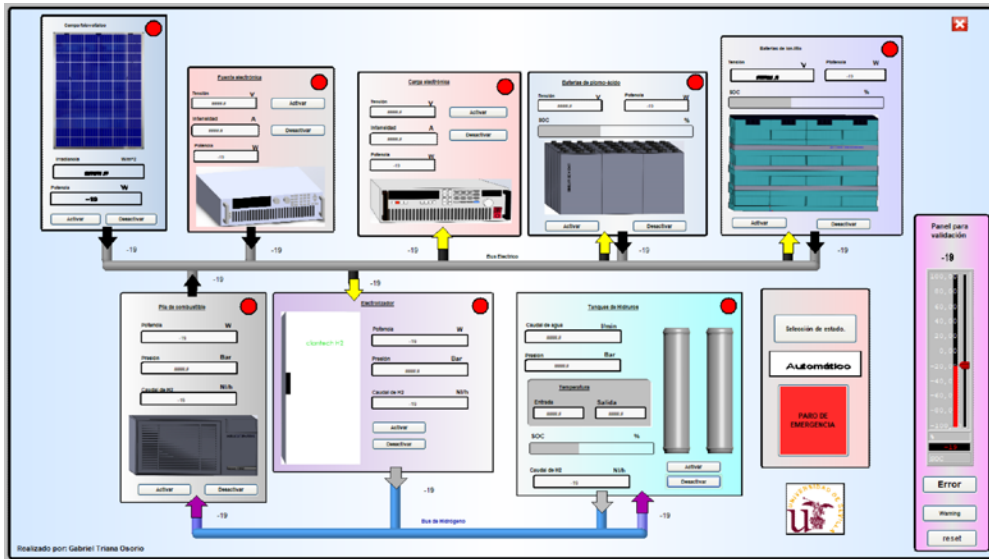


Figura 25. Resultado de los equipos que demandan energía o hidrógeno.

La segunda prueba se realizó sobre los equipos que suministran energía o hidrógeno a la red, en la **Figura 26** se aprecian los resultados.

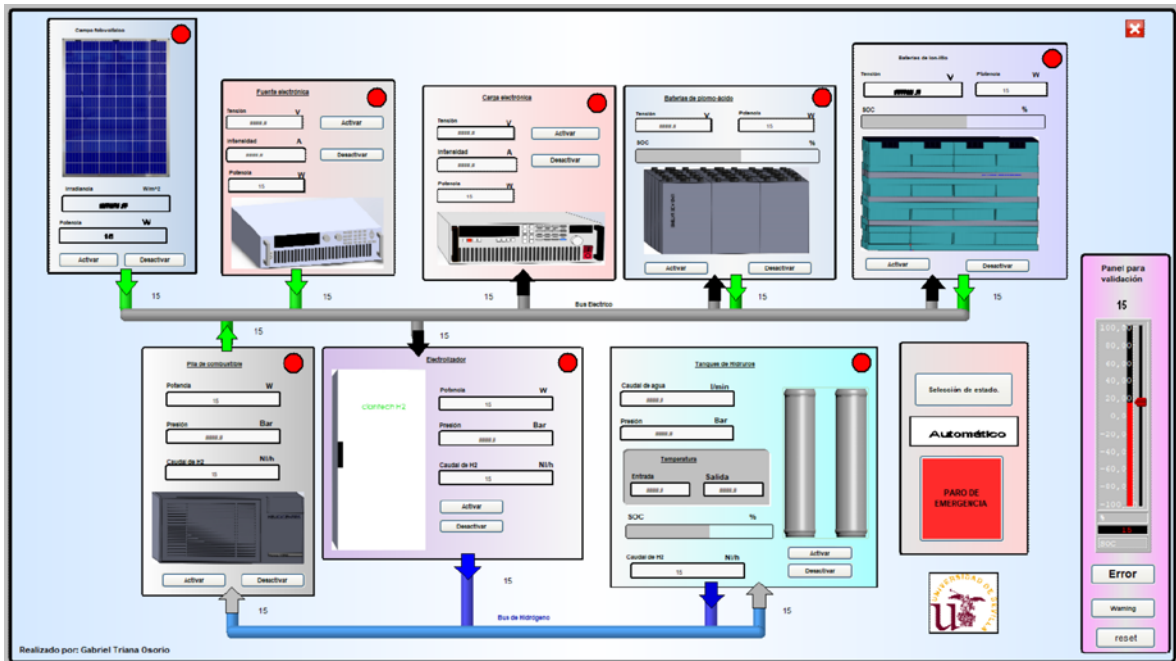


Figura 26. Resultado de los equipos que suministran energía o hidrógeno.

La última prueba se hizo sobre el botón que redirige a la página de estados, el resultado se visualiza en la **Figura 27**.

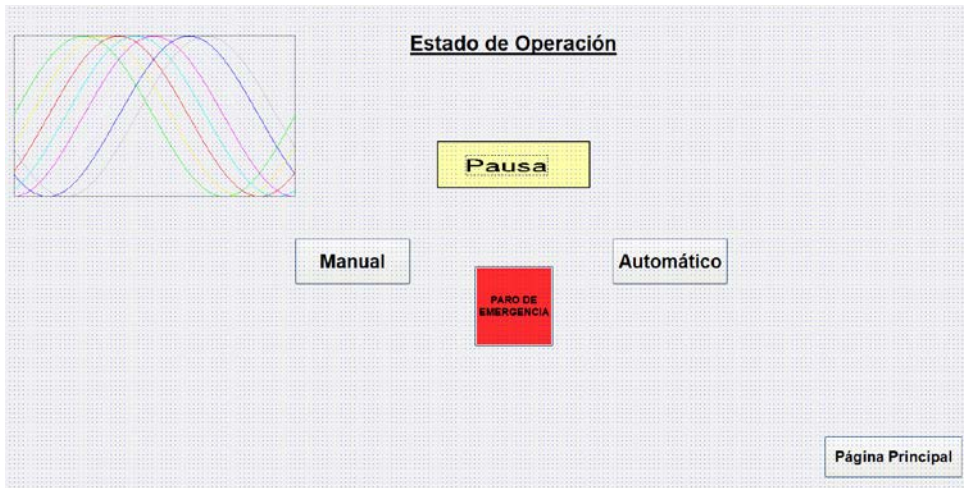


Figura 27. Página de estado de operación.

6 CONCLUSIONES

Antiguamente los primeros SCADA carecían de compatibilidad entre proveedores, esto generaba grandes conflictos de compatibilidad, además de una dependencia al proveedor. Conforme ha pasado el tiempo los SCADA's han adquirido la capacidad de poder comunicarse prácticamente con cualquier dispositivo dotado de comunicaciones avanzadas. Algunos de los dispositivos capaces de conectarse a un bus de campo, con la inteligencia necesaria para interactuar con otros dispositivos y mantener su parte del programa general, son los IED's.

Los SCADA proporcionan una comunicación con uno o varios dispositivos remotos, permitiendo al operador una interfaz con la que poder visualizar y controlar la información que proviene de ellos.

Algunos proyectos nacionales relacionados con microrredes se han enfocado en poder realizar varias simulaciones de una misma red de forma simultánea, pero con diferentes configuraciones cada una de las simulaciones. Otros proyectos, han tratado de enfocarse directamente en la gestión de la respuesta a la demanda, ya que si no hay una buena gestión, se corre el riesgo de desgastar prematuramente los dispositivos, o no poder suministrar la energía que se demanda.

La página principal requerirá de más modificaciones al momento de realizarse cambios en el programa, ya que, ante la falta de acceso físico a la planta, no fue posible programar la pantalla con las variables que se usarán para accionar los equipos. El hecho de tener ya una pantalla principal ayuda a crear una idea general de cómo se desea que funcione el SCADA.

La planta ha ido mejorando los equipos a lo largo del tiempo, lo que le hace tener un mejor control de la energía producida.

Los CAD's desarrollados lograron hacer que la interfaz tenga un diseño equilibrado y realista, detalles que son muy relevantes para la comprensión del proceso con un solo vistazo.

Actualmente se ha ido trabajando en estrategias de control, más específicamente en control predictivo, este tipo de control permiten un mejor funcionamiento en los equipos de la red, logrando evitar situaciones en las que se vea comprometido el normal funcionamiento de un equipo. Un mejor control de la energía logra reducir las pérdidas y aumenta la capacidad de producción.

Cada vez hay más protocolos de comunicación y software que son compatibles entre sí, varios de ellos con gratuitos y potentes. Los softwares que hay hoy en día para realizar SCADA's son actualizados constantemente y ofrecen una interfaz intuitiva fácil de usar.

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] N. Agudelo, G. Tano, and C. Andrés Vargas, “HISTORIA DE LA AUTOMATIZACIÓN,” Bogota. Accessed: Nov. 01, 2020. [Online]. Available: [http://ingenierovizcaino.com/ecci/aut1/corte1/articulos/Historia de la Automatizacion.pdf](http://ingenierovizcaino.com/ecci/aut1/corte1/articulos/Historia%20de%20la%20Automatizacion.pdf).
- [2] A. rodriguez penin, “Sistemas SCADA - Aquilino Rodríguez Penin - Google Libros,” *marcombo*, 2012. [https://books.google.es/books?id=32kgCNG34TwC&pg=PA293&dq=pirámide+de+automatización&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjM8cmC8OHsAhWS0eAKHaWTANIQ6AEwAHoECAAYQAg#v=onepage&q=pirámide de automatización&f=false](https://books.google.es/books?id=32kgCNG34TwC&pg=PA293&dq=pirámide+de+automatización&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjM8cmC8OHsAhWS0eAKHaWTANIQ6AEwAHoECAAYQAg#v=onepage&q=pirámide%20de%20automatización&f=false) (accessed Nov. 01, 2020).
- [3] “Cómo funcionan las microrredes | Departamento de Energía.” <https://www.energy.gov/articles/how-microgrids-work> (accessed Nov. 03, 2020).
- [4] J. D. Mina Casaran, E. F. Caicedo Bravo, and C. A. Lozano Moncada, “Una propuesta de integración de arquitecturas de generación descentralizada en ambientes de micro-redes,” *Entre Cienc. e Ing.*, vol. 11, no. 22, p. 9, 2017, doi: 10.31908/19098367.3544.
- [5] A. G. Tsikalakis and N. D. Hatziargyriou, “Centralized control for optimizing microgrids operation,” *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 23, no. 1, pp. 241–248, Mar. 2008, doi: 10.1109/TEC.2007.914686.
- [6] “Microgrid para edificios comerciales e industriales. Conectado a la red o aislado, ¿cuáles son las soluciones y sus casos comerciales? • SMARTGRIDSINFO.” <https://www.smartgridsinfo.es/comunicaciones/comunicacion-microgrid-edificios-comerciales-e-industriales-conectado-la-red-aislado-cuales-las-soluciones-casos-comerciales> (accessed Nov. 03, 2020).
- [7] S. Vidal, “Introduction to PLCs,” *EC M Electr. Constr. Maint.*, vol. 106, no. 11, pp. 18–21, Nov. 2007, doi: 10.1016/b978-075065679-5/50046-1.
- [8] W. Bolton, “PLC systems,” in *Instrumentation and Control Systems*, Elsevier, 2004, pp. 156–178.
- [9] “5 Lenguajes de Programación para PLC | SEIKA Automation.” <https://www.seika.com.mx/5-lenguajes-de-programacion-para-plc/> (accessed Nov. 08, 2020).
- [10] C. Strauss, “SCADA systems,” in *Practical Electrical Network Automation and Communication Systems*, Elsevier, 2003, pp. 108–118.
- [11] D. Bailey and E. Wright, “Background to SCADA,” in *Practical SCADA for Industry*, Elsevier, 2003, pp. 1–10.
- [12] “SCADA en la Industria 4.0 - Tipos de sistemas y características.” https://vicentferrer.com/scada-industria/#Softwares_de_Scada (accessed Nov. 08, 2020).
- [13] “Citect SCADA - Software SCADA de planta de alto rendimiento.” <https://www.aveva.com/en/products/plant-scada/> (accessed Nov. 08, 2020).
- [14] “Protocolos de comunicación para redes industriales | Ingeniería Industrial.” <https://vestertraining.com/protocolos-comunicacion-redes-industriales/> (accessed Nov. 11, 2020).
- [15] C. Lozano and C. Romero, “Introducción a SCADA,” p. 30, 2011, Accessed: Nov. 09, 2020. [Online]. Available: <http://www.uco.es/investiga/grupos/eatco/automatica/ihtm/descargar/scada.pdf>.
- [16] “Protocolos de comunicación industriales - Logicbus %.” <https://www.logicbus.com.mx/blog/protocolos-de-comunicacion-industriales/> (accessed Nov. 11, 2020).
- [17] “MIREDCON.” <http://grasia.fdi.ucm.es/energy/miredcon.html> (accessed Nov. 05, 2020).
- [18] P. Uthpala Herath *et al.*, “Computational Intelligence-Based Demand Response Management in a Microgrid,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 55, no. 1, doi: 10.1109/TIA.2018.2871390.

- [19] J. Hu, Y. Shan, J. M. Guerrero, A. Ioinovici, K. W. Chan, and J. Rodriguez, "Model predictive control of microgrids – An overview," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 136. Elsevier Ltd, p. 110422, Feb. 01, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2020.110422.
- [20] L. Valverde-Isorna, "Gestión de energía en sistemas con fuentes renovables y almacenamiento de energía basado en hidrógeno mediante control predictivo," 2013.
- [21] "Descarga gratis | Hidróxido de hidrógeno líquido del tanque de hidrógeno de Hyundai ix35 fcev, ángulo, acero png | PNGEgg." <https://www.pngegg.com/es/png-ctzqt/download> (accessed Nov. 22, 2020).
- [22] "The Nexa ® Integration System is ideal for Nexa ® Integration System 1.2 kW Fuel Cell System," 2011.
- [23] Atersa, "Placa Solar Policristalina 265W 60 celulas A-265P ULTRA." <https://atersa.shop/panel-solar-a-265p-ultra/> (accessed Nov. 27, 2020).
- [24] S. Clara, "O|E||L| User's Manual," 2015.
- [25] "Planta SCADA (antes Citect SCADA) | Schneider Electric Australia." <https://www.se.com/au/en/product-range-presentation/1500-plant-scada-%28formerly-citect-scada%29/> (accessed Nov. 22, 2020).