

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería Eléctrica

UNIVERSIDAD DE ALMERIA

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA

Diseño del sistema SCADA de un nuevo laboratorio en la Universidad de Almería

Curso 2019/2020

Alumno/a:  
Isabel Robalo Cabrera

Director/es:  
Alfredo Alcayde García





## AGRADECIMIENTOS

A la Escuela Superior de Ingeniería de la Universidad de Almería por concederme conocimientos en el ámbito de la ingeniería y en especial a Alfredo por su dirección en este proyecto.

Pero sobre todo a mi familia, a mis padres y a mi hermano por ofrecerme su apoyo incondicional. Ellos son mi mayor fuente de energía.

Gracias



---

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	7
ABSTRACT .....	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	11
1.1    MOTIVACIÓN.....	11
1.2    OBJETO .....	13
1.3    CONTEXTO .....	15
1.4    ESPECIFICACIONES GENERALES.....	17
1.4.1    INTRODUCCIÓN .....	17
1.4.2    ENERGÍA EÓLICA.....	17
1.4.3    GENERADOR DE IMANES PERMANENTES .....	25
1.4.4    ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	27
1.5    ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	35
1.5.1    INTRODUCCIÓN .....	35
1.5.2    SISTEMAS SCADA.....	35
1.5.3    REDES DE COMUNICACIONES INDUSTRIALES .....	41
1.6    RESUMEN DE RESULTADOS.....	43
1.7    PLANIFICACIÓN TEMPORAL .....	45
1.8    ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO .....	47
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS .....	51
2.1    EMPLAZAMIENTO.....	51
2.2    EQUIPOS .....	55
2.3    SOFTWARE SCADA TWINCAT 3 .....	69
CAPÍTULO III: RESULTADOS .....	73
3.1    MAPA DE COMUNICACIONES.....	73
3.2    DISEÑO DEL SISTEMA SCADA .....	77
3.2.1    INTRODUCCIÓN .....	77
3.2.2    HOME .....	77
3.2.3    CALIDAD DE SUMINISTRO .....	79
3.2.4    DATOS EN TIEMPO REAL .....	80
3.2.5    MÁS DETALLES DE PRODUCCIÓN EÓLICA .....	82
3.2.6    MÁS DETALLES DE PRODUCCIÓN SOLAR .....	83
3.2.7    HISTÓRICO DE DATOS.....	84
3.2.8    ESTADO DEL SISTEMA.....	86
3.3    DEFINICIÓN DE VARIABLES.....	89

3.4	GESTIÓN DE USUARIOS .....	101
CAPÍTULO IV. CONCLUSIÓN Y TRABAJOS FUTUROS.....		105
4.1	CONCLUSIÓN .....	105
4.1.1	INTEGRACIÓN DE COMPETENCIAS.....	105
4.2	TRABAJOS FUTUROS.....	107
BIBLIOGRAFÍA.....		109

---

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Aerogenerador de Johannes Jull .....	18
Figura 2. Agrícola de Johannes Jensen y Poul Vinding .....	18
Figura 3. Aerogeneradores de 1970 .....	18
Figura 4. Componentes de un aerogenerador [4].....	19
Figura 5. Tipos de turbinas eólicas de eje vertical [5] .....	20
Figura 6. Distribución de Weibull en la Universidad de Almería.....	22
Figura 7. Distribución de vientos en la ubicación de la Universidad de Almería .....	23
Figura 8. Densidad de potencia media anual a 30 m de altura en (W/m <sup>2</sup> ) .....	23
Figura 9. Densidad de potencia media anual a 30 m de altura en (W/m <sup>2</sup> ) .....	23
Figura 10. Potencial eólico estimado en (GW) para la superficie disponible.....	24
Figura 11. Partes de una máquina síncrona .....	25
Figura 12. Circuito equivalente de un alternador .....	27
Figura 13. Partes de un panel fotovoltaico [10] .....	28
Figura 14. Unión PN en célula fotovoltaica [11].....	29
Figura 15. Clasificación general de paneles fotovoltaicos.....	30
Figura 16. Curva I-V y punto de máxima potencia (MPP) de panel fotovoltaico [14].....	31
Figura 17. Irradiancia global media en España (kWh/m <sup>2</sup> ·día) entre 1983 y 2005 .....	32
Figura 18. Irradiancias global, directa y difusa en Almería entre 1983 y 2005 .....	33
Figura 19. Planificación temporal.....	46
Figura 20. Plano de distribución en planta.....	51
Figura 21. Aerogenerador Bornay 1500 .....	55
Figura 22. Configuración de instalación mixta .....	56
Figura 23. Curvas de Corriente-Voltaje y Potencia-Voltaje para diferentes irradiancias.....	57
Figura 24. Regulador de carga MPPT .....	58
Figura 25. Controlador de carga SmartSolar MPPT 100/50 .....	59
Figura 26. Inversor MultiPlus 12V .....	60
Figura 27. Conexión trifásica de inversores .....	60
Figura 28. Medidor oZm .....	61
Figura 29. Variador de frecuencia de CA PowerFlex .....	62
Figura 30. PLC Beckhoff.....	62
Figura 31. EK1100   EtherCAT Coupler .....	64
Figura 32. Tarjeta EL1809 .....	64
Figura 33. Tarjeta EL2809 .....	64
Figura 34. Tarjeta EL3054 .....	64
Figura 35. Baterías estacionarias TOPzS ME .....	65
Figura 36. Baterías de condensadores VarSet Easy.....	66
Figura 37. Filtros activos AFQe -4WF-030M-400 .....	67
Figura 38. Mapa de comunicaciones.....	74
Figura 39. Ventana Home SCADA.....	78
Figura 40. Ventana Calidad de Suministro SCADA .....	79
Figura 41. Ventana Datos en Tiempo Real SCADA .....	80
Figura 42. Ventana de Producción Eólica SCADA .....	82
Figura 43. Ventana Producción Solar SCADA .....	83
Figura 44. Ventana Histórico de Datos SCADA.....	85
Figura 45. Ventana Estado del Sistema SCADA .....	87
Figura 46. Gestión de usuarios.....	101





## RESUMEN

El desarrollo de las fuentes de energía renovables provoca que su integración en sistemas de pequeña producción sea cada vez mayor. Con ello, crecen las instalaciones que poseen más de una fuente de producción para la alimentación de sus consumos, añadidas al uso del suministro eléctrico convencional.

Esta mejora de la tecnología sumada a una mayor conciencia social sobre el ahorro energético y el aprovechamiento de los recursos hacen necesarias soluciones flexibles que puedan manejar instalaciones con más de una fuente de producción eléctrica diferente, a la vez que se muestran accesibles al público interesado en gestionar mejor su consumo eléctrico.

Con este escenario, en este Trabajo Fin de Grado se desarrolla un sistema de control y visualización SCADA, capaz de permitir la monitorización centralizada de los parámetros más importantes sobre la producción y consumo eléctricos de una instalación. De esta manera, se facilita el control sobre la energía eléctrica producida y la consumida, a la vez que es posible controlar los equipos de la instalación desde un mismo lugar, sin necesidad de operar desde la ubicación del aparato que se desea controlar.

Se trata de la aplicación de una solución flexible y moderna a los nuevos sistemas que aparecen fruto de los avances tecnológicos en este campo, y más concretamente al caso de la instalación que se estudia en este trabajo técnico.

## ABSTRACT

The development of renewable energy sources causes that they are increasingly being integrated into small-scale production systems. Thanks to this, the number of installations that have more than one production source to feed their consumption along with the use of conventional electricity supply, is growing.

This improvement in technology, together with a greater social awareness of energy saving and resource utilization, makes it necessary to find flexible solutions that can handle installations with more than one different electricity source while, at the same time, being accessible to the public interested in better managing their electricity consumption.

With this scenario, in this bachelor thesis a SCADA control and visualization system is developed, capable of allowing the centralized monitoring of the most important parameters on the electrical production and consumption of an installation. The control over the produced and consumed electrical energy is facilitated, while it is possible to control the equipment of the installation from the same place, without the need to operate from the location of the device to be controlled.

This is the application of a flexible and modern solution to new systems that appear as a result of technological advances in this field, and more specifically to the case of the installation being studied in this bachelor thesis.

# CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN



## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1 MOTIVACIÓN

La coyuntura del sistema energético actual se caracteriza por el desarrollo e introducción de un gran número de nuevas formas de producción de energía eléctrica en un corto periodo de tiempo. Desde el siglo XX, el creciente avance tecnológico de la generación eléctrica fotovoltaica y eólica está permitiendo su inclusión en el sistema eléctrico de forma relevante.

La mejora en el campo de las tecnologías de generación renovables en los últimos tiempos viene alimentada por su continuo abaratamiento, así como por la importancia de la desvinculación de los combustibles fósiles para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero producidos por la sociedad.

Este paradigma motivó a la población a utilizar estos nuevos recursos energéticos de manera cada vez más decidida. Inicialmente, estas nuevas producciones se destinaban al autoconsumo y no suponían un desequilibrio para el resto del sistema eléctrico. Sin embargo, el creciente número de instalaciones y su conexión a la red eléctrica nacional hace necesario que se tengan en cuenta, no como sistemas aislados, sino como agregaciones a la red.

La mayor variedad de fuentes de energía eléctrica ha supuesto una enorme diversificación de equipos necesarios para su correcto funcionamiento. Como ejemplo, se tienen reguladores de carga o inversores con distintas especificaciones técnicas necesarios para la adaptación de esta nueva producción a los consumos alimentados. Además, se registran en el mercado una gran variedad de modelos de aerogeneradores y paneles fotovoltaicos para autoconsumo o su inclusión en pequeños sistemas de distribución energética.

Por otro lado, las fuentes de energía eléctrica renovable como la solar fotovoltaica o la eólica no son de producción constante. Estas producciones están sujetas a las características meteorológicas particulares del lugar donde se ubiquen. Esta situación complica su correcta gestión a la hora de incorporarlos al sistema general de distribución eléctrica.

La motivación más relevante a la hora del desarrollo de este trabajo técnico es la necesidad de la modernización del sistema para incluir y agrupar los nuevos y variados elementos que empiezan a formar parte de este. Se necesita de mayores esfuerzos a la hora de gestionar correctamente el sistema al incluir importantes fuentes de energía eléctrica renovables.

Sistemas pequeños donde se consume parte de la energía procedente de fuentes renovables y otra parte procedente de la red eléctrica nacional son miniaturas de los sistemas que se podrían desarrollar en un futuro con el objetivo de modernizar nuestra organización, producción y distribución de la energía eléctrica. La mejora en la gestión de estos sistemas es otra motivación importante del proyecto presente.

Poder manejar fuentes de producción distintas para alimentar un mismo sistema es posible gracias a la tecnología software de información y gestión general. A través de novedosos elementos de control, automatización y monitorización será posible aumentar, además, la vigilancia y calidad de suministro, disminuyendo la posibilidad de errores en el sistema.

Este trabajo es de especial interés porque supone un método de adaptación a los cambios tecnológicos en el ámbito de la producción y gestión de la energía eléctrica. Un nuevo paradigma en el que la generación distribuida toma importancia en las llamadas “Smart Grids” o redes inteligentes, donde se gestiona la energía eléctrica procedente de diversas fuentes distintas en función de las características del consumo atendido en cada momento.

Se estudia, por tanto, el funcionamiento de un sistema híbrido local realista a través de tecnología software, que integra y gestiona fuentes de producción eléctrica de naturaleza renovable a la vez que el suministro obtenido de la red eléctrica.

## 1.2 OBJETO

El proyecto técnico pretende facilitar la labor de gestión del recurso eléctrico en la nave destinada al área de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Almería. Se trata de un trabajo de gestión de una instalación eléctrica híbrida realista. Esta labor será posible con el diseño y configuración de un software especializado en control y visualización de equipos. Este software recibe el nombre de “Supervisory Control And Data Acquisition” o “Supervisión, control y adquisición de datos” (SCADA). Con la implementación de este tipo de software se procuran lograr los siguientes objetivos:

- Construir un sistema que almacene los datos obtenidos por los diferentes equipos de medición y distribución energética. De esta forma se solventa la problemática de la gran variedad de aparatos necesarios para el correcto funcionamiento de las diferentes fuentes de producción del sistema.
- Monitorizar en tiempo real los valores de producción y consumo de los elementos de la instalación. Conocer datos fiables de estas variables es de especial importancia para agilizar la toma de decisiones sobre la instalación.
- Diseñar un sistema moderno que facilite la gestión y toma de decisiones sobre la instalación al completo desde un único punto. Agrupar la consulta de datos y el control de la instalación en un mismo lugar añade una eficiencia significativa a la gestión de la instalación. Una mayor eficiencia conduce a una disminución de errores en el desarrollo de las actividades de decisión.
- Integrar la generación renovable de naturaleza fotovoltaica y eólica en una red inteligente local. Con ello se estudia cómo incluir de manera eficaz este nuevo tipo de generación en sistemas conectados a la red, a la vez que se consigue una adaptación a las nuevas tecnologías.
- Minimizar la energía eléctrica sobrante en el sistema con la utilización de baterías y con la correcta monitorización de los consumos.
- Asegurar la calidad de suministro empleando elementos correctores, como batería de condensadores para disminuir la energía reactiva del sistema o filtros activos que eliminen los armónicos dañinos de la señal eléctrica que llega a los consumos.
- Creación de un modelo software adaptable a la incorporación de nuevos aparatos a la instalación. Es necesario tener en cuenta que pueden ocurrir modificaciones, el sistema de control y visualización debe ser capaz de admitir estos cambios.
- Adaptar el sistema de control y visualización de la instalación a diferentes tipos de usuario. Esto se debe tener en cuenta ya que a la instalación tendrán acceso profesores, investigadores y alumnos principalmente de la especialidad de ingeniería eléctrica. Por ello, se debe de adaptar el sistema a estos diferentes tipos de usuario para evitar el malfuncionamiento del software.
- Concienciar a cerca de la importancia de una buena gestión del recurso eléctrico. Actualmente existe un escenario social en el que cada vez se atiende más a las emisiones de gases contaminantes y donde se presta especial atención a la eficiencia energética en hogares e industrias. Con este proyecto se obtendrá una solución eficiente a la gestión de una instalación que estará al alcance de los estudiantes.

De esta forma, se dota a la instalación destinada al área de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de un sistema de control y visualización centralizado desde el que se actuará sobre los elementos del sistema de manera eficiente. Se trata, además, de un modelo a pequeña escala de lo que supone la gestión de redes inteligentes "Smart Grid", cuyo objetivo es gestionar el suministro eléctrico de una población.



### 1.3 CONTEXTO

El aprovechamiento del recurso energético siempre ha sido un reto para la civilización. Desde la Revolución Industrial del siglo XVIII, hemos ido dependiendo cada vez más de la energía en nuestras vidas hasta que en la actualidad, la energía eléctrica es la que posibilita la mayoría de nuestras actividades diarias. De esta forma, la energía y el recurso energético son los problemas económicos, sociales y existenciales más decisivos de nuestro tiempo.

El desarrollo tecnológico actual en el campo de la producción eléctrica nos abre paso a una realidad donde existen diversas alternativas a la forma en la que producimos electricidad. Sin embargo, se debe tener en cuenta que hasta ahora la producción de energía eléctrica dependía totalmente de los combustibles fósiles, y estamos acostumbrados a ello. Por eso, existe una negativa inicial a la modificación de un sistema que ha funcionado durante décadas a nivel mundial.

Aun así, muchos individuos se lanzaron al uso de la producción eléctrica a partir de fuentes de energía renovable para el autoconsumo. Y actualmente, algunos de ellos son sistemas de producción conectados a la red, de la que se puede obtener electricidad en caso de escasez de recurso renovable.

Un motivo del gran desarrollo en este campo es la alarma del cambio climático cada vez más presente e intensa. El consumo de energía, incluyendo la energía eléctrica, está generalizada y las emisiones producidas por esta actividad se incrementan al depender de los combustibles fósiles. Por ello, se está enfatizando cada vez más en la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para construir un futuro sostenible.

Pero este no es el único motivo que impulsa el desarrollo de la generación eléctrica renovable. La producción de energía a partir del sol y del viento son cada vez más baratas y, desde el punto de vista económico, también nos estamos dirigiendo a una era post carbono.

Existen estudios que se interesan por la modernización del sistema energético, como la Carbon Tracker Initiative [1], que define el escenario futuro del uso de los combustibles fósiles a raíz de la mejora de la producción de energía eléctrica renovable. Esta entidad indica que el descenso del precio en la generación de las energías solar y eólica provocará billones de dólares en activos obsoletos (combustible fósil que no llegará a extraerse) y golpeará a los petro-Estados que no logren reinventarse a sí mismos ni detectar la velocidad de la actual transición energética.

Debido a esto, cuatro de los principales sectores responsables del calentamiento global están empezando a desvincularse de la industria de los combustibles fósiles. Estos son las tecnologías de la información y las telecomunicaciones, el sector de la movilidad y la logística, el sector de la construcción y, por último, el sector eléctrico, al que se enfoca proyecto.

Esta actitud demuestra una decadencia natural de la era de los combustibles fósiles a la que debemos de adaptarnos, reinventando nuestra infraestructura. Por ello, un escenario realista en el estudio del recurso eléctrico debe incluir las nuevas formas de producción renovable al sistema eléctrico actual y aprender a integrarlo eficientemente. Será más sencillo comenzar a implementar una adaptación a los avances tecnológicos mencionados estudiándolos en instalaciones individuales para, más adelante, ser capaces de coordinar carias de ellas e incluso una población.

Un escenario prototípico para el futuro sería aquel donde existieran pequeñas fuentes de producción individuales o por comunidades de ciudadanos, donde se consumiría energía renovable como primera opción y cuyos excedentes serían compartidos con el resto de las poblaciones a través del sistema. Con ello se eliminarían pérdidas en el transporte de la energía a la vez que se potenciaría un consumo eficiente, renovable e inteligente con el objetivo de sacarle partido a los avances tecnológicos de los últimos tiempos.

Es conocido que, cuanto más se desarrolla un campo, más está presente en las vidas de los ciudadanos y más se necesitan unos conocimientos básicos por los usuarios para utilizarlos de la mejor manera posible. De esta forma, se observa la necesidad de desarrollar sistemas de gestión y control de la producción eléctrica accesibles que faciliten esta actividad lo máximo posible.

En este proyecto se diseñará un sistema que atiende a los avances tecnológicos en el sector eléctrico. La filosofía para el desarrollo del proyecto puede compararse con la utilizada en la logística del transporte de mercancías. Igual que es efectivo conocer dónde hay mayor tráfico o la existencia de tramos en obras en cada momento para la gestión y elección del camino más eficaz a la hora del transporte, para la gestión de la producción eléctrica es importante saber qué consumos se tienen en cada momento y de qué recursos se dispone.

## 1.4 ESPECIFICACIONES GENERALES

### 1.4.1 INTRODUCCIÓN

Es importante conocer los recursos eléctricos de los que dispone la instalación para poder realizar un correcto control de esta. Además, para obtener una mejor visión del conjunto completo, es interesante analizar cómo se genera la energía eléctrica en las diferentes fuentes de producción a las que se recurre. De esta forma, se estudian las fuentes de producción que se integrarán en el sistema de control y visualización SCADA del que trata el proyecto. Entre ellas se encuentran la generación eólica a partir de aerogeneradores, la producción solar fotovoltaica a partir de paneles fotovoltaicos y la energía eléctrica procedente de la red de distribución que alimenta las instalaciones de la Universidad de Almería.

### 1.4.2 ENERGÍA EÓLICA

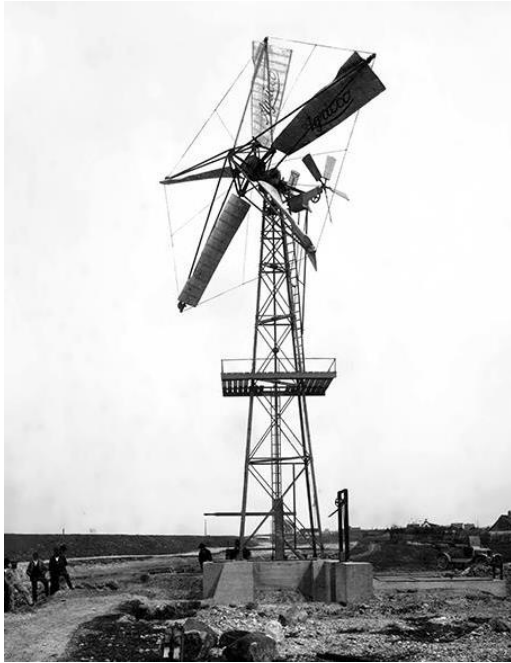
Los orígenes del aprovechamiento de la energía procedente del viento [2] se remontan a su uso en los barcos de vela del antiguo Egipto. Más tarde, entre los siglos XVIII y XIX, se construyeron molinos de viento para moler trigo y otros granos. Después, se utilizaron molinos de viento para operar bombas de irrigación en granjas. Hasta que el creciente uso de la electricidad en el siglo XX tuvo una gran influencia en el desarrollo de aerogeneradores, gracias también a los avances en aerodinámica.

El primer aerogenerador fue desarrollado por el danés Poul la Cour en la década de 1890, como parte de la industrialización. Se basó en el funcionamiento de los molinos que se empleaban en moler granos de maíz, cambiando sus aspas por paletas ajustables con bisagras y añadiendo otro de sus inventos, el "kratostat". Se trataba de un mecanismo de poleas y pesos con el que se nivelaba el accionamiento irregular del molino debido a las ráfagas intermitentes de viento, on el objetivo de obtener una fuente de energía estable.

La mejora de este diseño fue inventada por dos ingenieros daneses en 1919, Johannes Jensen y Poul Vinding. Su aerogenerador se llamó Agricco y sus aspas fueron diseñadas como las alas de un avión. Cada una de las aspas podía ser girada en diferentes posiciones, lo que añadía regulación de inclinación. Además, disponía del accionamiento que le permitía girar automáticamente con la dirección del viento.

Hasta la década de 1950 no se perfeccionó el modelo. La mejora vino por uno de los aprendices de Poul La Cour, Johannes Jull. Su aerogenerador tenía un mástil de 12 metros de altura y dos palas de 8 metros de largo asociados a un generador de 10 kW. Este aerogenerador utilizaba cerca del 60% del posible efecto extraíble del viento. Se empieza a parecer a los aerogeneradores utilizados actualmente.

El desarrollo de la energía eólica como se conoce actualmente surgió a partir de los años 70, derivada de la crisis del petróleo. Se utilizaban agrupaciones de varios aerogeneradores de tres aspas para la producción de energía eléctrica y se crearon algunas de las grandes empresas del negocio como Vestas y LM Wind Power.



*Figura 1. Aerogenerador de Johannes Jull*



*Figura 2. Agricco de Johannes Jensen y Poul Vinding*



*Figura 3. Aerogeneradores de 1970*

A continuación, se estudia el funcionamiento básico de los aerogeneradores modernos del tipo de los que se emplean en la instalación a la que se dirige el proyecto, así como las partes que lo componen y las funciones que tienen.

Los aerogeneradores modernos están formados por un sistema de dos o tres palas colocadas a gran altura [3], donde la velocidad del viento es mayor. Las aspas son capaces de girar siguiendo el método de funcionamiento aerodinámico de las alas de un avión, creando zonas de altas y bajas presiones a los lados de cada aspa, provocando el movimiento de estas. Esta combinación de movimientos permite la rotación de las palas.

La góndola es donde se encuentran los componentes clave del aerogenerador, incluyendo engranajes, rotor y generador como elementos principales. En ella ocurre la transformación de la energía mecánica en eléctrica de la siguiente forma.

El rotor del aerogenerador gira gracias a la diferencia de presiones creada por el viento en las aspas. Este rotor tiene una velocidad de giro igual a la de las aspas, por ello suele conocerse como el de baja velocidad. Para producir electricidad, es necesario incrementar la velocidad de rotación para el giro del generador eléctrico. Esta es la función del multiplicador o caja de cambios, que consigue su objetivo con un tren de engranajes. Esto permite que la velocidad de giro del rotor del generador sea suficiente para producir corriente eléctrica, en los aerogeneradores de gran potencia esta velocidad suele ser 1600 rpm. El generador eléctrico situado en la parte trasera de la góndola produce electricidad en corriente alterna.

Se debe controlar que la velocidad de giro del rotor del aerogenerador no sea excesiva, ya que puede provocar daños en el equipo por vientos fuertes. Para ello, los aerogeneradores de gran potencia incorporan un controlador para esta función. En el caso en el que sea necesario detener el rotor, la góndola alberga un freno que actúa mecánica, eléctrica o hidráulicamente para este fin.

A modo de protección en la parte final de la góndola de los aerogeneradores de gran potencia suele instalarse un pararrayos. Además, suelen ir proporcionados de un sistema de ventilación tras el generador que evite el aumento de temperatura y el malfuncionamiento de este.

Es importante tener en cuenta que la orientación del aerogenerador para que cumpla su función debe ser de cara al viento, es decir, la dirección del viento debe ser desde el buje hasta la parte final de la góndola. Para conocer este parámetro decisivo, se dispone de veletas y anemómetros que, además, proporcionan datos sobre la velocidad del viento. Conociendo cuál es la orientación ideal del aerogenerador, el equipo presenta un sistema de giro con el que reorientar el buje y sistema de palas.

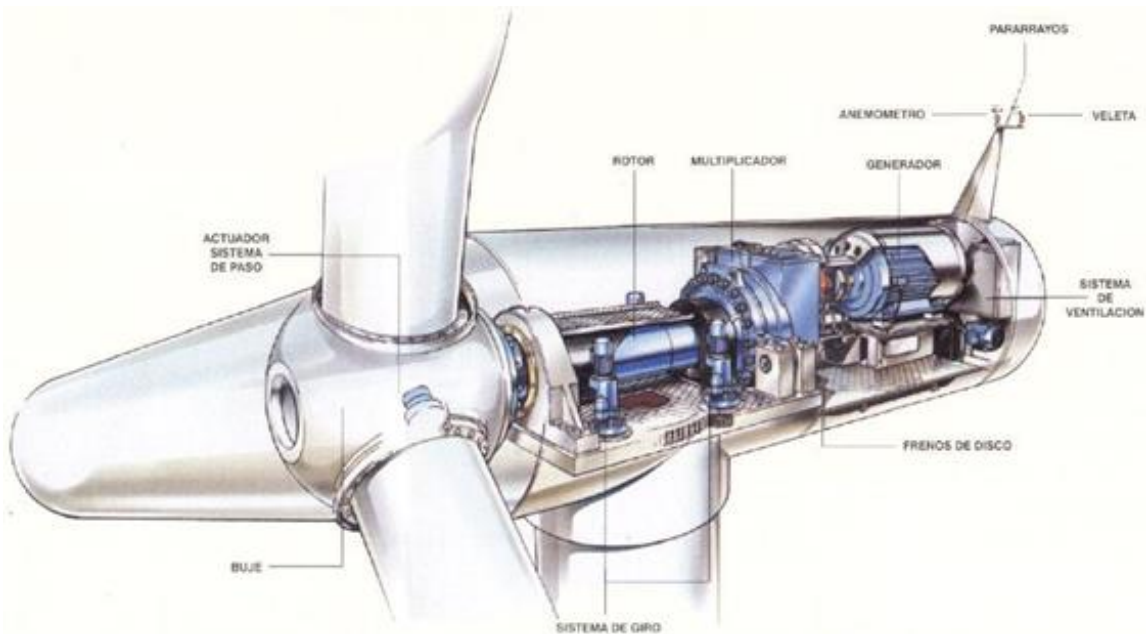


Figura 4. Componentes de un aerogenerador [4]

Aunque los aerogeneradores más utilizados son los vistos hasta ahora, denominados de eje horizontal, existen otro tipo de aerogeneradores, los de eje vertical.

Estos aerogeneradores se utilizan generalmente para bajas velocidades de viento y son útiles para el bombeo de agua aún. Aún no presentan tanta capacidad de producción eléctrica como los de eje vertical, de ahí su poca popularidad. En la siguiente figura se muestran los tipos de turbinas eólicas de eje vertical siendo a) modelo Savonius; b) modelo Darrieus-rotor con diseño de “batidor de huevos”; c) H-Darrieus con aspas en forma de H; d) modelo con aspas en forma cuchillas.

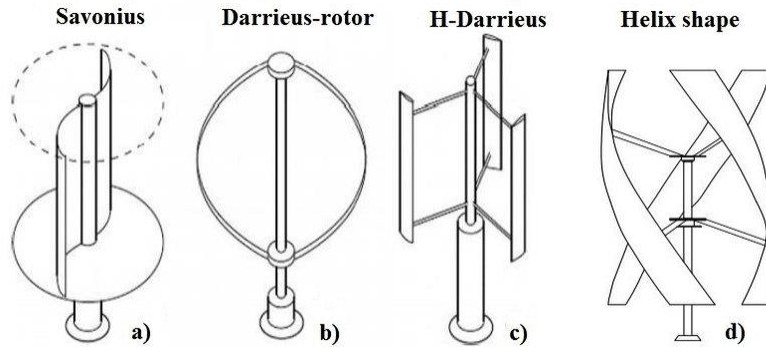


Figura 5. Tipos de turbinas eólicas de eje vertical [5]

Estudiado el funcionamiento de los aerogeneradores modernos, se puede observar que la potencia eléctrica generada dependerá directamente de la velocidad del viento que haga girar las aspas. A continuación, se analizarán las ecuaciones características de los aerogeneradores.

Para empezar, es de especial interés conocer la potencia disponible del viento.

Toda potencia se calcula a partir de la energía, siendo la potencia la derivada de la energía en el tiempo. La energía disponible del viento para un aerogenerador se considera cinética.

$$P = \frac{dE}{dt} = \frac{d\left(\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2\right)}{dt}$$

La energía cinética de una partícula de aire que se mueve es proporcional su masa y al cuadrado de su velocidad. Calcular la masa de una partícula de aire puede resultar complicado y para facilitar el desarrollo de la expresión, se representará la masa como la densidad del aire dividido entre su volumen.

El volumen de aire que se tendrá en cuenta para el desarrollo será el definido por el área barrida por las aspas del aerogenerador y por el espesor de estas. Esto se debe a que el espesor de las palas el recorrido en el que el viento les cederá energía cinética.

$$m = \rho \cdot \text{vol} = \rho \cdot A \cdot e$$

$$P = \frac{d\left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot e \cdot v^2\right)}{dt}$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

P: Potencia disponible del viento (W).

E: Energía cinética de una partícula de aire (J).

m: Masa de una partícula de aire (kg).

$\vec{v}$ : Vector velocidad de una partícula de aire (m/s).

$\rho$ : Densidad del aire. Parámetro de valor constante ( $\text{kg/m}^3$ ).

vol: Volumen del aire ( $\text{m}^3$ ).

A: Área barrida por las aspas del aerogenerador ( $\text{m}^2$ ). Esta área a su vez es  $2 \cdot \pi \cdot l$ , siendo  $l$  la longitud de las aspas. El área barrida es parámetro de valor constante.

e: espesor de las aspas del aerogenerador (m). Parámetro de valor constante.

La potencia máxima extraíble del aire depende, por tanto, de la densidad de este, el área barrida por las aspas del aerogenerador y la velocidad del viento. Sin embargo, la potencia real obtenida por el aerogenerador será menor, ya que se extraerá la potencia máxima del viento cuando la velocidad de este sea cero al pasar las aspas del aerogenerador. Este fenómeno no es posible ya que supondría una acumulación de masa de aire tras las palas del aerogenerador, lo que es conocido que no ocurre en la realidad.

Para conocer la potencia máxima obtenida por una turbina eólica habrá que tener en cuenta este fenómeno y se estudia el perfil de velocidades y presiones del recorrido de la masa de aire con detalle. El objetivo del estudio es obtener el valor máximo del coeficiente que determinará la potencia máxima extraíble del viento por una turbina eólica. Este coeficiente se denomina coeficiente de potencia ( $C_p$ ).

Estudios que utilizan las expresiones de conservación de la masa, conservación de la energía (Bernouilli) y la Primera Ley de Newton como base, consiguen mostrar el valor máximo de este coeficiente para turbinas eólicas. Este valor es de  $16/27$  (dieciséis veintisieteavos).

Al máximo valor posible del coeficiente de potencia se le llama Límite de Betz y su valor se alcanza con aerogeneradores de tres palas. Es por esto por lo que no se ven modelos de cuatro palas.

De este modo, a partir de la expresión de la potencia máxima disponible del viento y del valor del Límite de Betz se obtiene la expresión de la potencia máxima obtenida por una turbina eólica.

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot \frac{16}{27}$$

Se ha comprobado que la potencia extraíble del viento depende de su velocidad, por ello es usual estudiar la ocurrencia de vientos de determinadas velocidades según la zona donde se quiere ubicar el aerogenerador. Para una buena producción de energía eléctrica, se necesita que la velocidad del viento que mueve las aspas sea lo más constante posible. Para el estudio de esta característica se emplea la distribución de probabilidad de Weibull.

Se trata de una función de densidad que estudia la probabilidad de ocurrencia de todas las velocidades de viento en una zona determinada. De esta forma se podrá escoger el aerogenerador cuya velocidad de diseño se ajuste más al viento con más probabilidad de ser constante en esa zona. La función se expresen porcentaje (%) y se define de la siguiente manera.

$$F(v, k, \lambda) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \cdot \left(\frac{v}{\lambda}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{\lambda}\right)^k} & v < 0 \\ 0, & v \geq 0 \end{cases}$$

F: Función de Weibull (%).

v: Velocidad del viento (m/s).

k: Factor de forma.

$\lambda$ : Factor de escala. Referido a la calidad del viento.

A la hora de representar la función de Weibull, el eje de abscisas representa los diferentes valores de velocidad del viento en m/s, y el eje de ordenadas representa las probabilidades de ocurrencia para cada uno de estos vientos, es decir, la función distribución de probabilidad. De esta forma, la velocidad de viento que se debe tener en cuenta a la hora de escoger un aerogenerador es a la que corresponda el punto más alto de la gráfica de la función de Weibull, es decir, el que presente mayor probabilidad de mantenerse constante en el tiempo.

Teniendo esto en cuenta, resulta de especial interés conocer las características del viento en Almería, y más concretamente en las coordenadas de la Universidad de Almería, que es donde se encuentra la instalación de estudio de este proyecto. Conocer las características del viento en la zona es útil para identificar con más facilidad anomalías en la producción eólica.

Utilizando el recurso proporcionado por [6] es posible obtener la función de Weibull característica del viento en la zona de la Universidad de Almería, así como la orientación de los vientos predominantes en la zona. Para obtener los resultados, se han proporcionado los datos de coordenadas geográficas de la zona de estudio y de la altura de los aerogeneradores. Tras estas especificaciones, la herramienta muestra los siguientes resultados, utilizando la base de datos almacenados por MERRA-2 de la National Aeronautics and Space Administration (NASA).

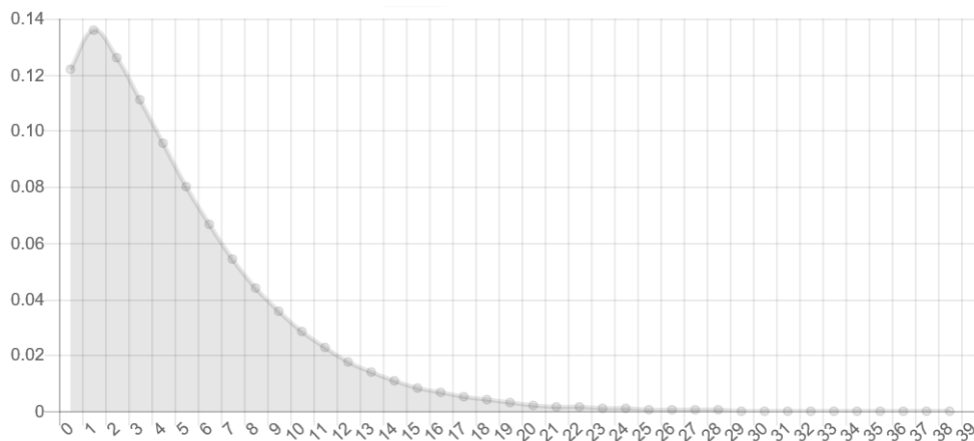


Figura 6. Distribución de Weibull en la Universidad de Almería

Esta distribución muestra la probabilidad de viento constante en la zona estudiada, así como a qué valor corresponde en metros por segundo. Esta información es de importancia ya que se necesita de un recurso eólico de valor lo más permanente posible para una correcta producción de energía eléctrica a partir de aerogeneradores.



De modo que se puede observar que el valor de viento con más probabilidad de ser constante en la zona está entre 1 y 2 m/s. La probabilidad de ocurrencia de este fenómeno se aproxima a 0,14.

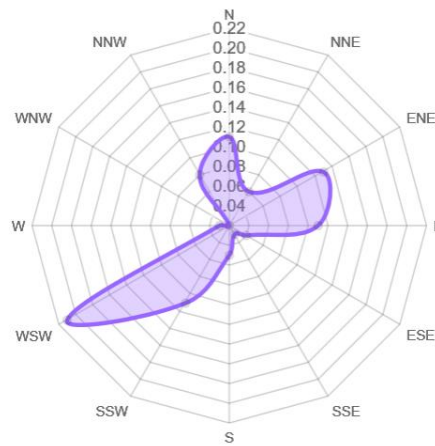


Figura 7. Distribución de vientos en la ubicación de la Universidad de Almería

Por otro lado, se obtiene la dirección predominante del viento en la ubicación del proyecto. Se muestra que la dirección predominante es WSW (Oestesuroeste).

Una vez obtenida una idea de las características principales del viento en la Universidad de Almería, es interesante observar los datos sobre la disponibilidad de recurso eólico en Almería para conocer qué producción se podría llegar a obtener. Los datos se publicaron en la referencia [7] para todo el territorio español y teniendo como referencia la altura de 30 metros para aerogeneradores de pequeña potencia. En el caso de la instalación que se estudia en este proyecto, la altura de los aerogeneradores es de 15 metros, así que se debe tener en cuenta esta diferencia a la hora de interpretar los mapas, que serán utilizados meramente como información adicional.

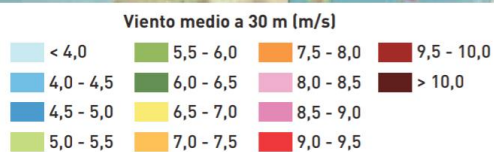


Figura 8. Densidad de potencia media anual a 30 m de altura en ( $W/m^2$ )



Figura 9. Densidad de potencia media anual a 30 m de altura en ( $W/m^2$ )

Los mapas señalan la zona de Almería de tono verdoso, luego el viento medio anual a 30 metros de altura está entre los 5,5 y los 6,5 m/s. Estos resultados sitúan nuestra zona entre las de más potencial eólico terrestre del país.

Por otro lado, se muestran los resultados de la densidad de potencia anual extraíble de las distintas zonas de España. Estos valores indican la potencia total portada por el viento y señalan que, en la zona de Almería, la densidad de potencia eólica anual está entre 200 y 300 W/m<sup>2</sup>. Estos valores son positivos ya que, en el mismo estudio se señala la rentabilidad de proyectos eólicos terrestres en zonas de densidad de potencia a partir de los 250 W/m<sup>2</sup>.

Interpretando estos mapas, se observa la analogía entre la representación de velocidad del viento y la potencia extraíble. Esto se debe a que, como se ha estudiado anteriormente, la potencia extraíble del viento depende directamente de su velocidad.

Con la publicación de este estudio, se observa que Almería presenta un potencial eólico terrestre importante a nivel de España y que, además, su contribución a la capacidad eólica Andaluza sitúan esta comunidad entre las de mayor potencial eólico del país. Esto se puede observar en la gráfica publicada por el mismo informe señalando el potencial eólico estimado para la superficie disponible de cada comunidad autónoma de España, teniendo en cuenta velocidades de viento superiores a 6 m/s y con referencia situada a 80 m de altura.

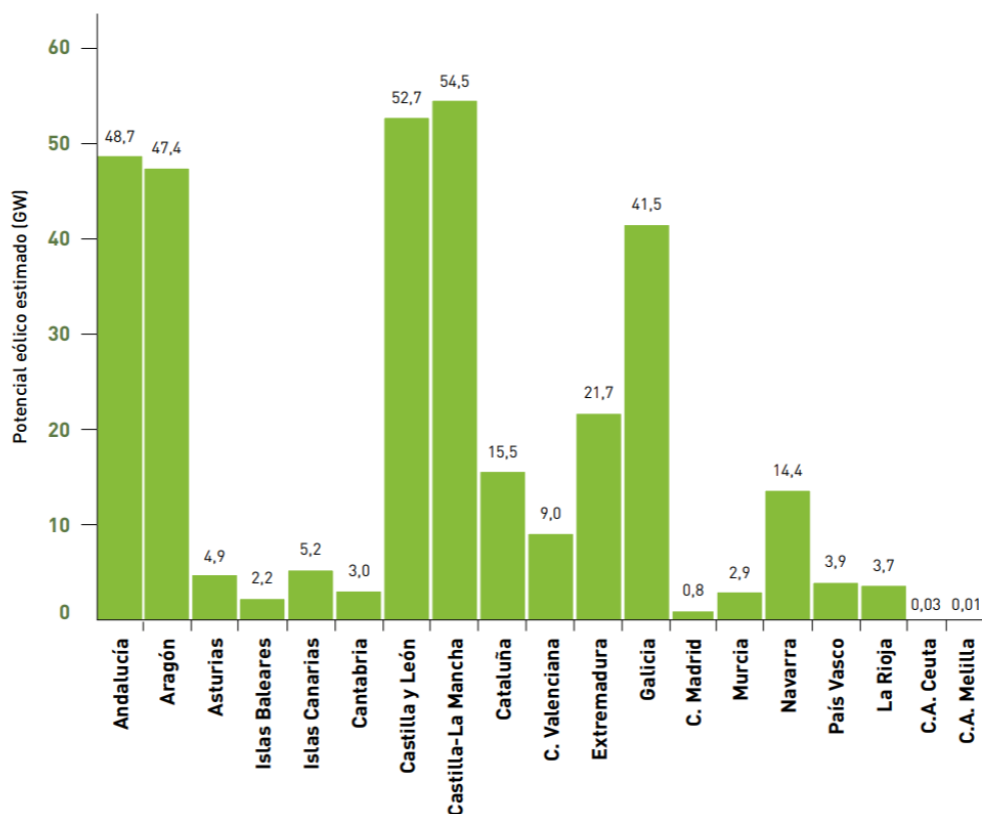


Figura 10. Potencial eólico estimado en (GW) para la superficie disponible

De esta forma se confirma el enfoque realista de este proyecto al estudiar la gestión energética de una instalación con fuente de producción eólica situado en Almería. El estudio de la instalación a la que se dirige el proyecto puede convertirse en un escenario a pequeña escala de las posibilidades de integración de la pequeña producción en la provincia.

### 1.4.3 GENERADOR DE IMANES PERMANENTES

Como se ha mencionado anteriormente, en la góndola del aerogenerador se encuentra el generador eléctrico que convierte la energía mecánica de rotación de las aspas en energía eléctrica. En el caso de los aerogeneradores utilizados en la instalación de estudio, la energía eléctrica se obtiene a partir de generadores de imanes permanentes.

Los generadores de imanes permanentes son máquinas síncronas, también llamadas alternadores que pueden producir energía eléctrica de corriente alterna trifásica. Estos generadores son los que se encuentran también en centrales hidráulicas, térmicas y nucleares [8].

La denominación como máquinas síncronas deriva de su característica peculiar sobre la frecuencia de la corriente alterna producida. En los alternadores, la frecuencia de la corriente alterna generada está vinculada directamente con la velocidad de rotación. Por ello, en un aerogenerador, es de gran importancia conocer la velocidad de giro de las aspas.

$$f = \frac{n \cdot p}{60}$$

n: Velocidad de rotación (rpm).

f: Frecuencia de la corriente alterna generada (Hz).

p: Número de pares de polos del alternador. Estos se refieren a los imanes que componen el rotor (componente estudiada a continuación), siendo un par un conjunto de polo norte y polo sur que se encuentran en lados opuestos del rotor.

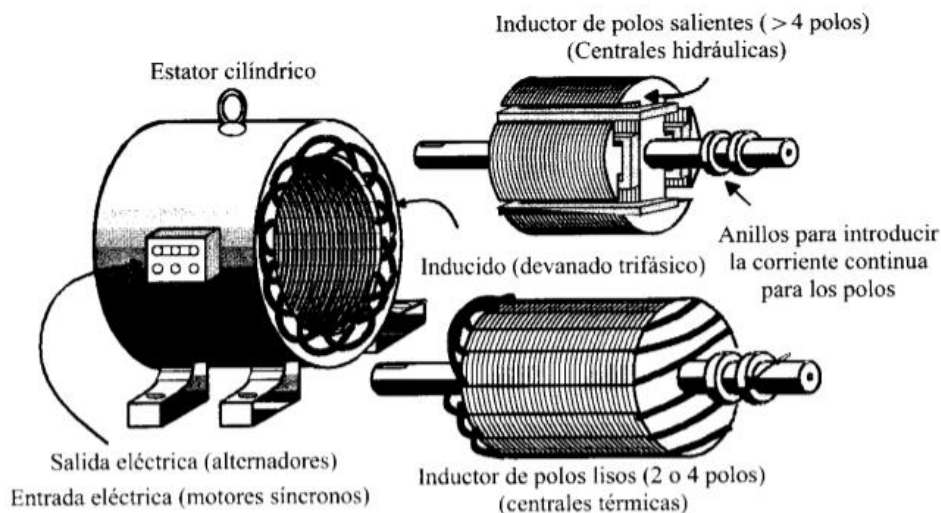


Figura 11. Partes de una máquina síncrona

Los elementos más importantes de estas máquinas son el rotor y el estátor. El rotor es cuyo eje gira por el movimiento de las aspas del aerogenerador y tras su paso por el multiplicador. Está formado

por imanes o electroimanes que producen un campo magnético y, al girar debido al movimiento del eje, resulta un campo magnético giratorio, y por ello, variable.

Por otro lado, el estátor es un elemento inmóvil de la máquina. Está formado por bobinas de material conductor igualmente repartidas entre tres fases para la circulación de corriente eléctrica trifásica.

Estos generadores se basan en la generación de corriente eléctrica por inducción magnética, es decir, la inducción de corriente en un conductor a través de un campo magnético giratorio. Por este motivo al rotor se le llama también inductor y al estátor inducido. La fuerza electromotriz inducida en los conductores en cada momento dependerá del valor del campo magnético giratorio mediante la Ley de Faraday-Lenz.

$$E \text{ (f. e. m. )} = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

E: Fuerza electromotriz inducida en un alternador (V).

$\Phi$ : Valor del flujo magnético en cada instante (Wb).

N: Número de espiras de cada fase.

Para obtener el valor medio de la f.e.m. se puede aproximar el valor del flujo magnético variable a un valor medio. Con estos valores en cuenta, se puede obtener el valor medio de la fuerza electromotriz inducida en el transcurso de medio periodo de la corriente alterna. Además, se puede conocer el valor de la fuerza electromotriz eficaz multiplicando este valor por el coeficiente de forma de la onda producida.

$$E_{\text{med}} = 4 \cdot f \cdot N \cdot \Phi_{\text{m}}$$

$E_{\text{med}}$ : Fuerza electromotriz media.

f: Frecuencia de la corriente alterna producida (Hz).

$\Phi_{\text{m}}$ : Valor medio del flujo magnético (Wb).

$$E_{\text{ef}} = 4 \cdot f \cdot N \cdot \Phi_{\text{m}} \cdot K_{\text{f}}$$

$E_{\text{ef}}$ : Fuerza electromotriz eficaz.

$K_{\text{f}}$ : Factor de forma.

Además, es posible conocer teóricamente el voltaje de fase a partir de la f.e.m. inducida y conociendo el circuito equivalente del alternador. Una representación esquemática del circuito eléctrico por el que circula la corriente inducida por el campo magnético giratorio ayuda a visualizar el camino de esta electricidad en el generador.

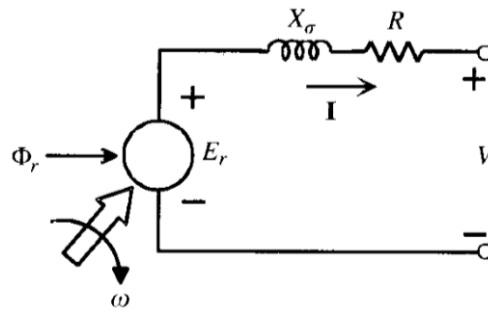


Figura 12. Circuito equivalente de un alternador

$$E = V + R \cdot I + j \cdot X_a \cdot I$$

E: Fuerza electromotriz resultante (V).

V: Tensión por fase (V).

I: Corriente inductiva en el inducido (A).

R: Resistencia de dispersión ( $\Omega$ ).

$X_a$ : Reactancia de dispersión ( $\Omega$ ).

De este modo, se conoce con más profundidad la componente generadora de los aerogeneradores que está presente en la instalación de estudio en este proyecto. Cuanto más se conozcan los componentes que la forman, mejor fundamentadas estarán las decisiones de gestión y mantenimiento sobre el sistema. Con esta información toma más valor la utilidad del sistema de control y visualización que se persigue en este proyecto.

#### 1.4.4 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

El interés por la energía procedente del sol ha estado presente desde los comienzos de la civilización, por ejemplo, en el uso de espejos para concentrar esta energía y utilizarla para calentar. Sin embargo, la primera pieza decisiva para la invención de las placas fotovoltaicas como las conocemos en la actualidad se encontró en 1839 [9].

El científico Edmond Becquerel descubrió el principio que seguirían las baterías modernas experimentando con dos metales (electrodos) sumergidos en una solución conductora (electrolito). Becquerel observaba cómo el potencial entre los metales aumentaba al exponerse el sistema a la luz, con lo que también se dio lugar al descubrimiento del efecto fotovoltaico. Este efecto consiste en la creación de una corriente eléctrica entre dos piezas de metales diferentes expuestos a una radiación electromagnética.

Posteriormente, en 1883, gracias a los estudios sobre las propiedades conductoras del selenio, Charles Fitts desarrolló la primera célula solar formada por selenio y oro. Este invento presentaba una eficiencia menor del 1%.

Se siguió investigando sobre las propiedades fotoeléctricas de los materiales y Albert Einstein publicó el primer artículo sobre el efecto fotoeléctrico. Se ha de señalar que el efecto fotoeléctrico es por el que los metales iluminados con luz a una frecuencia determinada emiten electrones. Por otro lado, el efecto fotovoltaico es por el que se genera energía gracias al movimiento de estos electrones.

Gracias a estas investigaciones se consiguió fundar las bases de la tecnología fotovoltaica que conocemos. En 1954 Daryl Chapin, Calvin Fuller, y Gerald Pearson desarrollaron la célula solar de silicio con un rendimiento del 4%. A partir de entonces se comenzó a desarrollar interés por esta tecnología, las eficiencias de los nuevos modelos de células aumentan, y en 1999 la producción mundial de células fotovoltaicas alcanza los 1000 MW.

Finalmente, en la actualidad los valores más comunes de eficiencia de células fotovoltaicas están entorno al 15 y 20%. Las células se agrupan hasta formar paneles fotovoltaicos, que son los que se utilizan en las instalaciones fotovoltaicas para la producción eléctrica. Los paneles fotovoltaicos actuales presentan los siguientes componentes.

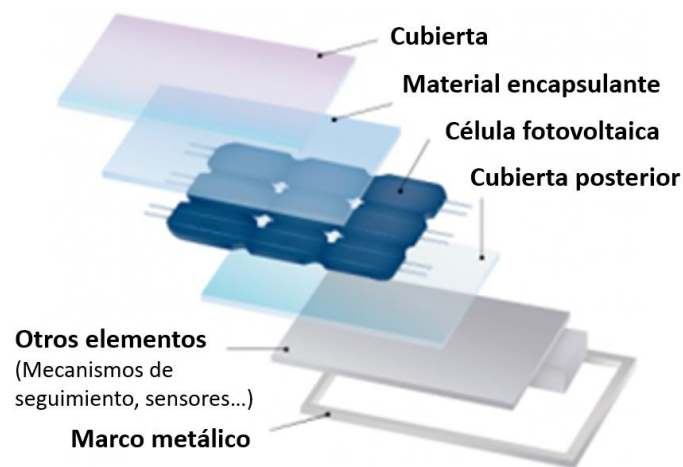


Figura 13. Partes de un panel fotovoltaico [10]

La parte más importante de los paneles fotovoltaicos es la agrupación de células fotovoltaicas, donde ocurre el fenómeno fotovoltaico. El resto de los elementos tienen la función de protección y mejora de la eficiencia de las células.

De esta forma, la cubierta tiene la función de proteger las células de la intemperie. Además, debe ser transparente para no interferir en la llegada de la radiación solar a las células.

Los encapsulados protegen directamente las células y los contactos metálicos por los que se transporta la corriente eléctrica generada. Para ello, deben asegurar la protección contra aumentos significativos de temperatura.

La capa trasera donde se sitúan otros elementos normalmente sirve también como capa reflectora de la radiación solar, para mejorar la eficiencia del conjunto. Añade elementos de protección al panel para prevenir de efectos como la humedad.

Todo el conjunto se cohesionan gracias al marco de apoyo que aporta robustez a la vez que sirve como elemento añadido de protección de las células.

Tras estudiar la composición de los paneles fotovoltaicos, analizaremos los principios de funcionamiento de las células fotovoltaicas, que es donde tiene lugar el efecto fotovoltaico y la producción de energía eléctrica.

Una célula fotovoltaica suele fabricarse de silicio y se basa en la unión de semiconductores tipo n y p. El silicio por sí solo no es buen conductor de la electricidad ya que todos los electrones de los átomos están unidos a estos. Por ello, se divide la muestra en dos secciones, la capa superior se dopa con impurezas de elementos pentavalentes (con cinco electrones en su capa de valencia) llamada tipo de tipo n y a la capa inferior se le añaden impurezas trivalentes (con tres electrones en su capa de valencia) llamada de tipo p. De esta forma, en la capa de material tipo n, cada átomo de impureza pentavalente presenta un electrón libre. Mientras que en la capa tipo p cada átomo de impureza trivalente presenta un hueco (posibilidad de captar un electrón).

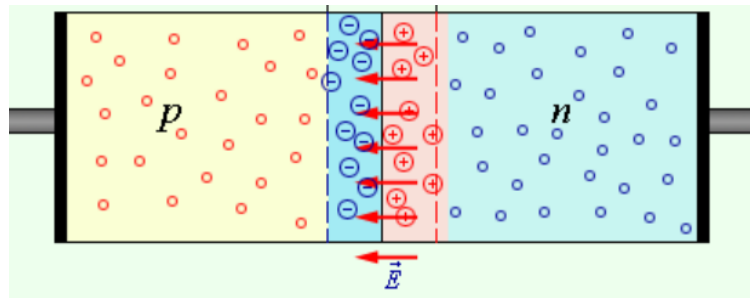


Figura 14. Unión PN en célula fotovoltaica [11]

De forma espontánea, existe un pequeño desplazamiento de los electrones libres de la zona n hacia la zona p y viceversa. Esto provoca que la zona n posea menos carga negativa que originalmente, con lo que la parte más cercana a la unión de zonas queda cargada positivamente. Del mismo modo, la parte de la zona p más cercana a la unión queda cargada negativamente. Existe entonces, un campo eléctrico y una diferencia de potencial o potencial de contacto, de valor muy pequeño, entre estas nuevas y finas regiones formadas en el material llamada unión metalúrgica o zona de carga espacial.

A partir de esta situación es cuando se puede ver el efecto del fenómeno fotovoltaico sobre la célula. Se debe tener en cuenta que la zona n es la que se encuentra sobre la zona p y por ello más cercana al exterior.

El efecto fotoeléctrico ocurre cuando los fotones de la radiación solar penetran por la capa n hasta la unión metalúrgica. Si el fotón impacta contra un electrón unido a su átomo correspondiente, este puede transmitirle la energía necesaria para liberarlo del enlace y, por la influencia del campo presente en la unión metalúrgica, es arrastrado a la superficie de la capa n. Por otro lado, el hueco creado por la falta de ese electrón es desplazado por la misma influencia del campo eléctrico hacia al extremo de la capa p más alejado de la unión metalúrgica.

La corriente eléctrica ocurre si se unen los extremos de las capas, donde se encuentran el electrón y el hueco libres, con material conductor. De esta forma, el electrón de la capa n se volverá a unir a su hueco en la capa p pasando por este conductor. Si se coloca una carga en el conductor, esta puede ser alimentada por la corriente de electrones generada de esta forma.

Existen configuraciones para mejorar el funcionamiento de las células fotovoltaicas. Por ejemplo, para favorecer la llegada de los fotones a la zona metalúrgica o sus alrededores, la capa n debe de ser considerablemente más fina que la capa p. También puede formarse la zona de unión entre capas n y p con forma de zigzag para aumentar la superficie de la zona de carga espacial, con lo que habrá más posibilidad de que un fotón incida sobre un electrón en esa zona.

En cuanto a los tipos de paneles fotovoltaicos [12], los más diferenciados son los paneles monocristalinos con alta pureza de un único material, normalmente silicio, y con estructura cristalina uniforme del mismo; paneles policristalinos que se diferencian de los anteriores en la forma de



fabricación más simple del cristal de silicio que no resulta en un único cristal uniforme; por último, los paneles de capa fina que utiliza tres capas de material en una misma base.

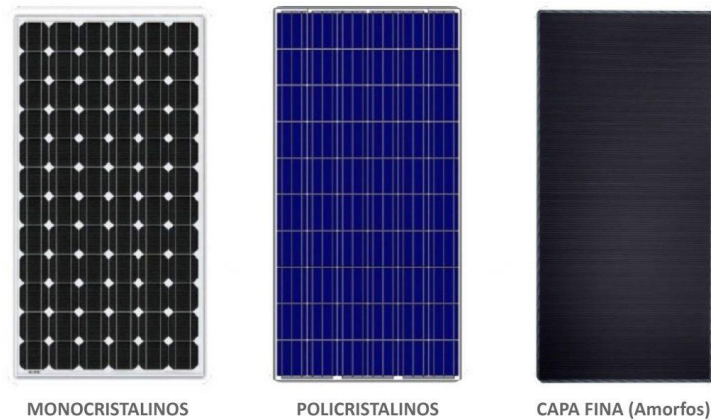


Figura 15. Clasificación general de paneles fotovoltaicos

Una vez conocidas las principales características de los paneles fotovoltaicos, es de interés estudiar las ecuaciones con las que obtener los parámetros más importantes.

De esta forma, es importante conocer la energía que debe tener un fotón para que, al impactar contra un electrón, sea capaz de liberarlo del enlace que lo une al átomo de silicio. Esta energía se conoce como anchura de la banda prohibida ( $E_g$ ) y depende del material. Así, el silicio tiene una anchura de banda prohibida a 0 K de 1,21 eV. Conociendo la energía que deben portar los fotones, es posible calcular la longitud de onda de radiación con más probabilidad de generación de corriente eléctrica.

$$E_g = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

$h$ : Constante de Planck ( $4,1361 \cdot 10^{-15}$  eV·s).

$c$ : Velocidad de la luz en el vacío ( $2,998 \cdot 10^8$  m/s).

$\lambda$ : Longitud de onda (nm).

Por otro lado, se ha mencionado como característica de las primeras células fotovoltaicas la eficiencia. Este parámetro depende de la intensidad de corriente y voltaje en el punto de máxima potencia de operación de la célula, de la irradiancia (energía solar por unidad de superficie) y del área de la célula.

$$\eta = \frac{I_{mp} \cdot V_{mp}}{A \cdot E} \cdot 100$$

$\eta$ : Eficiencia (%).

$I_{mp}$ : Intensidad en el punto de máxima potencia (A).

$V_{mp}$ : Voltaje en el punto de máxima potencia (V).



A: Área de la placa o célula fotovoltaica ( $m^2$ ).

E: Irradiancia ( $W/m^2$ ). Es la radiación que incide en un instante sobre una superficie determinada [13].

Para conocer cuál es el punto de máxima potencia del panel fotovoltaico, se representan los parámetros de intensidad y potencia en función del voltaje de salida del panel para cada modelo. De esta forma, a partir de la representación gráfica pueden obtenerse los valores de voltaje e intensidad en el punto de máxima potencia fotovoltaica trazando una vertical desde el punto más alto de la curva de potencia (MPP) hasta corta el eje x y la curva de intensidad de la corriente de salida del panel.

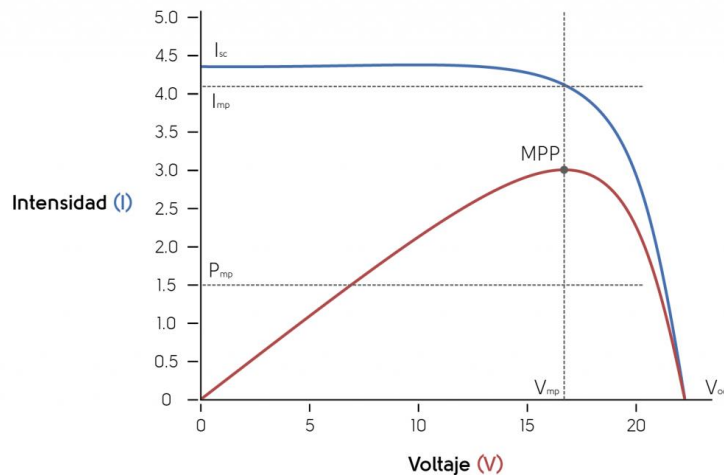


Figura 16. Curva I-V y punto de máxima potencia (MPP) de panel fotovoltaico [14]

Además de las características individuales del panel, es importante conocer los cálculos necesarios para estimar la producción eléctrica esperada, la productividad de la planta o el rendimiento global de la instalación.

$$E_{FV} = P_{FV} \cdot HSP \cdot PR$$

$E_{FV}$ : Energía esperada de la planta (kWh).

$P_{FV}$ : Potencia nominal de la planta fotovoltaica (kW).

PR: Performance ratio o rendimiento global del sistema. Factor de pérdidas de rendimiento de la planta fotovoltaica debidas a temperatura, cableado o transformaciones de corriente continua a corriente alterna o de baja tensión a media tensión.

HSP: Horas solares pico. Horas cuya irradiancia corresponde a las condiciones estándar de  $1 \text{ kW}/m^2$ . Se obtiene dividiendo la irradiancia solar en el emplazamiento ( $\text{kWh}/m^2$ ) entre este valor estándar, equivalente a  $1 \text{ kW}/m^2$ .

$$Y_F = \frac{E_{FV}}{P_{FV}}$$

$Y_F$ : Productividad del sistema fotovoltaico (kWh/kW).

$E_{FV}$ : Producción energética real de la instalación (kWh).

$P_{FV}$ : Potencia nominal de la instalación (kW).

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R}$$

PR: Performance ratio o rendimiento global del sistema. Representa la relación entre la energía producida y la que teóricamente se podría generar con la radiación disponible.

$Y_F$ : Productividad del sistema fotovoltaico (kWh/kW).

$Y_R$ : Productividad de referencia (HSP ó h/día). Se calcula dividiendo la irradiación en el emplazamiento de la instalación ( $\text{kWh/m}^2$ ) entre la irradiancia en condiciones estándar, equivalente a  $1 \text{ kWh/m}^2$ .

Para muchas de las ecuaciones descritas se necesita conocer la irradiancia o irradiación en el lugar de la instalación. Este dato se puede obtener gracias a los estudios de la Agencia Estatal de Meteorología [15]. Gracias a esta agencia, es posible obtener los datos de irradiancia en la zona donde se ubica la instalación de estudio y es posible compararlos con el resto del territorio español. Además, proporcionan los valores de irradiancia global, directa y difusa concretamente en Almería durante el transcurso de un año completo y durante cada uno de los doce meses.

La disponibilidad del recurso solar en la zona de la Universidad de Almería es muy alta. Almería dispone de los mejores valores de irradiancia global del país, con un valor entorno a los  $5,5 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{día}$ . Con estos datos se observa el carácter realista de la utilización del recurso solar para la generación fotovoltaica de pequeña potencia de manera distribuida y accesible en la provincia.

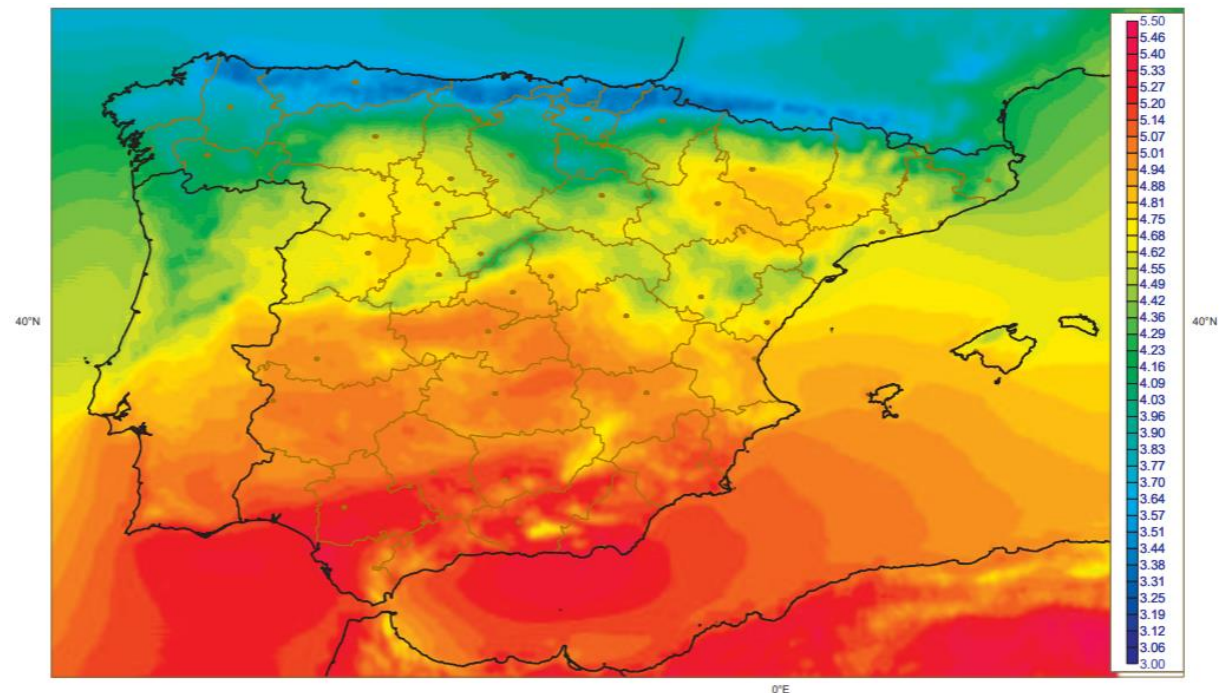


Figura 17. Irradiancia global media en España ( $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{día}$ ) entre 1983 y 2005

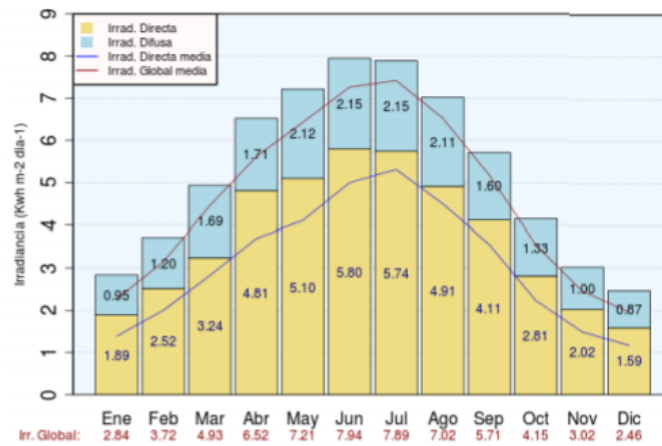


Figura 18. Irradiancias global, directa y difusa en Almería entre 1983 y 2005

Es bien conocida las buenas características de Almería para la utilización del recurso solar, pudiendo ser este termosolar o fotovoltaico. Por ello, la realización de este proyecto se ve de gran utilidad al dedicarse a una gestión de utilización de los diferentes recursos disponibles en un lugar para el consumo eléctrico. Es una forma de conseguir integrar los diferentes recursos disponibles en un lugar y facilitar el máximo aprovechamiento de estos para el consumo eléctrico.



## 1.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

### 1.5.1 INTRODUCCIÓN

Este apartado se exponen dos conceptos importantes para el desarrollo de este proyecto, qué son los sistemas de control y visualización SCADA y qué son las redes de comunicación industrial.

Primero, se exponen las características de los sistemas de control y visualización SCADA en el ámbito industrial, así como los modelos existentes en la actualidad. Se debe tener en cuenta las condiciones del mercado actual para ser capaces de escoger con mayor criterio el software adecuado para el propósito de este proyecto.

Después, se estudia con detenimiento las características de las redes de comunicaciones industriales, su clasificación y los tipos más utilizados en la actualidad. Estas redes transportarán la información necesaria para el funcionamiento del sistema de control y visualización de la instalación.

### 1.5.2 SISTEMAS SCADA

El acrónimo SCADA viene del inglés “Supervisory Control And Data Acquisition”. Esto se traduce en que un sistema de este tipo tiene como finalidad supervisar y controlar remotamente una instalación mediante diferentes protocolos en un solo lugar. Estas lecturas se realizan en tiempo real.

Los sistemas SCADA pueden considerarse como un conjunto de programas y equipos destinados a la adquisición de datos y transmisión de comandos desde y hacia el proceso [16]. De esta forma aseguran el diálogo entre el operador y la instalación, pudiendo generar avisos sobre cuando se alcancen valores críticos para el sistema o pudiendo crear una base de datos que contenga los principales parámetros que se debe tener en cuenta al operar la instalación. Se trata de una evolución de los sistemas de vigilancia unido a la capacidad de controlar los equipos de los que se forma la instalación. Sistemas de control de procesos modernos.

Los sistemas SCADA para el control y visualización de sistemas eléctricos tienen las operaciones principales de informar, en tiempo real, sobre el estado de la energía disponible y/o generada, así como de los consumos que se deben satisfacer, y ofrecer la opción de poder actuar sobre los elementos del sistema según el mejor criterio. Las acciones de control más relevantes de los SCADA en instalaciones eléctricas son las relacionadas con decisiones sobre la producción. Poder escoger cuándo la energía consumida en la instalación o en el sistema va a provenir de aerogeneradores, paneles fotovoltaicos o de la red eléctrica de alta tensión.

La supervisión adecuada de una instalación de dimensiones considerables requiere conocer una gran diversidad de parámetros, que, al poder consultarse desde un mismo lugar, se ayuda a planificar el uso de la energía, fomentando el ahorro energético.

Por otro lado, los componentes principales de los sistemas de control y visualización SCADA son:

- Un PC con su pantalla, asignado a las funciones de supervisión, es decir, de la interfaz hombre-máquina (HMI). Desde ellos se podrá actuar sobre las distintas partes del sistema como punto central de vigilancia y control.
- Una serie de periféricos que interactúan directamente con el proceso a través de sensores y actuadores, válvulas. Los periféricos son dispositivos que pueden ser controlados de manera remota a través del centro de control. Entre estos aparatos se encuentran también los sensores y medidores que recogen información importante para tomar decisiones sobre el estado de la instalación, como corriente, voltaje, temperatura o radiación.
- Una red de comunicación industrial, capaz de garantizar el correcto intercambio de información entre los sistemas periféricos, controladores del sistema y PCs de supervisión en tiempo real [17]. Los medios de transmisión para pasar los datos y las señales de control pueden ser por cable o inalámbricos, y a su vez pueden ser de tipo LAN (Local Area Network, que se utiliza en un área limitada) o WAN (Wide Area Network, que se utiliza como sistema global). Algunas de las redes de comunicación más comunes son Ethernet, DeviceNet, Modbus, ControlNet o Profibus.

Existe una gran diversidad de software SCADA en el mercado disponibles para el control y visualización de instalaciones. Cada uno presenta sus peculiaridades y a la hora de escoger qué software SCADA utilizar se deben tener en cuenta estas características, así como el grado de complejidad del propósito de su uso, el rendimiento que se requiera, el presupuesto disponible y las preferencias personales.

Algunas de las empresas que ofrecen software SCADA son Omron, Siemens o Schneider Electric.

## OMRON

El software SCADA de OMRON tiene como nombre *Movicon Next* [18] y presenta las siguientes características principales.

- Editor de Windows 10 a Windows CE
- Los proyectos son archivos XML, es decir, que se pueden editar con cualquier editor de texto
- Tareas I/O: hasta 100000
- Usuarios Clientes de Web hasta 99 (HTML5 o APPs)
- Con visualización 3D
- Emisor y estadístico de alarmas (hasta 100000) con opción de SMS, voz y E-mail
- Protocolo de comunicación OPC UA y Modbus con drivers
- Conectividad DA
- Con Geo SCADA

## SIEMENS

Por otro lado, el software SCADA de SIEMENS se identifica como *SIMATIC SCADA Sytem*. Tiene diferentes versiones con distintas prestaciones cuyas características se muestran a continuación.

1. El primero de ellos es el *SIMATIC WinCC Professional* [19].
  - Comunicación no propietaria por OPC.
  - Protocolos del SIMATIC WinCC RT Professional:

- OPC UA (DE, HA) Server 1.02.
  - OPC XML DA 1.0 Server.
  - OPC UA DA Client 1.02.
  - OPC XML DA 1.01 Client.
  - OPC HAD 1.20 Server (Historical Data Access).
  - OPC A&E 1.10 Server.
  - WinCC OLE DB Provider
  - Permite monitorización vía Internet mediante dispositivos móviles a través de HTML5.
  - Los datos históricos se almacenan como calores WinCC en la base de datos SQL (permite 500 archivos tags que puede ampliarse y hasta 262.144 power tags. Estos últimos se refieren a todas las tareas de un proyecto que están conectadas a un controlador).
  - Control de alarmas.
  - Software para control del consumo de energía.
  - Sistemas operativos compatibles:
    - Windows 7 Professional/Enterprise/Ultimate SP 1 (32 bit) (only clients).
    - Windows 7 Professional/Enterprise/Ultimate SP 1 (64 Bit).
    - Windows Embedded Standard 7 SP1 (64 Bit) (only SIMATIC IPC).
    - Windows 10 Pro Version 1703 (OS Build 15063).
    - Windows 10 Enterprise Version 1703 (OS Build 15063).
    - Windows 10 Enterprise 2016 LTSB (OS Build 14393).
    - Windows Server 2012 R2 x64 StdE (full installation).
    - Windows Server 2016 Standard (full installation).
2. El segundo de ellos es el software SCADA *SIMATIC WinCC V7* [20].
- Protocolos compatibles con SIMATIC:
    - MPI.
    - Soft-PLC.
    - Profibus.
    - Industrial Ethernet ISO L4.
    - Industrial Ethernet TCP/IP.
  - Datos de rendimiento en sistema gráfico.
  - Avisos configurables por servidor: 150000 como máximo.
  - Sin límite de ficheros.
  - Campos de fichero por usuario: 500.
3. El tercer software SCADA de SIEMENS es *el SIMATIC WinCC Open Architecture V3.1* [21].
- Sistemas operativos compatibles:
    - Microsoft: Windows 10 (CB&LTSB), Server 2016 y Server 2019.
    - Linux: RedHat Enterprise Linux 8.x, CentOS 8.x, SUSE Linux Enterprise Server (SLES) 15, SIEMENS Industrial OS 2.0.
  - Nuevas actualizaciones respecto de los anteriores:
    - Profinet/Profisafe driver.
    - Mejora en OPC UA.
    - Mejora en Modbus.
  - Hasta 255 rangos de alarmas analógicas.



El software SCADA de Schneider Electric tiene como nombre *Wonderware* [22] y presenta las siguientes características principales.

- Compatibilidad OS:
  - Windows Server 2012 Data Center, Standard
  - Windows Server 2012 R2 Data Center, Standard
  - Windows 8.1 Enterprise (x64, x86)
  - Professional (x64, x86)
  - Windows 10 Professional
  - Windows 10 Enterprise (x64, x86), Professional
- Compatibilidad con sistemas de gestión de bases de datos:
  - SQL Server 2012 Standard Sp2 (x64, x86), Enterprise (x64, x86), Express-SSMSE
  - SQL Server 2012 Standard SP2 (x64, x86), Enterprise (x64, x86), Express-SSMSE (x64, x86) SP1
  - SQL Server 2012 Standard SP2 (x64, x86), Enterprise (x64, x86), Express-SSMSE (x64, x86) SP2
  - SQL Server 2014 Standard (x64, x86), Enterprise (x64, x86), Express-SSMSE (x64, x86)
  - SQL Server 2014 Standard (x64, x86), Enterprise (x64, x86), Express-SSMSE (x64, x86) SP1
  - SQL Server 2016 Standard, Enterprise, Express
- Compatibilidad de la visualización:
  - Microsoft Hyper-V: basada en la versión de Windows
  - VMware 6.0 virtualization with High Availability and Disaster Recovery (HA/DR) + VMWare vSphere 6.0
  - VMware 5.0 Update 1 virtualization with High Availability and Disaster Recovery (HA/DR)



El software SCADA de AVEVA tiene como nombre *InduSoft Web Studio v8.1*, consultado en las referencias [23] y [24], y presenta las siguientes características principales.

- Acceso por plataforma móvil y lenguaje HTML5
- Sistemas compatibles:
  - Windows 10 (incluyendo las versiones LTSC/LTSB)
  - Windows 8.1
  - Windows 7 Service Pack 1
  - Windows Server 2016
  - Windows Server 2012 R2
  - Windows Server 2008 R2 Service Pack 1
  - Windows 10 IoT Enterprise (solo la versión LTSC/LTSB)
  - Windows Embedded 8.1 Industry Pro
  - Windows Embedded Standard 7 Service Pack 1
- Es necesario tener Internet Explorer.
- Hasta 4000 tags en Windows, Windows Server y Windows Embedded Standard
- Hasta 64000 tags en Windows y Windows Server



- Hasta 10 millones de tags en Windows Server (multi-core)
- Protocolos: OPC UA y OPC Classic (HDA y DA).



Por otro lado, GE Digital presenta varios sistemas SCADA, se muestran a continuación las principales características de cada uno.

1. Software SCADA: *CIMPLICITY 11* [25]

- Requisitos Software. Uno de los siguientes sistemas:
  - Microsoft Windows 10 (32 bit or 64 bit), P/E/U Editions
  - Microsoft Windows 10 IoT Enterprise (LTSB) – solo la versión completa IoT. No las versiones móviles.
  - Microsoft Windows 8.1 (32 bit or 64 bit), P/E/U Editions
  - Microsoft Windows Server 2019
  - Microsoft Windows Server 2019 Cluster
  - Microsoft Windows Server 2016
  - Microsoft Windows Server 2016 Cluster
  - Microsoft Windows Server 2012 R2
- Requisitos Hardware:
  - Intel Core 2 Duo 3.0 GHz o mejor
  - Mínimo 4 GB de RAM
  - Mínimo 40 GB de espacio de disco duro libre
- Protocolos: OPC UA, SQL
- Protocolos abiertos: ISA, IEC, OPC
- Extensiones: VB, .NET, Rich APIs
- Permite conexión local remota con LAN, WAN o conexiones a internet incluyendo VPN.

2. Software SCADA: *iFIX 6.0* [26]

- Requisitos software:
  - Navegadores cualificados HTML5
  - Uno de los siguientes sistemas operativos:
    - Microsoft Windows 10
    - Microsoft Windows 8.1 (32-bit o 64-bit)
    - Microsoft Windows 7 Embedded Standard, Service Pack 1, para iFIX 6.0 sólo licencias incorporadas. Las licencias incorporadas iFIX no ejecutarán en Windows 10 IoT u otros sistemas operativos.
    - Microsoft Windows 7 (32-bit o 64-bit)
    - Microsoft Windows Server 2016
    - Microsoft Windows Server 2012 R2
  - Software interfaz de red para comunicaciones TCP/IP y drivers I/O.
  - Un driver I/O para servidores SCADA.
- Protocolos: OPC UA y HTML5
- Provee de una API para consumir contenido externo HTML5
- Permite conexión local remota con LAN, WAN o conexiones a internet incluyendo VPN.

- Provee de comunicación encriptada para clientes Web usando SSL, IT y nubes de almacenamiento de información.



El software SCADA de inductive automation tiene como nombre *Ignition*, consultado en las referencias [27] y [28], y presenta las siguientes características principales.

- En multiplataforma, incluyendo todas las versiones de Windows.
- Funciona en servidores de escritorio, portátiles y hardware incrustado como Raspberry Pi.
- Soporta bases de datos SQL.
- El servidor de *Ignition* se instala en menos de 3 segundos y los clientes en tiempo de ejecución se despliegan en segundos.
- Permite a múltiples desarrolladores trabajar en el mismo proyecto al mismo tiempo.
- Tags ilimitados para sistemas como dispositivos o servidores OPC.
- Uso de protocolos OPC UA y DA y SQL.
- Permite la conexión a dispositivos IIoT mediante MQTT.

## GENESIS64™

Por último, el software SCADA de iconics tiene como nombre *GENESIS64* [29] presenta las siguientes características principales.

- Conexión universal en protocolos:
  - OPC Classic: DA, A/E, HDA
  - OPC (UA): UA DA, UA A/E, UA A/E Historical, UA HDA
  - BACnet: BACnet Advanced
- Conexión con bases de datos:
  - Microsoft SQL 2000, 2005, 2008, 2012, 2014
  - Oracle: ODP.NET
  - MySQL
  - SAP
  - x64 OLE DB
  - x64 ODBC
- Capacidad máxima: 5000 tags
- Requisitos de sistema operativo: 64-bit
  - Windows 8.1 x64
  - Windows 8 x64
  - Windows 7 x64
  - Windows Server 2012 x64
  - Windows Server 2008 R2 x64
  - Windows Vista x64 SP2
  - Windows Server 2008 x64

- Requisitos de servidor web Microsoft:
  - Internet Explorer
  - Firefox
  - Safari
  - Chrome

### 1.5.3 REDES DE COMUNICACIONES INDUSTRIALES

Las redes de comunicaciones industriales son uno de los componentes de los sistemas SCADA. Las redes de este tipo forman en camino por el que se intercambia información entre los dispositivos del SCADA. La forma de transmisión de los datos en las redes de comunicaciones industriales puede ser por cable o inalámbrica y, por otro lado, local (LAN) o global (WAN).

Existe una clasificación general de estas redes, basándose en la funcionalidad. De esta forma se clasifican en tres niveles [17]:

1. Nivel de dispositivo: La tarea de este nivel es transferir la información entre los dispositivos periféricos (sensores y actuadores) y los elementos receptores de la información como los PLCs. La transferencia de información puede ser digital, analógica o híbrida, por cables multihilo.
2. Nivel de control: Este nivel es el nexo entre la información recogida por los sensores y la mostrada en las pantallas de visualización del software SCADA, incluyendo la transmisión de órdenes de control a los actuadores y el almacenamiento temporal de datos.
3. Nivel de supervisión: Recoge la información del nivel de control, tratando y almacenando grandes volúmenes de los datos que no se utilizan constantemente ni es críticos conocerlos inmediatamente. Es el nivel último del software SCADA.

La comunicación de redes se rige por protocolos, que son las reglas utilizadas en la comunicación que ocurre entre dos o más dispositivos. Algunos de los estándares más comunes son los siguientes.

- **Comunicación serial**: Esta comunicación incluye estándares de protocolo como RS232 (que soporta un transmisor y un receptor), RS422 y RS485 (diseñados para una CPU y muchos controladores). Se utilizan principalmente para transferir datos a una alta velocidad de transmisión entre un PLC y el dispositivo remoto, es decir, suelen tratar la información en el nivel de dispositivo. Se trata de la única red de comunicación industrial que facilita tanto la comunicación analógica como la digital bidireccionalmente, al mismo tiempo y por el mismo cableado. Por ello también se llaman redes híbridas.
- **DeviceNet**: Al igual que la anterior, es una red de nivel de dispositivo abierta. Puede soportar hasta 64 nodos y 2048 dispositivos en total.
- **ControlNet**: Se trata de una red de control abierta, que utiliza el protocolo industrial común (CIP). Se utiliza para la transferencia de información en tiempo real con especial interés en los datos críticos. Puede soportar hasta un máximo de 99 nodos con una velocidad de transferencia de datos de cinco millones de bits por segundo.

- Modbus: Es una técnica de comunicación característica por la relación maestro-esclavo en la comunicación entre dispositivos conectados en red. Esto quiere decir que el maestro es el que inicia siempre la comunicación, no se obtiene información de los sensores hasta que no se pida expresamente desde el nivel superior de comunicación. Puede ser implementado en cualquier medio de transmisión, pero más comúnmente utilizado con protocolos RS232, RS485 o TCP/IP usando Ethernet, que también se describe en este listado.
- Profibus: Es más adecuado para tareas de comunicación complejas y aplicaciones en las que el tiempo es un factor crítico.
- EtherNet/IP: Ethernet no es una conexión física local, sino un protocolo IEEE. Antes de conocer qué es EtherNet/IP se debe conocer el protocolo TCP/IP. TCP son las siglas de Transmission Control Protocol (Protocolo de Transmisión de Control) e IP son las siglas de Internet Protocol (Protocolo de Internet).

Por su definición, el protocolo TCP/IP es usado en conexiones a internet, tratándose de un protocolo formado por capas. A las capas, nombradas en orden, se las conoce por *Aplicaciones*, *TCP*, *IP* y *Network*, y pueden ser recorridas en ambas direcciones. Su funcionamiento es el siguiente: el dispositivo actuador, por ejemplo, un variador de frecuencia envía información a la capa de *Aplicaciones* y esta información va pasando por todas las capas hasta la capa final de *Network*. De esta última capa sale un paquete de información Ethernet preparada para llegar al PC o PLC. Ahora, en el protocolo EtherNet/IP las siglas IP significan Industrial Protocol (Protocolo Industrial). Este protocolo hace uso de la infraestructura Ethernet junto con los protocolos industriales (CIP) y los protocolos TCP/IP para crear un protocolo que soporte intercambio de datos y aplicaciones de control.

Los controladores industriales, como los PLCs, utilizan Ethernet con protocolo TCP/IP en el nivel de control y para conectarse a ordenadores.

- Profinet [30]: Es el estándar abierto de Ethernet/IP. Es Ethernet en tiempo real utilizando como conexión el cable de Ethernet.
- EtherCAT [31]: Es la red Ethernet industrial en tiempo real desarrollada por Beckhoff Automation. Usa nuevos estándares para mejorar el rendimiento en tiempo real y la flexibilidad en la automatización de pruebas y mediciones (velocidad de datos efectiva teórica es, en el mayor de los casos, superior a 100 Mbit/s). Las siglas CAT significan Control Automation Technology (Tecnología de Control Automático). Utiliza relaciones maestro-esclavo y pueden procesar sobre la marcha para impedir retrasos en la red. El maestro utiliza un controlador de acceso al medio (MAC) Ethernet estándar para implementar en cualquier plataforma con un puerto Ethernet.

Dependiendo de cada dispositivo con el que queramos establecer comunicación para tomar lecturas y/o realizar escrituras el protocolo utilizado será diferente. Algunos PLCs utilizan un protocolo propio integrado en el software SCADA. Por ejemplo, los PLCs de Siemens utilizan el protocolo *SIMATIC*, incluido en su software SCADA *WinCC*.

Con este último apartado de especificaciones, se ha podido entrar en contexto de los sistemas en los que se basa este proyecto. A partir de aquí se desarrollará en concreto el uso de estos recursos para el diseño de un software SCADA para el control y visualización de los elementos de la nueva nave de docencia e investigación para el Área de Ingeniería Eléctrica.

## 1.6 RESUMEN DE RESULTADOS

Con el desarrollo de este trabajo técnico se ha obtenido una solución a la necesidad de supervisar una gran variedad de equipos nuevos distribuidos por el laboratorio donde se ubican. Para poder monitorizar las áreas de las que se compone la nave de manera sencilla y centralizada se ha desarrollado el sistema de control y visualización SCADA de la instalación.

El sistema de monitorización centralizado puede consultarse desde tantas pantallas como se desee y esta visualización se compone de varias ventanas. Desde cada ventana es posible observar aspectos distintos de la instalación según el tipo de información que se quiera consultar. Estas secciones de las que se compone el sistema SCADA son:

- Home: Es la ventana principal donde se muestran los datos agrupados de consumo y producción en toda la instalación. Desde esta ventana se puede acceder a los datos sobre la calidad de suministro en el laboratorio, visualizando datos relevantes para el uso de la batería de condensadores y el filtro activo de la instalación.
  - Calidad eléctrica, condensadores y filtros.
- Histórico de datos: En esa ventana se pueden encontrar los datos recogidos en distintos periodos de tiempo para cada fuente de producción individual y para cada consumo particular.
- Datos en tiempo real: Donde es posible observar los valores cambiantes para cada momento de todas las zonas del laboratorio. Desde esta ventana es posible acceder a los datos con el máximo de detalle sobre las fuentes de producción renovable.
  - Detalles de aerogeneradores.
  - Detalles de paneles fotovoltaicos.
- Estado del sistema: En esa ventana es posible observar la configuración de la instalación al completo agrupando los datos sobre qué fuentes de producción están habilitadas y qué configuración presenta la distribución de electricidad hacia los consumos.

Por otro lado, se configurado una gestión de usuarios del sistema SCADA para evitar el malfuncionamiento de este cuando varios usuarios realicen acciones de control o configuración de manera simultánea. Los usuarios definidos son:

- Administrador: Podrá realizar operaciones de control y modificar la configuración del sistema. Tiene pleno control sobre el sistema SCADA, incluyendo la modificación del diseño de las visualizaciones.
- Visualización: Los usuarios de este tipo sólo podrán visualizar los datos mostrados por el sistema SCADA. Podrán navegar por todas las ventanas, pero no podrán realizar acciones de control.
- Mantenimiento: Este último tipo de usuario podrá realizar todas las acciones de control, al igual que el administrador, pero no podrá modificar el diseño de las visualizaciones del SCADA.

Con el diseño y desarrollo del sistema SCADA del laboratorio estudiado, es posible controlar y visualizar los parámetros y equipos del laboratorio en tiempo real, así como consultar los históricos de estos valores y de otros muchos relevantes para una correcta toma de decisiones sobre las acciones de control en la instalación.



## 1.7 PLANIFICACIÓN TEMPORAL

En este apartado se muestran las fases de desarrollo del trabajo técnico realizado. Es necesario definir estas fases para observar la cronología de las actividades y su duración en el tiempo. Conociendo estos resultados se pueden encontrar puntos que mejorar en cuanto a la organización. Por ejemplo, hay actividades que han resultado ocupar más tiempo del esperado y otras que han sido posibles realizar en menor tiempo.

Por otro lado, las actividades iniciales son las más dilatadas en el tiempo, ya que es necesario un entendimiento completo del objeto, finalidad y recursos que definen este proyecto para saber qué fases hay que realizar con posterioridad y qué orden de prioridad deben tener.

De este modo, las actividades de las que se compone la realización de este proyecto son:

1. Aprendizaje sobre el software TwinCAT 3. Este software es con el que se diseña el sistema de control y visualización SCADA objeto del proyecto. Es una actividad dilatada en el tiempo ya que el aprendizaje de un nuevo software debe ser completo para poder sacar el máximo provecho del recurso.
2. Diseño y creación de las ventanas *Históricos* y *Estado de la instalación*. Son las primeras visualizaciones diseñadas del sistema SCADA y las que supusieron mayor tiempo de realización. Estas pantallas son las básicas para conocer los valores más relevantes que influyen en la toma de decisiones respecto al control de la instalación.
3. Definición de un sistema SCADA y búsqueda de fabricantes. En esta etapa se comprendió qué es un sistema SCADA ya que se trata del objeto del proyecto. Además, se observaron las características principales que definen estos sistemas comparando el software de este tipo diseñado por distintos fabricantes.
4. Diseño y creación de la ventana *Datos en tiempo real*. Esta fase se realizó en mucho menos tiempo que las primeras secciones creadas del software SCADA ya que se conocían las prestaciones del programa, así como los datos más importantes que debían ser mostrados sobre la instalación.
5. Diseño y creación de las ventanas *Aerogeneradores* y *Paneles solares*. Una vez más, pudieron realizarse con mayor fluidez ya que se disponía de un mayor conocimiento del programa utilizado.
6. Diseño y creación de la ventana principal *Home*.
7. Diseño y creación de la ventana *Calidad de suministro*.
8. Mapa de comunicaciones. En esta etapa se estudió cómo se conectan entre sí los elementos que manejan los flujos de datos sobre la instalación. Además, se jerarquizan estos aparatos según sus características respecto a su nivel de control sobre la instalación.
9. Recopilación de características de los equipos que se ubican en la instalación y que son relevantes para el objeto del proyecto. Se estudian los aparatos que permiten el funcionamiento de la instalación, la obtención y distribución de energía eléctrica y la obtención de datos respecto del estado del sistema en cada uno de sus puntos críticos.

10. Diseño de la gestión de usuarios para el acceso al software. El sistema SCADA que se desarrolla en este proyecto puede verse afectado si varios usuarios distintos hacen uso de sus funciones de manera simultánea. Por este motivo es importante gestionar los usuarios que tienen acceso al sistema.
11. Definición de las variables del sistema SCADA. Esta tarea se enfoca al ámbito de la programación interna del sistema de control y visualización.
12. Redacción del documento Trabajo Fin de Grado. Es la última tarea realizada y donde se refleja el trabajo invertido en el proyecto. Es la tarea que más tiempo ha consumido, pero con poca diferencia respecto de la primera tarea realizada, la tarea de estudiar el software que se utiliza para el diseño del sistema de control y visualización SCADA.

Tareas	Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Horas/actividad
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	
1	X	X	X	X													60
2					X	X	X	X	X	X	X	X					35
3									X	X	X	X					20
4													X				20
5														X	X		30
6														X	X		35
7														X	X		20
8														X	X		10
9														X	X	X	20
10													X				5
11														X	X	X	20
12															X	X	65

Figura 19. Planificación temporal



## 1.8 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

Este documento sobre el Trabajo Técnico presentado como Trabajo Fin de Grado presenta cuatro capítulos principales. Todos ellos son relevantes para una comprensión sobre todos los aspectos que han llevado a la realización de este proyecto, las fases de desarrollo de este y las conclusiones obtenidas a partir del mismo. Estos capítulos principales son:

- Capítulo I. Introducción

Contiene aspectos como la motivación del proyecto, el contexto y el resumen de resultados. Se trata de un apartado necesario para comprender el entorno que rodea la realización de este proyecto.

- Capítulo II. Materiales y métodos

En este capítulo se entra más en detalle respecto a los componentes técnicos del proyecto, los equipos que se integran con sus respectivas características y el recurso software empleado para el desarrollo del proyecto.

- Capítulo III. Resultados

En él se presenta con detalle todo lo obtenido a partir del trabajo realizado sobre el proyecto. Se define cada uno de los aspectos desarrollados.

- Capítulo IV. Conclusión y trabajos futuros

En este último capítulo se discute de forma objetiva la funcionalidad del proyecto y sus posibles mejoras. Además, se relaciona con los conocimientos adquiridos a lo largo del estudio del Grado en Ingeniería Eléctrica y cómo estos conocimientos han sido útiles para el desarrollo del proyecto. Por último, se plantean proyectos que pueden desarrollarse a partir de este, mejorándolo y ampliando el campo de estudio.

A parte de los cuatro capítulos principales, el documento consta de un índice de contenidos donde se observan todos los apartados y subapartados del documento, un índice de figuras para ubicar las imágenes que se usan como apoyo al texto durante la redacción y un listado de referencias bibliográficas.



# CAPÍTULO II

# MATERIALES Y

# MÉTODOS



## CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

Este capítulo se divide en tres secciones principales. En la primera, se describe el emplazamiento donde se ubicará el sistema de control y visualización SCADA, se estudia la distribución de las diferentes zonas a tener en cuenta en el control de la nave. En el segundo apartado se estudian las características de los equipos más relevantes para el sistema y la instalación. Por último, se describen las funciones del programa software escogido para el desarrollo del SCADA.

De esta forma se puede entrar completamente en el contexto de este documento, es decir, se conocerá el dónde y el con qué a la hora de realizar el proyecto.

### 2.1 EMPLAZAMIENTO

El proyecto tiene el objetivo de diseñar el sistema de control y monitorización de una nave que forma parte del campus de la Universidad de Almería.

Esta universidad tiene su dirección en Carretera Sacramento, s/n, 04120 La Cañada de San Urbano, Almería. En su recinto se encuentra la instalación que se estudia en este documento. Se trata de un laboratorio destinado a la docencia e investigación en el ámbito de la ingeniería eléctrica, y dentro del campus de la Universidad de Almería, se encuentra en la nave V del Cite IV.

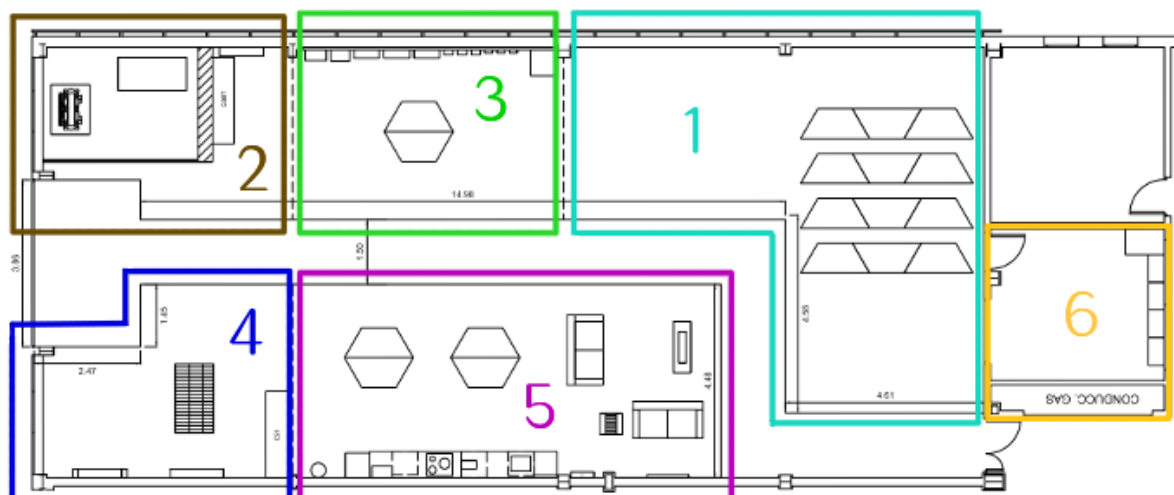


Figura 20. Plano de distribución en planta

La distribución del laboratorio se divide en seis zonas destinadas a distintas funciones.

1. La zona 1 está destinada a la docencia. Se equipa con mesas y sillas para el alumnado, un equipo de proyección para presentar apoyo visual durante las horas lectivas y equipos informáticos para ser utilizados por los estudiantes.
2. La segunda zona es donde se encuentra el centro de transformación del laboratorio. Está compuesta por un transformador que adaptará la tensión de suministro desde la zona de alta tensión del centro de transformación de la universidad más cercano para obtener una tensión de 400 V que se dirigirá al cuadro general de alta tensión. Este cuadro también se encuentra en esta zona de la nave y su salida conecta con el cuadro general de baja tensión. Al cuadro general de baja tensión también se conecta la parte de baja tensión del centro de transformación de la universidad más cercano.

Por último, el cuadro general de baja tensión se encarga de suministrar la energía eléctrica a la instalación. Será posible conectarlo y desconectarlo para interrumpir el suministro. Por otro lado, en el caso en el que se suministre, esta electricidad podrá ser de baja tensión o alta tensión, pero nunca de las dos simultáneamente.

3. La zona 3 es la zona de energías renovables. En ella se encuentran los reguladores de carga de las generaciones eólica y solar, que adaptan la energía renovable producida por estas fuentes hasta una tensión de 12 V. Se tienen un total de tres reguladores para la energía eólica, uno para cada aerogenerador, y tres reguladores para la energía solar fotovoltaica, uno para cada grupo de paneles. Cada grupo de paneles fotovoltaicos contiene 6 paneles, y en total se tienen 18 paneles fotovoltaicos en la instalación.

La tensión de 12 V a la que adaptan la electricidad los reguladores de carga de la generación renovable corresponde a la tensión del bus de corriente continua del laboratorio, que es el que distribuye la electricidad a esta tensión hacia las baterías y/o hacia los inversores. Los inversores son tres equipos monofásicos destinados a la adaptación de los 12 V de corriente continua en corriente alterna destinada a los consumos de la instalación. Estos pueden combinarse para suministrar corriente trifásica desfasando sus fases 120° unas de otras.

En esta zona también se encuentran los equipos destinados a mejorar la calidad del suministro eléctrico. Estos son la batería de condensadores y los filtros activos. La batería de condensadores se encarga de disminuir el consumo de energía reactiva en el laboratorio que afecta directamente al consumo de potencia de los equipos, mientras que los filtros activos centran su actividad en la eliminación de armónicos en la señal con el objetivo de eliminar los perjudiciales para la transmisión de esta energía y para los aparatos.

4. La cuarta zona es donde se encuentra la zona de consumos industriales y motores. Son cargas pesadas que consumen una cantidad importante de energía eléctrica y que serán monitorizados con el objetivo de conocer las características del consumo en tiempo real.
5. La zona 5 contiene los consumos de tipo hogar. Este tipo de consumos consumen menos energía eléctrica, luego son menos críticos para la instalación, pero son los más comunes en las poblaciones. También serán monitorizados, al igual que los consumos de tipo industria. La zona está formada por tres grupos hogar con cargas que varían en cada momento y que serán de interés de estudio para los alumnos que asistan a docencia en esta nave.
6. Esta última zona es donde se ubicará el sistema SCADA diseñado en este proyecto. Se trata de la zona de control y en ella se ubicará también el controlador lógico programable que gestiona la entrada y salida de información, desde los consumos y producción hasta el software de control y visualización y viceversa. Dispone de una pantalla de mayor dimensión desde la que

se podrá acceder a los parámetros de la energía producida y generada en el laboratorio, a la vez que se podrán controlar las partes críticas de la instalación destinadas al suministro de energía eléctrica.

Por último, es importante mencionar que cada zona, excepto la 1 y la 6, dispondrán de una cabecera con tarjetas de entradas de datos preparadas para enviar la información pertinente a un controlador lógico programable (PLC) por el que se gestionan los datos de entrada y salida del sistema. El objetivo de equipar estas zonas con sus propias cabeceras y tarjetas es agrupar la información sobre el estado de la instalación por áreas y obtener así una mejor organización. Las funciones del PLC, las cabeceras y las tarjetas de entradas y salidas de datos se describen con más detalles en la sección de “Equipos”.





## 2.2 EQUIPOS

En este apartado se estudian las características principales de los equipos que forman parte de la instalación que se quiere controlar. Son de especial interés los aparatos generadores de energía eléctrica y los equipos de los que se obtiene la información necesaria para el diseñar el sistema de control y visualización SCADA. Se comenzará describiendo las características de las fuentes de producción de energía eléctrica renovables presentes en la instalación.

### Aerogenerador Bornay 1500 [32]

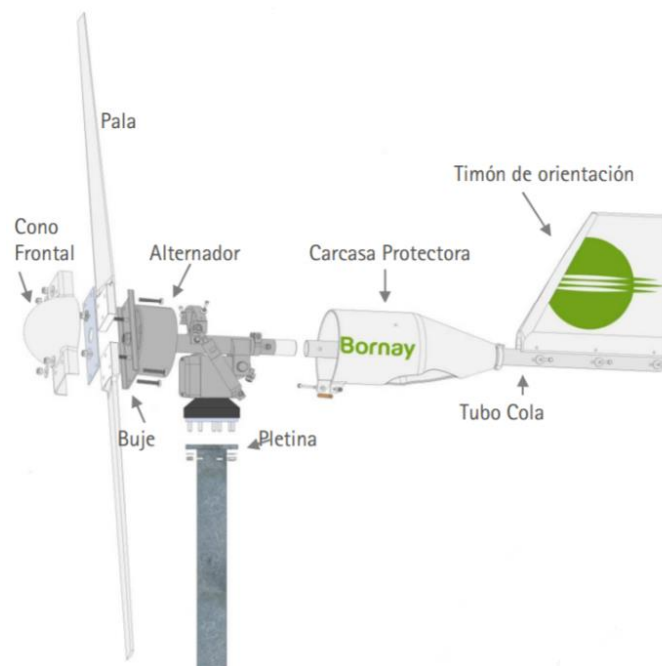


Figura 21. Aerogenerador Bornay 1500

El laboratorio consta de tres aerogeneradores de este tipo. Con ellos es posible obtener energía eléctrica a partir de la energía cinética del viento. Los aerogeneradores generan energía eléctrica trifásica a 220 V, que deberá ser transformada por los reguladores de carga y los inversores antes de llegar a los consumos. Estos equipos se describirán más adelante en este mismo apartado.

Este modelo de aerogenerador presenta diversas especificaciones, sin embargo, se prestará especial atención a las referidas a términos eléctricos y condiciones de velocidad del viento, que son las que afectan directamente al control de la instalación que se estudia en este proyecto.

#### Especificaciones eléctricas:

- Alternador trifásico de imanes permanentes de neodimio.
- Potencia nominal de 1500 W.
- Voltaje de la corriente alterna producida de 220 V.
- Revoluciones admisibles de las aspas de 700 rpm.

Velocidad de viento:

- Para el arranque se requiere una velocidad de viento de 3,5 m/s, como mínimo.
- Para alcanzar la potencia nominal se necesita una velocidad de viento de 12 m/s, como mínimo.
- El frenado automático se activa con una velocidad de viento de 14 m/s.
- La velocidad máxima del viento soportada por el aerogenerador es de 60 m/s.

Los datos de velocidad del viento son de interés, por ejemplo, para decidir cuándo es necesario parar la producción eléctrica por la presencia de vientos fuertes peligrosos para los aerogeneradores.

En el manual de usuario de este aerogenerador se ilustra la configuración que debería tener una instalación mixta con generación fotovoltaica y eólica. De esta forma se tiene un mejor conocimiento del conexionado del laboratorio que se va a controlar.



Figura 22. Configuración de instalación mixta

En el caso de los aerogeneradores, será el regulador el que proporcione los datos de la energía producida al sistema SCADA. Este equipo se describe más adelante.

#### Panel Solar 270W Amerisolar Policristalino [33]

Cada placa solar de este tipo se compone de 60 células solares. En la instalación se disponen de un total de 19 paneles fotovoltaicos de este tipo. Los paneles se agrupan de seis en seis y será de estos grupos de los que se obtendrá información conjunta sobre la producción eléctrica. Cada grupo está conectado a un regulador solar, del que se obtendrá la información necesaria de la generación fotovoltaica, este equipo se estudia más adelante en este apartado.

Las características más significativas para tener en cuenta a la hora del control del sistema y visualización de parámetros son las siguientes.

- Potencia nominal del panel ( $P_{m\acute{a}x}$ ): 270 W.
- Tensión de generación a la potencia nominal ( $V_{mp}$ ): 31,1 V.

- Intensidad de generación a la potencia nominal ( $I_{mp}$ ): 8,69 A.
- Eficiencia del módulo: 16,6 %.
- Tensión en circuito abierto ( $V_{oc}$ ): 38,4 V.
- Corriente en corto circuito ( $I_{sc}$ ): 9,96 A.
- Temperatura de operación: entre  $-40^{\circ}\text{C}$  y  $85^{\circ}\text{C}$ .

Se debe anotar que estas características son las obtenidas con una irradiancia de  $1000\text{ W/m}^2$  y una temperatura de la célula solar de  $25^{\circ}\text{C}$ .

Como se ha estudiado al principio de este documento, las características principales de los paneles fotovoltaicos suelen describirse por sus gráficas de tensión-intensidad. Con ellas se identifica el punto de máxima potencia, o potencia nominal, y los parámetros de voltaje y corriente asociados a ella. Además, se puede observar el comportamiento de estas características a potencias distintas a la nominal con el objetivo de definir lo máximo posible el comportamiento del panel fotovoltaico.

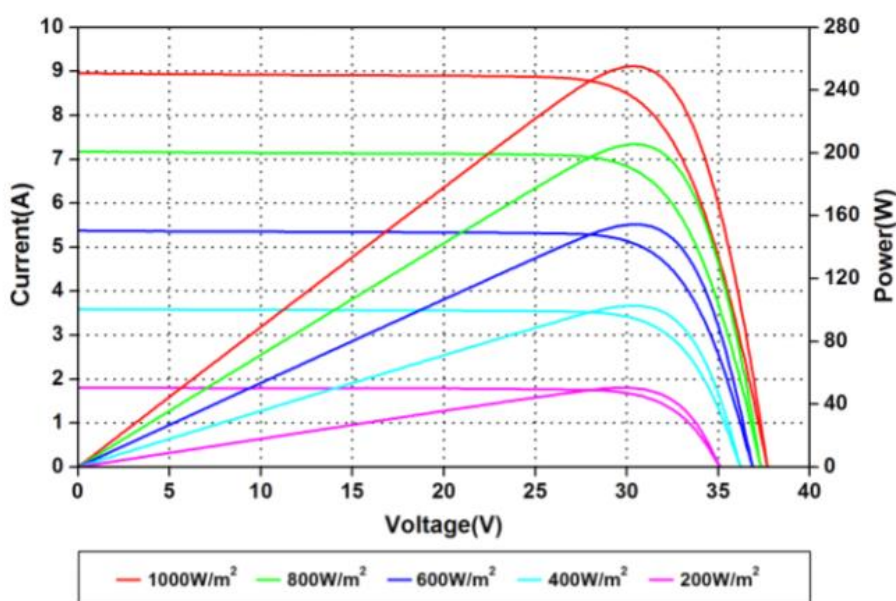


Figura 23. Curvas de Corriente-Voltaje y Potencia-Voltaje para diferentes irradiancias

En cada pareja de curvas, el vértice de la curva más parecida a una parábola invertida indica la máxima potencia obtenida para la radiación a la que se estudia dicha curva. Observando a qué datos de intensidad y voltaje corresponde esta potencia en la gráfica, se pueden conocer los parámetros que debería proporcionar el panel fotovoltaico para la irradiancia que se tenga en cada momento. Esto permite detectar anomalías en el funcionamiento de manera más rápida.

Visto las características principales de los equipos de generación de energía eléctrica en la instalación, se procede al estudio de los elementos que proporcionarán los valores de los parámetros característicos de los diferentes puntos del laboratorio y que se consultarán desde el sistema SCADA.

Los elementos que se describen a continuación tienen en común que realizan, además de otras funciones características, la recogida de datos que se necesita para controlar y visualizar el estado del sistema en tiempo real. A continuación, se señalan los principales parámetros que se pueden obtener a través de estos equipos y que son de especial interés para tomar decisiones de control en la instalación.

### Reguladores de carga MPPT WIND+ de Bornay

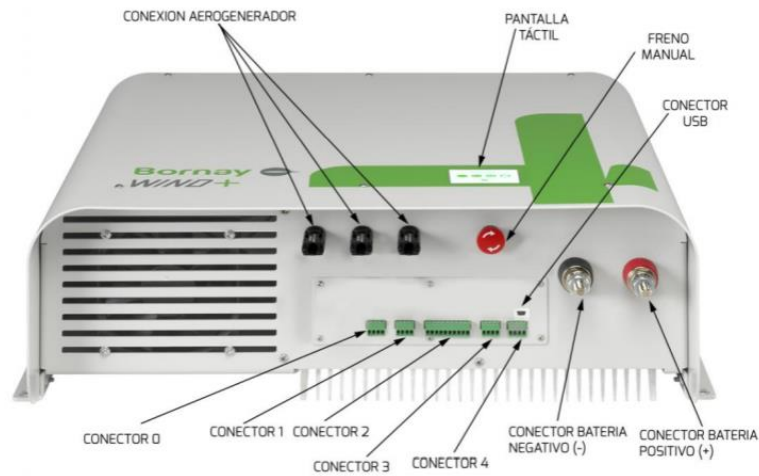


Figura 24. Regulador de carga MPPT

Estos reguladores de carga rectifican, y controlan la energía producida por los aerogeneradores Bornay 1500 de la instalación. El laboratorio tiene tres reguladores de este tipo, uno para cada aerogenerador y su función es adaptar la tensión de la corriente eléctrica producida por ellos desde 220 V en corriente alterna hasta 12 V en corriente continua. La corriente a 12 Vcc procedente de cada regulador se inyecta al bus de corriente continua de la instalación. Desde estos embarrados la energía podrá ser distribuida hacia el banco de baterías, cuya tensión de carga coincide con la del bus de corriente continua, o hacia los consumos. La función de realizar estas opciones de distribución la tienen los inversores, equipo que se describirá más adelante.

Primero, las conexiones de las que dispone el regular de carga para los aerogeneradores de la instalación, y las que se muestran en la imagen anterior, son las siguientes.

- Conector 0: No se utiliza en este regulador de carga MPPT.
- Conector 1: Dedicado a la comunicación RS232.
- Conector 2: Presenta varias funciones, entre ellas:
  - Anemómetro: conexión para monitorizar la velocidad del viento.
  - Paro manual.
- Conector 3: presenta las funciones de Pin de no conectado y de puerto RS485A.
- Conector 4: presenta las funciones de Pin de no conectado y de puerto RS485B.
- Puerto USB.
- Bluetooth.

Todas estas formas de comunicación trabajan bajo el estándar MODBUS.

Por otro lado, los datos que se pueden obtener del regulador respecto de la producción aerogenerador en tiempo real son los siguientes.

- Velocidad de giro del aerogenerador (rpm).
- Velocidad del viento (m/s).
- Valores de tensión de generación (V).
- Valores de corriente de generación (I).
- Potencia generada (W).

Como datos técnicos generales caben destacar:

- Rango de voltaje operativo: 80-480 Vac.
- Voltaje máximo admisible: 510 Vac.
- Salida protegida mediante fusible de 125 A.
- Consumo en reposo: menos de 3 W.
- Consumo a máxima potencia: menos de 30 W.

Además, estos reguladores también proporcionan información sobre el estado de las baterías donde se acumula la energía procedente de las fuentes renovables. Los parámetros que se pueden conocer de ellas son los siguientes.

- Tensión en corriente continua de la batería (V).
- Intensidad de la corriente continua de la batería (I).
- Potencia instantánea derivada hacia la batería desde el respectivo aerogenerador (W).

#### Controladores de carga SmartSolar MPPT 100/50 [34]



Figura 25. Controlador de carga SmartSolar MPPT 100/50

Estos controladores de carga rectifican, y controlan la energía producida por los paneles solares de la instalación. El laboratorio tiene tres controladores de carga de este tipo, uno para cada grupo de seis paneles solares. Su función es adaptar la tensión de la corriente eléctrica producida por ellos desde 31,1 V hasta 12 V en corriente continua. La corriente a 12 Vcc procedente de cada regulador se inyecta al bus de corriente continua de la instalación, al igual que hacen los reguladores de carga de los aerogeneradores. Desde estos embarrados la energía podrá ser distribuida hacia el banco de baterías, cuya tensión de carga coincide con la del bus de corriente continua, o hacia los consumos.

Los datos más interesantes para la instalación que se pueden obtener a partir de los controladores de carga solar respecto de la producción de cada grupo de paneles fotovoltaicos son los siguientes:

- Valores de tensión de generación (V).
- Valores de corriente de generación (I).
- Potencia generada (W).

Como datos técnicos generales, caben destacar:

- Eficiencia máxima de la conversión: 98%.
- Temperatura de trabajo: entre -30 y 60°C.
- Corriente máxima de la batería: 50 A.
- Potencia fotovoltaica nominal: 700 W.
- Autoconsumo: 10 mA.

Inversores/cargadores MultiPlus 12V



Figura 26. Inversor MultiPlus 12V

Estos inversores/cargadores se encargan de dirigir la corriente de 12V desde el bus de corriente continua, donde los reguladores y controladores de carga depositan la corriente producida por la producción renovable, hacia las baterías para cargarlas (funcionando como cargador) o hacia los consumos para alimentarlos (funcionando como inversor). Para abastecer los consumos es necesario transformar la corriente del valor de 12Vcc a 230 Vac. De cada inversor salen una fase y un neutro, pudiendo conectarse tres inversores de manera que proporcionen corriente trifásica. La corriente trifásica obtenido en el laboratorio a partir de estos inversores es de 400 V.

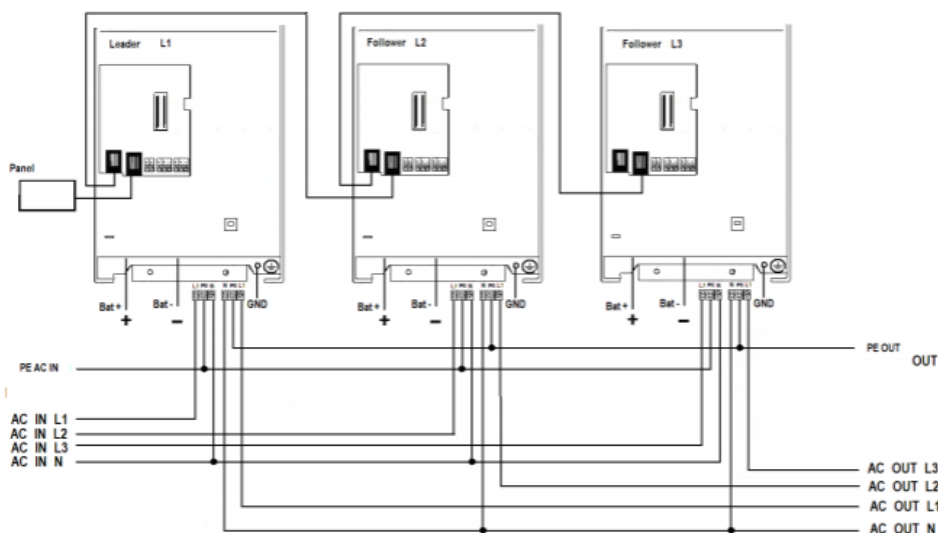


Figura 27. Conexión trifásica de inversores

Los datos que se pueden obtener del inversor/cargador respecto de la energía proporcionada a los consumos y obtenida de la generación son los siguientes:

- Valores de tensión de entrada al inversor y tensión que proporciona.
- Valores de corriente que le llega y corriente que proporciona.
- Potencia proporcionada.

Como datos técnicos generales, caben destacar:

- Rango de tensión de entrada en modo inversor (Vcc): 9,5-17 V.
- Tensión de salida en modo inversor (Vac): 230 V con error del 2% y a frecuencia de 50 Hz con error del 0,1%.
- Temperatura de funcionamiento: -20 a 50°C.

### Medidor openZmeter (oZm)



Figura 28. Medidor oZm

oZm es un sistema de código abierto diseñado por investigadores del área de ingeniería eléctrica de la Universidad de Almería para medir de manera inteligente la energía en redes eléctricas y analizar la calidad de esta. Las mediciones se realizan en tiempo real, incluyendo los siguientes parámetros:

- Valores RMS de tensión (con precisión hasta 0,1%) y corriente. La versión básica puede manejar hasta 400 V y 50 A RMS usando un sensor de efecto Hall incorporado, con una precisión del 1%.
- Potencia activa, reactiva y aparente.
- Energía activa y reactiva.
- Factor de potencia.
- Frecuencia hasta 10mH.
- Armónicos de tensión y corriente hasta el orden 50.
- Perturbaciones en la tensión como efectos swell, sag o interrupciones.

Estos datos son graficador por el medidor, pudiendo observar la forma de onda de la corriente eléctrica en el tiempo.

Los oZm se colocarán en el área de consumo de hogar, en el de consumo de industria y en el suministro desde la red, ya que oZm puede medir monofásica y trifásica. De esta forma se obtendrán los datos necesarios de estos puntos de la instalación.

### Variadores de frecuencia de CA PowerFlex serie 520 [35]

Este variador de frecuencia es utilizado para controlar aplicaciones hasta 30 HP y 22 kW. Con él es posible realizar acciones de control de motores, comunicaciones, ahorro energético y de seguridad. Los datos que se pueden obtener del variador de frecuencia respecto de los sistemas que controla son los siguientes:





Figura 29. Variador de frecuencia de CA PowerFlex

- Valores de tensión que consume el sistema.
- Valores de corriente que consume el sistema.
- Potencia activa consumida.
- Velocidad en rpm del motor controlado.
- Como datos técnicos generales, caben destacar:
  - Entrada analógica independiente del resto.
  - Entradas digitales, algunas de ellas programables.
  - Entrada analógica seleccionable entre 0-10 V ó 0-20 mA.
- Salida de relé que se utiliza para indicar las condiciones del variador, motor o lógica.

En el sistema se tendrán variadores de frecuencia para los motores del área de consumo industrial. De ellos se obtendrán los datos necesarios de consumo a tener en cuenta en el SCADA a la hora de tomar decisiones de control.

### PLC CX5010 Beckhoff [36]

El controlador lógico programable se encarga de recibir los datos de los equipos descritos anteriormente para ofrecerlos al PC desde donde se almacenarán y enviarán al sistema SCADA. Se trata del sumidero de información de todos los datos recogidos en producción y consumo.



Figura 30. PLC Beckhoff



Además de llegar a él la información pertinente conocida como datos de entrada, desde él se emiten las órdenes de control hacia los actuadores ubicados en la instalación.

En el laboratorio se dispone de un PLC de este tipo, que será el encargado de manejar el flujo de información, es decir, de entradas y salidas del sistema. Las principales características de este controlador son:

- Conexión directa a través de comunicación Beckhoff Bus o por terminales EtherCAT.
- Contiene posibilidad de conexiones tipo:
  - PROFUBUS
  - CANopen
  - DeviceNet
  - RS232, RS422/RS485
  - Ethernet/IP
  - PROFINET RT
  - EtherCAT
- Presenta cuatro interfaces USB 2.0.
- Sistemas operativos compatibles:
  - Windows CE
  - Windows Embedded Standard
- Almacenamiento por tarjeta Compact Flash, respaldado por un SAI de 1 segundo en la recopilación de datos. La memoria interna de este tipo, tipo Flash, es de 128 MB.
- Memoria interna principal: 512 MB RAM.
- Fuente de alimentación: 24 Vcc pudiendo variar entre -15% y +20%.
- Suministro de corriente para los terminales entrada/salida (I/O): 2 A.
- Máxima pérdida de potencia: 12 W.
- Temperatura de operación: -25 a 60°C.
- Puede utilizarse como un poderoso sistema de control al poder ser operado con o sin visualización utilizando el software TwinCAT. Este es el software utilizado en este proyecto para el diseño del sistema SCADA del laboratorio.

Como se ha mencionado, el PLC es un puente entre el sistema de control y visualización SCADA y los periféricos instalados en el laboratorio. Para el tráfico de información se utiliza el sistema de periferia descentralizada, esto quiere decir que la información de entradas y salidas se realiza desde varios puntos del laboratorio y se comunican a través de un bus de telecomunicaciones, no por cable físico.

La comunicación por bus de información es similar a la utilización de un cable de red para hacer que llegue el internet a los portátiles. En este caso, se puede escoger acceder a internet a través del cable o por wifi. Esta analogía se utiliza para comprender los buses de comunicación.

Todos los elementos del sistema que forman parte de la comunicación industrial transmiten información en forma de entradas o salidas digitales. La única excepción es el caso de la información pertinente a los seguidores solares instalados en los grupos de paneles fotovoltaicos. Para estos datos se utilizarán entradas y salidas analógicas.

El PLC se equipa de una tarjeta para realizar la lectura y escritura de datos digitales y analógicos para así poder obtener información sobre el estado de la instalación y transmitir las órdenes de control a los actuadores. La tarjeta es el modelo EK1100 | EtherCAT Coupler. En la instalación se dispone de una cabecera de este tipo para cada zona del laboratorio. El objetivo es poder recoger datos de manera descentralizada para luego enviarlos todos al mismo PLC, de esta manera cada cabecera recogerá y emitirá los datos pertinentes a la zona donde se encuentre asociada.

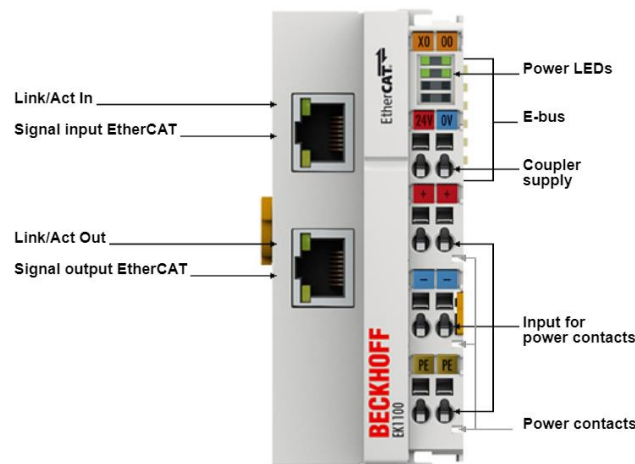


Figura 31. EK1100 | EtherCAT Coupler

Este EK1100 | EtherCAT Coupler se utiliza el protocolo EtherCAT para sus comunicaciones industriales. Algunas de sus características adicionales son:

- Permite una distancia entre las comunicaciones de 100 metros
- Número de terminales EtherCAT, hasta 65534
- Tiempo de retraso en las comunicaciones de 1 microsegundo
- Tasa de transferencia de datos de 100 Mbit por segundo
- Requiere una fuente de alimentación de 24 Vcc permitiendo un error entre el -15% y el +20%

Se dispone, por tanto, de una cabecera EK1100 | EtherCAT Coupler para cada zona de la instalación. Cada una de estas cabeceras tiene una tarjeta de entrada de datos digitales y de salida de datos digitales para enviar información al PLC y recibir información de este. Además, la cabecera de la zona de energías renovables contiene una tarjeta de entradas analógicas. Esto se debe a la naturaleza analógica de los seguidores solares.

Las tarjetas de entradas digitales utilizadas son del tipo EL1809 | HD EtherCAT. Disponen de 16 canales de entradas digitales de información con un voltaje de entrada de 24 Vcc.

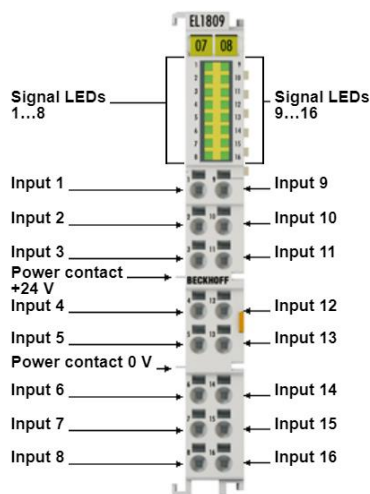


Figura 32. Tarjeta EL1809

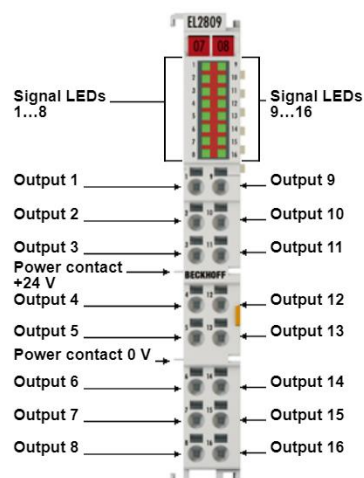


Figura 33. Tarjeta EL2809

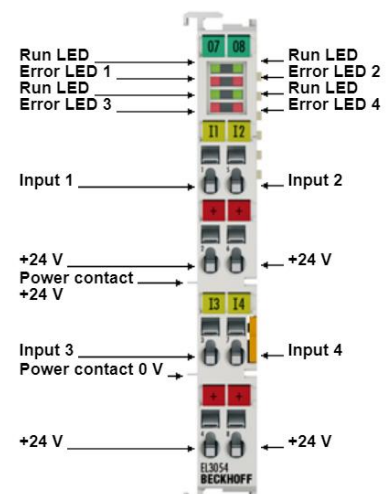


Figura 34. Tarjeta EL3054

Las tarjetas de salidas digitales son del tipo EL2809 | HD EtherCAT Terminal y también disponen de 16 canales, esta vez de salidas digitales. Su voltaje necesario son 24 Vcc y 0,5 A.

Por último, las tarjetas de entradas analógicas son del tipo EL3054. Disponen de cuatro canales de entradas analógicas con una intensidad desde 4 mA a 20 mA.

Se ha decidido utilizar este PLC en la instalación ya que es el más compatible con la aplicación de control y visualización SCADA empleada para el proyecto. Por otro lado, las tarjetas de entradas y salidas escogidas son básicas a la vez que son de alta densidad, es decir, presentan un número de entradas y salidas elevado. Esto es necesario para la instalación, donde se maneja gran cantidad de datos.

#### Baterías estacionarias TOPzS translucidas-Bornay [37]



Figura 35. Baterías estacionarias TOPzS ME

El laboratorio dispone de 18 baterías agrupadas en módulos de 6 de modo que cada módulo proporciona una tensión de 12 V. Se tiene un total de tres módulos de baterías de 12 V. Estos módulos son cargados a partir del bus de corriente continua y es decisión de los inversores dirigir esa corriente del bus a las baterías. Las características esenciales de este equipo son:

- Capacidad nominal a 20°C: 265 Ah.
- Sin limitación de intensidad máxima.
- Tensión de flotación de 2,23 V/celda con un error del 1%.
- Carga inicial entre 2,35 y 2,4 V por elemento.
- Ciclos de descarga: 1200.
- Electrolito de ácido sulfúrico de densidad 1,24 g/m<sup>3</sup>.
- Temperatura de funcionamiento entre 10 y 30°C.
- Auto descarga del 3% mensual a 20°C.

Es importante tener en cuenta que en el manual de usuario se indica que deben de evitarse cargas superiores al 80% para prevenir el desgaste excesivo de las baterías.

### Baterías de condensadores VarSet Easy [38]



*Figura 36. Baterías de condensadores VarSet Easy*

En el laboratorio estudiado en este proyecto se encuentra instalada una batería de condensadores. Esta batería se encarga de disminuir la cantidad de potencia reactiva consumida en la instalación. La potencia que se consume por los aparatos en el laboratorio es potencia activa y la componente reactiva de la potencia aparece cuando las cargas inductivas aumentan el factor de potencia. Cuanto mayor sea el factor de potencia mayor será la potencia necesaria a suministrar para que los consumos obtengan la parte de potencia activa que necesitan. Cuanto menor sea el factor de potencia la potencia activa compondrá la mayor parte de la potencia suministrada, con lo que disminuirán las pérdidas en la energía eléctrica transportada.

Se necesita, por tanto, que cuando el factor de potencia aumente tanto que la potencia reactiva suponga una parte considerable de la potencia suministrada a los consumos, exista una forma de compensar el sistema para disminuir el factor de potencia. Esto se realiza con la batería de condensadores.

Las características principales de estas baterías son:

- Tensión asignada de 400 V trifásicos a 50 Hz
- Tensión nominal del condensador: 415 V
- Potencia: 17,5 W
- Pérdidas inferiores a 2,5 W/kVAr
- Contiene un autotransformador integrado de 400/230 V. Esto es de especial interés ya que la tensión proporcionada por un inversor monofásico es de 230.

### Filtro activo paralelo AFQe-4WF-030M-400 [39]

La instalación de estudio en este proyecto consta de un equipo de filtros activos. Estos filtros, junto con la batería de condensadores, tienen el objetivo de resolver los problemas de calidad eléctrica del suministro. La batería de condensadores se encarga de eliminar la componente reactiva de la potencia consumida en el laboratorio y los filtros se encargan de eliminar los armónicos peligrosos de la señal.

Los armónicos en la señal pueden surgir, por ejemplo, por distorsiones en la conversión de tensión de alterna a continua y viceversa. Proporcionar a los consumos corriente eléctrica con mucha influencia de armónicos puede dañar los aparatos, hacer saltar protecciones cuando no sea necesario,

sobrecargar los conductores por los que se transmite esta energía y provocar la pérdida de rendimiento de motores industriales. El filtro activo mejora la calidad de la onda que llega a los consumos para que la calidad de la señal sea lo suficientemente buena y los aparatos tengan una mejor vida útil, reduciendo las tareas de mantenimiento.



Figura 37. Filtros activos AFQe -4WF-030M-400

Las características principales de estos filtros son:

- Capacidad de filtrado a corrientes de 30 A
- Preparado para instalaciones de tres hilos como es el caso de la instalación, donde la combinación de los tres inversores puede proporcionar corriente trifásica
- Rango de frecuencia entre 50 y 60 Hz
- Reducción de armónicos hasta 2500 Hz, es decir, el de orden 50
- Presenta un sistema de equilibrado de corrientes de fase para asegurar que la tensión suministrada por las fases trifásicas sean lo más similares posibles
- Permite la posibilidad de compensar la energía reactiva que se consume en la instalación.

Esta última característica podría suponer prescindir de la batería de condensadores para la compensación de la potencia reactiva cuando el factor de potencia sea demasiado elevado. Sin embargo, la batería de condensadores puede ofrecer este servicio con mayor capacidad y precisión. Por experiencia se conoce que es más efectivo utilizar un aparato especialmente destinado para la función que se diseña que utilizar un único equipo de múltiples funciones, pero de menor calidad. Por ello se ha decidido emplear el filtro activo paralelo para la eliminación de armónicos de la señal exclusivamente, mientras que la batería de condensadores se empleará para la compensación de potencia reactiva.

#### Estación meteorológica Davis Vantage Pro2 Plus inalámbrica [40]

La estación meteorológica recoge el estado de las variables meteorológicas que afectan, sobre todo, a las fuentes de producción renovable del laboratorio. Las variables que es capaz de medir son:

- Velocidad y dirección del viento.
- Temperatura y humedad interior y exterior.

- Temperatura de sensación y punto de rocío.
- Lluvia actual y acumulada diaria, mensual y anual.
- Intensidad de lluvia.
- Presión atmosférica actual y tendencia.
- Radiación solar.
- Evapotranspiración.
- Radiación e índice UV.
- Pronóstico meteorológico.
- Fase lunar y hora de puesta y salida del sol.

Además, es posible configurar más de 70 alarmas simultáneas para alertar, por ejemplo, sobre vientos fuertes que afecten al correcto funcionamiento de los aerogeneradores.

## 2.3 SOFTWARE SCADA TWINCAT 3

En este último apartado se muestran el software escogido para el diseño del sistema de control y visualización SCADA del laboratorio que se estudia en este proyecto [41].

Desde el sistema SCADA se mostrará la información recogida por las cabeceras EK1100 definidas anteriormente y colocadas en cada una de las zonas de la instalación. Esta información pasará primero por el controlador lógico programable que deberá ser compatible con el sistema SCADA. Por ello, una de las razones por las que se ha escogido la utilización de este software es que se trata del software propio de Beckhoff, el fabricante del PLC utilizado en el laboratorio para la gestión de entradas y salidas de información entre los niveles superior e inferior de comunicación.

Por otro lado, el único requerimiento del sistema para poder utilizar el software TwinCAT 3 es que tenga un sistema operativo Windows a partir de Windows 7 o su versión Windows Embedded. Es importante anotar que Windows XP y Windows Embedded Compact no son compatibles con este software. El software es compatible con Windows ya que se basa en la plataforma Visual Studio de Microsoft.

Además, otra característica de este software es que posibilita la comunicación con casi todos los fabricantes de buses de comunicación industrial. Estos son, por ejemplo: Ethernet, Ethernet/IP, Modbus o EtherCAT. Estas comunicaciones industriales son las requeridas por los equipos que se encuentran en el laboratorio, por ello es necesario que el software sea compatible con todos ellos.

También es necesario tener en cuenta el lenguaje de programación utilizado en el software para establecer las configuraciones y aplicaciones necesarias. El software TwinCAT 3 permite programar en lenguaje C, C++ y Matlab®/Simulink®, además de poder adquirir librerías externas para obtener nuevas herramientas de visualización. Estos lenguajes de programación resultan especialmente familiares por ser los que se han estudiado durante el grado universitario. Esta es otra razón más para escoger este software.

Por otro lado, la utilización de estos lenguajes de programación implica que el software TwinCAT 3 permite el uso de programación de alto nivel, con lenguajes conocidos por la mayoría, que facilita el desarrollo y el uso de este software y de su comunicación con el controlador lógico programable de la instalación.

Otra característica importante de este software es que presenta una arquitectura basada en PCs. Esto quiere decir que, si se necesita utilizar ordenadores más potentes para futuras aplicaciones complejas, es posible hacerlo mediante la adquisición de una licencia apropiada. También es importante anotar que el software TwinCAT 3 es gratuito, otra razón más para decantarse por esta opción.

Por último, TwinCAT 3 ofrece la opción de instalar un servidor web con el que sería posible observar la interfaz hombre máquina (HMI) del sistema de control y visualización SCADA desde terminales táctiles estándar. Estos pueden ser por ejemplo tabletas o móviles. Esta última característica llama especialmente la atención por su flexibilidad y modernidad. En el ámbito en el que se diseña el sistema SCADA, se prevé que sea consultado y utilizado por un número considerable de personas, alumnos y docentes, por lo que esta última opción resultaría de gran ayuda para el control de la instalación desde múltiples dispositivos accesibles.





# CAPÍTULO III

# RESULTADOS



## CAPÍTULO III: RESULTADOS

En este capítulo se muestran con detalle los resultados obtenidos en el desarrollo de este trabajo técnico. Se trata del diseño del sistema de control y visualización del laboratorio del área de ingeniería eléctrica de la Universidad de Almería.

Primero, se observará el tipo de comunicación industrial existente de cada uno de los aparatos descritos anteriormente. Esto es objeto del mapa de comunicaciones de la instalación. Después se describirá el diseño completo de las ventanas de visualización que son posible consultar a través del sistema SCADA y que muestran toda la información necesaria sobre los parámetros de consumos, producción y calidad eléctrica del laboratorio.

### 3.1 MAPA DE COMUNICACIONES

En este primer apartado se muestra el mapa de comunicaciones diseñado para visualizar el flujo de información entre los aparatos de la instalación destinados a la recogida, gestión, almacenamiento y visualización de datos. Además, se señala el tipo de comunicación industrial empleado entre cada pareja de equipos del sistema. En concreto, los mapas de comunicaciones destinados a sistemas de control y visualización SACADA con generación renovable se han estudiado en la referencia [42].

En el mapa de comunicaciones del sistema se clasifican los dispositivos de la instalación en uno de los tres primeros niveles de control automático según su función. El objetivo final de estas comunicaciones es mostrar los datos pertinentes de la instalación en la pantalla del sistema SCADA. Así se podrán tomar las decisiones de control oportunas.

En la siguiente imagen se observa la distribución de los equipos del laboratorio en el mapa de comunicaciones clasificados en tres niveles:

- Nivel de dispositivo: en él se encuentran los equipos desde donde se ofrece la información necesaria sobre el estado de la instalación y sus parámetros correspondientes. Como se ha visto anteriormente, esta información es recogida por las cabeceras EK1100 para cada zona del laboratorio.
- Nivel de control: donde se encuentra principalmente el controlador lógico programable PLC CX5010.
- Nivel de supervisión: en él se muestra el resultado final de este proyecto, la interfaz que mostrará las características de la instalación y desde donde será posible controlarla.

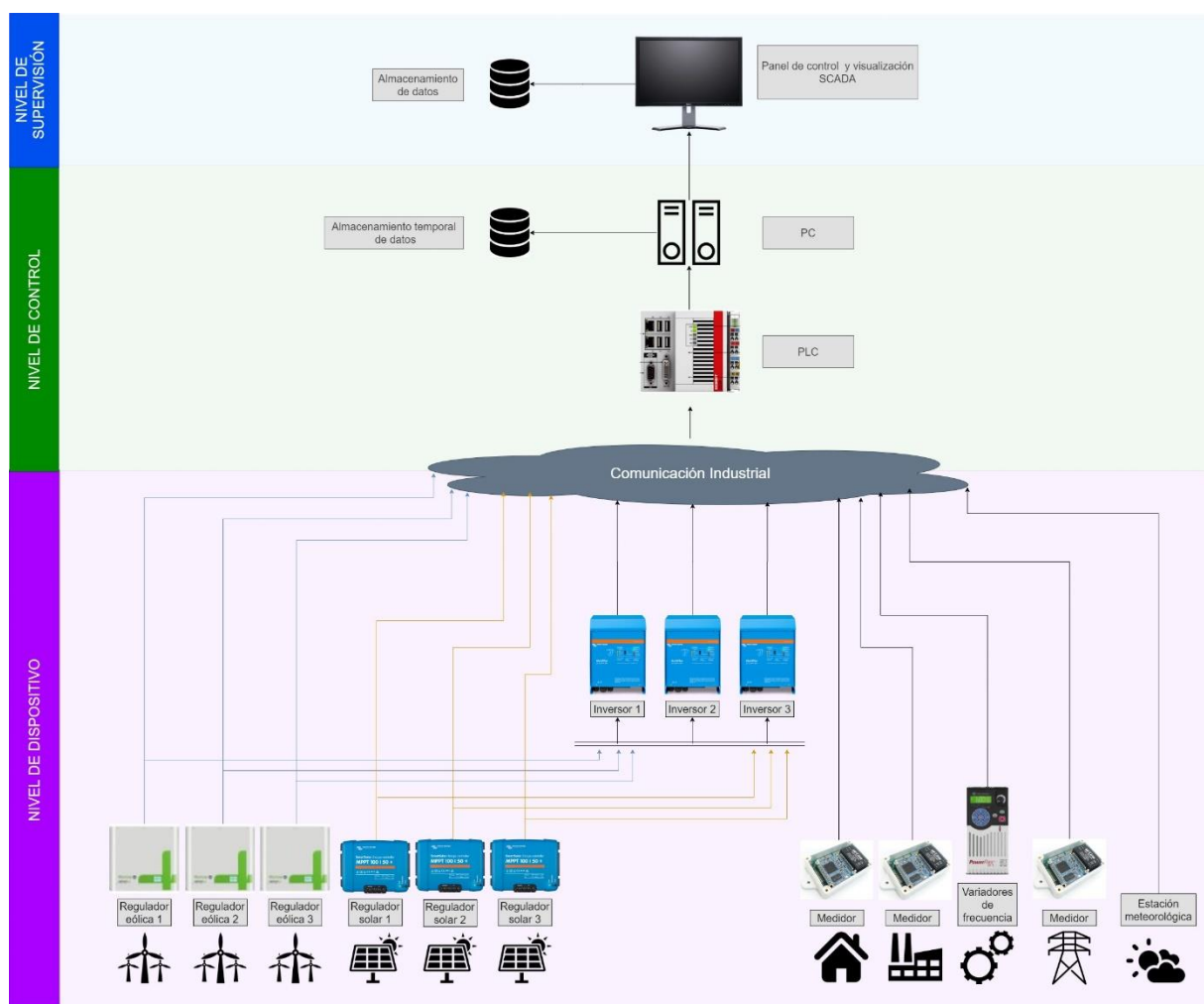


Figura 38. Mapa de comunicaciones

## NIVEL DE DISPOSITIVO

El nivel más bajo, el de dispositivo, incluye los aparatos que recogen los datos necesarios del sistema en tiempo real y los envían al nivel superior. Cada fuente de producción o consumo tiene su forma de obtener y transmitir esta información.

### Producción eólica

Cada aerogenerador está conectado a un regulador que se encarga de adaptar la tensión de generación a la del bus de corriente continua. Estos reguladores se encargan de recoger los datos en tiempo real de voltaje, intensidad y potencia proporcionadas por cada aerogenerador, velocidad del aerogenerador en rpm y velocidad del viento, ya que cada regulador lleva un anemómetro. Se comunican con el nivel superior por protocolo Modbus. Como característica adicional, cabe mencionar que estos reguladores presentan, además, opciones de Bluetooth, mini USB tipo B hembra, entradas auxiliares digitales y canales de comunicación RS485 y RS232.

### Producción solar

La zona de producción solar se compone de tres módulos de seis paneles fotovoltaicos cada uno. Un regulador solar, al igual que en el caso de la producción eólica, se asocia a cada módulo para ofrecer la misma función que su análogo en la zona de aerogeneradores. Los reguladores solares obtienen información sobre la tensión, intensidad y potencia de la generación solar y transmiten la transmiten al nivel superior mediante protocolo Modbus.

### Inversores/cargadores

Los inversores son los encargados de dirigir la energía que llega al bus de corriente continua a través de los generadores y dirigirla a las baterías o a los consumos. No conocen la información concreta aguas abajo, solo conocen que les llega corriente continua y deben transformarla en corriente alterna. Con ellos obtenemos información sobre el voltaje, intensidad y potencia de la energía suministrada a los consumos procedente de la generación renovable. Esta información es enviada al nivel de control mediante protocolo Modbus.

### Zona de consumos

Los hogares y el área de industria dispondrán de medidores oZm para obtener datos sobre la tensión, intensidad y potencia consumida en cada momento. Estos medidores se comunican con el nivel superior a través de conexión por cable Ethernet.

Por otro lado, los motores tienen asociados un variador de frecuencia del que se obtendrán los datos necesarios en tiempo real. Los datos pueden ser tensión, intensidad, potencia o velocidad en rpm. El protocolo utilizado por los variadores de frecuencia para transmitir la información al nivel superior es Ethernet/IP.

### Red eléctrica

Cuando sea necesario, se precisará el suministro de energía a través de la red. Para conocer las características de voltaje, intensidad y potencia de la energía que alimenta los consumos, se utilizan medidores oZm. Estos, al igual que en el caso de los consumos, transmiten la información al nivel superior mediante protocolo Ethernet.

### Estación meteorológica

Se compone de diversos sensores para obtener datos sobre radiación solar, velocidad y dirección del viento, humedad o precipitaciones en tiempo real. Estos aparatos se comunican con el nivel de control mediante protocolo Ethernet.

## NIVEL DE CONTROL

En este nivel se encuentran el PLC y el PC. El controlador programable recibe los datos recogidos por el nivel inferior, además de ser desde donde se recibe y envía información de entradas y salidas. Las comunicaciones del PLC con las entradas y salidas se realizan mediante protocolo EtherCAT.

El almacenamiento temporal se denomina SCADA local, o sea, gracias al PLC. A estos datos se puede acceder a partir de diferentes equipos PCs. El PC se comunica con el nivel superior, es decir, con la visualización en pantalla del sistema de control y visualización SCADA, por protocolo Ethernet.

## NIVEL DE SUPERVISIÓN

Es el último nivel del mapa de comunicaciones y a donde desembocan todos los datos tratados. Es donde se encuentra el sistema de visualización y control SCADA, a través del que se decide cómo actuar sobre el sistema. Desde el SCADA se almacenan los datos a largo plazo en el denominado SCADA global. Este almacenamiento es parecido a los conocidos como nubes de información y permite una mayor cantidad de almacenamiento de datos que permitirá el muestreo de históricos de los valores más relevantes para la instalación.

El SCADA puede visualizarse desde infinitas pantallas. Se decide cuáles de ellas serán de actuación y cuáles serán únicamente de visualización recurriendo a los tipos de usuarios definidos en el programa TwinCAT 3 con el que se ha diseñado el SCADA.



## 3.2 DISEÑO DEL SISTEMA SCADA

### 3.2.1 INTRODUCCIÓN

En este apartado se explica con detalle todas las funciones de control y visualización diseñadas para cada una de las pantallas del sistema SCADA. La visualización de los estados de los diferentes componentes de la instalación se realizará a través de un monitor principal instalado en el laboratorio, pudiendo mostrarse también en otras pantallas si se desea. Los datos sobre los elementos del sistema se agrupan en diferentes secciones o ventanas y es posible acceder a cada una de ellas en cualquier momento independientemente de en cuál nos encontremos. Esto es posible ya que el pie de cada ventana contiene botones indicadores del resto de ventanas accesibles del SCADA.

A modo de resumen, el SCADA consta de cinco secciones principales:

- Home: Es la ventana principal donde se muestran los datos agrupados de consumo y producción en toda la instalación. Desde esta ventana se puede acceder a los datos sobre la calidad de suministro en el laboratorio, visualizando datos relevantes para el uso de la batería de condensadores y el filtro activo de la instalación.
  - Calidad eléctrica, condensadores y filtros.
- Histórico de datos: En esa ventana se pueden encontrar los datos recogidos en distintos periodos de tiempo para casa fuente de producción individual y para cada consumo particular.
- Datos en tiempo real: Donde es posible observar los valores cambiantes para cada momento de todas las zonas del laboratorio. Desde esta ventana es posible acceder a los datos con el máximo de detalle sobre las fuentes de producción renovable.
  - Detalles de aerogeneradores.
  - Detalles de paneles fotovoltaicos.
- Estado del sistema: En esa ventana es posible observar la configuración de la instalación al completo agrupando los datos sobre qué fuentes de producción están habilitadas y qué configuración presenta la distribución de electricidad hacia los consumos.

A continuación, se muestran con todo detalle cada una de las ventanas de las que dispone el sistema SCADA diseñado, partiendo de la ventana principal.

### 3.2.2 HOME

A la hora de visualizar los datos se parte de una pantalla inicial donde se muestra el resumen de la información más importante sobre la producción y consumos de la instalación.

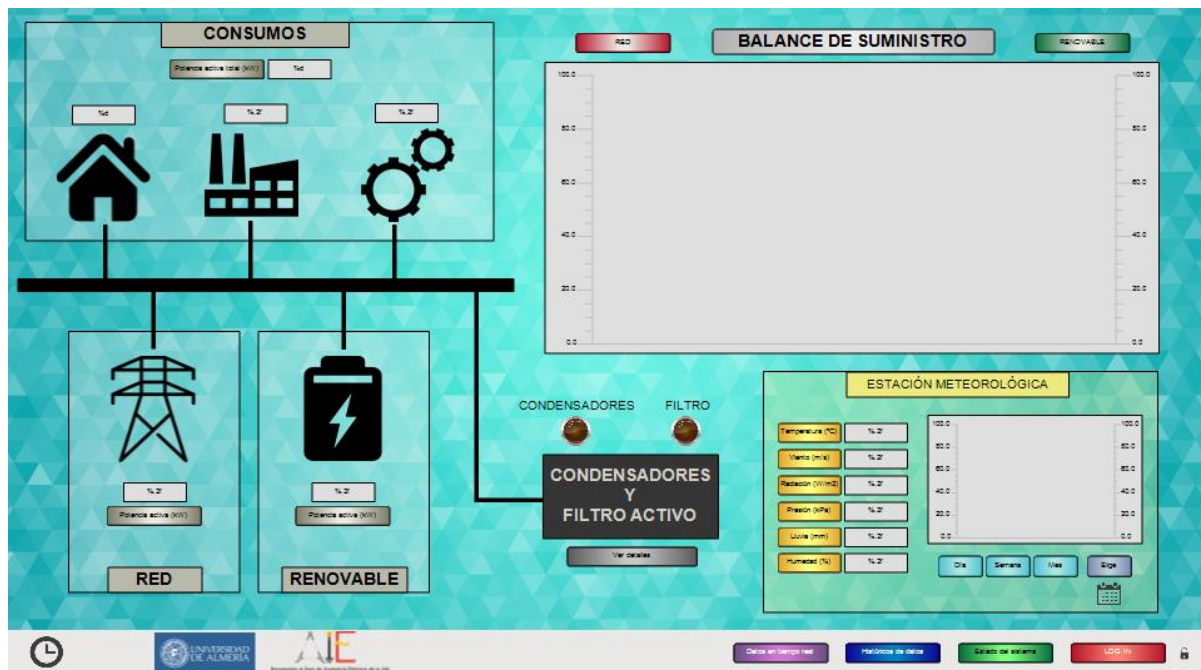


Figura 39. Ventana Home SCADA

En la pantalla se observan los datos generales de consumo y suministro de forma separada. En la parte superior izquierda se muestra el valor de la potencia activa, en vatios, consumida en tiempo real por todos los consumos. Luego, sobre el icono de cada grupo consumidor se muestra el valor en tiempo real de la potencia activa consumida. Estos grupos son el grupo de hogares, el grupo de industria y el grupo de motores.

Por otro lado, bajo los consumos se muestran los valores de la potencia aportada a la instalación por la red pública de distribución de la universidad y de la potencia generada por las fuentes de producción renovables, ambas en vatios. Gracias a estos datos, es posible conocer qué fracción de la energía que llega a los consumos es renovable y qué fracción es procedente de la red. En la gráfica *Balance de suministro* se observa la comparación de estos valores, pudiendo obtener cuánto se ahorra cada día y a lo largo del mes gracias a las fuentes de generación eólica y solar fotovoltaica.

En la esquina inferior derecha se muestran los datos en tiempo real de las magnitudes recogidas por la estación meteorológica, así como los históricos de estos valores en el último día, semana, mes o rango de fechas escogida en el calendario de forma manual. Estos valores son:

- Temperatura en grados centígrados (°C)
- Velocidad del viento en metros por segundo (m/s)
- Radiación solar en vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ )
- Presión en kilo pascales (kPa)
- Datos sobre precipitaciones en milímetros por hora (mm)
- Humedad en porcentaje (%)

Por último, a la misma altura que las fuentes de producción, se encuentran los datos sobre la calidad de suministro, es decir, sobre el estado de la batería de condensadores y los filtros activos. Los dos pilotos colocados sobre el cuadro de texto indican si se encuentran operativos estos sistemas de rectificado. Por otro lado, en la parte inferior se puede pulsar el botón *Ver detalles* para abrir la siguiente ventana.



### 3.2.3 CALIDAD DE SUMINISTRO

En esta pantalla se muestran los datos clave de la instalación que se deben conocer antes de tomar la decisión de activar o desactivar la batería de condensadores o los filtros activos.

La batería de condensadores se utiliza para corregir el consumo de potencia reactiva de la instalación. Esta potencia provoca el aumento de la potencia consumida sin utilizarse para abastecer los consumos, por ello interesa que la potencia reactiva sea la mínima posible.

Por otro lado, los filtros activos se utilizan para obtener una forma de onda lo menos desigual posible, eliminando los armónicos problemáticos para el funcionamiento de los aparatos consumidores en la instalación.

Ambos equipos se utilizan para mejorar la calidad del suministro de energía eléctrica en el laboratorio.



Figura 40. Ventana Calidad de Suministro SCADA

Por un lado, en la sección de batería de condensadores se incluyen las siguientes funcionalidades:

- Valores en tiempo real del voltaje e intensidad de la corriente suministrada, así como el ángulo de desfase entre ellos.
- Gráfico de los valores en los últimos minutos de la potencia activa y reactiva consumida en la instalación.
- Notificación de fallo en la batería de condensadores con el correspondiente piloto que se enciende cuando hay uno o más fallos y se apaga al solucionarse estos.
- Botón de encendido y apagado de la batería de condensadores con su respectivo piloto indicador.

Por otro lado, en la zona de filtros activos, se muestran los datos que se necesitan para tomar la decisión de activarlos o desactivarlos utilizando el botón pertinente en la esquina superior derecha. Estos datos que se muestran son:

Además, también presenta una función de notificaciones de fallo, al igual que la parte de la batería de condensadores.

### 3.2.4 DATOS EN TIEMPO REAL

La siguiente pantalla con su botón accesible en el pie de pantalla es la ventana de datos en tiempo real. Esta sección muestra los recogidos cada corto periodo de tiempo, por ejemplo, cada minuto, de las fuentes y consumos de energía de la nave. La pantalla se encuentra dividida por la mitad separando la zona de producción y la zona de consumos.

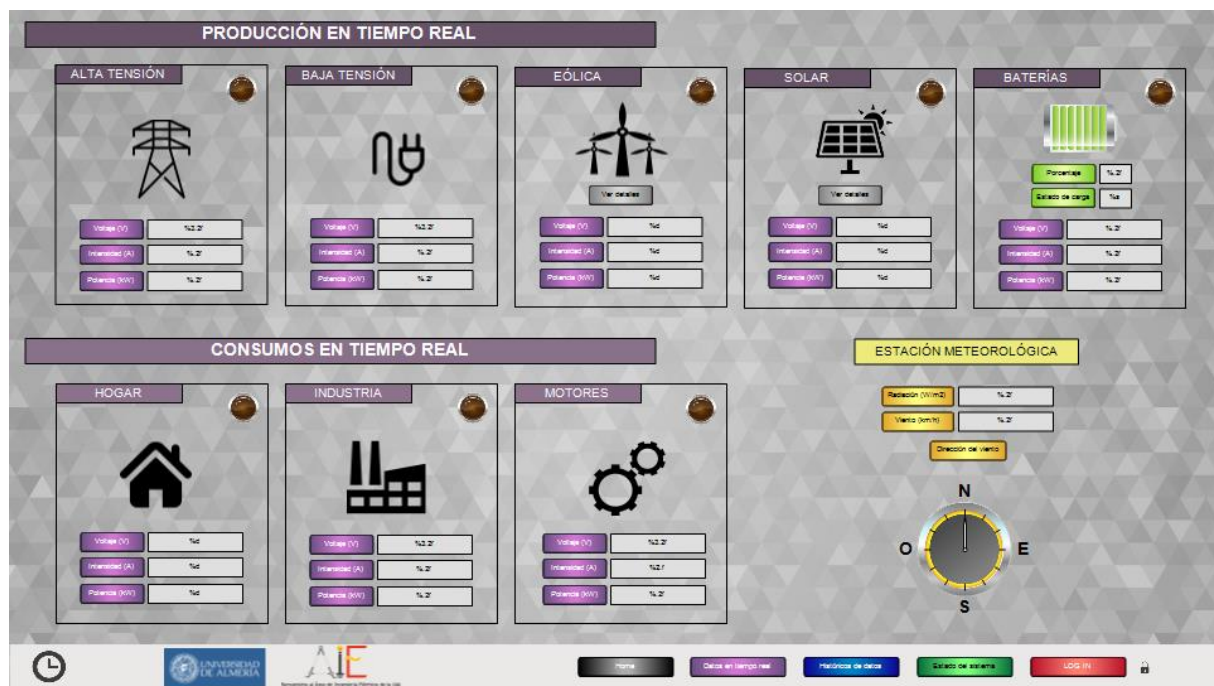


Figura 41. Ventana Datos en Tiempo Real SCADA

A continuación, se explican los datos que pueden observarse a partir de esta pantalla y en cada una de las secciones en las que se divide.

#### PRODUCCIÓN EN TIEMPO REAL

##### Alta tensión

Se muestran los parámetros de voltaje (V), intensidad (A) y potencia (kW) de la energía que se está consumiendo proveniente del centro de transformación de la nave. De este centro se obtiene electricidad a 400 V. No se puede consumir simultáneamente de alta tensión y baja tensión, por ello se indica si se está consumiendo de alta tensión o no en el indicador de ON/OFF en la esquina superior

derecha de la producción de alta tensión, este indicador es un piloto que se ilumina en el caso de estar suministrando energía a partir del suministro de la red pública de la universidad.

#### Baja tensión

Se muestran los parámetros de voltaje (V), intensidad (A) y potencia (kW) de la energía que se está consumiendo proveniente del centro de transformación de la Universidad más cercano a la nave. No se puede consumir simultáneamente de alta tensión y baja tensión, por ello se indica si se está consumiendo de baja tensión o no en el indicador de ON/OFF en la esquina superior derecha de la producción de baja tensión.

#### Eólica

Se muestran los parámetros de voltaje (V), intensidad (A) y potencia (kW) de la energía que se está consumiendo proveniente de los aerogeneradores del sistema. Como en los casos anteriores, se indica si se está consumiendo de estos o no gracias al indicador ON/OFF en la esquina superior derecha de la producción eólica. La producción eólica se compone de tres aerogeneradores, luego el botón indicará OFF cuando no se esté consumiendo energía de ninguno de los tres. Para observar los detalles de cada aerogenerador, se puede acceder mediante el botón de ver *detalles* bajo el icono de la producción eólica.

#### Solar

Se muestran los parámetros de voltaje (V), intensidad (A) y potencia (kW) de la energía que se está consumiendo proveniente de los paneles fotovoltaicos del sistema. Como en los casos anteriores, se indica si se está consumiendo de estos o no gracias al indicador ON/OFF en la esquina superior derecha de la producción solar. La producción solar se compone de dos paneles, luego el botón indicará OFF cuando no se esté consumiendo energía de ninguno de los dos. Para observar los detalles de cada panel, se puede acceder mediante el botón de ver *detalles* bajo el icono de la producción solar.

#### Baterías

Se muestran los parámetros de voltaje (V), intensidad (A) y potencia (kW) de la energía que se está consumiendo de las baterías del sistema. Como en los casos anteriores, se indica si se está consumiendo de estos o no gracias al indicador ON/OFF en la esquina superior derecha de la sección de baterías. El icono de la batería es cambiante, es decir, se muestra un icono diferente para los porcentajes entre 0-25%, 25-50%, 50-75% y 75-100%.

Bajo el icono indicador de la carga de las baterías, se muestran los datos concretos del porcentaje de carga de las baterías y del estado de carga, es decir, si las baterías están cargando, descargando o no se están utilizando.

### CONSUMO EN TIEMPO REAL

#### Hogar

Se muestran los parámetros de voltaje (V), intensidad (A) y potencia (kW) de la energía que se está consumiendo en la zona de consumos de hogar de la nave. Como en los casos anteriores, se indica si se está consumiendo en el hogar o no gracias al indicador ON/OFF en la esquina superior derecha del consumo en hogar.

#### Industria

Se muestran los parámetros de voltaje (V), intensidad (A) y potencia (kW) de la energía que se está consumiendo en la zona de consumos de industria de la nave. Como en los casos anteriores, se indica si se está consumiendo en la industria o no gracias al indicador ON/OFF en la esquina superior derecha del consumo en industria.

## Motores

Se muestran los parámetros de voltaje (V), intensidad (A) y potencia (kW) de la energía que se está consumiendo en la zona de consumos de motores de la nave. Como en los casos anteriores, se indica si se está consumiendo en los motores o no gracias al indicador ON/OFF en la esquina superior derecha del consumo en motores.

## INFORMACIÓN SOBRE ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Se observan los datos más relevantes para la producción eólica y solar. Estos datos son los valores de radiación en  $W/m^2$ , la velocidad del viento en m/s y la dirección del viento mediante una brújula que muestra su dirección en cada momento.

Por último, a partir de esta ventana se puede acceder a los detalles sobre la producción eólica y solar, para cada aerogenerador o para cada grupo de placas. Las ventanas son las siguientes.

### 3.2.5 MÁS DETALLES DE PRODUCCIÓN EÓLICA

En esta ventana se observan los datos de producción concretos para cada uno de los tres aerogeneradores que proporcionen energía eléctrica a la instalación. A esta ventana solo es posible acceder desde la ventana de datos en tiempo real, anteriormente descrita. En el pie de pantalla se facilita la opción de retroceder a la pantalla anterior, para facilitar la vuelta a la pantalla *Datos en tiempo real* en caso de no recordar la pantalla a través de la que se accedió a esta de datos sobre todos los aerogeneradores.



Figura 42. Ventana de Producción Eólica SCADA

La información y opciones que se ofrecen para cada aerogenerador son:

- En tiempo real se observan los valores de voltaje (V), intensidad (A), potencia en (kW) y velocidad de giro (rpm).
- En la gráfica se muestra el histórico de los diez últimos minutos de cualquiera de las magnitudes medidas en tiempo real. Es elección del usuario.
- Notificación de fallos en el aerogenerador a través del piloto de fallo. Este se encenderá cuando haya un fallo en detectado en el aerogenerador y no se apagará hasta solucionarlos. Los fallos pueden consultarse a través del botón de *Fallos* situado debajo de este piloto.
- Es posible accionar o parar los motores de cada aerogenerador pulsando sobre el botón de *Power*, a la derecha de cada ventana. El piloto encendido indicará que está activo el aerogenerador.

Por otro lado, en la esquina superior derecha se muestran los datos de la estación meteorológica relevantes para la producción eólica. Estos son el valor de la velocidad del viento en m/s y la dirección del mismo gracias a la brújula pertinente.

### 3.2.6 MÁS DETALLES DE PRODUCCIÓN SOLAR

En los detalles de producción solar hay una pantalla para cada grupo de seis paneles solares. En el laboratorio se dispone de dos seguidores solares, luego hay un grupo de placas de las que no se puede controlar la orientación. Esta situación puede ser útil a la hora de comparar valores de producción de los distintos grupos y estudiar el efecto de la orientación de las placas en la producción de energía eléctrica.

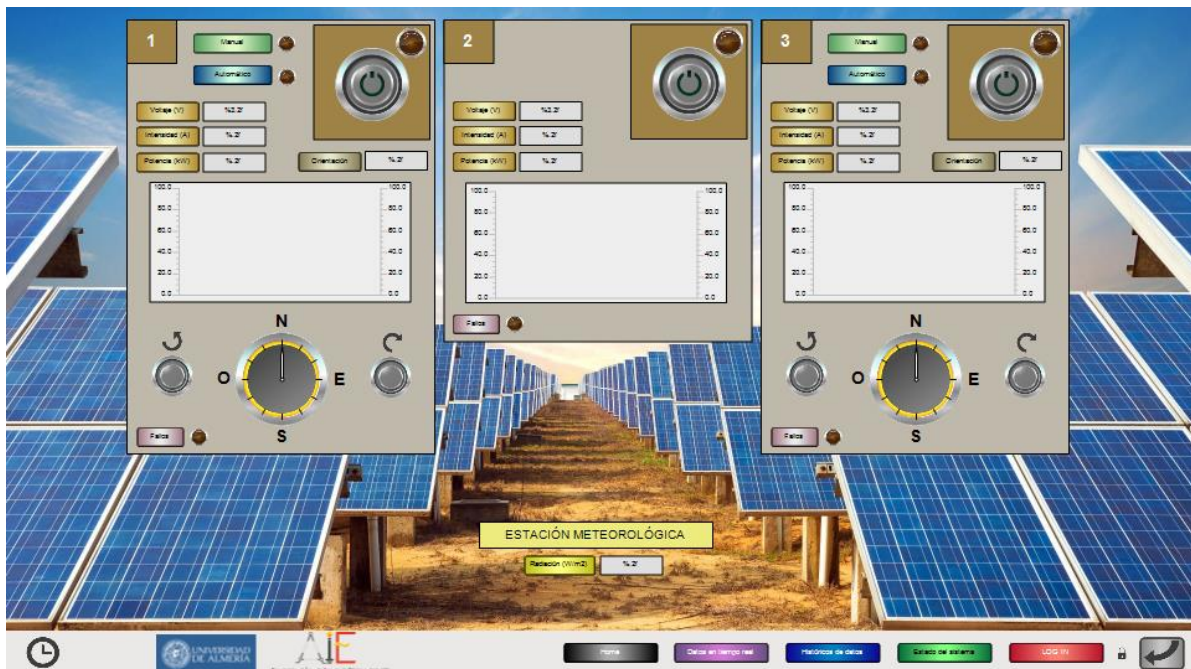


Figura 43. Ventana Producción Solar SCADA



La información ofrecida y las configuraciones posibles para cada grupo de placa son:

- Valores en tiempo real del voltaje de producción eléctrica a través de los paneles fotovoltaicos del grupo en V, intensidad de la producción en A, potencia de la producción en W y orientación del grupo de paneles en grados.
- En la gráfica se pueden mostrar el histórico de los datos del voltaje, intensidad o potencia producidas en los últimos diez minutos.
- Los botones de manual y automático permiten dejar la reorientación de los paneles hacia el punto de mayor potencia en manos del sistema automático o modificándolo manualmente. Cuando alguna de estas dos opciones esté habilitada se encenderá su piloto correspondiente.
- En el caso del modo manual, será posible modificar la orientación de los paneles introduciendo el valor correspondiente en el valor de la orientación. En el caso en el que, gracias a la brújula, se observe que no se ha llegado con la suficiente precisión a ese valor, se pueden utilizar los botones de giro horario y antihorario para modificar lentamente la orientación.

Se puede observar que un grupo de paneles no dispone de la opción de orientación manual. Esto es porque se cuenta únicamente con dos motores para el giro de las placas, luego un grupo de placas no presenta posibilidad en la variación de la orientación.

- Notificación de fallos en el grupo de paneles a través del piloto de fallo. Este se encenderá cuando haya un fallo detectado en el grupo y no se apagará hasta solucionarlo. Los fallos pueden consultarse a través del botón de *Fallos* situado a la izquierda de este piloto.
- Es posible accionar o parar el consumo de la generación fotovoltaica de cada grupo de paneles pulsando sobre el botón de *Power*, a la derecha de cada ventana. El piloto encendido indicará que está activo el aerogenerador.

Por otro lado, en la parte inferior de la ventana se muestra el dato más relevante de la estación meteorológica para la producción fotovoltaica, el dato de radiación solar en  $W/m^2$ .

Por último, en la parte derecha del pie de pantalla se facilita la opción de retroceder a la pantalla anterior, para facilitar la vuelta a la pantalla *Datos en tiempo real* en caso de no recordar la pantalla a través de la que se accedió a esta de datos sobre todos los grupos de paneles fotovoltaicos.

### 3.2.7 HISTÓRICO DE DATOS

La siguiente pantalla a la que se puede acceder desde el pie de ventana es la pantalla *Histórico de datos*. En esta pantalla se pueden observar las gráficas que representan los datos de producción, consumo, baterías y estación meteorológica recogidos en distintos periodos de tiempo. Es importante diferenciar esta pantalla de la de *Datos en tiempo real*.

A continuación, se explica qué es posible obtener en cada sección de esta ventana.

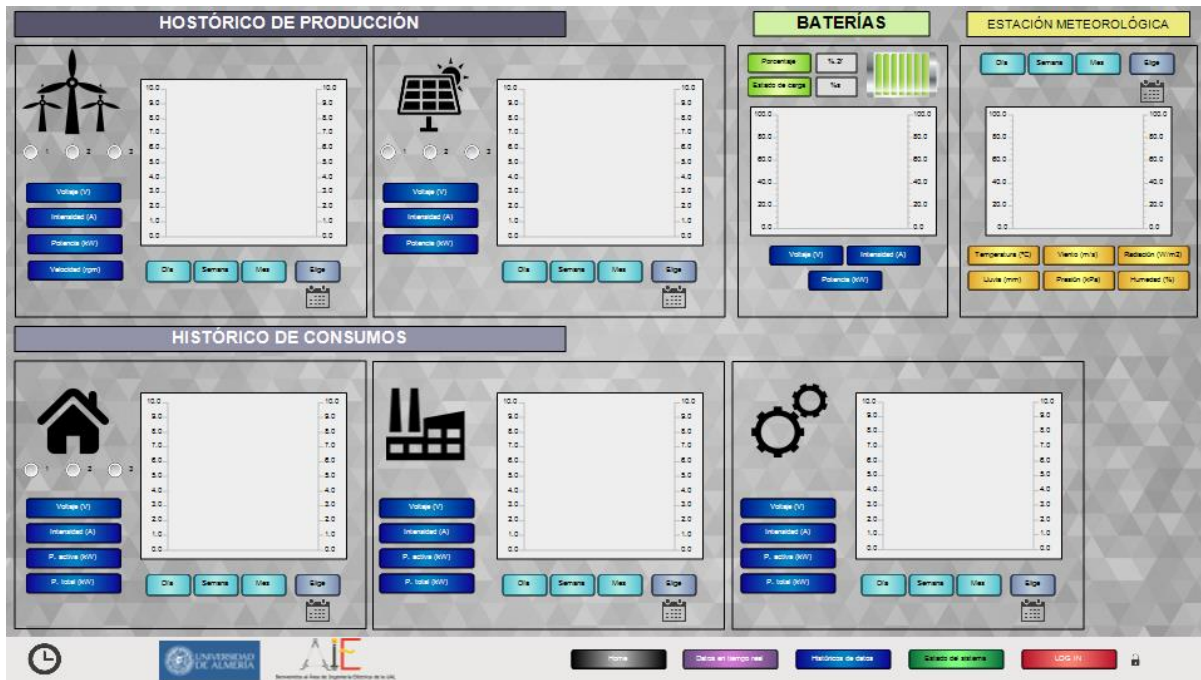


Figura 44. Ventana Histórico de Datos SCADA

## HISTÓRICO DE PRODUCCIÓN

### Producción eólica

En la gráfica se podrán mostrar los datos sobre la energía producida por los aerogeneradores de voltaje (V), intensidad (A) y potencia (kW), además de la velocidad de giro de estos (rpm). Puede elegirse mostrar uno de estos datos o varios, en el caso en el que se desee comparar resultados. Así mismo, se puede escoger representar los datos de producción del aerogenerador 1, 2, 3 o la combinación deseada. Se deja a elección del usuario la cantidad de datos manejables en una misma gráfica. Por último, los datos seleccionados pueden mostrarse en distintos periodos de tiempo, pudiendo ser de un día, una semana, un mes o la elección del periodo con la opción de calendario.

### Producción solar

En la gráfica se podrán mostrar los datos de voltaje (V), intensidad (A) y potencia (kW) de la energía producida por los paneles fotovoltaicos. Puede elegirse mostrar uno de estos datos o varios, en el caso en el que se desee comparar resultados. Así mismo, se puede escoger representar los datos de producción del panel 1, 2 o ambos simultáneamente. Se deja a elección del usuario la cantidad de datos manejables en una misma gráfica. Por último, los datos seleccionados pueden mostrarse en distintos periodos de tiempo, pudiendo ser de un día, una semana, un mes o la elección del periodo con la opción de calendario.

## HISTÓRICO DE CONSUMOS

### Consumo en hogar

En la gráfica se podrán mostrar los datos de voltaje (V), intensidad (A) y potencias activa y total (kW) de la energía consumida por esta zona de la instalación. Puede elegirse mostrar uno de estos datos o varios, en el caso en el que se desee comparar resultados. Los datos seleccionados pueden mostrarse en distintos periodos de tiempo, pudiendo ser de un día, una semana, un mes o la elección del periodo con la opción de calendario.

### Consumo en industria

En la gráfica se podrán mostrar los datos de voltaje (V), intensidad (A) y potencias activa y total (kW) sobre la energía consumida por esta zona de la instalación. Puede elegirse mostrar uno de estos datos o varios, en el caso en el que se desee comparar resultados. Los datos seleccionados pueden mostrarse en distintos periodos de tiempo, pudiendo ser de un día, una semana, un mes o la elección del periodo con la opción de calendario.

### Consumo en motores

En la gráfica se podrán mostrar los datos de voltaje (V), intensidad (A) y potencias activa y total (kW) sobre la energía consumida por esta zona de la instalación. Puede elegirse mostrar uno de estos datos o varios, en el caso en el que se desee comparar resultados. Los datos seleccionados pueden mostrarse en distintos periodos de tiempo, pudiendo ser de un día, una semana, un mes o la elección del periodo con la opción de calendario.

## INFORMACIÓN SOBRE BATERÍAS

El icono de la batería va cambiando según su estado de carga, teniendo 4 estados desde el de sin batería hasta el de batería completa. Para tener una información más concreta sobre su estado de carga se muestra el porcentaje de carga del conjunto de baterías a la derecha del icono. También se muestra, bajo esta última opción, si las baterías se encuentran cargando, descargando o si no se están empleando en el momento.

El histórico de datos de la batería se podrán mostrar los datos de voltaje (V), intensidad (A) y potencia (Kw) consumidas de la batería a lo largo del tiempo. Puede elegirse mostrar uno de estos datos o varios, en el caso en el que se desee comparar resultados. Los datos seleccionados pueden mostrarse en distintos periodos de tiempo, pudiendo ser de un día, una semana, un mes o la elección del periodo con la opción de calendario.

## INFORMACIÓN SOBRE ESTACIÓN METEOROLÓGICA

En la gráfica se podrán mostrar los datos de temperatura en grados centígrados, velocidad del viento (m/s), radiación ( $W/m^2$ ), precipitaciones (mm), presión (kPa) y humedad (%). Puede elegirse mostrar uno de estos datos o varios, en el caso en el que se desee comparar resultados. Los datos seleccionados pueden mostrarse en distintos periodos de tiempo, pudiendo ser de un día, una semana, un mes o la elección del periodo con la opción de calendario.

### 3.2.8 ESTADO DEL SISTEMA

En esta última ventana se muestra un resumen del estado de los principales componentes que afectan al funcionamiento de la instalación. Por un lado, se muestra cuáles de los tres aerogeneradores están en funcionamiento con su respectivo botón *Power* y su piloto asociado.

También en cuanto a producción, se muestran cuáles de los grupos de seis paneles solares se encuentran inyectando corriente eléctrica al sistema en el momento mediante el mismo tipo de indicador que para la producción eólica. Respecto a la producción fotovoltaica, se puede consultar la orientación de los dos grupos de paneles móviles en la parte inferior de la pantalla, así como se puede modificar desde aquí su valor.



Desde esta ventana también es posible accionar o parar la producción de cualquier aerogenerador o grupo de paneles fotovoltaicos.

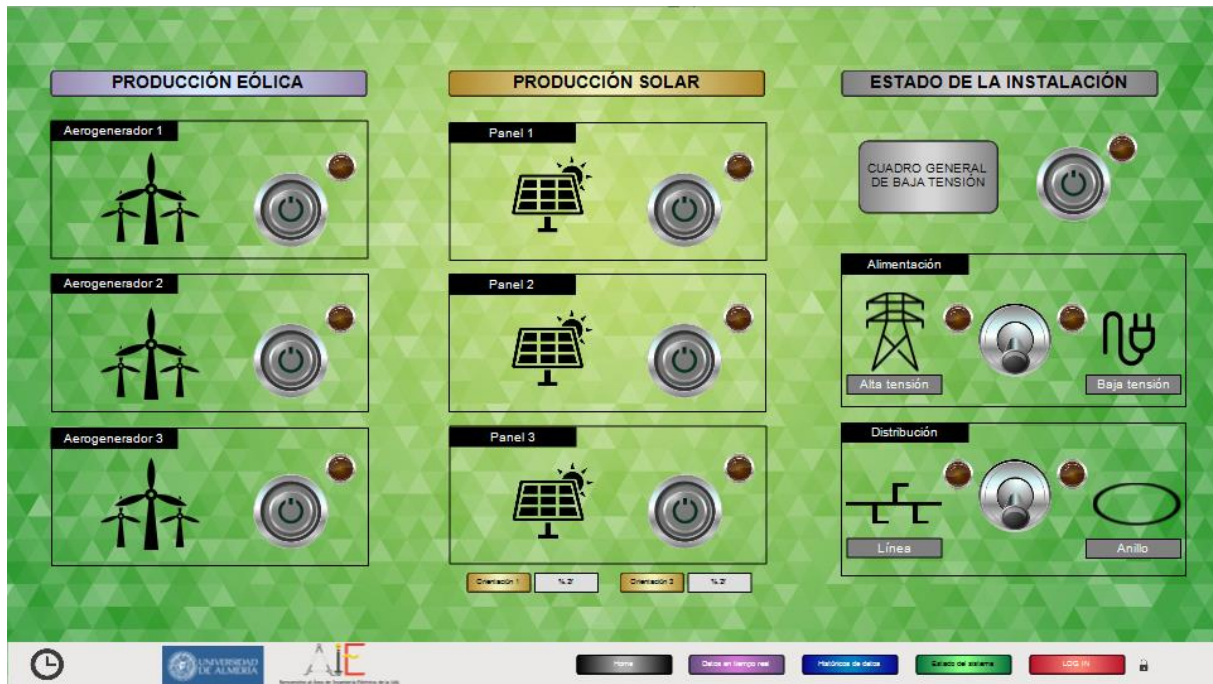


Figura 45. Ventana Estado del Sistema SCADA

Por último, en la parte de la derecha de esta ventana, se puede decidir el encendido del cuadro general de baja tensión, con el que se comenzaría a suministrar energía eléctrica a todo el laboratorio. Además, se puede decidir la naturaleza de la tensión proporcionada, pudiendo ser alta tensión o baja tensión, así como se escoge la forma de distribución de esta energía en la instalación. Esta distribución puede ser en línea o en anillo.



### 3.3 DEFINICIÓN DE VARIABLES

En este apartado se muestran qué variables se han definido para transmitir los datos recogidos por los medidores de la instalación al PLC y poder ser mostrado en las visualizaciones del SCADA.

Para empezar, se muestra un listado de las variables globales de la instalación. Estas variables son las que recibe el PLC. Es de las que obtiene datos y hacia donde envía órdenes de control. Algunas variables globales incluyen un grupo de datos, como si fuera una carpeta de información. Los datos que contienen las variables globales de estas características también se mostrarán en este apartado.

Las variables globales se identifican como GVLs en el software TwinCAT 3. En el programa diseñado, se han definido las variables globales que forman parte de un mismo grupo de datos, es decir, toda la información obtenida a partir de estas variables pertenece a la misma instalación. Por eso, se han agrupado dentro de la GVL *Nave*. Las variables globales son las siguientes.

Nombre	Tipo de variable	Descripción
aero1	aerogenerador	Engloba todos los parámetros del aerogenerador 1 de la instalación
aero2	aerogenerador	Igual que el caso anterior, pero para el aerogenerador 2
aero3	aerogenerador	Igual que el primer caso, pero para el aerogenerador 3
tensiontotaleolica	REAL	Tensión generada por los tres aerogeneradores
intensidadtoteolica	REAL	Intensidad generada por los tres aerogeneradores
potenciatotaleolica	REAL	Potencia total generada por los tres aerogeneradores
numeroaero	INT	Indica la selección del aerogenerador del que se quiere conocer información a partir del sistema de visualización
eolicaon	BOOL	Estado de la producción eólica. Si se está produciendo o no
historicoaero	ARRAY [1..100] OF REAL	Mostrará en la pantalla de históricos el array de datos sobre un aerogenerador que se le asocie, pudiendo ser datos de tensión, potencia, intensidad o velocidad de giro
panel1	panel	Engloba todos los parámetros del grupo 1 de paneles fotovoltaicos

panel2	panel	Igual que el anterior, pero para el grupo 2 de paneles fotovoltaicos
panel3	panel	Igual que el anterior, pero para el grupo 3 de paneles fotovoltaicos
tensiontotalsolar	REAL	Tensión generada por los tres grupos de paneles fotovoltaicos
intensidadtotalsoalar	REAL	Intensidad generada por los tres grupos de paneles fotovoltaicos
potenciatotalsolar	REAL	Potencia total generada por los tres grupos de paneles fotovoltaicos
numeropanel	INT	Indica la selección del agrupo de paneles fotovoltaicos del que se quiere conocer información a partir del sistema de visualización
solaron	BOOL	Estado de la producción solar fotovoltaica. Si se está produciendo o no
historicosolar	ARRAY [1..100] OF REAL	Mostrará en la pantalla de históricos el array de datos sobre un grupo de paneles fotovoltaicos que se le asocie, pudiendo ser datos de tensión, potencia o intensidad
casa1	casas	Engloba todos los parámetros del consumo tipo hogar número 1
casa2	casas	Igual que el anterior, pero para el consumo tipo hogar número 2
casa3	casas	Igual que el anterior, pero para el consumo tipo hogar número 3
tensiontotalcasas	REAL	Tensión consumida por los tres grupos de consumos tipo hogar
intensidadtotalcasas	REAL	Intensidad consumida por los tres grupos de consumos tipo hogar

potenciatotalcasas	REAL	Potencia total consumida por los tres grupos de consumos tipo hogar
numerocasa	INT	Indica la selección del consumo tipo hogar del que se quiere conocer información a partir del sistema de visualización
casason	BOOL	Estado del consumo tipo hogar Si se está consumiendo o no
historicocasas	ARRAY [1..100] OF REAL	Mostrará en la pantalla de históricos el array de datos sobre un grupo consumos tipo hogar que se le asocie, pudiendo ser datos de tensión, potencia o intensidad
i	industria	Engloba todos los parámetros del consumo tipo industria
industriaon	BOOL	Estado del consumo tipo industria Si se está consumiendo o no
historicoindustria	ARRAY [1..100] OF REAL	Mostrará en la pantalla de históricos el array de datos sobre los consumos tipo industria que se le asocie, pudiendo ser datos de tensión, potencia o intensidad
m	motores	Engloba todos los parámetros del consumo tipo motor
motoreson	BOOL	Estado del consumo tipo motor Si se está consumiendo o no
historicomotores	ARRAY [1..100] OF REAL	Mostrará en la pantalla de históricos el array de datos sobre los consumos tipo motor que se le asocie, pudiendo ser datos de tensión, potencia o intensidad
red	red	Engloba todos los parámetros de la energía suministrada a la instalación desde la red eléctrica de suministro de la universidad
historicopotenciared	ARRAY [1..100] OF REAL	Mostrará el históricos de los valores de potencia consumida de la red eléctrica

b	bateria	Engloba todos los parámetros de la energía suministrada a la instalación desde las baterías
historicobateria	ARRAY [1..100] OF REAL	Mostrará en el históricos los valores que se señalen sobre el consumo desde baterías, pudiendo ser valores de tensión, potencia o intensidad
c	batcondensadores	Engloba todos los parámetros de la rectificación de la señal de suministro a partir de la batería de condensadores
f	filtros	Engloba todos los parámetros de la rectificación de la señal de suministro a partir del filtro activo
cgbt	BOOL	Indica si se está suministrando energía a la instalación a partir del cuadro general de baja tensión o no
alt	altatension	Engloba todos los parámetros sobre el suministro de la instalación del tipo alta tensión
baj	bajatension	Engloba todos los parámetros sobre el suministro de la instalación del tipo baja tensión
switchalim	BOOL	Indica el estado de la alimentación de la instalación, si es de alta tensión o baja tensión
lin	BOOL	Indica si está activa la configuración en línea para la distribución de energía eléctrica en la instalación
ani	BOOL	Indica si está activa la configuración en anillo para la distribución de energía eléctrica en la instalación
switchdist	BOOL	Indica el estado de la distribución en la instalación, si está siendo en línea o anillo
e	estacionmeteo	Engloba todos los parámetros sobre los datos recogidos por la estación meteorológica del laboratorio

historicoestacion	ARRAY [1..100] OF REAL	Mostrará en el históricos los valores que se señalen sobre los datos recogidos por la estación meteorológica
potenciatotalconsumos	REAL	Señala la potencia total consumida en la instalación
potenciareactivatotalconsumos	REAL	Señala la potencia reactiva total consumida en la instalación
historicopotenciarenovable	ARRAY [1..100] OF REAL	Mostrará en el históricos los valores sobre la potencia suministrada a la instalación por parte de las fuentes de energía renovables
historicobalancesuministro	ARRAY [1..100] OF REAL	Mostrará en el históricos los valores que se señalen sobre el suministro por parte de la producción renovable o la red eléctrica de suministro de la universidad
calidadpotenciatotalconsumos	ARRAY [1..100] OF REAL	Muestra el histórico de la potencia total consumida por toda la instalación
calidadpotenciareactivatotalconsumos	ARRAY [1..100] OF REAL	Muestra el histórico de la potencia reactiva total consumida por toda la instalación
historicocalidadconsumos	ARRAY [1..100] OF REAL	Muestra el histórico que se desee sobre la potencia activa o reactiva consumida en la instalación
calidadvoltajetotalsuministro	ARRAY [1..100] OF REAL	Muestra el histórico de los valores de voltaje del total de suministro a la instalación
calidadintensidadtotalsuministro	ARRAY [1..100] OF REAL	Muestra el histórico de los valores de intensidad del total de suministro a la instalación
historicocalidadsuministro	ARRAY [1..100] OF REAL	Muestra el histórico que se desee sobre valores de tensión o intensidad de suministro
armonicos	ARRAY [1..100] OF REAL	Muestra los valores de armónicos detectados en la señal eléctrica del suministro en la instalación

A continuación, se muestran en detalle los tipos de variables creados para agrupar información en las variables globales. Este tipo de variables se llaman DTUs en el software TwinCAT 3. Un ejemplo es el caso de los aerogeneradores, cada aerogenerador definido como variable global es del tipo *aerogenerador*. Este tipo de variable agrupa la información pertinente sobre un aerogenerador.

Una vez aclarada esta terminología, se muestran las variables DTUs definidas en este trabajo técnico.

Variable tipo Aerogenerador:

Variables internas	Tipo	Descripción
tension	REAL	Muestra el valor de tensión de generación del aerogenerador
intensidad	REAL	Muestra el valor de intensidad de generación del aerogenerador
rpm	REAL	Velocidad de giro del aerogenerador
potencia	REAL	Muestra el valor de potencia de generación del aerogenerador
enable	BOOL	Indicador de si el aerogenerador está activo o no
historicoaeroindiv	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico del valor que se desee sobre un aerogenerador individual, pudiendo ser estos valores de tensión, potencia, intensidad o velocidad de giro
historicoTension	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico de los valores de tensión de generación del aerogenerador
historicoIntensidad	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico de los valores de intensidad de generación del aerogenerador
historicoPotencia	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico de los valores de potencia de generación del aerogenerador
historicoRPM	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico de los valores de velocidad de giro del aerogenerador
fallo	BOOL	Indicador de fallo en el aerogenerador

Variable tipo Panel:

Variables internas	Tipo	Descripción
tension	REAL	Muestra el valor de tensión de generación del grupo de paneles fotovoltaicos
intensidad	REAL	Muestra el valor de intensidad de generación del grupo de paneles fotovoltaicos



potencia	REAL	Muestra el valor de potencia de generación del grupo de paneles fotovoltaicos
orientacion	REAL	Orientación del grupo de paneles
manual	REAL	Indicador del estado de si se encuentra configurada la orientación del grupo de paneles en modo manual o no
automatico	BOOL	Indicador del estado de si se encuentra configurada la orientación del grupo de paneles en modo automático o no
joghorario	BOOL	Indicador de si se está modificando la orientación mediante el botón manual <i>jog</i> en sentido horario o no
jogantihorario	BOOL	Indicador de si se está modificando la orientación mediante el botón manual <i>jog</i> en sentido antihorario o no
enable	BOOL	Indicador de si el grupo de paneles está activo o no
historicosolarindiv	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico del valor que se desee sobre un grupo de paneles individual, pudiendo ser estos valores de tensión, potencia o intensidad
historicoTension	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico de los valores de tensión de generación del grupo de paneles fotovoltaicos
historicoIntensidad	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico de los valores de intensidad de generación del grupo de paneles fotovoltaicos
historicoPotencia	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico de los valores de potencia de generación del grupo de paneles fotovoltaicos
fallo	BOOL	Indicador de fallo en el grupo de paneles fotovoltaicos

Variable tipo Bateria:

Variables internas	Tipo	Descripción
tension	REAL	Muestra el valor de tensión de suministro de las baterías de la instalación
intensidad	REAL	Muestra el valor de intensidad de suministro de las baterías de la instalación

potencia	REAL	Muestra el valor de potencia de suministro de las baterías de la instalación
carga	REAL	Porcentaje de carga disponible de las baterías
enable	BOOL	Indicador de si las baterías se encuentran activas o no
estado	STRING	Estado de las baterías: cargando, suministrando o ninguna de las dos
historicoTension	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico de los valores de tensión de suministro de las baterías de la instalación
historicoIntensidad	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico de los valores de intensidad de suministro de las baterías de la instalación
historicoPotencia	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico de los valores de potencia de suministro de las baterías de la instalación
Foto25	BOOL	Imagen de batería roja cuando quede menos del 25% de la carga disponible
Foto50	BOOL	Imagen de batería naranja cuando quede entre un 25% y un 50% de la carga disponible
Foto75	BOOL	Imagen de batería amarilla cuando quede entre un 50% y un 75% de la carga disponible
Foto100	BOOL	Imagen de batería verde cuando quede más del 75% de la carga disponible

Variable tipo Casas:

<b>Variables internas</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
voltaje	REAL	Muestra el valor de tensión consumida por parte del consumo tipo hogar
intensidad	REAL	Muestra el valor de intensidad consumida por parte del consumo tipo hogar
potencia	REAL	Muestra el valor de potencia consumida por parte del consumo tipo hogar
enable	BOOL	Indicador de si el consumo hogar se encuentra activo o no
historicoTension	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico de los valores de tensión consumida por parte del consumo tipo hogar
historicoIntensidad	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico de los valores de intensidad consumida por parte del consumo tipo hogar

historicoPotencia	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico de los valores de potencia consumida por parte del consumo tipo hogar
-------------------	------------------------	---

Variable tipo Industria:

Variables internas	Tipo	Descripción
voltaje	REAL	Muestra el valor de tensión consumida por parte del consumo tipo industria
intensidad	REAL	Muestra el valor de intensidad consumida por parte del consumo tipo industria
potencia	REAL	Muestra el valor de potencia consumida por parte del consumo tipo industria
enable	BOOL	Indicador de si el consumo industria se encuentra activo o no
historicoTension	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico de los valores de tensión consumida por parte del consumo tipo industria
historicoIntensidad	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico de los valores de intensidad consumida por parte del consumo tipo industria
historicoPotencia	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico de los valores de potencia consumida por parte del consumo tipo industria

Variable tipo Motores:

Variables internas	Tipo	Descripción
voltaje	REAL	Muestra el valor de tensión consumida por parte del consumo tipo motor
intensidad	REAL	Muestra el valor de intensidad consumida por parte del consumo tipo motor
potencia	REAL	Muestra el valor de potencia consumida por parte del consumo tipo motor
enable	BOOL	Indicador de si el consumo motor se encuentra activo o no
historicoTension	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico de los valores de tensión consumida por parte del consumo tipo motor

historicoIntensidad	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico de los valores de intensidad consumida por parte del consumo tipo motor
historicoPotencia	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico de los valores de potencia consumida por parte del consumo tipo motor

Variable tipo Alta Tensión:

Variables internas	Tipo	Descripción
voltaje	REAL	Muestra el valor de tensión de suministro del tipo alta tensión
intensidad	REAL	Muestra el valor de intensidad de suministro del tipo alta tensión
potencia	REAL	Muestra el valor de potencia de suministro del tipo alta tensión
enable	BOOL	Indicador de si el suministro de alta tensión se encuentra activo o no

Variable tipo Baja Tensión:

Variables internas	Tipo	Descripción
voltaje	REAL	Muestra el valor de tensión de suministro del tipo baja tensión
intensidad	REAL	Muestra el valor de intensidad de suministro del tipo baja tensión
potencia	REAL	Muestra el valor de potencia de suministro del tipo baja tensión
enable	BOOL	Indicador de si el suministro de baja tensión se encuentra activo o no

Variable tipo Red:

Variables internas	Tipo	Descripción
tension	REAL	Muestra el valor de tensión de suministro por parte de la red de la universidad
intensidad	REAL	Muestra el valor de intensidad de suministro por parte de la red de la universidad

potencia	REAL	Muestra el valor de potencia de suministro por parte de la red de la universidad
enable	BOOL	Indicador de si el suministro por parte de la red de la universidad se encuentra activo o no
historicoPotencia	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico de valores de potencia suministrada a la instalación por parte de la red de la universidad

Variable tipo BatCondensadore:

Variables internas	Tipo	Descripción
tension	REAL	Tensión que registra la batería de condensadores
intensidad	REAL	Intensidad que registra la batería de condensadores
desfase	REAL	Desfase o factor de potencia en la instalación
pactiva	REAL	Potencia activa registrada por la batería de condensadores
preactiva	REAL	Potencia reactiva registrada por la batería de condensadores
enable	BOOL	Indicador de si se encuentra activa o no la batería de condensadores
fallo	BOOL	Indicador de fallo en la batería de condensadores

Variable tipo Filtros:

Variables internas	Tipo	Descripción
voltaje	REAL	Tensión que registra el filtro activo sobre el suministro de energía a la instalación
intensidad	REAL	Intensidad que registra el filtro activo sobre el suministro de energía a la instalación
enable	BOOL	Indicador de si se encuentra activo o no el filtro activo
fallo	BOOL	Indicador de fallo en el filtro activo

Variable tipo Estacionmeteo:

<b>Variables internas</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
radiacion	REAL	Muestra el valor de radiación registrado por la estación meteorológica del laboratorio
vviento	REAL	Muestra el valor de velocidad del viento registrado por la estación meteorológica del laboratorio
temperatura	REAL	Muestra el valor de temperatura registrado por la estación meteorológica del laboratorio
humedad	REAL	Muestra el valor de humedad registrado por la estación meteorológica del laboratorio
presion	REAL	Muestra el valor de presión registrado por la estación meteorológica del laboratorio
lluvia	REAL	Muestra el valor de lluvia registrado por la estación meteorológica del laboratorio
historicoRadiacion	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico de los valores de radiación registrados por la estación meteorológica del laboratorio
historicoVviento	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico de los valores de velocidad del viento registrados por la estación meteorológica del laboratorio
historicoTemperatura	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico de los valores de temperatura registrados por la estación meteorológica del laboratorio
historicoHumedad	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico de los valores de humedad registrados por la estación meteorológica del laboratorio
historicoPresion	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico de los valores de presión registrados por la estación meteorológica del laboratorio
historicoLluvia	ARRAY [1..100] OF REAL	Histórico de los valores de lluvia registrados por la estación meteorológica del laboratorio

### 3.4 GESTIÓN DE USUARIOS

Este apartado es especialmente relevante debido a la cantidad de personas que pueden acceder al sistema de control y visualización SCADA. Se ha diseñado un sistema de gestión de usuarios para decidir quiénes podrán realizar actividades de control y quiénes sólo de visualización.

Las operaciones de control son las referidas a la modificación de la configuración de la instalación. Pudiendo ser la puesta en marcha y paro de las fuentes de energía renovables, la conexión o desconexión de la batería de condensadores y filtros activos, la decisión sobre si la alimentación de la instalación será en alta o baja tensión o si la distribución de la energía eléctrica por el laboratorio se realizará en forma de línea o anillo.

Group name	Automatic logout	Logout time	Permission to change user data	Description	Id
Admin has user 'Isabel' has user 'Docente'	<input checked="" type="checkbox"/>	3 hour(s)	<input checked="" type="checkbox"/>	Control total	1
Visual has user 'Alumno'	<input type="checkbox"/>	1 minute(s)	<input type="checkbox"/>	Visualiza, no controla	2
Manten has user 'Mantenimiento'	<input type="checkbox"/>	1 minute(s)	<input type="checkbox"/>	Controla, no modifica visualizaciones	3

Figura 46. Gestión de usuarios

Los tipos de usuarios definidos son los siguientes:

- **Administrador:** Podrá realizar operaciones de control sobre producción renovable, filtros activos y baterías de condensadores y configuración de la distribución. Además, podrá modificar los usuarios existentes y definir nuevos. Tiene pleno control sobre el sistema SCADA, incluyendo la modificación de las visualizaciones, la distribución de la disposición de la información, la modificación en la definición de variables y la asignación de estas variables a los botones e interruptores del sistema SCADA.

Además, se ha establecido un tiempo límite en el que, si no se ha cerrado sesión del usuario administrador, se cerrará automáticamente en tres horas. Esto evita que otros usuarios puedan acceder a las características que presentan los administradores en cuanto a control y visualización de la instalación sin el debido permiso.

- **Visualización:** Los usuarios de este tipo sólo podrán visualizar los datos mostrados por el sistema SCADA. Podrán navegar por todas las ventanas, pero no podrán realizar acciones de control. El objetivo de definir este tipo de usuario es que, cuando se acceda al SCADA desde más de un monitor y por personas diferentes, no se modifique la configuración de la instalación simultáneamente desde varios equipos, ya que provocaría el malfuncionamiento de esta.
- **Mantenimiento:** Este último tipo de usuario podrá realizar todas las acciones de control, al igual que el administrador, pero no podrá modificar las variables del sistema ni las visualizaciones del SCADA. Esto significa que solo se le permite conectar o desconectar las fuentes de producción y modificar la configuración de la instalación desde sus respectivos interruptores en la pantalla.

Además, se han definido a modo de ejemplo varios usuarios de los diferentes tipos para poder acceder al SCADA con diferentes prestaciones. De esta manera, los usuarios *Isabel* y *Docente* son del tipo Administrador, *Alumno* es del tipo Visualización y *Mantenimiento* es del tipo Mantenimiento.



# CAPÍTULO IV CONCLUSIÓN Y TRABAJOS FUTUROS



## CAPÍTULO IV. CONCLUSIÓN Y TRABAJOS FUTUROS

Este es el último capítulo del documento sobre el trabajo técnico *Diseño del sistema de control y visualización del nuevo laboratorio de docencia e investigación del área de ingeniería eléctrica*. Se discutirá el alcance del proyecto y sus posibles mejoras, así como se explorarán posibilidades de ampliación en trabajos futuros.

Además, en el subapartado de Conclusión se relacionan los contenidos desarrollados en este proyecto con las competencias adquiridas durante el estudio en el Grado en Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Almería.

### 4.1 CONCLUSIÓN

Con la realización de este trabajo fin de grado se ha diseñado un sistema SCADA con el que monitorizar una instalación con generación híbrida y consumos dispares de manera centralizada. Para ello, se han diseñado el modelo de comunicación entre los equipos que tramitan la información pertinente sobre la instalación, así como las diferentes secciones que presentarán y organizarán la información.

Esta solución facilita tareas de supervisión, control y mantenimiento de la instalación a la vez que se consigue una mayor conciencia social sobre el aprovechamiento del recurso eléctrico y energético. Resulta una buena aplicación de los recursos actuales en la gestión realista de una instalación.

Por otro lado, este proyecto puede ser mejorado de infinitas maneras. Una de ellas es el desarrollo web de este sistema SCADA de visualización y control, pero esto se detallará en el último apartado del documento.

A continuación, resulta de interés conocer varias competencias adquiridas en el estudio universitario e integradas en la realización de este trabajo técnico.

#### 4.1.1 INTEGRACIÓN DE COMPETENCIAS

Algunas de las competencias básicas propias de todos los títulos de grado integradas en el desarrollo de este proyecto son:

- Aplicación de conocimientos (CB2): Aplicar los conocimientos a la resolución de problemas dentro del área de estudio. Esto ha sido posible con la realización de este trabajo técnico que integra conocimientos sobre producción y distribución de suministro eléctrico.

- Habilidades para el aprendizaje (CB5): Desarrollo de habilidades para el aprendizaje con un grado de autonomía. A lo largo del estudio del grado se ha desarrollado esta habilidad y gracias a ella se ha podido realizar este trabajo.

Algunas de las competencias transversales propias del estudio en la Universidad de Almería aplicadas en este proyecto son:

- Conocimientos básicos de la profesión (UAL1): Gracias a la adquisición de esta competencia en el estudio universitario es posible aportar soluciones a problemas propios en el ámbito de la ingeniería utilizando herramientas destinadas a esta profesión.
- Capacidad para resolver problemas (UAL3): Con ella es posible identificar, analizar y definir los elementos parte de un problema para, a partir de ahí, empezar a adoptar soluciones. Es el caso del comienzo de este proyecto, que es la resolución de un problema en sí mismo.

Por último, algunas de las competencias propias del Grado en Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Almería aplicadas en este proyecto son:

- CT3: Conocimiento en materias básicas y tecnológicas para el aprendizaje de nuevos métodos. Con esta competencia ha sido posible comprender y diseñar el sistema SCADA empleando un software novedoso.
- CFB3: Conocimientos básicos sobre el uso y la programación de ordenadores, sistemas operativos, bases de datos y programas informáticos con aplicación ingenieril.
- CRI4: Conocimiento y utilización de los principios de teoría de circuitos y máquinas eléctricas.
- CR16: Conocimientos sobre los fundamentos de automatismos y métodos de control.
- CTELEC10: Conocimiento aplicado sobre energías renovables.

## 4.2 TRABAJOS FUTUROS

En el apartado final de este Trabajo Fin de Grado se plantean posibles ampliaciones y mejoras en el desarrollo del sistema de control y visualización SCADA diseñado.

El software TwinCAT 3 presenta múltiples funciones que no han sido exploradas en este trabajo. Por ejemplo, la programación de alarmas. Esta función es de gran interés ya que con él se podría conocer a través de email o SMS la ocurrencia de fallos en el sistema sin la necesidad de tener que acceder a las visualizaciones pertinentes. Por otro lado, las alarmas también pueden programarse para avisar de la época del año cuando es necesario el mantenimiento de los equipos según cada fabricante. De esta forma se puede tener un mayor cuidado de los aparatos de la instalación y asegurar su durabilidad.

Otra función que pueden tener las alarmas es avisar de cuándo se obtienen valores peligrosos de parámetros como la velocidad del viento, armónicos elevados en la señal o un exceso de consumo de potencia reactiva. Así, se puede acceder con mayor rapidez al sistema y poder modificar la configuración de la instalación para solucionar estos problemas lo antes posible.

Además del sistema de alarmas, otra prestación del software TwinCAT es su adaptación a plataformas web y plataformas móviles. En el futuro se podría investigar más sobre este aspecto, pudiendo desarrollar un sistema SCADA global que sea posible consultar desde cualquier dispositivo móvil o a partir de una web. Esta es una buena manera de abrir el sistema, sobre todo la parte de visualización, a todos los estudiantes interesados, de forma que se familiaricen de forma interactiva y fácil con el uso de los sistemas SCADA.

Por último, para trabajos futuros más ambiciosos, resulta de interés que el sistema de control y visualización SCADA pudiera ampliarse al ámbito de más de un laboratorio de la Universidad de Almería o incluso del campus completo. Esto resultaría en un proyecto más cercano al concepto de Smart Grid y de gestión del recurso eléctrico de forma más realista. Este concepto de red eléctrica inteligente es lo más moderno en cuanto a la coordinación de consumo cercanos alimentados por las mismas fuentes de energía, siendo estas unas fuentes de producción heterogéneas y sobre todo renovables. Se podrían observar los patrones de consumo reales en el campus universitario y gestionar de manera eficiente el recurso eléctrico.

Todas estas opciones son interesantes ya que se basan en metodologías y conceptos actuales en cuanto a la ingeniería eléctrica, utilización del recurso y producción de energía renovable. Todo ello integrado en sistemas informáticos y plataformas móviles accesibles para un mayor número de personas.



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Rifkin, *El Green New Deal Global*, Editorial Planeta S.A., 2019.
- [2] LM Wind Power, «History of wind,» [En línea]. Available: <https://www.lmwindpower.com/en/sustainability/learn-about-wind/history-of-wind>. [Último acceso: 09 05 2020].
- [3] U.S. Department of Energy, Department of Energy, «How a Wind Turbine Works,» 20 06 2014. [En línea]. Available: <https://www.energy.gov/articles/how-wind-turbine-works>. [Último acceso: 09 05 2020].
- [4] Aula Facil , «Partes de un aerogenerador,» [En línea]. Available: <https://www.aulafacil.com/cursos/medio-ambiente/energia-eolica/partes-de-un-aerogenerador-l37049>. [Último acceso: 09 05 2020].
- [5] D. A. M. P. F. N. D. B. A. H. Francesco Castellani, «Experimental Vibration Analysis of a Small Scale,» *Machines*, vol. 7, p. 35, 2019.
- [6] enair, «Estimación de producción solar y eólica,» [En línea]. Available: <https://www.enair.es/es/app>. [Último acceso: 09 05 2020].
- [7] A. G. O. L. L. L. M. M. S. P. Joan Aymamí, «Análisis del recurso. Atlas eólico de España. Estudio Técnico PER 2011-2020,» IDAE, Madrid, 2011.
- [8] J. F. Mora, *Máquinas Eléctricas*, Madrid: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A.U., 2003.
- [9] U.S. Department of energy, «The history of solar,» [En línea]. Available: [https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar\\_timeline.pdf](https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf). [Último acceso: 10 05 2020].
- [10] SOLARNUB, «Blog SOLARNUB Energía Fotovoltaica, Reparació de paneles solares,» [En línea]. Available: <https://blog.solarnub.com/reparaciones-de-paneles-solares/>. [Último acceso: 10 05 2020].
- [11] FMG  $\Phi 17$  de Vinnytsia, «Transición electrón-hueco,» [En línea]. Available: <https://disted.edu.vn.ua/courses/learn/4327>. [Último acceso: 10 05 2020].
- [12] ecofener, «Tipos de paneles solares,» 19 01 2019. [En línea]. Available: <https://ecofener.com/blog/tipos-de-paneles-solares/>. [Último acceso: 10 05 2020].
- [13] Agencia Andaluza de la Energía, «Glosario,» [En línea]. Available: <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/Radiacion/glosario.php>. [Último acceso: 11 05 2020].
- [14] SACLIMA, «Cómo optimizar una instalación con reguladores MPPT,» 05 09 2016. [En línea]. Available: <http://www.saclimafotovoltaica.com/reguladores-mppt/>. [Último acceso: 11 05 2020].
- [15] J. R. M. C. J. A. M. C. S. d. C. E. J. M. C. M. L. B. Juan Manuel Sancho Ávila, «Atlas de Radiación Solar en España,» Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medi ambiente, AEMET.

- [16] A. G. Cristian Dragoş Dumitru, «SCADA based software for renewable energy management system,» *Procedia Economics and Finance*, vol. 3, pp. 262-267, 2012.
- [17] aula21, «Qué son las redes de comunicación industrial,» aula21, centro de formación técnica para la industria, [En línea]. Available: <https://www.cursosaula21.com/que-son-las-redes-de-comunicacion-industrial/>. [Último acceso: 23 04 2020].
- [18] OMRON, «Movicon Next datasheet,» [En línea]. Available: [https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v6/movicon\\_next\\_datasheet\\_en.pdf](https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v6/movicon_next_datasheet_en.pdf). [Último acceso: 22 04 2020].
- [19] SIEMENS, «System overview,» [En línea]. Available: <https://c4b.gss.siemens.com/resources/images/articles/dffa-i10492-00-7600.pdf>. [Último acceso: 23 04 2020].
- [20] SIEMENS, «Información general e instalación,» [En línea]. Available: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/740/109760740/att\\_962133/v1/WinCC\\_GeneralInfo\\_Installation\\_Readme\\_es-ES\\_es-ES.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/740/109760740/att_962133/v1/WinCC_GeneralInfo_Installation_Readme_es-ES_es-ES.pdf). [Último acceso: 23 04 2020].
- [21] SIEMENS, «SCADA System,» [En línea]. Available: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:d2bb4a78-e3da-472c-b621-6bcf1b922035/version:1581935528/br-technical-product-description-3-17-en.pdf>. [Último acceso: 23 04 2020].
- [22] Schneider Electric, «Wonderware System Platform 2017,» [En línea]. Available: [https://sw.aveva.com/hubfs/pdf/brochures/Datasheet\\_SE-LIO-Wonderware\\_SystemPlatform2017\\_05-17.pdf](https://sw.aveva.com/hubfs/pdf/brochures/Datasheet_SE-LIO-Wonderware_SystemPlatform2017_05-17.pdf). [Último acceso: 25 04 2020].
- [23] InduSoft Web Studio, «InduSoft Web Studio Documentation,» [En línea]. Available: <http://www.indusoft.com/Documentation>. [Último acceso: 25 04 2020].
- [24] InduSoft Web Studio, «InduSoft Web Studio Literature,» [En línea]. Available: <https://www.indusoft.com/Resources/Library/Literature>. [Último acceso: 25 04 2020].
- [25] GE Digital, «CIMPLICITY 11 from GE Digital,» [En línea]. Available: [https://www.ge.com/digital/sites/default/files/download\\_assets/cimplicity-11-from-ge-digital.pdf](https://www.ge.com/digital/sites/default/files/download_assets/cimplicity-11-from-ge-digital.pdf). [Último acceso: 26 04 2020].
- [26] GE Digital, «iFIX 6.0 from GE Digital,» [En línea]. Available: [https://www.ge.com/digital/sites/default/files/download\\_assets/ifix-6dot0-from-ge-digital-datasheet.pdf](https://www.ge.com/digital/sites/default/files/download_assets/ifix-6dot0-from-ge-digital-datasheet.pdf). [Último acceso: 26 04 2020].
- [27] Ignition, «Solving SCADA Pain Points,» [En línea]. Available: El software SCADA de AVEVA tiene como nombre InduSoft Web Studio v8.1, consultado en las referencias [23] y [24], y presenta las siguientes características principales.. [Último acceso: 27 04 2020].
- [28] inductive automation, «Ignition SCADA Software,» [En línea]. Available: <https://inductiveautomation.com/scada-software/>. [Último acceso: 27 04 2020].
- [29] GENESIS64, «GENESIS64,» [En línea]. Available: <https://www.elmark.com.pl/uploaded/materialy/iconics/Karty%20Katalogowe/GENESIS64%20Product%20Brief.pdf>. [Último acceso: 28 04 2020].
- [30] incibe-cert, «Características y seguridad en PROFINET,» 16 02 2017. [En línea]. Available: <https://www.incibe-cert.es/blog/caracteristicas-y-seguridad-profinet>. [Último acceso: 24 04 2020].



- 
- [31] EtherCAT Technology Group, «EtherCAT - el bus de campo Ethernet,» [En línea]. Available: <https://www.ethercat.org/es/technology.html>. [Último acceso: 24 04 2020].
- [32] Bornay Aerogeneradores, sl, «Aerogenerador Bornay 1500 Manual de Usuario,» [En línea]. Available: [https://www.monsolar.com/pdf/aerogenerador\\_b1500\\_manual\\_usuario.pdf](https://www.monsolar.com/pdf/aerogenerador_b1500_manual_usuario.pdf). [Último acceso: 16 05 2020].
- [33] Amerisolar, «AS-6P39 Polycrystalline Module,» [En línea]. Available: <https://autosolar.pe/pdf/AMERISOLAR-270W.pdf>. [Último acceso: 16 05 2020].
- [34] victron energy, «victron energy SmartSolar charge controllers Manual,» [En línea]. Available: <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Manual-SmartSolar-charge-controller-MPPT-100-30---100-50-EN-NL-FR-DE-ES-SE.pdf>. [Último acceso: 20 05 2020].
- [35] Allen Bradley, «Variador de CA de frecuencia ajustable PowerFlex serie 520 Manual de Usuario,» [En línea]. Available: [https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/520-um001\\_-es-e.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/520-um001_-es-e.pdf). [Último acceso: 18 05 2020].
- [36] Beckhoff, «Hardware Documentation,» [En línea]. Available: [https://download.beckhoff.com/download/document/ipc/embedded-pc/embedded-pc-cx/cx5000\\_hwen.pdf](https://download.beckhoff.com/download/document/ipc/embedded-pc/embedded-pc-cx/cx5000_hwen.pdf). [Último acceso: 20 05 2020].
- [37] Bornay, «Baterías estacionarias TOPzS ME,» [En línea]. Available: <https://www.bornay.com/es/productos/baterias-me/baterias-estacionarias-topzs-me>. [Último acceso: 22 05 2020].
- [38] Schneider Electric, «Compensación de Energía Reactiva,» [En línea]. Available: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=Catalog&p\\_File\\_Name=ESMKT02005B20\\_Tarifa+Compensaci%C3%B3n+de+Energ%C3%ADa+Reactiva+y+Filtrado+de+Arm%C3%B3nicos.pdf&p\\_Doc\\_Ref=ESMKT02005E18\\_PDF](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=ESMKT02005B20_Tarifa+Compensaci%C3%B3n+de+Energ%C3%ADa+Reactiva+y+Filtrado+de+Arm%C3%B3nicos.pdf&p_Doc_Ref=ESMKT02005E18_PDF). [Último acceso: 23 05 2020].
- [39] Circutor, «Filtro Activo Paralelo Multifunción AFQevo MANUAL DE INSTRUCCIONES,» [En línea]. Available: <http://docs.circutor.com/docs/M102B01-01.pdf>. [Último acceso: 23 05 2020].
- [40] autocumulo, «Estación meteorológica Davis Vantage Pro2 Plus inalámbrica,» [En línea]. Available: <https://www.altocumulo.com/producto/estacion-meteorologica-davis-vantage-pro2-plus-inalambrica/>. [Último acceso: 22 05 2020].
- [41] BECKHOFF, «Manual Software Protection TwinCAT 3,» [En línea]. Available: [https://download.beckhoff.com/download/Document/automation/twincat3/Software\\_Protection\\_EN.pdf](https://download.beckhoff.com/download/Document/automation/twincat3/Software_Protection_EN.pdf). [Último acceso: 24 05 2020].
- [42] H. G. K. Sayed, «SCADA and smart energy grid control automation,» de *SCADA and smart energy grid control automation*, Oshawa, ON, Canada, O'Reilly Media, Inc., 2017.



El desarrollo de las fuentes de energía renovables provoca que su integración en sistemas de pequeña producción sea cada vez mayor. Con ello, crecen las instalaciones que poseen más de una fuente de producción para la alimentación de sus consumos, añadidas al uso del suministro eléctrico convencional.

Esta mejora de la tecnología sumada a una mayor conciencia social sobre el ahorro energético y el aprovechamiento de los recursos hacen necesarias soluciones flexibles que puedan manejar instalaciones con más de una fuente de producción eléctrica diferente, a la vez que se muestran accesibles al público interesado en gestionar mejor su consumo eléctrico.

Con este escenario, en este Trabajo Fin de Grado se desarrolla un sistema de control y visualización SCADA, capaz de permitir la monitorización centralizada de los parámetros más importantes sobre la producción y consumo eléctricos de una instalación. De esta manera, se facilita el control sobre la energía eléctrica producida y la consumida, a la vez que es posible controlar los equipos de la instalación desde un mismo lugar, sin necesidad de operar desde la ubicación del aparato que se desea controlar.

Se trata de la aplicación de una solución flexible y moderna a los nuevos sistemas que aparecen fruto de los avances tecnológicos en este campo, y más concretamente al caso de la instalación que se estudia en este trabajo técnico.

The development of renewable energy sources causes that they are increasingly being integrated into small-scale production systems. Thanks to this, the number of installations that have more than one production source to feed their consumption along with the use of conventional electricity supply, is growing. This improvement in technology, together with a greater social awareness of energy saving and resource utilization, makes it necessary to find flexible solutions that can handle installations with more than one different electricity source while, at the same time, being accessible to the public interested in better managing their electricity consumption.

With this scenario, in this bachelor thesis a SCADA control and visualization system is developed, capable of allowing the centralized monitoring of the most important parameters on the electrical production and consumption of an installation. The control over the produced and consumed electrical energy is facilitated, while it is possible to control the equipment of the installation from the same place, without the need to operate from the location of the device to be controlled.

This is the application of a flexible and modern solution to new systems that appear as a result of technological advances in this field, and more specifically to the case of the installation being studied in this bachelor thesis.

