



# MÁSTER EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Proyecto de Sistema Distribuido de Control Inteligente  
en Parques Eólicos y Plantas Fotovoltaicas

Autor: Teresa Díez Llovet

Director: Jaime Navarro

Madrid

Junio 2024

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
Proyecto de Sistema Distribuido de Control Inteligente en Parques Eólicos y  
Plantas Fotovoltaicas

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2023/2024 es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es  
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada  
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Teresa Díez Llovet

Fecha: 23/ 06/ 2024

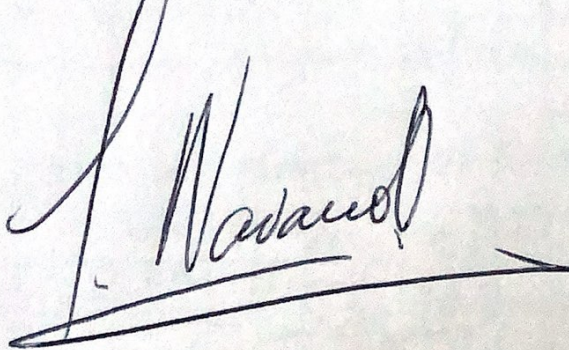


Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Jaime Navarro Ocón

Fecha: 24/ 06/ 2024





# MÁSTER EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Proyecto de Sistema Distribuido de Control Inteligente  
en Parques Eólicos y Plantas Fotovoltaicas

Autor: Teresa Díez Llovet

Director: Jaime Navarro

Madrid

Junio 2024

---

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

### *Introducción*

La creciente demanda de fuentes de energía renovables y la necesidad de optimizar su operación y mantenimiento hacen indispensable el desarrollo de sistemas de control avanzados que garanticen una gestión eficiente y sostenible de estas instalaciones energéticas. Este trabajo se centra en el desarrollo y simulación de un Sistema de Control Distribuido (DCS) aplicado a plantas de energía renovable, específicamente en parques eólicos y plantas fotovoltaicas. Un DCS es una plataforma de control de procesos automatizada que utiliza elementos de control distribuidos a lo largo de una planta o proceso industrial. Permite la distribución de controles, facilitando la toma de decisiones en tiempo real y mejorando tanto la eficiencia como la seguridad de los procesos complejos.

### *Objetivos*

El principal objetivo de este proyecto es optimizar la operación y el mantenimiento de las instalaciones de energía renovable mediante el uso de tecnologías avanzadas de control automático. Se busca evaluar el rendimiento del DCS bajo diferentes escenarios operativos y condiciones ambientales, realizar simulaciones y análisis de coste-beneficio, y proporcionar una visión completa de cómo la integración de un DCS puede mejorar la eficiencia y fiabilidad de las configuraciones de sistemas fotovoltaicos y eólicos.

### *Solución*

El trabajo se divide en dos partes principales: una teórica y otra práctica. En la parte teórica, se aborda la base conceptual de los sistemas de control distribuidos, destacando su papel en la automatización y control de procesos industriales complejos. Se explica cómo el diseño de un DCS permite la distribución de controles a lo largo de una planta, facilitando la toma de decisiones en tiempo real y mejorando la eficiencia y seguridad de los procesos.

---

En la parte práctica, se realiza un diseño esquemático de la arquitectura de control para sistemas fotovoltaicos y eólicos. Para cada tipo de sistema, se definen los parámetros críticos a controlar y las medidas correctivas en caso de que estos parámetros se salgan de los rangos normales. Posteriormente, se lleva a cabo una simulación de una planta eólica utilizando la herramienta SIMULINK-MATLAB, donde se obtienen resultados de la potencia generada en función de variables como la velocidad del viento.

### *Resultados*

Las simulaciones realizadas con SIMULINK-MATLAB muestran que el DCS es efectivo en la optimización de la operación de plantas renovables. Los resultados indican que el DCS puede ajustar los parámetros en tiempo real para mantener la eficiencia y proteger los equipos de condiciones adversas. Por ejemplo, en el caso de las turbinas eólicas, el DCS puede detener la turbina en condiciones de velocidad del viento muy bajas o altas para evitar daños. En sistemas fotovoltaicos, el DCS puede modificar los parámetros de los inversores y realizar ajustes en los ángulos de los paneles solares para maximizar la captación solar y estabilizar el voltaje de salida.

### *Conclusiones*

La implementación de un DCS en plantas de energías renovables puede mejorar significativamente la eficiencia operativa y la seguridad, permitiendo una gestión más sostenible y confiable de estas fuentes de energía. El DCS facilita la toma de decisiones en tiempo real, mejora la eficiencia y la seguridad de los procesos, y permite una gestión óptima de las instalaciones bajo diversas condiciones operativas y ambientales. Estos beneficios contribuyen a una operación más sostenible y eficiente de las plantas de energía renovable, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible y la mitigación del cambio climático.

---

### *Futuras líneas de investigación*

Este estudio sugiere que futuras investigaciones podrían enfocarse en la integración de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático en los sistemas de control distribuidos para mejorar aún más la eficiencia y la toma de decisiones en tiempo real. Además, sería beneficioso explorar la aplicación de DCS en otras formas de energías renovables, como la energía geotérmica y la energía hidroeléctrica, para evaluar su impacto en la optimización de estas tecnologías.

---

## **ABSTRACT**

### *Introduction*

The growing demand for renewable energy sources and the need to optimize their operation and maintenance make the development of advanced control systems essential to ensure efficient and sustainable management of these energy facilities. This work focuses on the development and simulation of a Distributed Control System (DCS) applied to renewable energy plants, specifically wind farms and photovoltaic plants. A DCS is an automated process control platform that uses distributed control elements throughout a plant or industrial process. It allows for the distribution of controls, facilitating real-time decision-making and improving both the efficiency and safety of complex processes.

### *Objectives*

The main objective of this project is to optimize the operation and maintenance of renewable energy facilities using advanced automatic control technologies. The aim is to evaluate the performance of the DCS under different operational scenarios and environmental conditions, conduct simulations and cost-benefit analyses, and provide a comprehensive view of how the integration of a DCS can improve the efficiency and reliability of photovoltaic and wind system configurations.

### *Solution*

The work is divided into two main parts: theoretical and practical. The theoretical part addresses the conceptual basis of distributed control systems, highlighting their role in the automation and control of complex industrial processes. It explains how the design of a DCS allows for the distribution of controls throughout a plant, facilitating real-time decision-making and improving both efficiency and safety.

---

In the practical part, a schematic design of the control architecture for photovoltaic and wind systems is carried out. For each type of system, critical parameters to be controlled and corrective measures in case these parameters go out of normal ranges are defined. Subsequently, a simulation of a wind farm is conducted using the SIMULINK-MATLAB tool, where results of the generated power are obtained based on variables such as wind speed.

### *Results*

The simulations conducted with SIMULINK-MATLAB show that the DCS is effective in optimizing the operation of renewable plants. The results indicate that the DCS can adjust parameters in real-time to maintain efficiency and protect equipment from adverse conditions. For instance, in the case of wind turbines, the DCS can stop the turbine in conditions of very low or high wind speeds to prevent damage. In photovoltaic systems, the DCS can modify inverter parameters and make adjustments to the angles of solar panels to maximize solar capture and stabilize output voltage.

### *Conclusions*

The implementation of a DCS in renewable energy plants can significantly improve operational efficiency and safety, allowing for more sustainable and reliable management of these energy sources. The DCS facilitates real-time decision-making, enhances the efficiency and safety of processes, and enables optimal management of facilities under various operational and environmental conditions. These benefits contribute to a more sustainable and efficient operation of renewable energy plants, aligning with sustainable development goals and climate change mitigation.



---

### *Future Research Directions*

This study suggests that future research could focus on the integration of emerging technologies such as artificial intelligence and machine learning into distributed control systems to further enhance efficiency and real-time decision-making. Additionally, it would be beneficial to explore the application of DCS in other forms of renewable energy, such as geothermal and hydroelectric energy, to assess their impact on the optimization of these technologies.

---

## Contenido

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>12</b>
<b>Capítulo 2. Definición DCS y arquitectura .....</b>	<b>14</b>
2.1 Arquitectura de los DCS.....	15
<b>Capítulo 3. Alcance de control.....</b>	<b>17</b>
3.1 Criterios de Control .....	17
3.2 Sistemas.....	18
3.3 Equipos Principales .....	19
<b>Capítulo 4. Energías renovables .....</b>	<b>21</b>
4.1 Definición y relación con ods.....	21
4.2 Tipos de Energías renovables:.....	22
4.3 Energía Solar .....	24
4.3.1 Energía Fotovoltaica.....	24
4.3.2 Energía Térmica.....	29
4.4 Energía Eólica .....	33
4.4.1 Elementos .....	33
4.4.2 Tipos de Instalaciones .....	35
<b>Capítulo 5. Relación DCS y la energía .....</b>	<b>38</b>
<b>Capítulo 6. Diseño Fotovoltaica.....</b>	<b>40</b>
6.1 DISEÑO DESARROLLADO ESQUEMÁTICO.....	41
6.2 Detalle de las conexiones de los elementos.....	44
6.3 Parámetros normales para un sistema fotovoltaico .....	47
6.4 Medidas del DCS en caso de parámetros fuera de lo normal.....	48
<b>Capítulo 7. Diseño Eólica.....</b>	<b>51</b>
7.1 Diseño Desarrollado Esquemático .....	52
7.2 Detalle de las conexiones de los elementos.....	54
7.3 Parámetros Normales para un Sistema Eólico.....	57
7.4 Medidas del DCS en caso de parámetros fuera de lo normal.....	59
7.5 Reacción de los bloques en caso de parámetros no normales: .....	62
<b>Capítulo 8. Simulación Sistema Eólico .....</b>	<b>64</b>

---

8.1 Descripción del circuito y sus componentes .....	64
8.2 SIMULACIÓN Y RESULTADOS .....	69
8.3 Análisis de resultados.....	74
<b>Capítulo 9. Evaluación Económica .....</b>	<b>76</b>
9.1 Sistema fotovoltaico.....	76
9.2 Sistema Eólico.....	79
<b>Capítulo 10. Conclusiones.....</b>	<b>81</b>
<b>Capítulo 11. Bibliografía.....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXO I: Planos de Diseño.....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXO II: Catálogos .....</b>	<b>91</b>

Ilustración 1: Arquitectura básica DCS (DCS Module, 2021) .....	16
Ilustración 2: Objetivos de Desarrollos Sostenibles (Naciones Unidas, 2015) .....	22
Ilustración 3: Potencia Instalada en España (Red Eléctrica Española, 2024) .....	23
Ilustración 4: Elementos de un sistema fotovoltaico (ENSE , 2021) .....	25
Ilustración 5: Tipo de instalaciones Fotovoltaicas (ENDEF Solar Solutions, s.f.) .....	26
Ilustración 6: Instalación FV de autoconsumo acogida a compensación (ENDEF Solar Solutions, s.f.).....	27
Ilustración 7: Instalación FV de autoconsumo con acumulación en baterías.....	27
Ilustración 8: Instalación FV de autoconsumo sin excedentes .....	28
Ilustración 9: Instalación FV aislada .....	29
Ilustración 10: Elementos de una instalación solar térmica (Hydronik, 2022) .....	30
Ilustración 11: Colectores planos y tubos de vacío (Hydronik, 2022) .....	30
Ilustración 12: Sistema de circulación por termosifón (Ecofener, 2023) .....	32
Ilustración 13: Sistema de circulación forzada (Ecofener, 2023).....	32
Ilustración 14: Elementos de la Energía Eólica.....	35
Ilustración 15: Diseño simplificado arquitectura de control del sistema fotovoltaico .....	40
Ilustración 16: Diseño esquemático del Sistema fotovoltaico.....	43
Ilustración 17: Resumen Conexiones más importantes Sistema Fotovoltaico .....	46
Ilustración 18: Diseño simplificado arquitectura de control del sistema eólico.....	51
Ilustración 19: Diseño esquemático del Sistema Eólico.....	54
Ilustración 20: Resumen Conexiones más importantes Sistema Eólico.....	57
Ilustración 21: Parámetros de operación del DCS en un sistema eólico .....	58
Ilustración 22: Diagrama sistema eólico Simulink.....	64
Ilustración 23: Red Eléctrica Simulink.....	65
Ilustración 24: Componentes de la turbina de viento Simulink .....	66
Ilustración 25: Datos base de la turbina Simulink.....	67
Ilustración 26: Curvas de potencia turbina para $\beta=0^\circ$ .....	67
Ilustración 27: Curvas de potencia turbina para $\beta=10^\circ$ .....	68
Ilustración 28: Curvas de potencia turbina para $\beta=20^\circ$ .....	68
Ilustración 29: Velocidad del viento de 0 a 5m/s .....	69

---

Ilustración 30: Potencia obtenida para velocidad del viento de 5 m/s.....	70
Ilustración 31: Velocidad del viento de 0 a 6 m/s .....	70
Ilustración 32: Potencia obtenida para velocidad de 6m/s .....	71
Ilustración 33: Velocidad del viento de 0 a 8m/s .....	71
Ilustración 34: Potencia obtenida para velocidad de 8m/s .....	72
Ilustración 35: Velocidad de viento de 0 a 12m/s .....	72
Ilustración 36: Potencia obtenida para velocidad de 12m/s .....	73
Ilustración 37: Velocidad del viento de 0 a 13 m/s .....	73
Ilustración 38: Potencia obtenida para velocidad de 13m/s .....	74
Ilustración 39: Curva de potencia para el caso simulado .....	75

## Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de fuentes de energía renovables y la necesidad de optimizar su operación y mantenimiento hacen indispensable el desarrollo de sistemas de control avanzados que garanticen una gestión eficiente y sostenible de estas instalaciones energéticas.

Un sistema de control distribuido (DCS) es una plataforma de control de procesos automatizada que utiliza elementos de control distribuidos a lo largo de la planta o el proceso industrial. Este estudio implica realizar simulaciones y análisis de coste-beneficio para evaluar el rendimiento del DCS bajo diferentes escenarios operativos y condiciones ambientales.

La base teórica de los DCS se establece en el primer capítulo del trabajo, destacando su papel en la automatización y control de procesos industriales complejos. Se explica que el diseño de un DCS permite la distribución de controles a lo largo de una planta, lo que facilita la toma de decisiones en tiempo real y mejora tanto la eficiencia como la seguridad de los procesos.

Después de eso, el trabajo se enfoca en la aplicación específica de estos sistemas en el sector de las energías renovables, incluyendo apartados donde se desarrollan la energía solar y la energía eólica. Se discuten las configuraciones de los sistemas fotovoltaicos y los tipos de instalaciones eólicas, proporcionando una visión completa de cómo la integración de un DCS puede mejorar cada configuración.

Tras la primera parte, más teórica, se procede a realizar un diseño de la arquitectura de control de estos sistemas de control distribuido en plantas fotovoltaicas y en plantas eólicas. Para ello, se analizan los parámetros que se quieren controlar, los intervalos donde estos parámetros pueden actuar y las medidas que se tomarán en caso de que un parámetro se salga. También se definen las máquinas y elementos presentes en cada diseño.

Tras realizar el diseño se procederá a una simulación práctica de una planta eólica. Esta simulación se realizará con la herramienta de SIMULINK- MATLAB. A partir de esta simulación, se obtendrán los resultados de potencia generada por la turbina eólica en función a la velocidad del viento de entrada. Se analizarán estos resultados y se comentará la actuación que tomará el DCS en cada caso.

Por último, se finalizará el proyecto con conclusiones, resultados y conocimientos obtenidos en base a la actuación de un Sistema de Control Distribuido en Plantas Fotovoltaicas y Campos Eólicos.

## Capítulo 2. DEFINICIÓN DCS Y ARQUITECTURA

El término DCS se refiere a un "Sistema de Control Distribuido" (por sus siglas en inglés, Distributed Control System). Este tipo de sistema es una plataforma de control automatizada que se utiliza principalmente en procesos industriales como las industrias manufactureras, energética, de petróleo y gas y química. Una característica clave de DCS es su capacidad para distribuir controles en toda una planta o proceso, lo que permite una operación automática eficiente y confiable.

El DCS está diseñado para recibir, procesar y enviar información en tiempo real para facilitar la toma de decisiones y mejorar la eficiencia, la seguridad y la supervisión del proceso. Se compone de una red de estaciones de trabajo y servidores para el control y supervisión, interconectados con los dispositivos de campo (como sensores, actuadores, controladores) a través de una o más redes de comunicación.

Algunas de las principales características que presenta el DCS son:

- **Control Centralizado:** Los operadores pueden controlar y monitorear el proceso completo desde una ubicación central. (Sala de control)
- **Distribución Geográfica:** En un DCS los elementos de control están distribuidos a lo largo de la planta para que cada componente controle una parte específica del proceso.
- **Escalabilidad:** Un DCS puede ser ampliado de forma sencilla, añadiendo estaciones de trabajo, módulos de entrada y salida y funcionalidades del software. Esta característica es útil debido a que no hace falta reemplazar el sistema completo si se requiere de una ampliación.
- **Interoperabilidad:** Los nuevos sistemas DCS están diseñados para la fácil integración con otros sistemas como el MES (Sistemas de Ejecución de Manufactura) y ERP (Sistemas de Planificación de Recursos Empresariales).



- **Alta Fiabilidad:** Debido a la utilización de técnicas como la redundancia de hardware y software para asegurar la continuidad de las operaciones.
- **Tiempo real:** Los DCS actúan en tiempo real lo que significa que la recepción y procesamiento de los datos es instantánea.
- **Seguridad:** Los DCS incorporan características de seguridad para proteger accesos no deseados y ataques cibernético

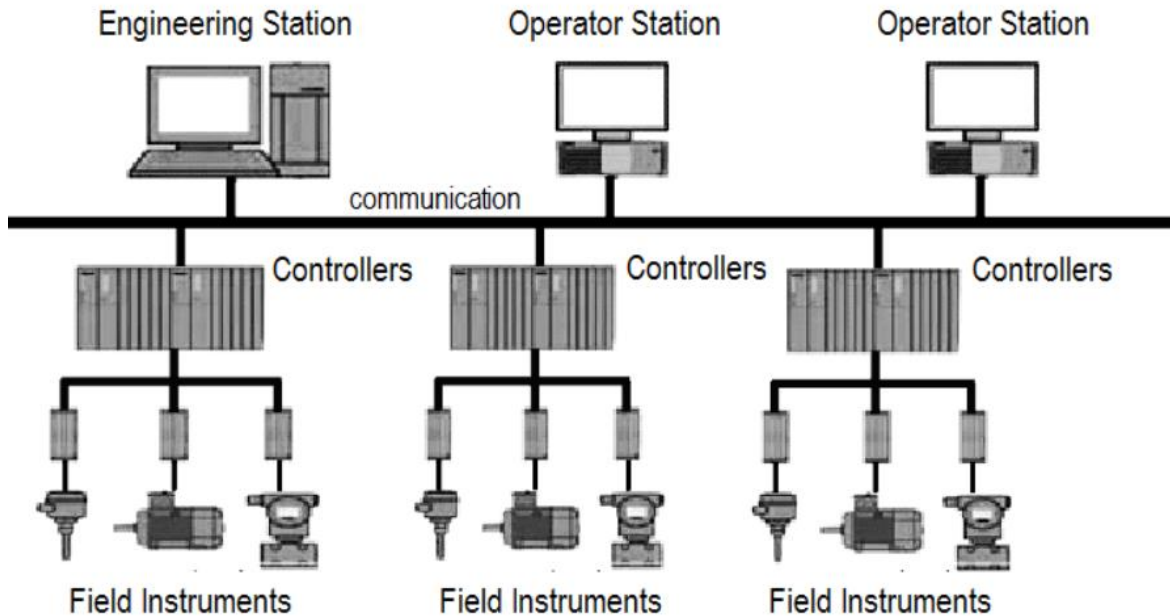
Todas estas características son las responsables de hacer al DCS una solución robusta y flexible para la automatización y gestión de procesos.

## ***2.1 ARQUITECTURA DE LOS DCS***

La arquitectura de un DCS está diseñada para poder ofrecer un control eficiente y fiable de los procesos. La estructura de la arquitectura facilita la distribución geográfica de las operaciones, además de permitir la gestión y supervisión de una forma centralizada, como se indica previamente en las características. Los principales componentes y capas de la arquitectura de un DCS son:

- **Nivel de campo:** Está compuesto por los dispositivos de campo. Estos pueden ser: sensores, transmisores, actuadores o válvulas. Estos dispositivos están involucrados de forma directa en el proceso de medición y control
- **Nivel de Control:** Está compuesto por los controladores distribuidos que ejecutan algoritmos de control para la regulación del proceso. Cada control tiene asignado una sección específica del proceso y opera de manera autónoma. Los controladores reciben señales de los dispositivos de campo y envían comandos de control de vuelta a los actuadores todo-nada y regulación.
- **Nivel de Supervisión:** En este nivel están situadas las estaciones de trabajo y servidores. Estas estaciones proporcionan interfaces gráficas de usuario para que los operadores puedan controlar y supervisar el proceso completo.

A continuación, se muestra una imagen de la arquitectura básica para todos los DCS:



*Ilustración 1: Arquitectura básica DCS (DCS Module, 2021)*

## Capítulo 3. ALCANCE DE CONTROL

Los DCS gestionan y supervisan equipos principales en plantas abarcando sistemas integrales de gestión de procesos. Estos sistemas permiten el control preciso de variables de proceso mediante criterios de control. A continuación, se desarrollarán los distintos tipos de criterios de control, sistemas y equipos principales que suelen aparecer en los DCS.

### ***3.1 CRITERIOS DE CONTROL***

Los criterios de control utilizados en los Sistemas de Control Distribuido abarcan desde técnicas básicas hasta técnicas avanzadas, ajustándose a las necesidades específicas de cada proceso y adaptándose a la complejidad. Algunos de estos criterios de control incluyen:

- Control Proporcional- Integral- Derivativo (PID): Ajusta la salida basándose en la diferencia entre el valor medido y el deseado. Aplica correcciones proporcionales, integrales y derivativas para minimizar el error.
- Control de lazo cerrado: Mantiene la variable de proceso dentro de un rango específico. Ajusta de forma automática las entradas del sistema en respuesta a cambios en la salida medida.
- Control Avanzado de Procesos (APC): Predice y optimiza la respuesta del sistema utilizando modelos matemáticos del proceso, para mejorar la eficiencia y para reducir la variabilidad.
- Control por Lotes: Especialmente útil en procesos de producción que no son continuos. Gestiona la secuencia de operaciones para producir lotes de producto de manera eficiente.
- Control de Secuencia: Asegura que las operaciones secuenciales sigan los pasos adecuados en el orden correcto, algunas operaciones secuenciales pueden ser el arranque o la parada.

- Control de Redundancia: Se emplean esquemas de redundancia para asegurar la fiabilidad y disponibilidad del sistema. En caso de fallo, los sistemas de respaldo toman el control en caso de fallo.

## **3.2 SISTEMAS**

Los sistemas integrales de gestión de procesos se refieren a soluciones avanzadas que integran tecnologías y funciones, para poder controlar y optimizar los procesos industriales.

Los principales sistemas funcionales que componen un DCS son:

- Sistema de adquisición de datos: La función principal de este sistema es la recopilación de datos de manera continua de los dispositivos de entrada y sensores distribuidos a lo largo de la planta. Alguno de los datos que puede recoger este sistema son: temperaturas, intensidades, presiones, flujos... dependiendo del proceso en el que esté actuando el DCS. Estos datos recopilados son esenciales para poder monitorear y controlar la planta en tiempo real.
- Sistema de control de proceso: Este sistema aplica algoritmos y lógicas a los datos recopilados por el sistema de adquisición de datos para la toma de decisiones automáticas sobre la operación en la planta. Estas decisiones se implementan a través de actuadores, como pueden ser: válvulas de control, quemadores o interruptores. Este sistema asegura que los procesos operen dentro de los parámetros eficientes y seguros.
- Sistemas de supervisión y control de operaciones: Este sistema, a través de interfaces, proporciona a los seres humanos información en tiempo real del proceso. A través de estas interfaces se puede monitorear y controlar el proceso, por ejemplo, gestionar alarmas o tomar decisiones manuales si es necesario. Este sistema está directamente relacionado con los paneles de los operadores y las estaciones de trabajo.
- Sistema de monitorización de datos: En este sistema se registran y almacenan los datos históricos de los procesos. Es importante para el análisis a largo plazo, pudiendo utilizar estos datos para entrenar modelos predictivos o realizar

simulaciones de procesos. También es efectivo para la realización de auditorías operativas.

- Sistema de comunicaciones: Este sistema es el encargado de interconectar todos los sistemas entre sí. Esto facilita el flujo de información, haciéndolo seguro y eficiente. Este sistema utiliza protocolos de red industriales para asegurar la integridad y disponibilidad de los datos.
- Sistema de seguridad y alarma: Este sistema está diseñado para monitorizar condiciones anormales y peligrosas. El sistema alerta a los operadores cuando ocurre una de estas situaciones ayudando a prevenir accidentes o daños en la planta y en proceso para garantizar la seguridad del entorno.

### ***3.3 EQUIPOS PRINCIPALES***

En un DCS los equipos principales están diseñados para ofrecer un control preciso y eficiente de los procesos industriales. Cada componente juega un papel crítico en la organización y coordinación de las operaciones y en la optimización del rendimiento general de la planta.

Estos equipos forman un sistema altamente integrado y coordinado que permite un control automático de procesos con alta fiabilidad y eficiencia.

Los equipos principales incluidos en los sistemas funcionales son:

- Controladores: Son el núcleo del Sistema de Control Distribuido. Los controladores manejan la lógica de control y el procesamiento para poder operar la planta. Normalmente los controladores están distribuidos de forma geográfica en el sitio y están conectados a través de redes de comunicación, mencionadas anteriormente. Los controladores son responsables de la ejecución de algoritmos de control que regulan los procesos automáticos. Reciben los datos de los sensores y los envían en forma de señal a los actuadores.

- Estaciones de Operador: Las estaciones de operador son las encargadas de proporcionar una interfaz gráfica para que los humanos puedan actuar con el DCS. En estas interfaces se puede visualizar y controlar el proceso. Se muestran los datos, alarmas y gráficos en tiempo real y ofrecen capacidades para que los operadores puedan actuar, ajustando o sobrescribiendo parámetros si fuera necesario.
- Red de comunicaciones: Esta red conecta los distintos componentes del DCS. Es importante para poder asegurar la buena transmisión de datos de manera segura y rápida dentro del sistema. Estas redes son normalmente redundantes y robustas para poder garantizar la disponibilidad continua y la fiabilidad del sistema, incluso en caso de fallo de un componente.
- Servidores de proceso: Se dedican a tareas de computación intensivas que no son adecuadas para los controladores. Estas tareas pueden ser: la gestión de bases de operaciones, la ejecución de aplicaciones de software para el análisis de datos o la historización de los procesos. Los servidores de proceso también actúan como un puente para la integración con otros sistemas empresariales
- Sistema de entrada y salida (I/O): Facilita la comunicación entre el campo y el DCS. Los módulos de entrada y salida convierten las señales de los sensores en digitales para que puedan ser procesadas por los controladores. También convierten las instrucciones de los controladores en señales para que puedan ser utilizadas por los actuadores. Estos módulos suelen estar ubicados cerca de los instrumentos de campo, para minimizar el cableado y la latencia.
- Software y Gestión y Control: Es esencial para monitorear, configurar y diagnosticar el sistema. Las herramientas que incluye son para poder diseñar la lógica de control, visualizar procesos, gestionar las alarmas y analizar los datos históricos. Con ello permite una optimización del proceso y la mejora en la toma de decisiones.

## Capítulo 4. ENERGÍAS RENOVABLES

### 4.1 DEFINICIÓN Y RELACIÓN CON ODS

Las energías renovables son las fuentes de energía que se obtienen de recursos naturales que son capaces de regenerarse a un ritmo mayor o igual al de su consumo, es decir, no se agotan. Algunas de las características de las energías renovables, ligadas a la importancia de estas en el mundo actual son:

- **Mitigación del cambio climático:** Estas energías emiten pocos (o ninguno en algún caso) gases de efecto invernadero durante su operación, convirtiéndolas en esenciales para combatir el cambio climático.
- **Seguridad Energética:** Las energías renovables aumentan la seguridad energética al diversificar la matriz energética y reducir la dependencia de los combustibles fósiles.
- **Sostenibilidad:** Como las fuentes renovables no se agotan con el paso del tiempo, las convierte en una solución a largo plazo para la demanda mundial de energía.
- **Desarrollo Económico:** Creación de empleos de investigación, fabricación, instalación y mantenimiento en este sector de energía renovable, lo cual contribuye al crecimiento económico.
- **Acceso a la energía:** En regiones remotas o subdesarrolladas, las tecnologías renovables pueden ofrecer acceso a la energía de manera más rápida y económica que la expansión de la red eléctrica tradicional.

El mundo se esfuerza por reducir su dependencia de los combustibles fósiles y poder minimizar el impacto medioambiental. Las energías renovables ofrecen una solución viable a estos problemas y a la creciente demanda de energía de una manera sostenible. Debido a esto, las energías renovables se han convertido en uno de los componentes fundamentales en la estrategia global para enfrentar los desafíos actuales. Estos desafíos vienen incluidos en el ODS (Objetivos de desarrollo sostenible):



Producido en colaboración con TROLLBACK + COMPANY | TheGlobalGoals@trollback.com | +1.212.828.1010  
Para cualquier duda sobre la utilización, por favor comuníquese con: djpicamp@un.org

*Ilustración 2: Objetivos de Desarrollos Sostenibles (Naciones Unidas, 2015)*

Las energías renovables contribuyen a los ODS de forma directa o indirecta debido a sus características mencionadas anteriormente. Contribuyen directamente al objetivo número 7: “Energía asequible y no contaminante”, promoviendo el uso eficiente de recursos en la generación de energía renovable. Además, indirectamente las energías renovables, contribuyen con otros objetivos como el objetivo 11: “ciudades y comunidades sostenibles”, asegurando la sostenibilidad energética o el objetivo 9; “industria, innovación e infraestructura”, promoviendo el desarrollo económico y social, o el 13: “acción por el clima” enfrentando las energías renovables a los desafíos del cambio climático.

## **4.2 TIPOS DE ENERGÍAS RENOVABLES:**

Existen varios tipos de energías renovables, entre las que destacan:

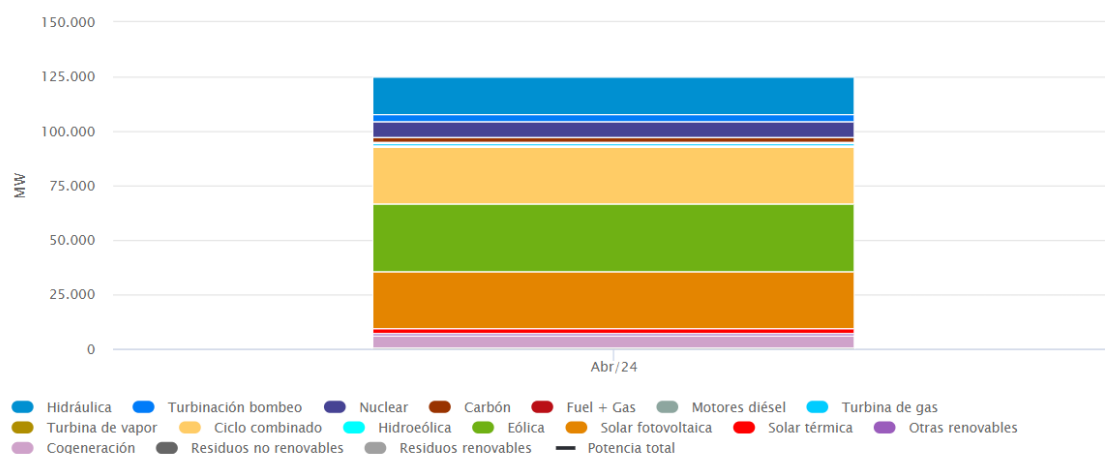


- **Energía Solar:** Hay dos tipos fotovoltaica y térmica. La primera, utiliza células fotovoltaicas para convertir la luz del sol directamente en electricidad. La segunda, utiliza el calor del sol para generar energía o para calentar fluidos.
- **Energía Eólica:** Esta produce la energía por medio de aerogeneradores que convierte la energía cinética del viento en electricidad.
- **Energía Hidroeléctrica:** Esta genera electricidad a partir del flujo de agua.
- **Biomasa:** Utiliza materiales orgánicos (madera, residuos agrícolas y biogás) para quemarse y producir calor y electricidad, o para convertirse en otros combustibles como biodiésel o etanol.
- **Energía Geotérmica:** Aprovecha el calor almacenado debajo de la superficie de la tierra. Esta energía puede utilizarse para poder generar electricidad o para calefactar de forma directa.
- **Energía Marina:** Energía de las mareas o de las olas. Esta energía está menos desarrollada que otras, pero tiene un potencial significativo.

La potencia instalada en España, a abril del 2024 es:

**POTENCIA INSTALADA (MW) | SISTEMA ELÉCTRICO: Nacional**

04/2024



*Ilustración 3: Potencia Instalada en España (Red Eléctrica Española, 2024)*

De la ilustración se puede observar como de los, aproximadamente, 125 GW instalados en España, casi un 62% de potencia instalada pertenece a renovables. De las cuales 30.9 GW es de eólica y 28.3 GW de solar (26 GW de solar fotovoltaica y 2.3 GW de solar térmica).

A continuación, se explicará de forma detenida la energía solar y la eólica, que se realizará posteriormente el diseño y la simulación del Sistema de Control Distribuido en cada una de ellas.

### **4.3 ENERGÍA SOLAR**

Como se ha mencionado anteriormente, existen dos tipos de energía solar: la fotovoltaica y la térmica.

#### **4.3.1 ENERGÍA FOTOVOLTAICA**

La energía solar fotovoltaica es una forma de energía renovable que obtiene la energía de la radiación del sol a partir de un dispositivo semiconductor llamado célula fotovoltaica, este dispositivo convierte la luz solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. Este efecto fotovoltaico es un proceso fisicoquímico se produce cuando los fotones de la luz solar hacen desplazar electrones del material semiconductor y así se crea un flujo de electricidad.

##### **4.3.1.1 Elementos**

Los principales elementos de un sistema fotovoltaico son:



*Ilustración 4: Elementos de un sistema fotovoltaico (ENSE , 2021)*

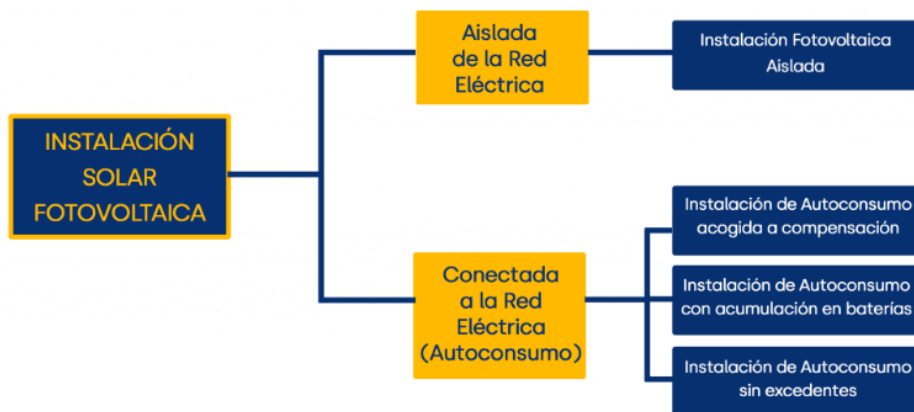
- Paneles fotovoltaicos/ Módulo Solar fotovoltaico: Se trata del elemento más destacable de las instalaciones fotovoltaicas. Los paneles están compuestos por un conjunto de células fotovoltaicas que capturan la radiación solar, convirtiendo la energía solar en energía eléctrica. Están equipados con un material semiconductor, celdas de silicio, que se encuentra encapsulado y conectado eléctricamente y está montado sobre una estructura que actúa como soporte.
- Regulador de carga: La función que tiene es proteger a las baterías de sobrecargas y descargas, para así prolongar la vida útil de los acumuladores. Con una capacidad máxima de corriente puede garantizar una carga adecuada y un suministro de energía óptimo.
- Batería / Acumulador: Almacena electricidad y se encarga de regular el uso de ella. Es un elemento importante ya que al depender del sol hay días nublados donde la batería se encarga de seguir suministrando la electricidad que tenía almacenada. Además del almacenaje tiene otras funciones: fija la tensión de funcionamiento para

evitar caídas de tensión, y proporciona una potencia suficiente para convertirla en eficiente.

- Inversor Solar: Dispositivo que convierte en alterna la corriente continua, proveniente de las baterías y generada por los paneles solares. La corriente alterna tiene que ser utilizable en hogares y negocios por lo que tiene que ser la misma que emplea la red eléctrica. El inversor es un elemento de alta eficiencia y seguridad.
- Cableado y protecciones eléctricas: Como toda instalación eléctrica los paneles fotovoltaicos están compuestos por cables y protecciones. Su función es el paso de electricidad y garantizar la seguridad del sistema.
- Estructura de soporte: Por último, los paneles fotovoltaicos tienen sistemas de montaje que los sostienen, ya sea en el suelo o en el techo.

#### ***4.3.1.2 Tipos de Instalaciones***

Respecto al tipo de instalaciones, existen 3, dependiendo de si los sistemas solares fotovoltaicos están conectados o no a la red.



*Ilustración 5: Tipo de instalaciones Fotovoltaicas (ENDEF Solar Solutions, s.f.)*

Las instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica se tratan de un modelo de generación distribuida, conectada a la red como su propio nombre indica. Priorizan el autoconsumo mientras se pueda depender de ella y cuando no se puede contar con ella utilizan energía de la red.

- Instalación FV de autoconsumo acogida a compensación:

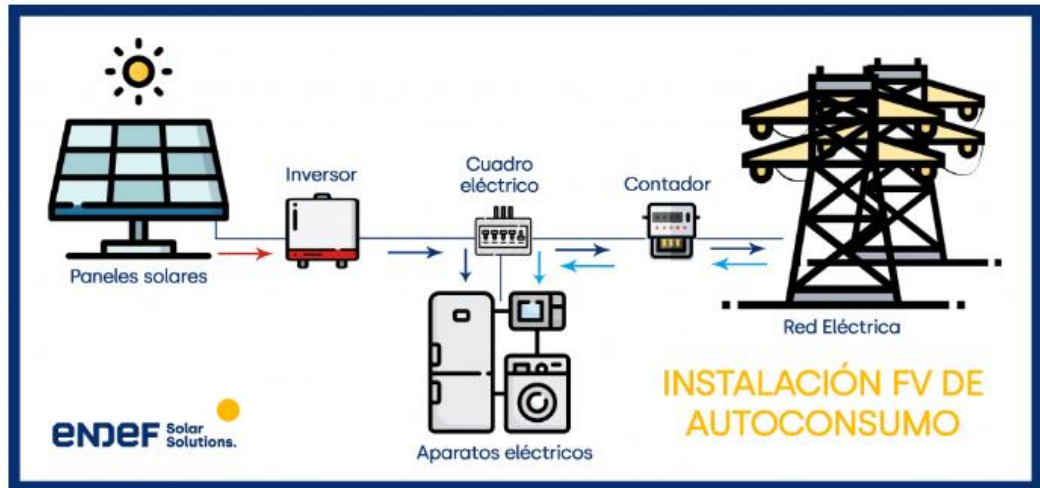


Ilustración 6: Instalación FV de autoconsumo acogida a compensación (ENDEF Solar Solutions, s.f.)

Este tipo de instalación inyecta a la red la electricidad, generada por los paneles solares, sobrante. La energía se da a la red y a cambio se recibe una compensación económica. En España, desde abril de 2019 quedó regulada el autoconsumo con compensación a través del 2019 RD 244/2019.

- Instalación FV de autoconsumo con acumulación en baterías:

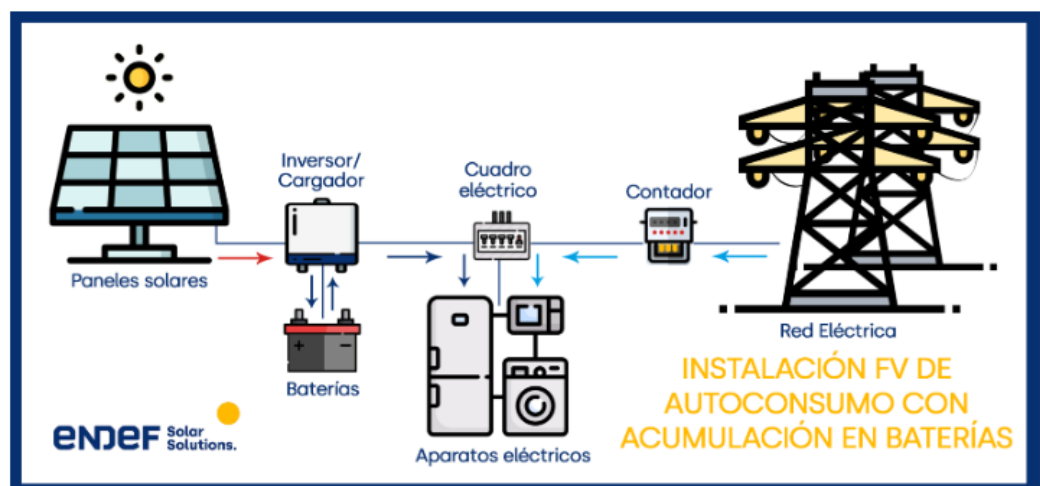
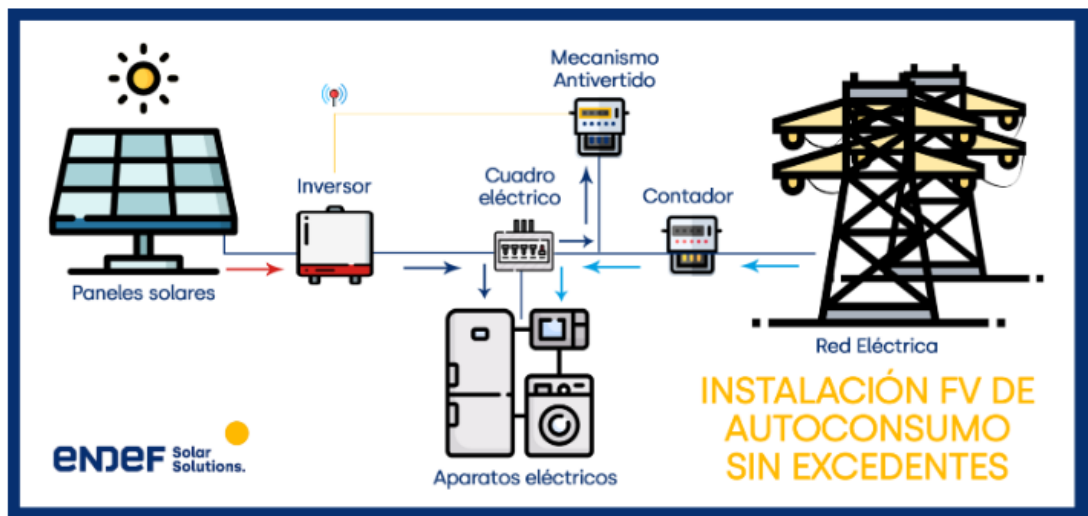


Ilustración 7: Instalación FV de autoconsumo con acumulación en baterías

(ENDEF Solar Solutions, s.f.)

Este tipo de instalación inyecta la energía sobrante en las baterías, para poder utilizarla cuando no haya luz solar. También está conectada a la red para que, cuando se acaba la energía almacenada en las baterías se pueda seguir consumiendo, extrayéndola de la red.

- Instalación FV de autoconsumo sin excedentes:

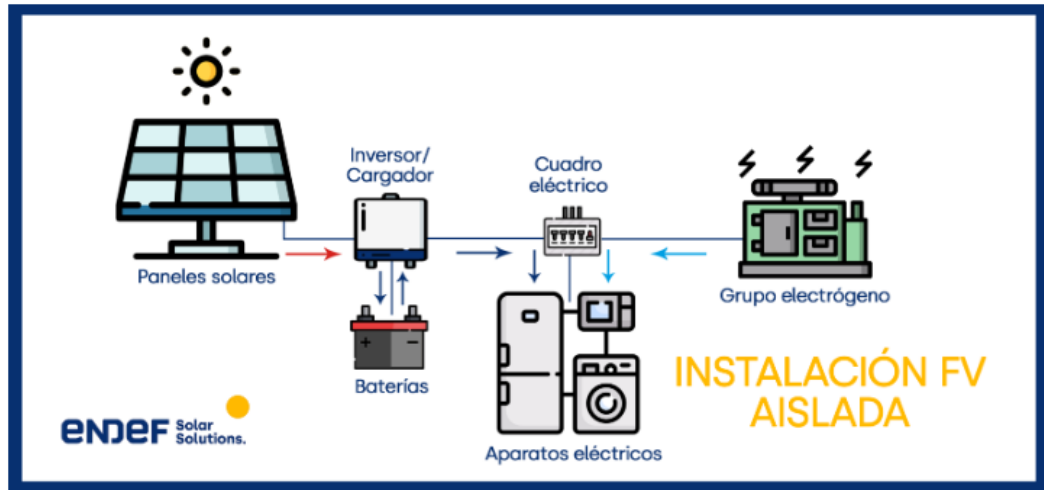


*Ilustración 8: Instalación FV de autoconsumo sin excedentes*

*(ENDEF Solar Solutions, s.f.)*

Este modelo no realiza ninguna inyección a la red eléctrica, pero sí que toma energía de ella cuando es necesario. Es una instalación similar a las dos anteriores, pero usa un mecanismo anti vertido para que se comunique con el inversor para avisarle de que no se produzca más energía cuando no es necesario, y así no tenga que pasar el excedente a la red.

- Instalación desconectada de la red: Instalación FV aislada:



*Ilustración 9: Instalación FV aislada*

*(ENDEF Solar Solutions, s.f.)*

Esta instalación no está conectada a la red eléctrica. La energía generada se consume en el mismo punto para no tener que depender de la red eléctrica. Este tipo de instalación cuenta con un inversor y con un GE (Grupo Electrónico) que permiten el almacenamiento de la energía para su uso posterior.

### 4.3.2 ENERGÍA TÉRMICA

La energía solar térmica es una forma de energía renovable que aprovecha la radiación del sol para producir calor. La diferencia con la fotovoltaica es que no produce electricidad, sino calor directamente, calentando fluidos que se pueden aplicar para diversas funciones. Algunas de estas funciones pueden ser: calefacción de espacios, producción de agua caliente sanitaria y procesos industriales.

### 4.3.2.1 Elementos

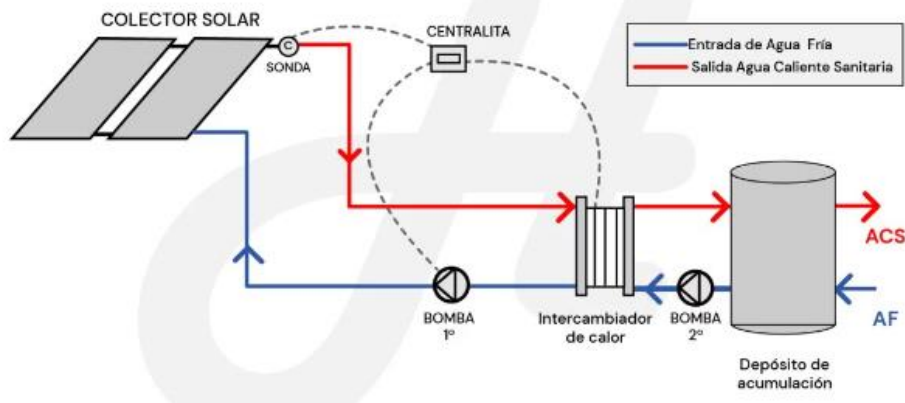


Ilustración 10: Elementos de una instalación solar térmica (Hydronik, 2022)

En la Ilustración 10: Elementos de una instalación solar térmica Ilustración 10, se ve un esquema de una instalación solar térmica para agua sanitaria, este esquema se utiliza como general ya que es prácticamente idéntico en todos los casos. Los elementos que componen las instalaciones solares térmicas son los siguientes:

- **Colector Solar / Paneles solares:** Son paneles fotovoltaicos que generan calor. Cuando la radiación solar incide en el vidrio del colector, la placa absorbente convierte en calor a partir de un revestimiento diseñador. Este calor se transfiere a un fluido, que se encuentra en los tubos colectores. Los tipos de colectores solares más comunes son los colectores planos y los tubos de vacío.

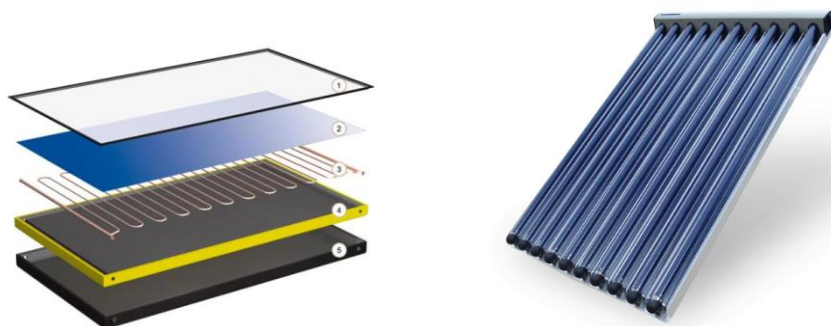


Ilustración 11: Colectores planos y tubos de vacío (Hydronik, 2022)

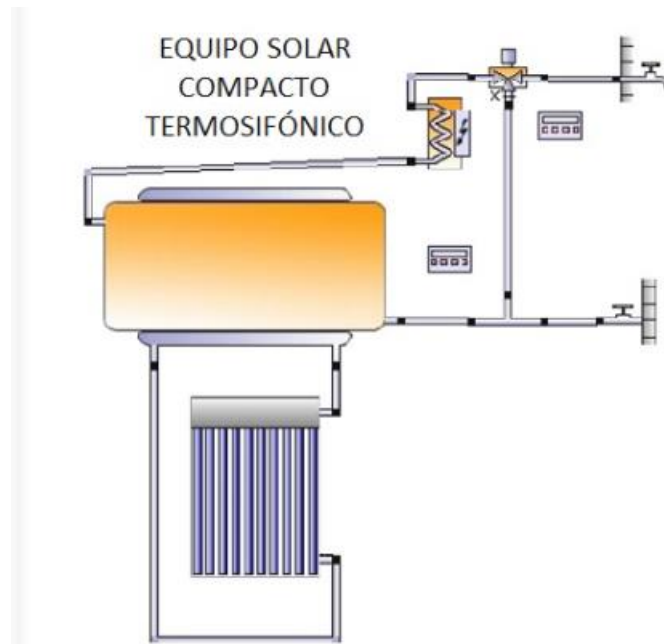


- Depósito de acumulación o de almacenamiento: Se trata de un tanque donde se almacena el fluido caliente hasta que sea necesario para el consumo. Los tanques de almacenamiento más comunes son los depósitos de acero. Y el mayor problema que tienen es la pérdida térmica, esta define la eficiencia del tanque.
- Intercambiador de calor: Se trata de un dispositivo encargado de transferir el calor de un fluido a otro, del fluido calentado por la radiación solar en los colectores solares al fluido que se va a utilizar, almacenado en el depósito acumulador.
- Sistema de control: Garantiza que el circuito tiene un funcionamiento óptimo. Esto lo realiza intentando controlar y regular las temperaturas de los componentes. Se realiza mediante sondas instaladas por medio del circuito.
- Circuito del fluido: Se trata de un sistema de tuberías que el fluido recorre transportando el calor captado. Suele ser de agua o de agua + anticongelante.
- Sistema de bombeo: Está compuesto por bombas que son las responsables de mover el fluido por el sistema.
- Sistema de respaldo: Se trata de fuentes de calor alternativas que se activan cuando el sol no es suficiente. Normalmente se trata de calderas de gas o calderas eléctricas.

#### ***4.3.2.2 Tipos de Instalaciones***

Existen varias formas de clasificar los tipos de instalaciones solares térmicas. Por ejemplo, una forma de clasificación es según la temperatura: baja, media o alta. Sin embargo, la forma más común es según si es un sistema de circulación por termosifón o sistema de circulación forzada.

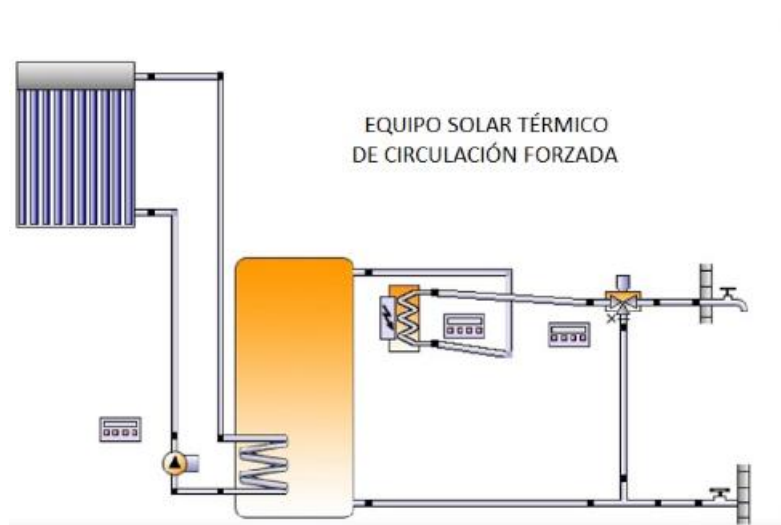
- Sistema de circulación por termosifón:



*Ilustración 12: Sistema de circulación por termosifón (Ecofener, 2023)*

Este sistema funciona atendiendo al fenómeno de estratificación por temperatura, el que dice que como el fluido caliente es menos denso que el fluido frío, el fluido caliente flota sobre el frío.

- Sistema de circulación forzada:



*Ilustración 13: Sistema de circulación forzada (Ecofener, 2023)*

Este sistema surge para el almacenamiento del agua caliente en un espacio diferente a donde se ubican las placas. Esto es debido a cuestiones de distribución. El funcionamiento está basado en una unidad de control, un termostato diferencial que es el encargado de medir la temperatura del depósito y la de salida del campo. Cuando el termostato mide una ganancia de temperatura entre el depósito y los captadores se acciona una bomba de recirculación que mueve el fluido caliente al depósito.

## **4.4 ENERGÍA EÓLICA**

La energía eólica es una forma de energía renovable que genera electricidad convirtiendo la energía cinética obtenida de la fuerza del viento por medio de turbinas eólicas. Las turbinas están equipadas por aspas que capturan la energía cinética y la transforman en energía mecánica que posteriormente se transforma en energía eléctrica a través de un generador.

### **4.4.1 ELEMENTOS**

Los principales elementos que existen en este tipo de energía son:

- **Turbina Eólica:** Se trata de una estructura equipada por aspas que convierten en energía mecánica la energía eólica capturada por el viento.
- **Aspas:** Grandes hojas montadas en las turbinas que capturan la energía del viento y la convierten en movimiento rotativo. Suele estar fabricada con poliéster o epoxy reforzado con fibra de vidrio.
- **Nacelle:** Es la estructura ubicada en la parte superior de la torre de la turbina, y alberga componentes clave para el funcionamiento que son: el generador, el multiplicador y otros sistemas de control.
- **Generador:** Convierte la energía mecánica obtenida del rotor en energía eléctrica. Los generadores en los aerogeneradores son usualmente de tipo asíncrono o síncrono, dependiendo de la tecnología empleada.

- **Multiplicador de Velocidad:** Se encuentra dentro de la nacelle y su función es aumentar la velocidad de rotación del eje procedente del rotor, para que el generador produzca electricidad de una manera eficiente.
- **Sistema de Control:** Este elemento está ubicado también en la nacelle. Su tarea es monitorear y ajustar el funcionamiento del aerogenerador. Regula aspectos como la orientación de la turbina y el ángulo de las aspas, lo que pretende es maximizar la eficiencia y proteger la máquina cuando esté sometida a situaciones extremas, como puede ser un gran viento.
- **Anemómetro y Veleta:** Son dispositivos de medición, el primero de la velocidad del viento y el segundo de la dirección del viento. La información que recogen la mandan al sistema de control para que pueda decidir y mejorar la eficiencia.
- **Transformador:** El transformador se encarga de aumentar la tensión de la energía eléctrica para mandarla a la red. Suele estar situado en la base de la torre o en una subestación de generación cercana.
- **Sistema de Frenos:** Se trata de un sistema de seguridad muy importante para el funcionamiento y para la seguridad operativa del aerogenerador. Permite para el rotor en emergencias o situaciones de mantenimiento.
- **Cimentación:** La base donde se asienta la torre. Es una cimentación extremadamente robusta ya que tiene que ser diseñada para soportar el peso de la turbina y resistir las fuerzas generadas por el viento.
- **Cableado Eléctrico:** Imprescindible para cualquier instalación eléctrica. El cableado interconecta los diversos elementos eléctricos del aerogenerador con el sistema de transmisión de la red eléctrica.

A continuación, se muestra una imagen con algunos de los componentes señalados:

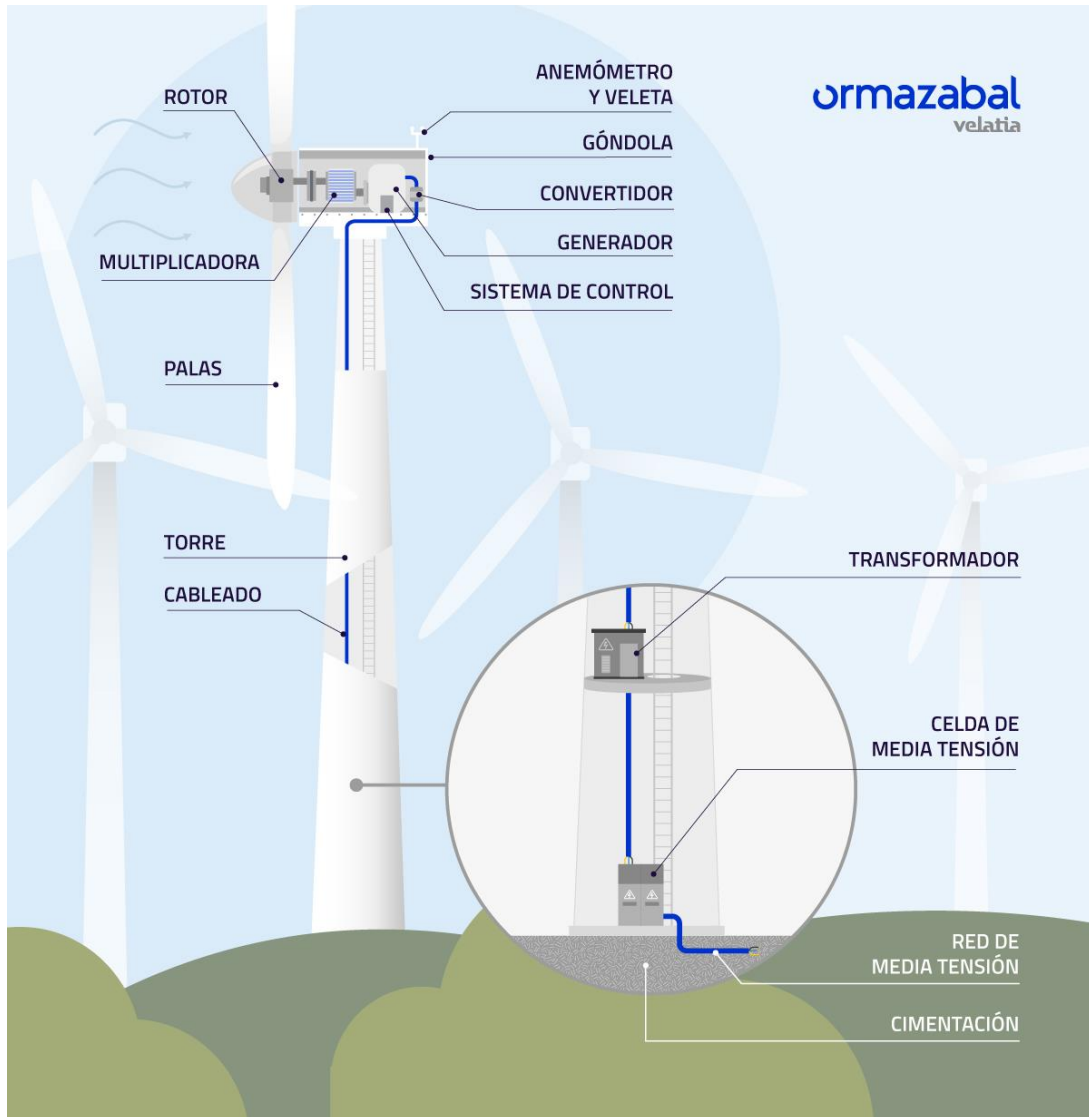


Ilustración 14: Elementos de la Energía Eólica

(GREEN GENERATION & STORAGE, s.f.)

#### 4.4.2 TIPOS DE INSTALACIONES

Existen dos tipos de energía eólica en función del lugar donde estén instalados los parques eólicos: Si están instalados en tierra, u onshore, o si los aerogeneradores están instalados en el mar, llamada energía eólica offshore.

- **Instalaciones Eólicas Terrestres u Onshore:** Estas instalaciones son las más comunes, están situadas en tierra firme. Su ubicación es en áreas con alta incidencia de vientos como pueden ser: las mesetas, los bordes de montaña o las grandes llanuras abiertas. Se caracterizan por su relativa facilidad de construcción y el bajo precio en comparación con las instalaciones marinas. Otra de las ventajas es la facilidad en el acceso para el mantenimiento y las reparaciones. También que tienen que soportar una resistencia menor en la fundación y estructuras soporte debido a la firmeza del terreno. Por último, otra de las cualidades es que tienen mejor resistencia a las condiciones ambientales, ya que el mar oxida los materiales y los desgasta más rápido.

Por otra parte, existen algunas desventajas como que pueden ser objeto de oposición por ruido o razones estéticas, o su rendimiento puede ser afectado negativamente por obstáculos terrestres como edificios o árboles que reducen la velocidad del viento. Por último, existe un impacto ambiental, aunque es normalmente considerado bajo, pueden afectar a la fauna local.

Dentro de la eólica terrestre se destaca la mini eólica, destinada a uso doméstico. Son instalaciones construidas a una escala pequeña donde la potencia del aerogenerador es menor a 100kW. También existen instalaciones eólicas híbridas, que combinan la energía eólica con otras formas de energía, como puede ser la energía solar o el almacenamiento de energía. Estas instalaciones tienen el objetivo de maximizar la eficiencia y producción energética.

- **Instalaciones Eólicas Marinas u Offshore:** Estas instalaciones están ubicadas en el mar, normalmente a varios kilómetros de la costa, en aguas poco profundas. Son potencialmente más productivas que las instalaciones terrestres debido a su capacidad para capturar vientos más fuertes y constantes, lo que se traduce en una mayor generación de energía. Otra de las ventajas es el menor impacto visual y de ruido para las poblaciones costeras. También tiene potencialmente menos impacto sobre la vida silvestre.

Como se ha comentado en las instalaciones Onshore, las instalaciones eólicas marinas tienen un coste de instalación y mantenimiento más elevado. También requieren de tecnologías avanzadas para la cimentación y resistencia a la corrosión de agua salada. Otra de las desventajas puede ser los costos en transmisión de energía ya que pueden ser mayores debido a la distancia con la costa.

Una variante de las instalaciones marinas son las instalaciones eólicas flotantes. Estas se sitúan en aguas profundas donde no es viable anclar las turbinas al lecho marino. Utilizan plataformas flotantes ancladas al fondo marino con cables y cadenas. Permiten el acceso a áreas del océano con vientos excepcionalmente fuertes que no son adecuados para estructuras fijas.

## Capítulo 5. RELACIÓN DCS Y LA ENERGÍA

Los sistemas de gestión y control son esenciales para el funcionamiento eficiente de cualquier empresa o industria energética. Ya sea de distribución, generación, transporte... y para cualquier tipo de energía, renovable o no renovable.

Los DCS permiten un control preciso y una monitorización continua de todos los procesos industriales y de producción de energía en tiempo real. Los tres aspectos fundamentales en la relación y funcionamiento de un Sistema de Control Distribuido en una planta de producción de energía son:

- **Optimización y Eficiencia:** El DCS es fundamental para optimizar el rendimiento de la planta. Esto se consigue maximizando la eficiencia en la producción de energía y minimizando el consumo de combustible y las emisiones.
- **Seguridad:** Los DCS son críticos para garantizar la seguridad operacional en las instalaciones energéticas. Monitorizan constantemente las condiciones de operación y pueden iniciar procedimientos de apagado de emergencia en caso de detectar parámetros que excedan los límites seguros.
- **Integración de sistemas:** Los DCS permiten la integración de diferentes tecnologías y procesos en una planta de energía.

Los DCS están incorporados en los procesos de producción energética y se han realizado muchos estudios, diseños e implantaciones de ideas nuevas. Sobre todo, en procesos energéticos que llevan más años vigentes como pueden ser las plantas de ciclo combinado o las centrales nucleares. A continuación, de una forma muy resumida se va a explicar la relación y la aplicación del DCS en plantas de ciclo combinado y en centrales nucleares.

- **Plantas de ciclo combinado:** En estas plantas el DCS controla y supervisa el funcionamiento de las turbinas de gas a vapor, generadores de recuperación de calor (HRSGs) y sistemas del ciclo de agua-vapor. Controla la temperatura, la presión y



flujo en las turbinas y en el generador de vapor, y ajusta de manera automática los parámetros para obtener el máximo rendimiento energético posible. También el DCS se encarga de programar la secuencia de arranque y parada para garantizar las operaciones seguras.

- Centrales Nucleares: En estas centrales, el DCS monitorea y controla las barras de control, los sistemas de refrigeración y otros dispositivos de seguridad críticos. Se encarga de asegurar que el reactor opere dentro de los límites seguros para prevenir incidentes. También permite una respuesta rápida en caso de anomalía y acciona procedimientos de seguridad de forma automática.

En los siguientes apartados se procederá a realizar un estudio, definido por un diseño y una simulación, de los sistemas de control distribuido en una planta fotovoltaica y en una planta eólica.

## Capítulo 6. DISEÑO FOTOVOLTAICA

Para realizar el diseño del DCS en plantas fotovoltaicas hay que definir los parámetros que el DCS va a controlar y las máquinas a las que están ligadas estos parámetros. También se procede a definir las medidas que tomará el DCS en caso de que los parámetros se salgan de sus valores establecidos. A continuación, se muestra un esquema general y reducido del diseño de la arquitectura de control y la definición de sus componentes y las funciones de cada uno de ellos.



*Ilustración 15: Diseño simplificado arquitectura de control del sistema fotovoltaico*

1. Sala de Control Central (azul oscuro): Es el cerebro del sistema donde se monitorea y controla el funcionamiento de la planta. Se utiliza el sistema SCADA.
2. Edificio Eléctrico (naranja): Contiene equipos eléctricos clave como los transformadores, switchgear (equipo de conmutación), medidor de potencia, relés de protección y sistema de sincronización. Este edificio, compuesto por estos equipos, son esenciales para la distribución y control de la energía eléctrica generada por los paneles fotovoltaicos.
3. Sistema de Comunicaciones (morado): Permite la transmisión de datos entre los diferentes bloques. Este sistema también asegura que todos los datos y señales de control se transmitan de manera eficiente y segura.
4. Inversores (verde): Son convertidores que se encargan de transformar la corriente continua (DC) generada por los paneles fotovoltaicos en corriente alterna (AC) que puede ser utilizada por la red eléctrica.
5. Paneles fotovoltaicos (rojo): Se encargan de generar electricidad a partir de la energía solar. Intentan optimizar la producción de energía a partir de sus componentes.
6. Edificios Auxiliares (marrón): Incluyen sistemas de apoyo como UPS (sistema de baterías), generadores de respaldo y sistemas HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado). Estos sistemas aseguran que la planta funcione de manera ininterrumpida y en condiciones óptimas.
7. Sistema de seguridad (azul claro): La función es proteger la infraestructura y garantizar la seguridad del personal y de los equipos, mediante la vigilancia y el control de acceso a las instalaciones.

## ***6.1 DISEÑO DESARROLLADO ESQUEMÁTICO***

El diseño del esquema de conexionado desarrollado de forma esquemática se encuentra en la Ilustración 16: Diseño esquemático del Sistema fotovoltaico. El color de las conexiones no es indicativo del tipo de cable, es únicamente para clarificar el esquema, teniendo cada bloque de la arquitectura un color.

A modo de resumen de las conexiones entre bloques:

1. Sala de Control Central a Sistema de Comunicaciones:

*Switch Central a Switches y Routers:* Proporciona una conexión robusta de alta velocidad para transmitir datos entre la sala de control y otros componentes.

*Switch Central a Red de fibra óptica:* Esta conexión es esencial para el intercambio rápido y fiable de datos, permitiendo el monitoreo y control eficiente de todos los sistemas desde el SCADA, asegurando que la transmisión de datos se realice con mínima latencia y alta integridad.

*SCADA, Servidores y Estaciones de Trabajo a Switch Central:* Estas conexiones permiten el monitoreo y control centralizados desde la Sala de Control Central.

2. Sistema de Comunicaciones a Edificio Eléctrico:

*Switches y Routers a Transformadores (Trafo 1), Switchgear, Medidor de Potencia, Relés de Protección y Sistema de Sincronización:* Esta conexión permite el monitoreo y control de los equipos del edificio eléctrico desde el SCADA.

3. Sistema de Comunicaciones a Inversores:

*Switches y Routers a Controladores de Inversores:* Facilita la transmisión de datos operativos y el estado de los inversores al SCADA.

*Controladores a Sensores de Corriente y Sensores de Voltaje:* Proporcionan datos en tiempo real sobre el rendimiento y el estado de los inversores, permitiendo ajustes y diagnósticos precisos.

4. Sistema de Comunicaciones a Edificios Auxiliares:

*Switches y Routers a Sistemas de Baterías (UPS) y Generadores de Respaldo:* Permite monitorear y controlar los sistemas de respaldo desde el SCADA.

*Sistemas de HVAC a Backup Switchgear:* Mantiene las condiciones adecuadas para los equipos y asegura su operatividad.

5. Sistema de Comunicaciones a Paneles Fotovoltaicos:

*Switches y Routers a Controles:* Facilita la transmisión de datos sobre el rendimiento y el estado de los paneles fotovoltaicos al SCADA.

*Controles a Sensores de Temperatura y Sensores de Irradiancia:* Proporcionan datos esenciales para optimizar la generación de energía y detectar posibles problemas en los paneles.

6. Sistema de Comunicaciones a Sistema de Seguridad y Monitoreo:

*Switches y Routers a CCTV (Cámaras), Control de Acceso y Sistemas de Alarma:* Aseguran que todas las alertas y datos de seguridad se transmitan al SCADA para su monitoreo y respuesta inmediata en caso de que sea necesario.

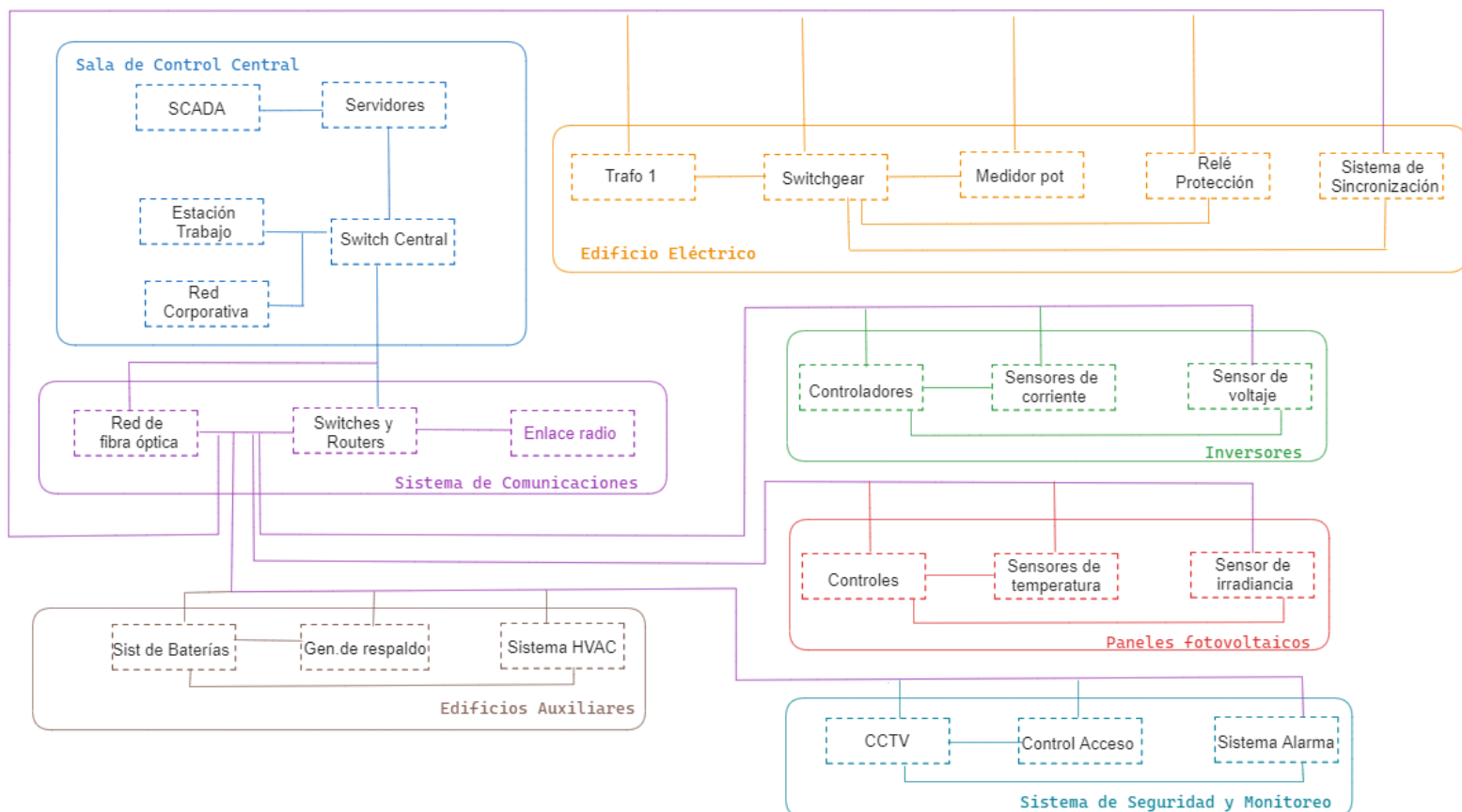


Ilustración 16: Diseño esquemático del Sistema fotovoltaico

## **6.2 DETALLE DE LAS CONEXIONES DE LOS ELEMENTOS**

### **1. Conexiones en los Componentes del Sistema Fotovoltaico**

Sensores de Temperatura

- Tipo de Conexión: Cableado RS485 o 4-20mA
- Protocolo: Modbus RTU/TCP

Controladores de Inversores

- Tipo de Conexión: Ethernet y Fibra Óptica
- Protocolo: Modbus TCP, OPC UA

Sensores de Corriente

- Tipo de Conexión: Ethernet, RS485
- Protocolo: Modbus RTU/TCP

Sensores de Voltaje

- Tipo de Conexión: Ethernet, RS485
- Protocolo: Modbus RTU/TCP

### **2. Conexiones en el Sistema de Comunicaciones**

Switch de Fibra Óptica

- Tipo de Conexión: Fibra Óptica
- Protocolo: Ethernet

Router Central

- Tipo de Conexión: Ethernet y Fibra Óptica
- Protocolo: Ethernet, TCP/IP

#### Enlace de Radio

- Tipo de Conexión: Enlace de Radio
- Protocolo: TCP/IP

### **3. Conexiones en los Edificios Auxiliares**

#### Sistema de Baterías y Generador de Respaldo

- Tipo de Conexión: Ethernet, RS485
- Protocolo: Modbus RTU/TCP

#### Sistema HVAC

- Tipo de Conexión: Ethernet, RS485
- Protocolo: Modbus RTU/TCP

### **4. Conexiones en el Edificio Eléctrico**

#### Transformadores (Trafo 1)

- Tipo de Conexión: Ethernet, Fibra Óptica
- Protocolo: Modbus TCP, OPC UA

#### Switchgear

- Tipo de Conexión: Ethernet, Fibra Óptica
- Protocolo: Modbus TCP, OPC UA

#### Medidor de Potencia

- Tipo de Conexión: Ethernet, Fibra Óptica
- Protocolo: Modbus TCP, OPC UA

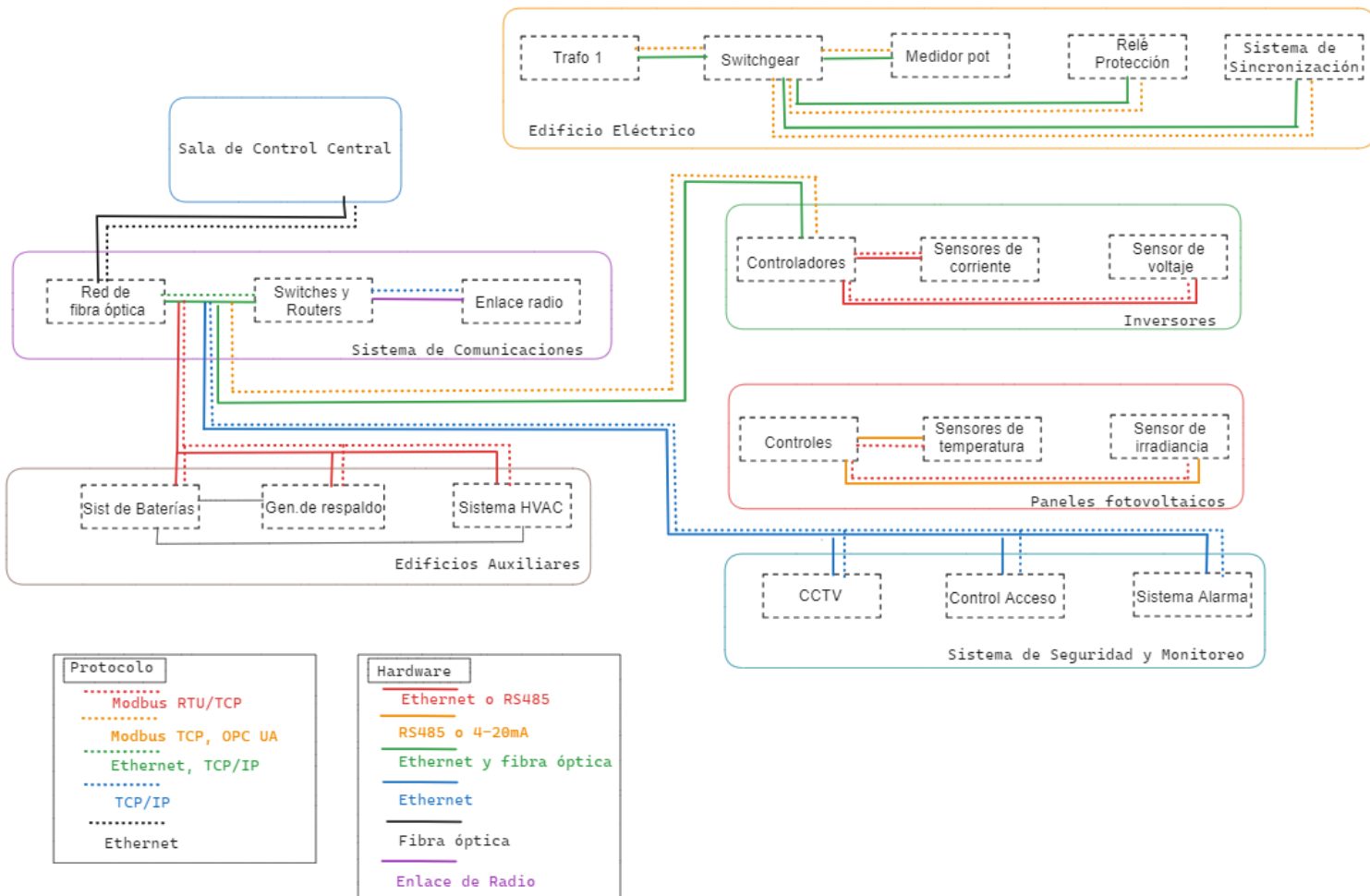
### Relés de Protección

- Tipo de Conexión: Ethernet, Fibra Óptica
- Protocolo: Modbus TCP, OPC UA

### 5. 5. Conexiones en el Sistema de Seguridad y Monitoreo

#### CCTV, Control de Acceso, Sistema de Alarma y Detección de Intrusión

- Tipo de Conexión: Ethernet
- Protocolo: TCP/IP



*Ilustración 17: Resumen Conexiones más importantes Sistema Fotovoltaico*

*(Solar Fotovoltaico, s.f.)*



### **6.3 PARÁMETROS NORMALES PARA UN SISTEMA FOTOVOLTAICO**

- **Voltaje del sistema**
  - Definición: El voltaje de la corriente continua (DC) generada por el conjunto de módulos fotovoltaicos.
  - Valor Normal: 400-800 VDC (dependiendo del diseño del sistema).
- **Corriente del sistema**
  - Definición: La corriente total generada por el conjunto de módulos fotovoltaicos.
  - Valor Normal: Depende de la capacidad sistema, pero típicamente 0-1000 A.
- **Potencia generada**
  - Definición: La potencia total generada por los módulos fotovoltaicos.
  - Valor Normal: Varía según la irradiancia solar, pero un sistema de 1 MW podría generar entre 0-1000 kW.
- **Temperatura de los módulos**
  - Definición: La temperatura de operación de los módulos fotovoltaicos.
  - Valor Normal: 25-45°C (condiciones normales), hasta 75°C en condiciones extremas.
- **Irradiancia solar**
  - Definición: La cantidad de energía solar recibida por unidad de área de los módulos fotovoltaicos.
  - Valor Normal: 200-1000 W/m<sup>2</sup> (condiciones de operación normales).
- **Voltaje de salida del inversor**
  - Definición: El voltaje de corriente alterna (AC) que produce el inversor para alimentar la red.
  - Valor Normal: 230-480 VAC (dependiendo de la configuración de la red eléctrica).
- **Frecuencia de salida del inversor**

- Definición: La frecuencia de la corriente alterna generada por el inversor.
- Valor Normal: 50 o 60 Hz (dependiendo de la región).
- **Factor de potencia**
  - Definición: La relación entre la potencia real y la potencia aparente en el sistema.
  - Valor Normal: 0.95-1.0 (típicamente cercano a 1.0).
- **Estado de carga de las baterías**
  - Definición: El porcentaje de carga de las baterías en sistemas con almacenamiento de energía.
  - Valor Normal: 20-100% (evitando descargas profundas y sobrecargas).
- **Condiciones ambientales**
  - Definición: Parámetros como temperatura ambiente, velocidad del viento y humedad relativa.
  - Valores Normales:
    - Temperatura ambiente: 0-40°C
    - Velocidad del viento: 0-10 m/s
    - Humedad relativa: 20-80%
- **Pérdidas de sistema**
  - Definición: Pérdidas debidas a factores como resistencia en cables, eficiencia del inversor, sombras, etc.
  - Valor Normal: 10-20% de la capacidad nominal.

## ***6.4 MEDIDAS DEL DCS EN CASO DE PARÁMETROS FUERA DE LO NORMAL***

### **1. Voltaje del sistema fuera de rango**

Medida: Desconexión de los módulos fotovoltaicos para evitar daños a los componentes del sistema. Además, se realiza un ajuste de inversores, se modifican los parámetros de operación del inversor para estabilizar el voltaje.

## **2. Corriente del sistema excesiva**

Medida: se produce una desconexión de carga para disminuir la corriente. También se activan dispositivos de protección para evitar daños por sobre corriente.

## **3. Potencia generada anormal**

Medida: Ajuste de los ángulos de los paneles si es posible para maximizar la captación solar. También se realiza una revisión de sombras, inspeccionando y eliminando sombras u obstáculos que puedan estar afectando la generación.

## **4. Temperatura de los módulos elevada**

Medida: Disminución de la carga para reducir la generación de calor. Se activan los sistemas de enfriamiento

## **5. Irradiancia solar baja o fluctuante**

Medida: Reducción de la generación de energía según la disponibilidad de irradiancia. También la monitorización continua, revisando constantemente los parámetros operativos.

## **6. Voltaje de salida del inversor fuera de rango**

Medida: Modificación de los parámetros del inversor para estabilizar el voltaje de salida. Con la desconexión del inversor para evitar daños al equipo eléctrico.

## **7. Frecuencia de salida del inversor fuera de rango**

Medida: Modificación de los parámetros del inversor para corregir la frecuencia de salida. Y desconexión temporal del inversor para evitar problemas en la red.

## **8. Factor de potencia fuera de rango**

Medida: Ajuste del inversor para mejorar el factor de potencia y desconexión de cargas no esenciales para corregir el factor de potencia.

### **9. Estado de carga de las baterías crítico**

Medida: Ajuste del ciclo de carga/descarga para proteger la batería y desconexión de carga para preservar la batería.

### **10. Condiciones ambientales adversas**

Medida: Modificación de parámetros operativos para adaptarse a condiciones ambientales extremas. También se realiza una protección física contra viento, lluvia, etc.

### **11. Pérdidas del sistema excesivas**

Medida: Inspección y corrección de conexiones eléctricas para minimizar pérdidas y se realiza un mantenimiento para identificar y corregir puntos de pérdida.

## Capítulo 7. DISEÑO EÓLICA

Para realizar el diseño del DCS en plantas eólicas hay que definir los parámetros que el DCS va a controlar y las máquinas a las que están ligadas estos parámetros. También se procede a definir las medidas que tomará el DCS en caso de que los parámetros se salgan de sus valores de consigna establecidos. A continuación, se muestra un esquema general y reducido del diseño de la arquitectura de control y la definición de sus componentes y las funciones de cada uno de ellos.



*Ilustración 18: Diseño simplificado arquitectura de control del sistema eólico*

1. Sala de Control Central (azul oscuro): Su función es monitorear y controlar todo el parque eólico a través del sistema SCADA. Recibe datos en tiempo real de las turbinas eólicas y de las subestaciones.
2. Subestación Eléctrica (naranja y verde): Recibe la energía generada por las turbinas y la transforma para su transmisión. A su vez protege y controla la infraestructura eléctrica del parque eólico, y envía datos de medición y estado al SCADA para su monitoreo.
3. Torres Eólicas (rojo): Cada turbina tiene su propio controlador y sensores para optimizar la generación de energía. Los datos obtenidos por cada turbina (datos de producción, estado, fallas) se envían al sistema de SCADA para su monitoreo y control
4. Sistema de Comunicaciones (morado): Asegura la conectividad y transmisión de datos entre la sala de control, la subestación y las torres eólicas. Utiliza fibra óptica y enlaces de radio para que las comunicaciones sean confiables y de alta velocidad.
5. Edificios auxiliares (marrón): Proporcionan energía de respaldo y soporte ambiental (HVAC) a los sistemas críticos del parque eólico, asegurando que el parque pueda continuar operando en caso de cortes de energía o condiciones adversas.
6. Sistema de Seguridad y Monitoreo (azul claro): Se monitorea la seguridad física del parque eólico, controlando el acceso a las instalaciones y detectando intrusiones o emergencias.

## ***7.1 DISEÑO DESARROLLADO ESQUEMÁTICO***

El diseño del esquema de conexionado desarrollado de forma esquemática se encuentra en Ilustración 19: Diseño esquemático del Sistema Eólico. El color de las conexiones no es indicativo del tipo de cable, es puramente para clarificar el esquema, teniendo cada bloque de la arquitectura un color, excepto la subestación que tiene dos.

A modo de resumen de las conexiones entre bloques:

1. Sala de Control Central a Sistema de Comunicaciones

*Switch Central a Switch Fibra Óptica 1 y 2:* Proporciona una conexión robusta alta velocidad para transmitir datos entre la sala de control y otros componentes.

*Switch Central a Rúter Central:* Gestiona el tráfico de datos y asegura la comunicación con todos los dispositivos del parque eólico.

2. Sistema de Comunicaciones a Subestación Eléctrica:

Aunque en el esquema se dibujan dos cableados distinta para cada transformador, como los switches de fibra óptica 1 y 2 están conectados entre sí, en realidad solo se haría un cableado. Se dibuja de esta forma para que el esquema sea más claro.

*Switches de Fibra Óptica a Transformadores, Switchgear, Medidores y Relés:* Esta conexión permite el monitoreo y el control de los equipos de la subestación desde el SCADA.

3. Sistema de Comunicaciones a Torres Eólicas:

*Switches de Fibra Óptica a Controladores de Turbina:* Esta conexión existe para facilitar la transmisión de datos operativos y el estado de las turbinas al SCADA.

4. Sistema de Comunicaciones a Edificios Auxiliares

*Switches de Fibra Óptica a Sistemas de Baterías y Generadores de Respaldo:* Permite monitorear y controlar los sistemas de respaldo desde el SCADA

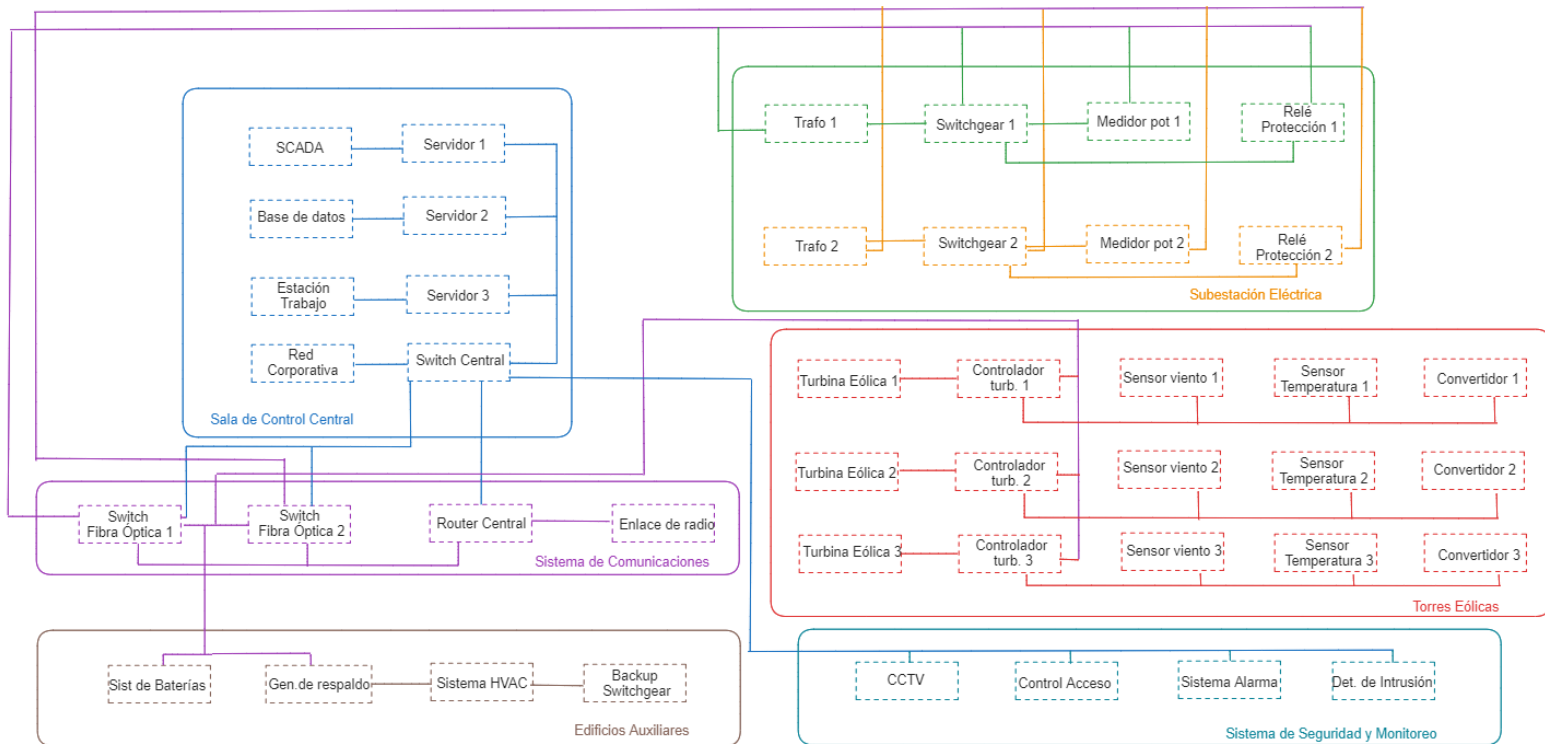
*Sistemas de HVAC a BackUp Switchgear:* Mantiene las condiciones adecuadas para los equipos y asegura su operatividad

5. Sala de Control Central a Sistema de Seguridad y Monitoreo.

Esta conexión podría ser también a la sala de comunicaciones, a los switches de fibra óptica, ya que estos están conectados al Switch Central.

*Conexión de CCTV, Control de Acceso, Sistema de Alarma y Detección de Intrusión a Switch Central:* La función es asegurar que todas las alertas y

datos de seguridad se transmitan al SCADA para su monitoreo y respuesta inmediata en caso de que sea necesario.



*Ilustración 19: Diseño esquemático del Sistema Eólico*

## 7.2 DETALLE DE LAS CONEXIONES DE LOS ELEMENTOS

Se va a desarrollar el tipo de conexión que tiene cada componente dentro del sistema eólico, especificando el tipo de hardware y el protocolo utilizado para la comunicación.

### 1. Conexiones en la Torre Eólica

Sensor de Viento (Anemómetro y Veleta)

- Tipo de Conexión: Cableado Ethernet o RS485
- Protocolo: Modbus RTU/TCP



#### Sensor de Temperatura

- Tipo de Conexión: Cableado RS485 o 4-20mA
- Protocolo: Modbus RTU/TCP

#### Controlador de Turbina

- Tipo de Conexión: Ethernet y fibra óptica
- Protocolo: OPC UA (Unified Architecture), Modbus TCP

#### Convertidor de Potencia

- Tipo de conexión: Ethernet y fibra óptica
- Protocolo: Modbus TCP, OPC UA

## **2. Conexiones en el Sistema de Comunicaciones**

#### Switch de Fibra óptica

- Tipo de Conexión: Fibra óptica
- Protocolo: Ethernet

#### Rúter Central

- Tipo de Conexión: Ethernet y fibra óptica
- Protocolo: Ethernet, TCP/IP

#### Enlace de Radio

- Tipo de Conexión: Enlace de radio
- Protocolo: Ethernet, TCP/IP

## **3. Conexiones en la Subestación Eléctrica**

#### Transformadores, Switchgear, Medidores y Relés

- Tipo de Conexión: Ethernet, RS485
- Protocolo: Modbus RTU/TCP

#### **4. Conexiones en los edificios auxiliares**

Sistema de Baterías y Generador de Respaldo

- Tipo de Conexión: Ethernet, RS485
- Protocolo: Modbus RTU/TCP

Sistema HVAC

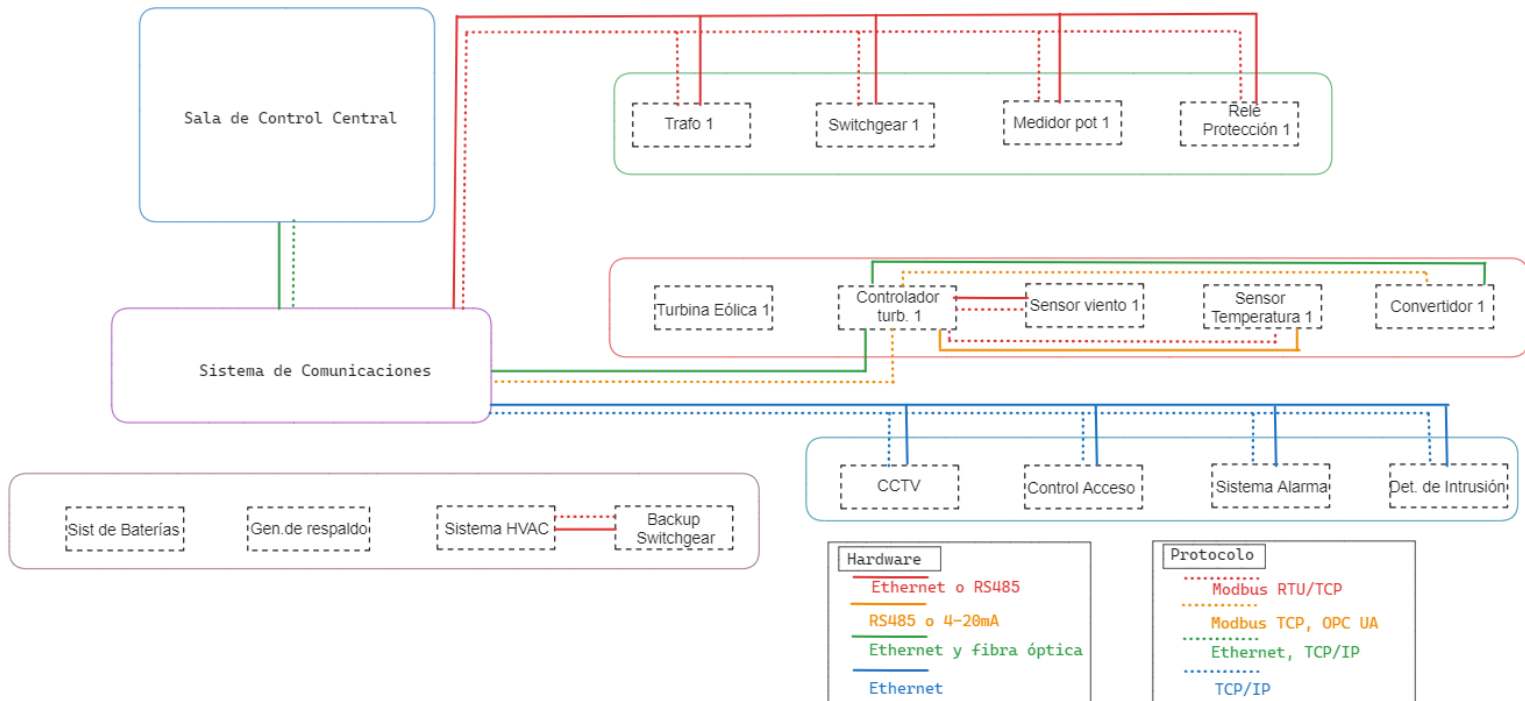
- Tipo de Conexión: Ethernet, RS485
- Protocolo: Modbus RTU/TCP

#### **5. Conexiones en el sistema de seguridad y monitoreo**

CCTV, Control de Acceso, Sistema de Alarma y Detección de Intrusión

- Tipo de Conexión: Ethernet
- Protocolo: TCP/IP

En la Ilustración 20: Resumen Conexiones más importantes Sistema Eólico se ve el resumen de las conexiones más importantes.



*Ilustración 20: Resumen Conexiones más importantes Sistema Eólico*

*(Froese, 2015)*

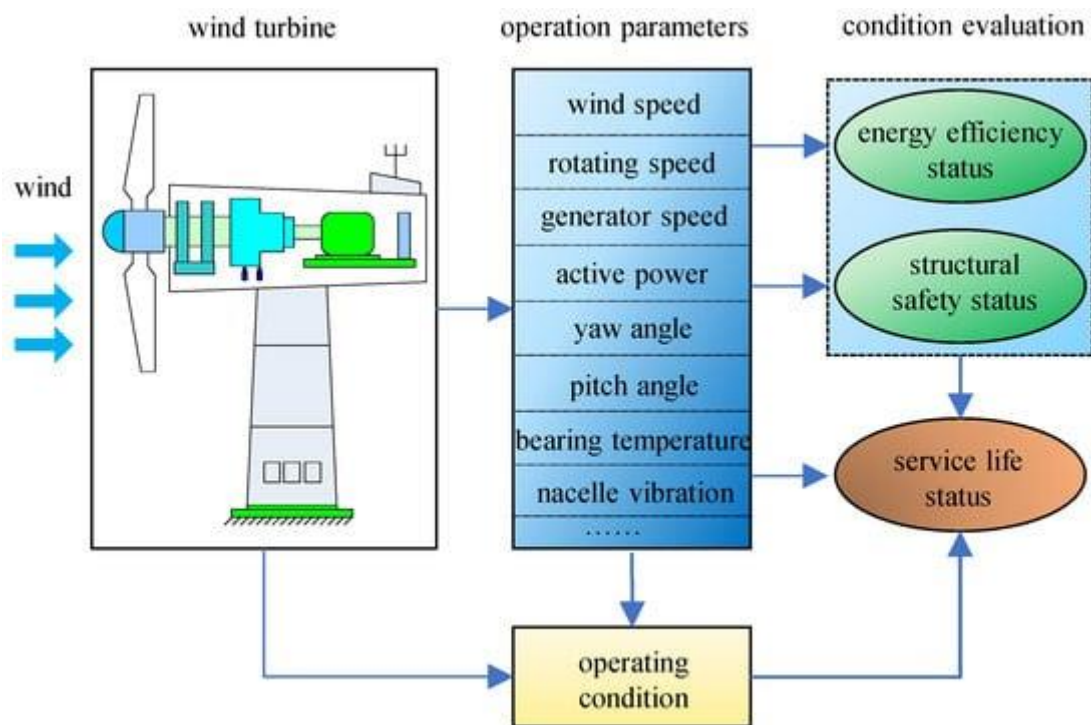
*(Dvorak, 2015)*

*(Zipp, 2012)*

### **7.3 PARÁMETROS NORMALES PARA UN SISTEMA EÓLICO**

Para poder entender las medidas que toma un Sistema de Control Distribuido cuando los parámetros se salen de sus valores de consigna establecidos, primero se debe definir los parámetros normales.

Alguno de los parámetros que son controlados por el DCS son: la velocidad del viento, la temperatura de la Nacelle, la velocidad de la rotación del rotor, la generación de potencia, la frecuencia de la red, la tensión de la red, o las vibraciones. Ilustración 21: Parámetros de operación del DCS en un sistema eólico



*Ilustración 21: Parámetros de operación del DCS en un sistema eólico*

*(Zent, 2022)*

A continuación, y en base a los parques eólicos ya construidos se enumerará los valores típicos para varios de estos parámetros:

- **Velocidad del viento:**
  - Normal: 3m/s a 25m/s
  - Alto (Corte por alta velocidad): > 25 m/s
  - Bajo (Corte por baja velocidad): <3m/s
- **Temperatura Nacelle (Góndola):**
  - Normal: -20°C a 40°C

- Alto:  $> 40^{\circ}\text{C}$
- Bajo:  $< -20^{\circ}\text{C}$
- **Velocidad de Rotación del Rotor**
  - Normal: 10 rpm a 20 rpm
  - Alto:  $> 20$  rpm
  - Bajo:  $< 10$  rpm
- **Generación de Potencia:**
  - Normal: Depende de la velocidad del viento y la capacidad de la turbina, pero suele estar entre 0.5MW a 3MW por turbina
- **Temperatura Nacelle (Góndola):**
  - Normal: 50 Hz en el caso de Europa (60Hz en el caso de EE. UU.)
  - Alto/Bajo:  $> \pm 0.1$  Hz de la frecuencia normal
- **Tensión de Red:**
  - Normal: Depende de la red local. Suele ser 690V en la salida del generador
- **Vibraciones:**
  - Normal: Varía según el diseño de la turbina, pero los límites se establecen para evitar daños mecánicos.
  - Alto: Fuera de los límites establecidos

*(Astolfi, 2023)*

## ***7.4 MEDIDAS DEL DCS EN CASO DE PARÁMETROS FUERA DE LO NORMAL***

### **1. Velocidad del Viento**

*Corte por Alta Velocidad ( $> 25$  m/s):*

Medida: El DCS envía una señal para frenar el rotor y poner la turbina en modo de seguridad (pitch control para las palas en ángulo de bandera) para evitar daños por exceso de velocidad del viento.

*Corte por Baja Velocidad ( $< 3 \text{ m/s}$ ):*

Medida: El DCS detiene la turbina ya que no es eficiente operar a bajas velocidades de viento.

## **2. Temperatura de la Nacelle**

*Alta Temperatura ( $> 40^\circ\text{C}$ ):*

Medida: El DCS puede activar los sistemas de enfriamiento, como ventiladores adicionales o enfriadores. Si la temperatura sigue aumentando, la turbina se puede apagar para evitar daños.

*Baja Temperatura ( $< -20^\circ\text{C}$ ):*

Medida: El DCS puede activar sistemas de calentamiento. Si la temperatura sigue disminuyendo y afecta la operabilidad, se puede detener la turbina.

## **3. Velocidad de Rotación del Rotor**

*Alta Velocidad ( $> 20 \text{ rpm}$ ):*

Medida: El DCS ajusta el ángulo de las palas (pitch control) para reducir la velocidad de rotación. Si no es efectivo, se aplica el freno mecánico para detener el rotor.

*Baja Velocidad ( $< 10 \text{ rpm}$ ):*

Medida: El DCS puede ajustar el ángulo de las palas para intentar optimizar la captación del viento. Si la velocidad no mejora, la turbina se detiene para evitar operación ineficiente.

## **4. Generación de Potencia**

*Desviación de Potencia:*

Medida: El DCS ajusta los parámetros de operación de las turbinas para intentar mantener la generación dentro del rango óptimo. Esto puede incluir ajustes en el pitch de las palas y la velocidad de rotación del rotor.

## **5. Frecuencia de la Red**

*Frecuencia Alta/Baja ( $> \pm 0.1$  Hz de la nominal):*

Medida: El DCS puede ajustar la carga y la producción de energía para ayudar a estabilizar la frecuencia de la red. En casos extremos, la turbina se puede desconectar de la red para evitar contribuir a la inestabilidad.

## **6. Tensión de la Red**

*Desviación de Tensión:*

Medida: El DCS ajusta los convertidores de potencia y otros sistemas de regulación de voltaje para mantener la tensión dentro de los límites aceptables.

## **7. Vibraciones**

*Vibraciones Altas:*

Medida: El DCS puede reducir la velocidad de rotación del rotor y ajustar el pitch de las palas. Si las vibraciones persisten, se puede detener la turbina para inspección y mantenimiento.

## **7.5 REACCIÓN DE LOS BLOQUES EN CASO DE PARÁMETROS NO NORMALES:**

### **Sala de Control Central**

- Monitoreo Continuo: La Sala de Control utiliza el SCADA para monitorear todos los parámetros en tiempo real. Cualquier desviación de los parámetros normales es registrada y analizada.
- Notificaciones y Alarmas: El SCADA envía notificaciones y alarmas a los operadores y al sistema de mantenimiento para tomar acciones correctivas rápidas.

### **Sistema de Comunicaciones**

- Transmisión de Datos en Tiempo Real: Asegura que los datos de todos los sensores y sistemas de control se transmitan rápidamente a la Sala de Control.
- Redundancia: Proporciona múltiples rutas de comunicación para asegurar que las señales de control y los datos de monitoreo siempre lleguen a su destino, incluso si una ruta falla.

### **Subestación Eléctrica**

- Protección y Control: Los relés de protección y el switchgear en la subestación pueden aislar rápidamente cualquier parte del sistema que esté operando fuera de los parámetros normales.
- Ajuste de Potencia: Los transformadores y otros equipos ajustan la transmisión de energía para mantener la estabilidad de la red.

### **Torres Eólicas**

- Control Local: Los controladores de turbina ajustan los parámetros operativos basados en las lecturas de los sensores para mantener la operación dentro de los límites normales.



- Desconexión Automática: Si los parámetros no pueden ser corregidos localmente, la turbina se desconecta automáticamente para evitar daños.

### **Edificios Auxiliares**

- Respaldo de Energía: Los sistemas de baterías y generadores de respaldo aseguran que el DCS y otros sistemas críticos continúen operando durante fallos de energía.
- Condiciones Ambientales: Los sistemas HVAC mantienen condiciones óptimas para el funcionamiento de los equipos críticos.

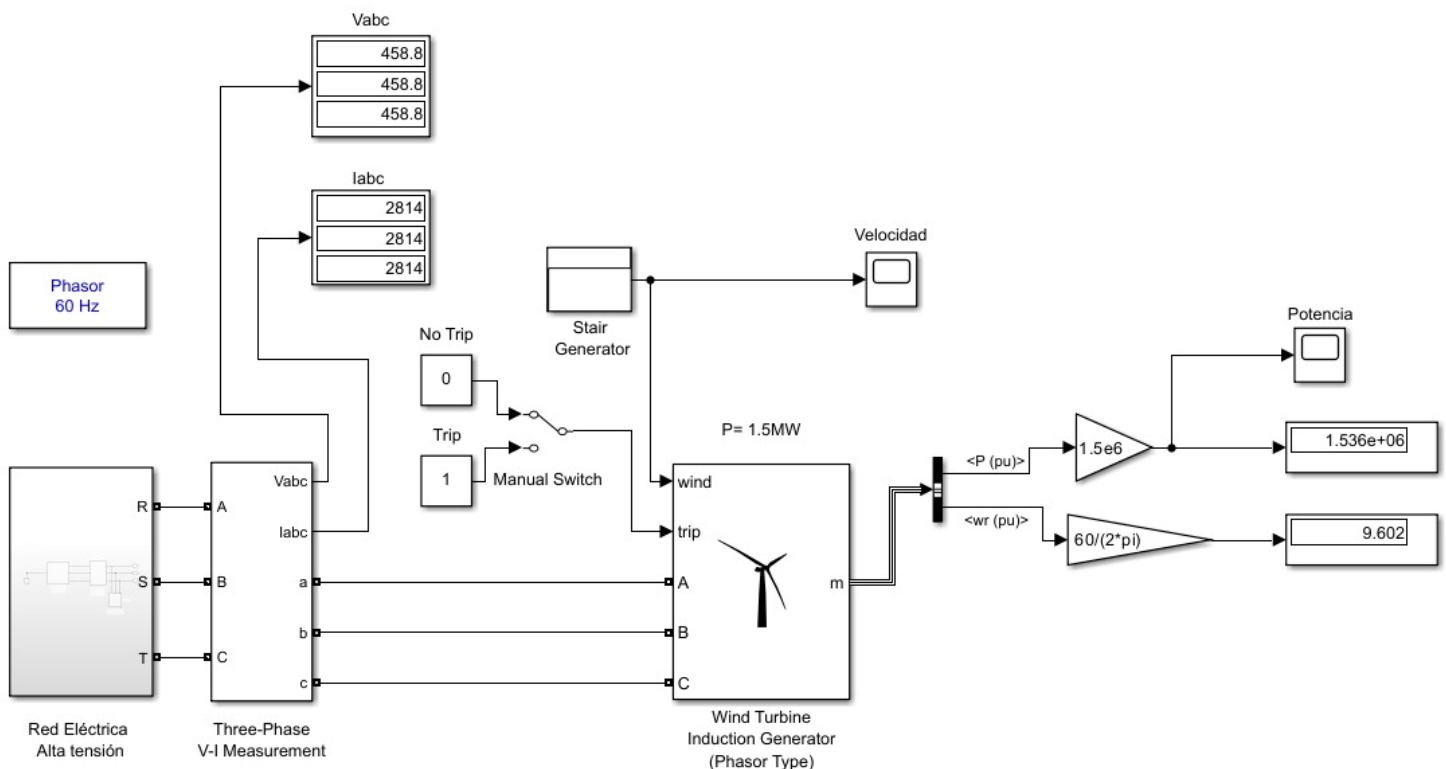
### **Sistema de Seguridad y Monitoreo**

- Monitoreo Adicional: Los sistemas de CCTV, control de acceso y alarmas aseguran que cualquier problema físico o intento de intrusión se detecte y se responda rápidamente.
- Integración con SCADA: Todos los datos de seguridad se integran con el SCADA para una respuesta coordinada.

## Capítulo 8. SIMULACIÓN SISTEMA EÓLICO

En este apartado se ha realizado la simulación del comportamiento de un sistema eólico con la herramienta de MATLAB – SIMULINK. Para ello, he diseñado un sistema compuesto por una turbina eólica que está inmersa en un sistema conectado a la red. Además, el sistema está compuesto por un elemento llamado: “Stair Generator” que simula el viento como una de las entradas a la turbina. Estos elementos se pueden observar el Ilustración 22: Diagrama sistema eólico Simulink

### 8.1 DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO Y SUS COMPONENTES



*Ilustración 22: Diagrama sistema eólico Simulink*

Se trata de una planta eólica de 1.5MW, conectada a la red trifásica de 60Hz. La generación eólica, está compuesta por una turbina de viento y por un generador de inducción de tipo fasor. Esto se puede ver de forma más detallada en la Ilustración 24: Componentes de la

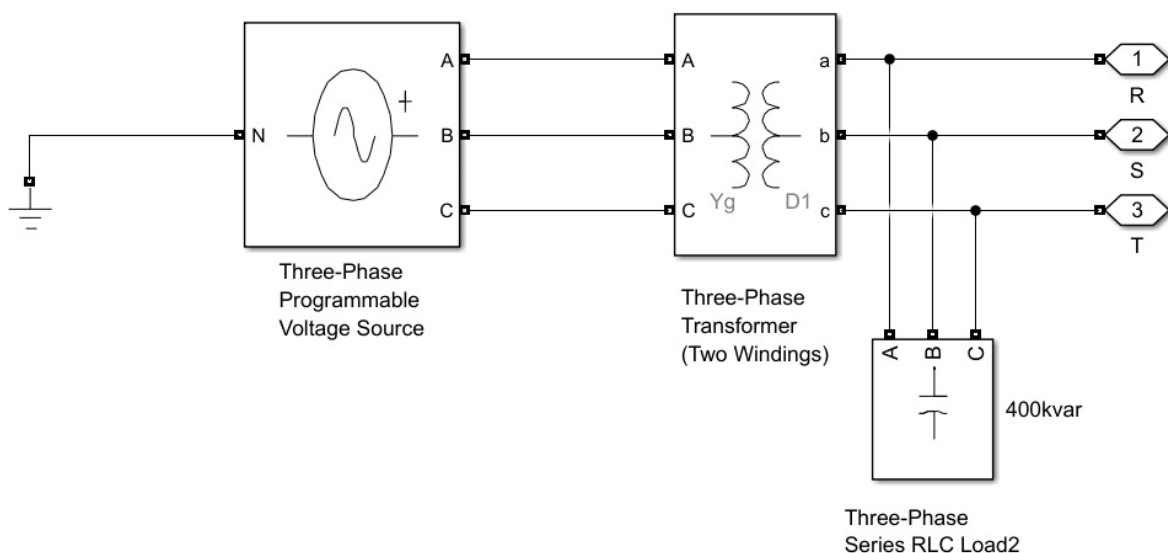
turbina de viento Simulink. Además, a la salida de la turbina se ha colocado un bus selector para las salidas. Estas salidas, potencia activa y velocidad de giro del rotor, están conectadas a un display para ir viendo las medidas resultantes. Antes del display están conectados a unas ganancias, necesarias ya que Simulink trabaja en pu, y se quiere visualizar el resultado en unidades del SI.

Tanto la potencia de salida como la velocidad de entrada del viento se pueden observar a través de un scope, que muestra la gráfica con los valores que van tomando a lo largo del tiempo. También se miden en cada simulación las medidas trifásicas de la tensión y la intensidad de entrada a la turbina, gracias a dos displays.

A continuación, se va a mostrar el aspecto de los circuitos de los dos subsistemas: la red eléctrica y la turbina de viento:

### 1. Red Eléctrica:

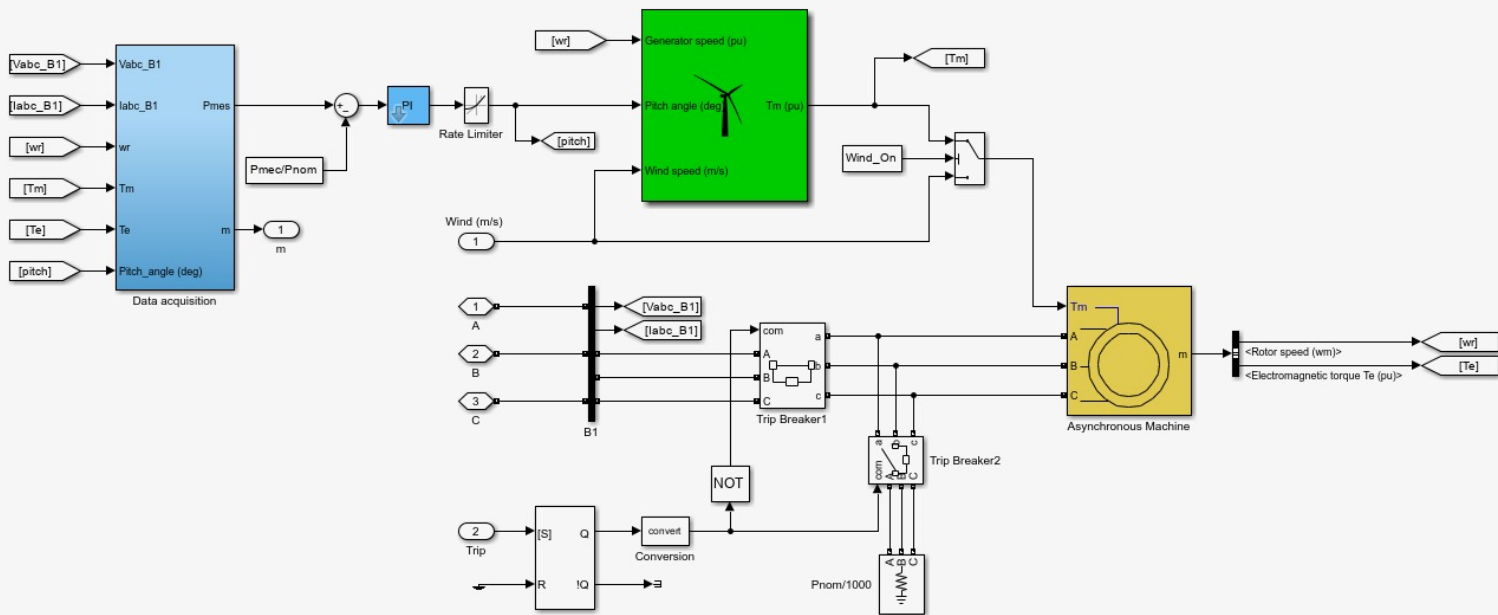
#### RED ELÉCTRICA



*Ilustración 23: Red Eléctrica Simulink*

Este subsistema está compuesto por, de izquierda a derecha; una fuente de voltaje trifásica, un transformador trifásico que pasa la tensión de 25000V 575V, y una carga de condensadores para poder corregir el factor de potencia.

## 2. Turbina de viento:



*Ilustración 24: Componentes de la turbina de viento Simulink*

Se puede observar la turbina de color verde y el generador, que es una máquina sincrónica, de color amarillo. En este esquema detallado se puede ver claramente las entradas que tiene la turbina: voltaje, intensidad, velocidad de rotación de las palas, ángulo de las palas, velocidad base del viento...

Algunas de estas características se han indicado como dato en la configuración de la turbina. Los datos elegidos son los siguientes:

Generator Turbine

Pitch angle beta used to display characteristics (beta >=0) (deg):

Nominal wind turbine mechanical output power (W):

Base wind speed (m/s):  Base rotational speed (pu of base generator speed):

Maximum power at base wind speed (pu of nominal mechanical power):

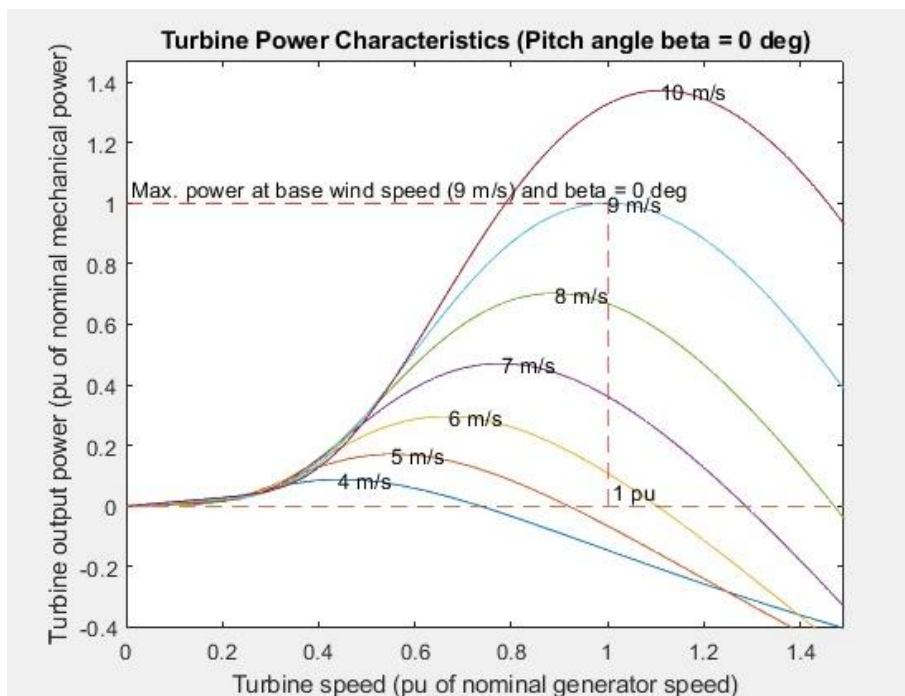
Pitch angle controller gain: [Kp Ki]

Maximum pitch angle (deg):  Maximum rate of change of pitch angle (deg/s):

Display wind turbine power characteristics

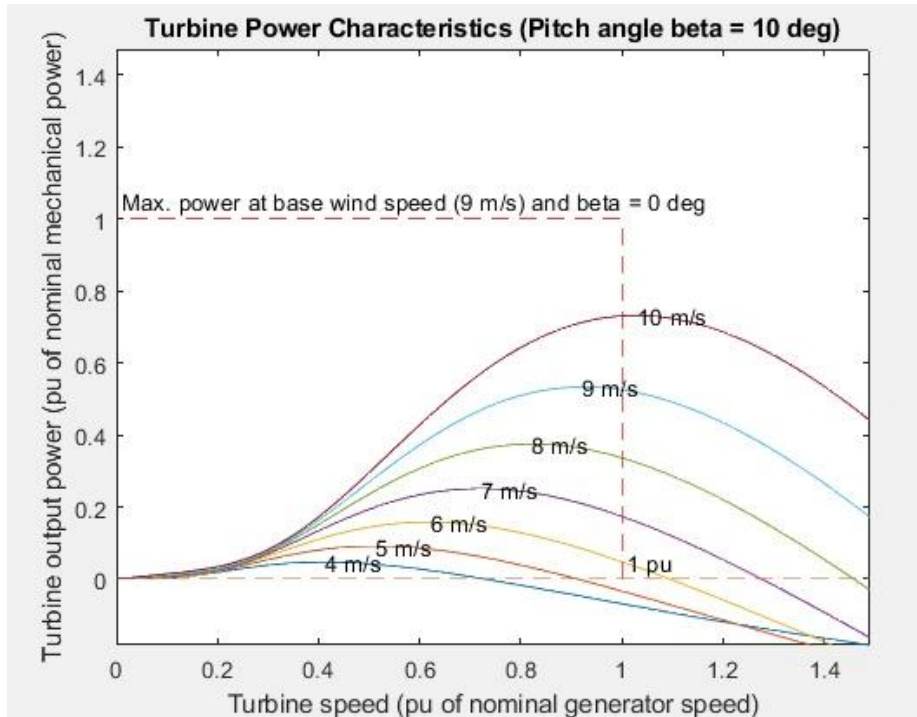
*Ilustración 25: Datos base de la turbina Simulink*

Para estas características, usadas más tarde en la simulación, se puede obtener las curvas de la potencia de la turbina en función de la velocidad del viento.

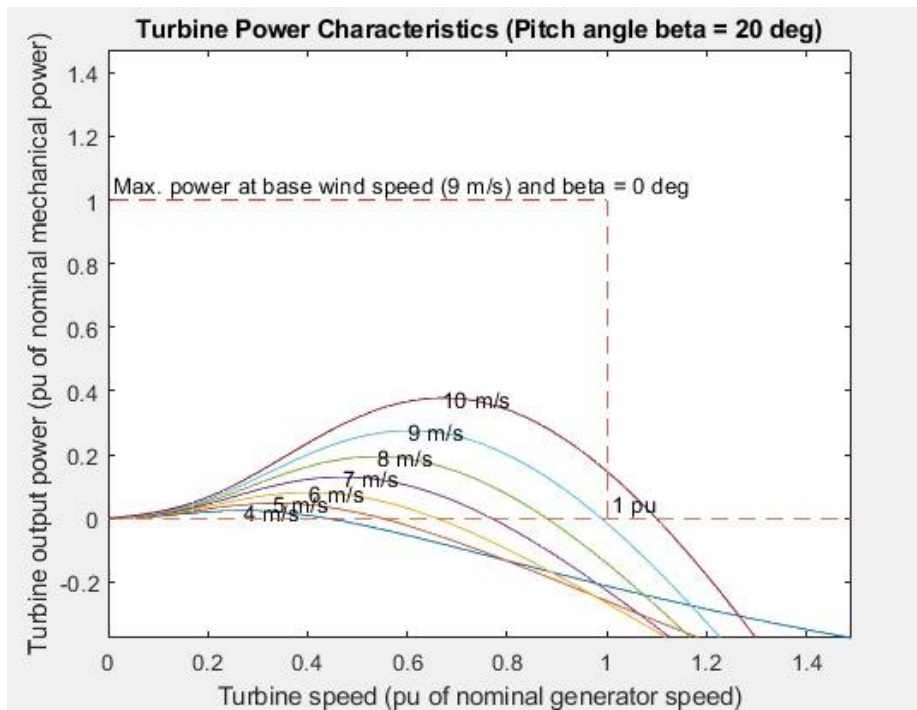


*Ilustración 26: Curvas de potencia turbina para beta=0°*

También se ha obtenido las curvas para las mismas características, pero cambiando el ángulo de inclinación de la pala del generador a 10 y a 20 grados:



*Ilustración 27: Curvas de potencia turbina para beta=10°*



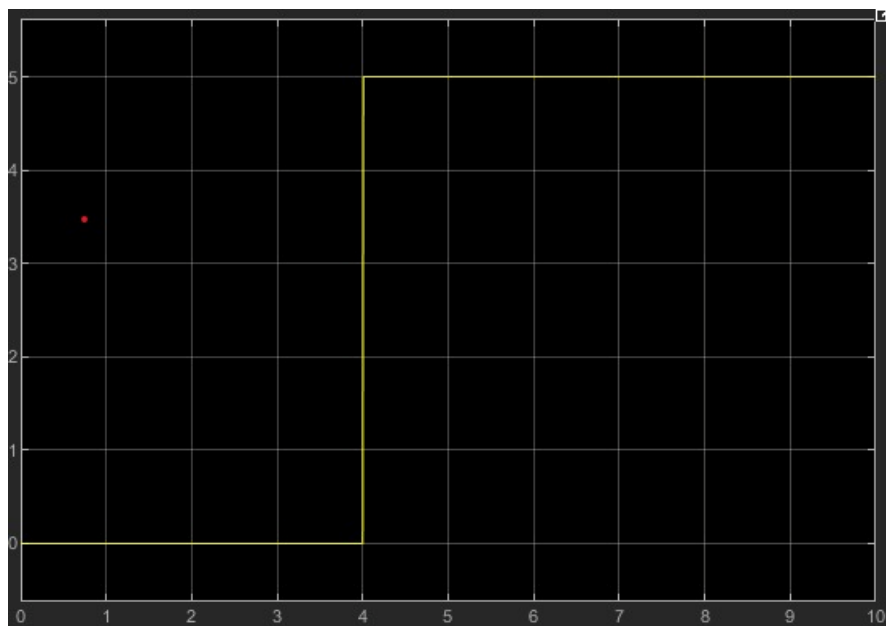
*Ilustración 28: Curvas de potencia turbina para beta=20°*

## 8.2 SIMULACIÓN Y RESULTADOS

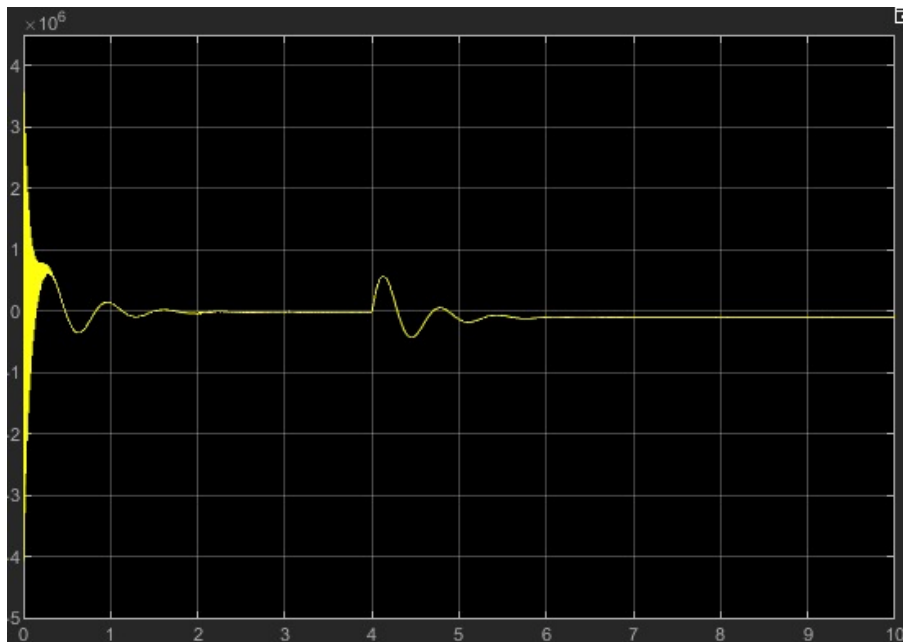
Tras el diseño del circuito del sistema eólico se procede a simularlo y obtener resultados. La única variable que se modifica de entrada es la velocidad del viento. El ángulo de las palas no es una variable que haya que definir en esta turbina, ya que el programa decide de manera automática el ángulo más eficiente para cada velocidad.

Por lo tanto, para una velocidad base de viento de 9m/s se ha simulado el programa para distintas velocidades de viento a la entrada: 5m/s, 6m/s, 8m/s, 12m/s y 13 m/s. A continuación, se procede a mostrar la potencia obtenida para cada caso, y la gráfica de esta en función del tiempo. Cabe destacar, que se ha partido de parado los 4 primeros segundos y en el segundo 4 es cuando ha comenzado el viento a la velocidad de cada caso. Además, no hay que tener en cuenta las primeras milésimas de segundo ya que es un ajuste del programa a velocidad de viento 0.

### 1. Viento de 0 a 5m/s:



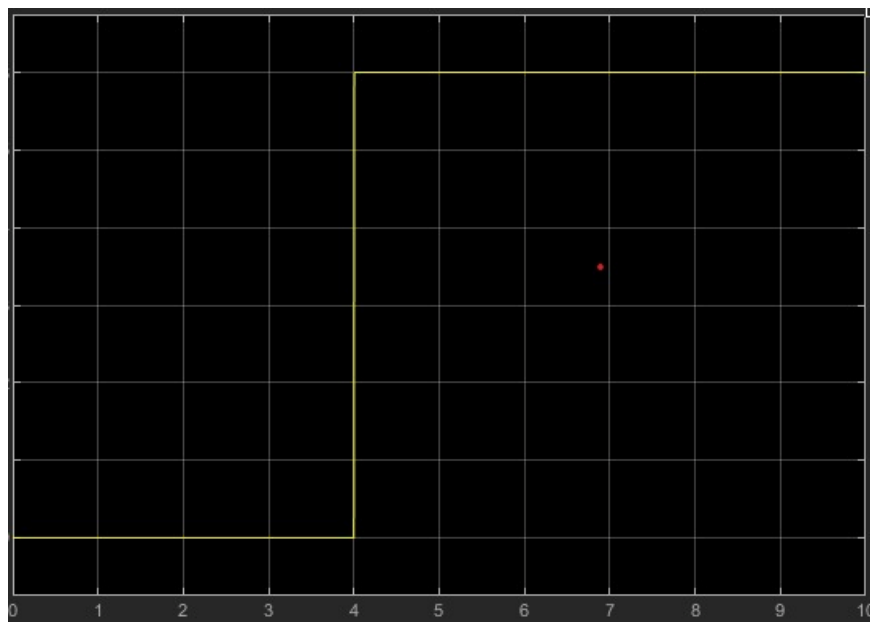
*Ilustración 29: Velocidad del viento de 0 a 5m/s*



*Ilustración 30: Potencia obtenida para velocidad del viento de 5 m/s*

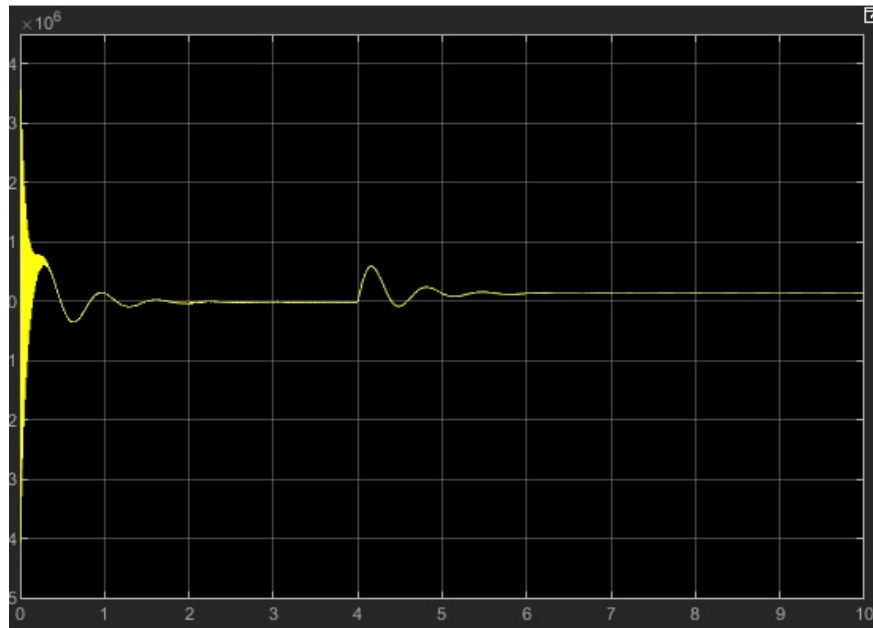
La potencia obtenida para esta velocidad es negativa y de valor  $-1.025e5$  W.

2. Viento de 0 a 6 m/s



*Ilustración 31: Velocidad del viento de 0 a 6 m/s*

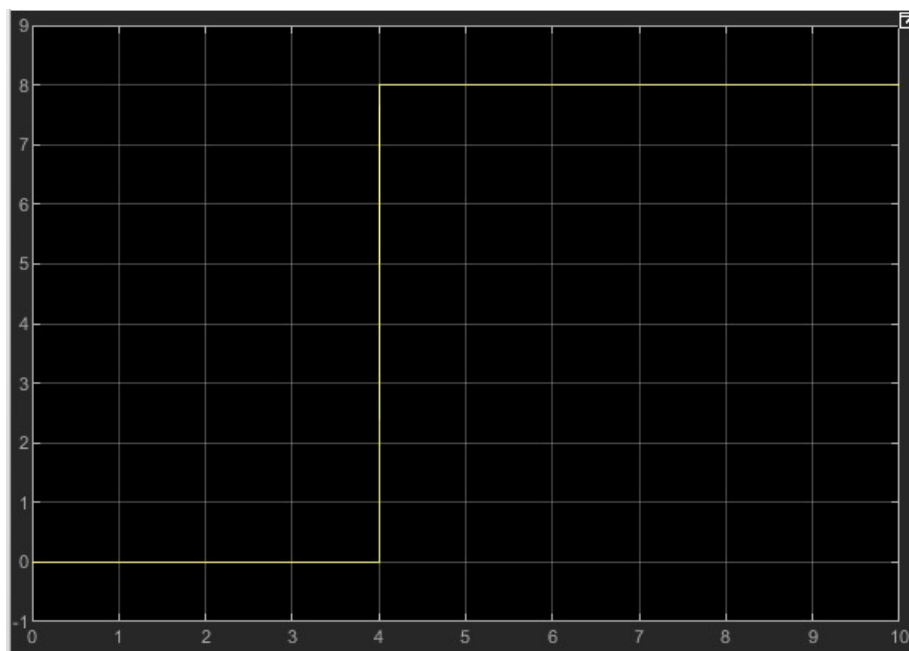




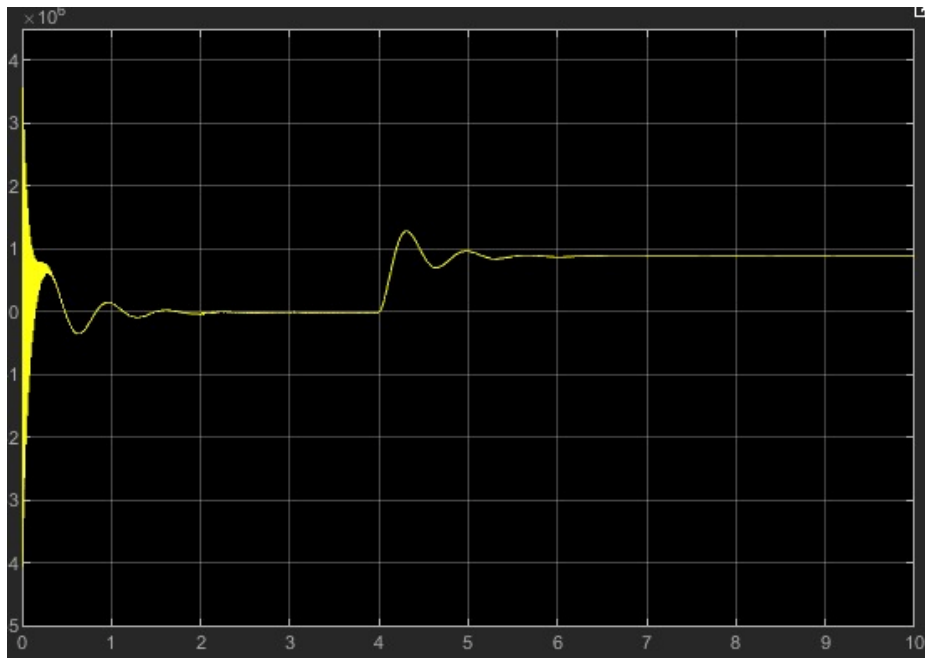
*Ilustración 32: Potencia obtenida para velocidad de 6m/s*

La potencia obtenida para esta velocidad es positiva y de valor  $1.2945e5$  W.

### 3. Viento de 0 a 8 m/s



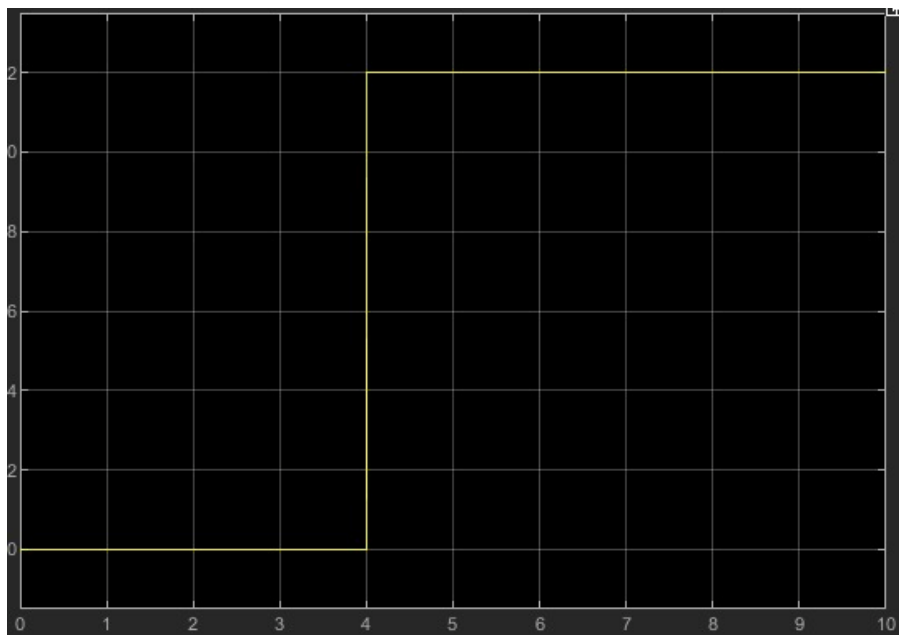
*Ilustración 33: Velocidad del viento de 0 a 8m/s*



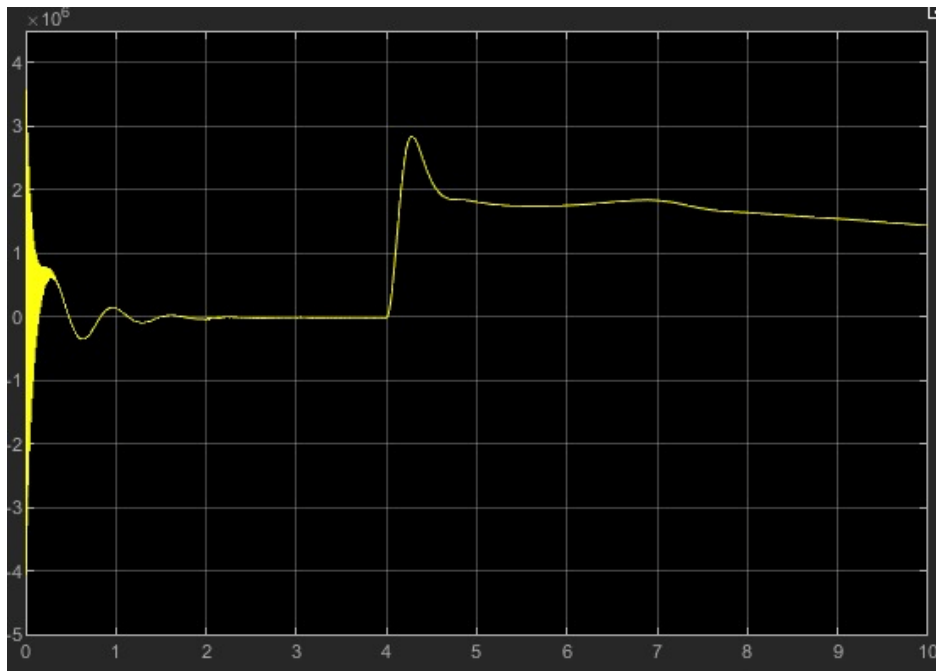
*Ilustración 34: Potencia obtenida para velocidad de 8m/s*

La potencia obtenida para esta velocidad es positiva y de valor  $8.781e5$  W.

#### 4. Viento de 0 a 12m/s



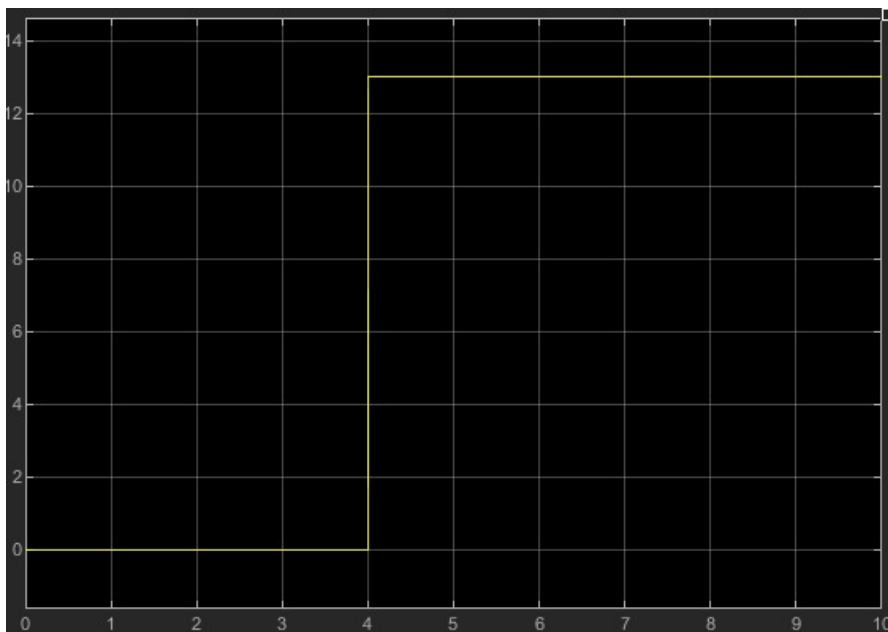
*Ilustración 35: Velocidad de viento de 0 a 12m/s*



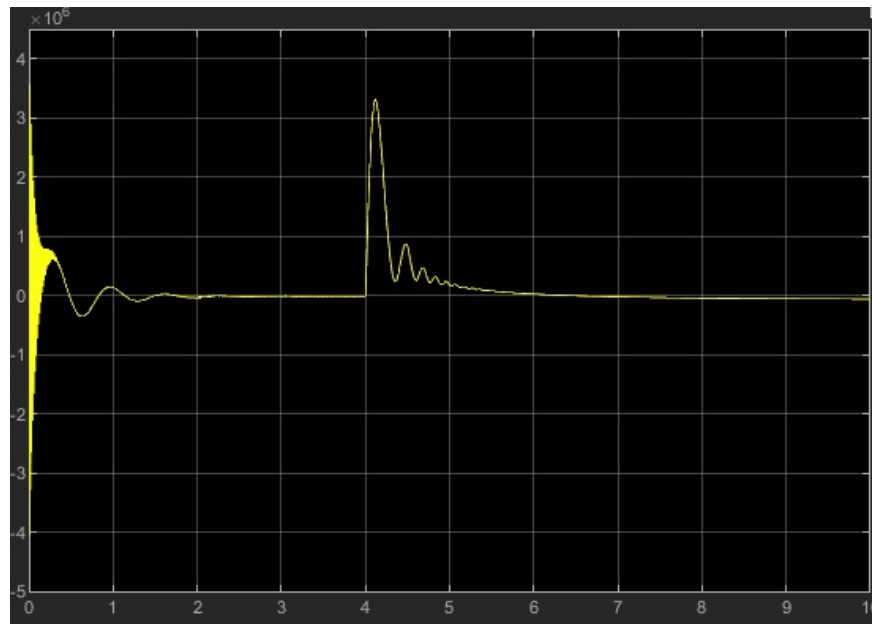
*Ilustración 36: Potencia obtenida para velocidad de 12m/s*

La potencia obtenida para esta velocidad es positiva y de valor  $1.432e6$  W.

5. Viento de 0 a 13m/s



*Ilustración 37: Velocidad del viento de 0 a 13 m/s*



*Ilustración 38: Potencia obtenida para velocidad de 13m/s*

La potencia obtenida para esta velocidad es negativa y de valor  $-6.12345e4$  W.

### **8.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Tras las simulaciones realizadas, para un viento base de 9m/s, se obtiene la potencia generada por la turbina dependiendo de la velocidad del viento de entrada y para el ángulo de palas más eficiente para cada caso.

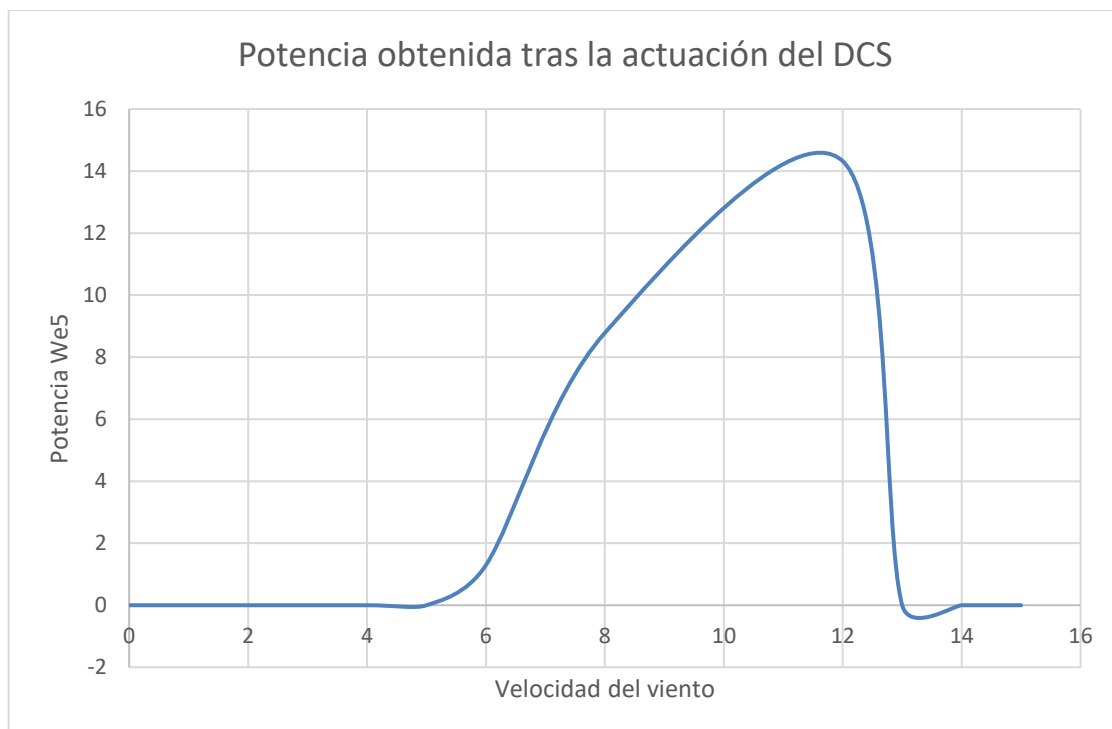
Se puede comprobar en base a los resultados que hay ciertas velocidades de viento para las cuales la potencia es negativa, es decir, la energía que se utiliza para mover la turbina es mayor que la generada. No es eficiente. Esto es para el caso en que la velocidad del viento es demasiado baja o alta. Como se comentaba anteriormente, el DCS en estos casos actuara para no perder energía y proteger la turbina.

En el caso de velocidades muy altas (mayor de 12 m/s), el DCS envía una señal para frenar el rotor y poner la turbina en modo de seguridad (pitch control para las palas en ángulo de bandera) para evitar daños por exceso de velocidad del viento.

Y en el caso de velocidades de viento muy bajas, el DCS mandará una señal para parar la turbina.

Hay una diferencia entre las velocidades teóricas y las que se han obtenido en este ensayo. En las teóricas se hablaba de velocidades bajas para velocidades por debajo de 3m/s y altas por encima de 25m/s. En cambio, en este caso simulado las velocidades a las que deja de ser eficientes son por debajo de 5m/s y por encima de 12m/s. Esto se debe a las condiciones de la simulación, la velocidad base del viento que se ha propuesto, la potencia máxima de la turbina en la velocidad base del viento, la potencia mecánica máxima de la turbina... entre otras.

Por lo tanto, tras la simulación realizada y contando con la actuación del DCS para parar la turbina en caso de potencia negativa, la curva de potencia para este circuito eléctrico es:



*Ilustración 39: Curva de potencia para el caso simulado*

Se puede observar que el caso de más potencia obtenida es para una velocidad del viento cercana a 12 m/s.

## Capítulo 9. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para realizar una evaluación económica detallada del coste, se asume dos proyectos distintos de Sistemas Distribuidos de Control, uno en un parque eólico de 1.5MW y otro en una planta fotovoltaica de 1MW. Para cada uno de ellos se debe considerar varios componentes y aspectos clave:

### 9.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO

#### 1. Paneles fotovoltaicos:

Se elige paneles solares Canadian Solar 330 W CS6K-33MS. El coste de cada panel es de 150 €. El número de paneles para 1MW, es de 3.000.

Se elige Canadian Solar ya que es uno de los fabricantes líderes en la industria solar y es reconocido por su eficiencia y durabilidad. Además, el precio es competitivo y permite mantener el coste del proyecto bajo sin comprometer la calidad.

*Precio paneles: 3.000 paneles x 150 €/panel = 450.000 €*

#### 2. Inversores:

Se elige los inversores SMA Sunny Boy 5.0-US. El coste de cada inversor es aproximadamente 1500 €. Se necesitan 10 inversores para esta instalación.

SMA es un fabricante de renombre mundial en el campo de los inversores solares. El modelo Sunny Boy 5.0-US es una opción popular para instalaciones residenciales y comerciales. Su coste es un poco más alto de la media, pero ofrece un excelente retorno de inversión debido a su eficiencia y longevidad

*Precio Inversores: 10 inversores x 1.500€/ inversor = 15.000 €*

### **3. Baterías de Almacenamiento:**

Se eligen baterías Tesla Powerwall 2. El coste de cada batería es de 7500 €. Se necesitan aproximadamente 20 baterías. Tesla es pionero en la tecnología de almacenamiento de energía, y su Powerwall 2 es una de las soluciones de almacenamiento más avanzadas y fiables disponibles en el mercado. Las baterías Tesla Powerwall 2 permiten maximizar el uso de la energía solar almacenada, mejorando la autosuficiencia energética del sistema. Aunque el coste de 7500 € por batería es considerable, la fiabilidad y eficiencia a largo plazo justifican la inversión.

*Precio Baterías: 20 baterías x 7.500 €/batería = 150.000*

### **4. Estructuras de Montaje:**

Se eligen estructuras del tipo IronRidge XR10. El coste es de 0.2 € por watio. IronRidge es conocido por fabricar sistemas de montaje de alta calidad que son robustos y fáciles de instalar. El coste de 0.2 € por watio es competitivo y asegura que el sistema de montaje sea tanto económico como fiable, lo que es crucial para la estabilidad y eficiencia del sistema fotovoltaico en general.

*Precio Estructura de montaje: 0.2 €/watio x 1MW = 200.000€*

### **5. Coste de Instalación y Mantenimiento:**

El coste de la instalación fotovoltaica es aproximadamente de 1000€por kW instalado. Este dato se obtiene de informes obtenidos por la Agencia Internacional de Energía, en concreto de estimar el precio por kW en base al precio en varios países (IEA, 2020). A este coste hay que sumarle el del mantenimiento anual, que es un 1-2% del coste de la instalación inicial.

*Coste Instalación: 1.000.000€*

*Coste del Mantenimiento anual: 20.000€*

## **6. Coste de Personal:**

Ingenieros de proyecto (salario anual por ingeniero): 60.000 – 80.000 €

Técnicos de mantenimiento (salario anual por persona): 40.000 – 50.000 €

Operadores de plantas (salario anual por persona): 35.000 – 45.000 €

*El coste en personal al año es aproximadamente de 300.000 €. (1 ingeniero, 2 técnicos de mantenimiento y 5 operadores de planta)*

## **7. Coste de Software y Licencias:**

Se elige un sistema SCADA, que tiene un precio de entre 20.000 y 50.000 por licencia. (VTScada, s.f.)

*Precio SCADA: 50.000€*

## **8. Coste del Seguro:**

El coste anual del seguro es aproximadamente del 0.5 % del coste total del proyecto.

*Coste del seguro:  $0.5\% \times 1.750.000 = 8.750 \text{ €}$*

## **9. Coste Administrativo:**

El coste anual de los temas administrativos es aproximadamente el 2-3 % del coste total del proyecto.

*Coste Administrativo:  $2.5\% \times 1.750.000 = 43.750 \text{ €}$*

Sumando todos los costes:

Coste total anual inicial: 2.237.500 €



## **9.2 SISTEMA EÓLICO**

### **Aerogeneradores**

Se elige aerogeneradores Vestas V100 – 2.0 MW. El coste de cada aerogenerador es de 1.200.000 €. El número de aerogeneradores para una instalación de 1.5MW, es de 1. Se eligió Vestas V100 – 2.0 MW debido a su reputación como uno de los principales fabricantes de aerogeneradores en el mundo. Este modelo ofrece un rendimiento eficiente y es adecuado para una capacidad de 1.5 MW. Aunque el coste inicial es elevado, la durabilidad y la eficiencia del aerogenerador justifican la inversión.

*Precio aerogenerador: 1 aerogenerador x 1.200.000 €/aerogenerador = 1.200.000 €*

### **Transformadores:**

Se elige los transformadores ABB Power Transformer. El coste de cada transformador es aproximadamente 50.000 €. Se necesita 1 transformador para esta instalación. ABB fue seleccionado por su renombre y experiencia en la fabricación de transformadores de alta calidad. El modelo ABB Power Transformer ofrece la fiabilidad y la eficiencia necesarias para la instalación, asegurando un rendimiento óptimo y una integración perfecta con los aerogeneradores de Vestas.

*Precio Transformador: 1 trafa x 50.000€/ trafa =50.000 €*

### **Coste de Instalación y Mantenimiento:**

El coste de la instalación eólica es aproximadamente de 1200€ por kW instalado. Este dato se obtiene de analizar varios proyectos y a partir de la información obtenida en WINDEXchange (WINDEXchange, s.f.). A este coste hay que sumarle el del mantenimiento anual, que es un 2-3% del coste de la instalación inicial.

*Coste Instalación: 1.800.000€*

*Coste del Mantenimiento anual: 54.000€*

### **Coste de Personal:**

Ingenieros de proyecto (salario anual por ingeniero): 60000 – 80000 €

Técnicos de mantenimiento (salario anual por persona): 40000 – 50000 €

Operadores de plantas (salario anual por persona): 35000 – 45000 €

*El coste en personal al año es aproximadamente de 150.000 €. (1 ingeniero, 1 técnico de mantenimiento y 2 operadores de planta)*

### **Coste de Software y Licencias:**

Se elige un sistema SCADA, que tiene un precio de entre 20000 y 50000 por licencia.  
(VTScada, s.f.)

*Precio SCADA: 50000€*

### **Coste del Seguro:**

El coste anual del seguro es aproximadamente del 0.5 % del coste total del proyecto.

*Coste del seguro:  $0.5\% \times 2.400.000 = 12.000 \text{ €}$*

### **10. Coste Administrativo:**

El coste anual de los temas administrativos es aproximadamente el 1-3 % del coste total del proyecto.

*Coste Administrativo:  $1.5\% \times 2.400.000 = 36.000 \text{ €}$*

Sumando todos los costes:

Coste total anual inicial: 3.352.000 €

## Capítulo 10. CONCLUSIONES

El presente proyecto ha explorado el diseño y la implementación de un Sistema Distribuido de Control (DCS) en plantas de energía renovable, específicamente en parques eólicos y plantas fotovoltaicas. A lo largo del desarrollo del proyecto, se ha profundizado en la necesidad creciente de optimizar la operación y el mantenimiento de estas instalaciones mediante el uso de tecnologías avanzadas de control automático.

Mediante un enfoque integral que incluye la simulación y el análisis de distintos escenarios operativos, se han identificado los beneficios y las mejoras que un DCS puede aportar a la eficiencia y seguridad de las plantas de energías renovables.

A continuación, se presentan las conclusiones derivadas de este estudio, las cuales destacan los principales hallazgos y las implicaciones prácticas de la implementación de un DCS en el sector de las energías renovables:

1. **Eficiencia y Seguridad:** La implementación de un Sistema Distribuido de Control (DCS) en plantas de energías renovables ha demostrado mejorar la eficiencia y la seguridad operativa. La capacidad del DCS para monitorear y ajustar en tiempo real los parámetros críticos asegura una operación óptima y protege los equipos de condiciones adversas.
2. **Optimización de la Energía Eólica:** En las simulaciones de plantas eólicas, el DCS fue capaz de detener las turbinas en condiciones de viento extremas (muy bajas o altas) para evitar daños y pérdidas de energía. Esto asegura que las turbinas funcionen dentro de los rangos eficientes, maximizando la generación de energía.
3. **Mejora en Plantas Fotovoltaicas:** En las plantas fotovoltaicas, el DCS ajustó automáticamente los ángulos de los paneles y otros parámetros operativos para optimizar la captación de energía solar. También gestionó eficientemente las condiciones de carga y descarga de las baterías para prolongar su vida útil.

4. **Integración y Flexibilidad:** Los sistemas DCS ofrecen una integración flexible con otros sistemas empresariales y permiten escalabilidad, lo cual es crucial para adaptarse a futuros aumentos de capacidad sin necesidad de reemplazar el sistema completo.
5. **Contribución a la Sostenibilidad:** El uso de DCS en energías renovables contribuye directamente a la sostenibilidad al mejorar la eficiencia energética y reducir la dependencia de combustibles fósiles. Esto es esencial para combatir el cambio climático y promover el desarrollo económico a través de la creación de empleos en el sector de las energías renovables.

## Capítulo 11. BIBLIOGRAFÍA

Astolfi, D. (2023). Obtenido de <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/12/5376>

DCS Module. (2021). Obtenido de [https://es.dcsmodule.com/what-is-distributed-control-system-dcs\\_n20](https://es.dcsmodule.com/what-is-distributed-control-system-dcs_n20)

Dvorak, P. (2015). Obtenido de <https://www.windpowerengineering.com/where-are-signal-and-control-cables-used-in-wind-turbines/>

Ecofener. (2023). Obtenido de <https://ecofener.com/blog/que-tipos-de-sistemas-solares-termicos-existen/>

ENDEF Solar Solutions. (s.f.). Obtenido de <https://endef.com/tipos-instalaciones-solares-fotovoltaicas/>

ENSE . (2021). Obtenido de <https://enseconil.com/elementos-de-un-sistema-fotovoltaico/>

Froese, M. (2015). *Windpower* . Obtenido de <https://www.windpowerengineering.com/making-the-connection-advanced-networking-at-wind-farms/>

GREEN GENERATION & STORAGE. (s.f.). Obtenido de <https://www.ormazabal.com/sabes-como-funciona-un-parque-eolico-terrestre/>

Hydronik. (2022). Obtenido de <https://hydronik.es/sistema-solar-termico-definicion-aplicaciones/>

IEA. (2020). Obtenido de <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/capital-costs-of-utility-scale-solar-pv-in-selected-emerging-economies>

IEA. (2020). Obtenido de <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/capital-costs-of-utility-scale-solar-pv-in-selected-emerging-economies>

Naciones Unidas. (2015). Obtenido de

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Red Eléctrica Española. (2024). Obtenido de

<https://www.ree.es/es/datos/generacion/potencia-instalada>

*Solar Fotovoltaico*. (s.f.). Obtenido de <https://solar-fotovoltaico.com/>

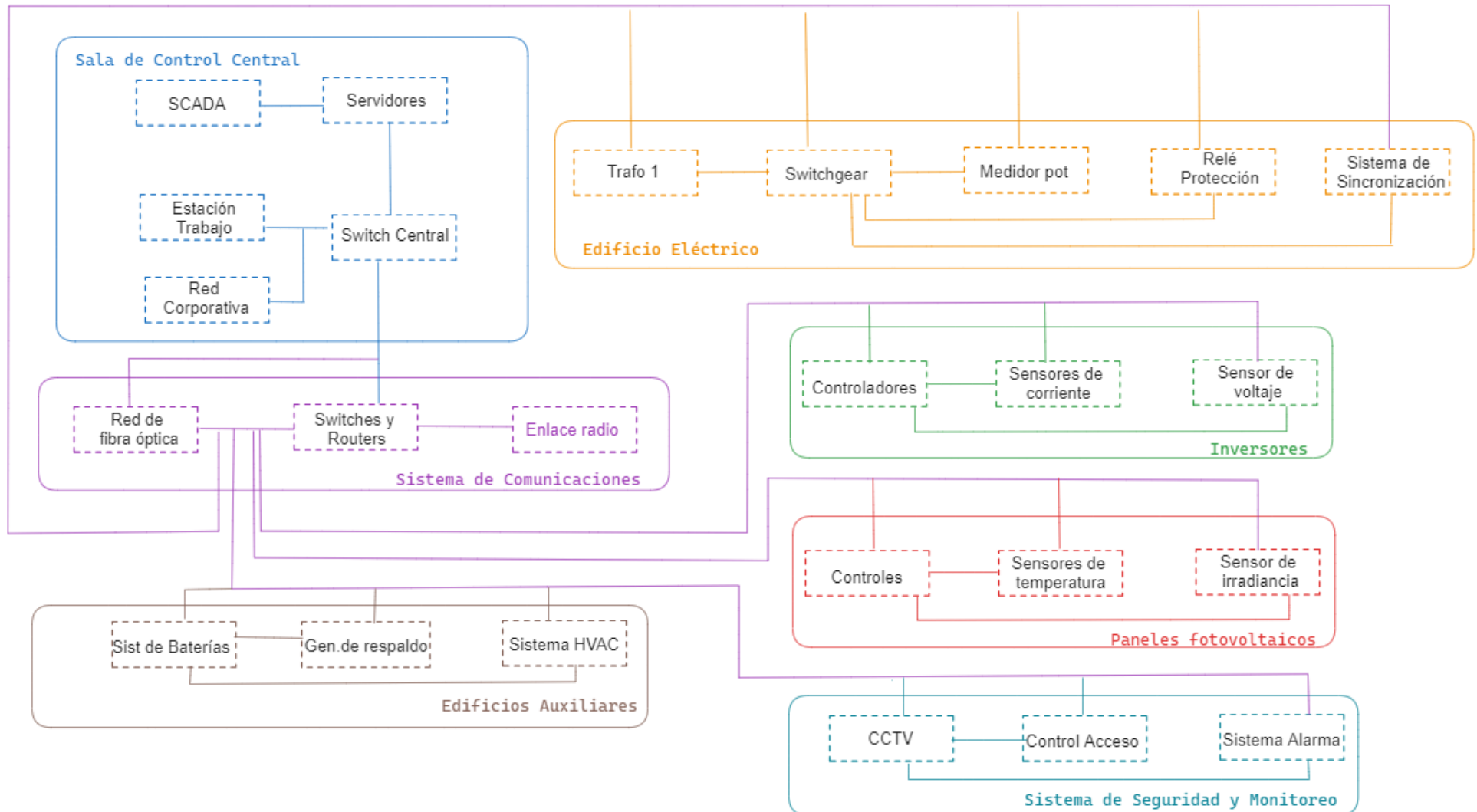
VTScada. (s.f.). Obtenido de <https://www.vtscada.com/scada-software-pricing/>

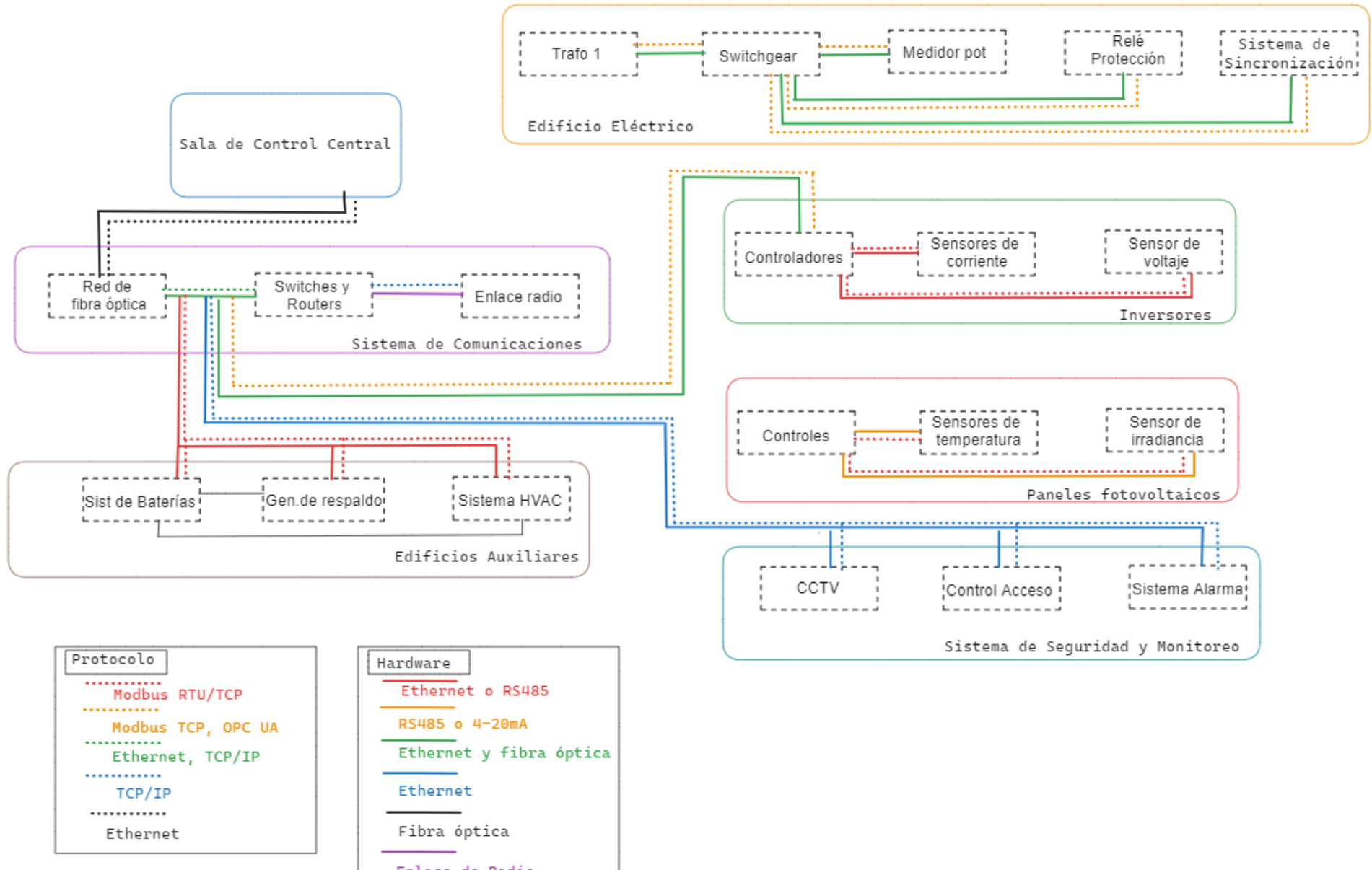
WINDEXchange. (s.f.). Obtenido de <https://windexchange.energy.gov/projects/economics>

Zent, H. (2022). Obtenido de <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/14/5280>

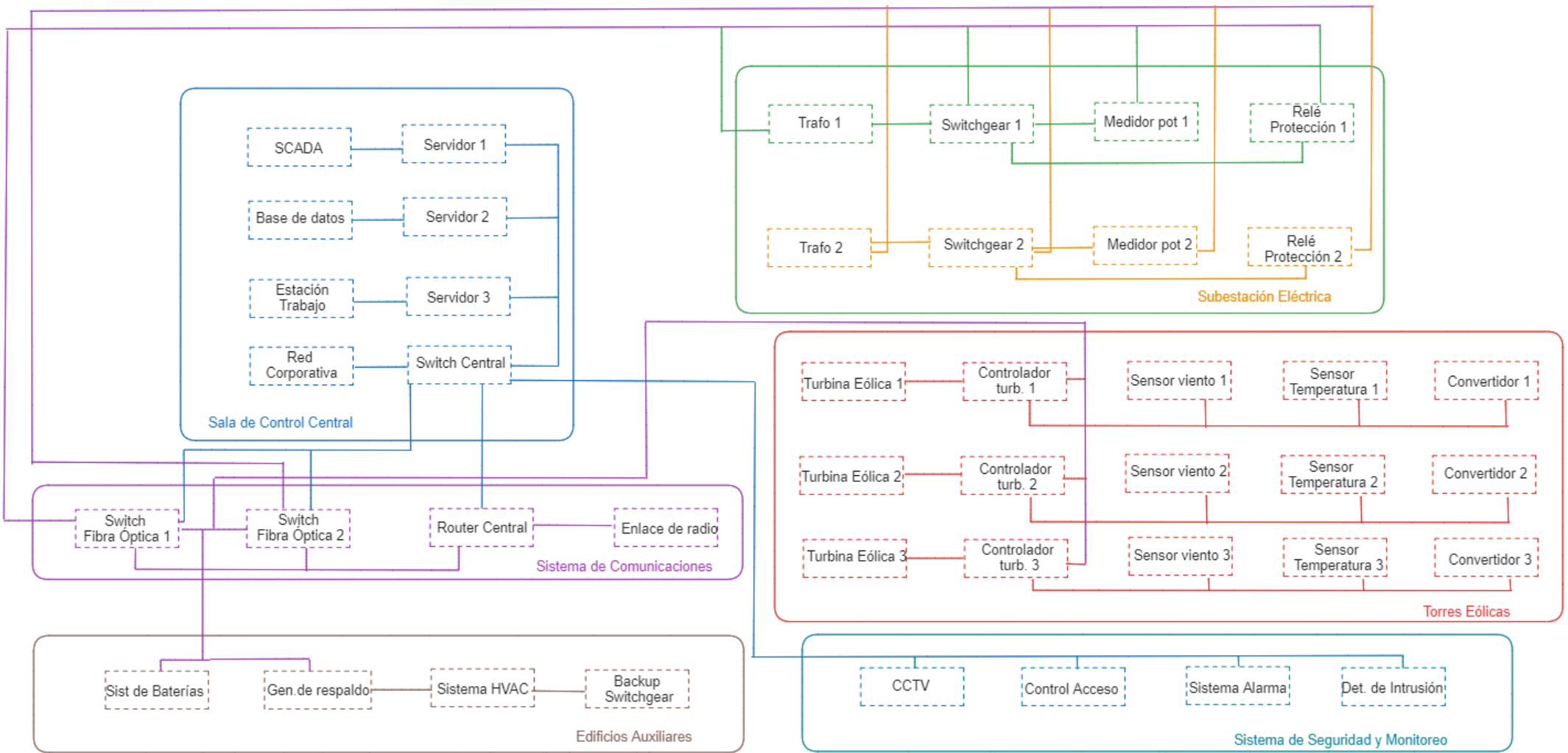
Zipp, K. (2012). Obtenido de <https://www.windpowerengineering.com/cables-101/>

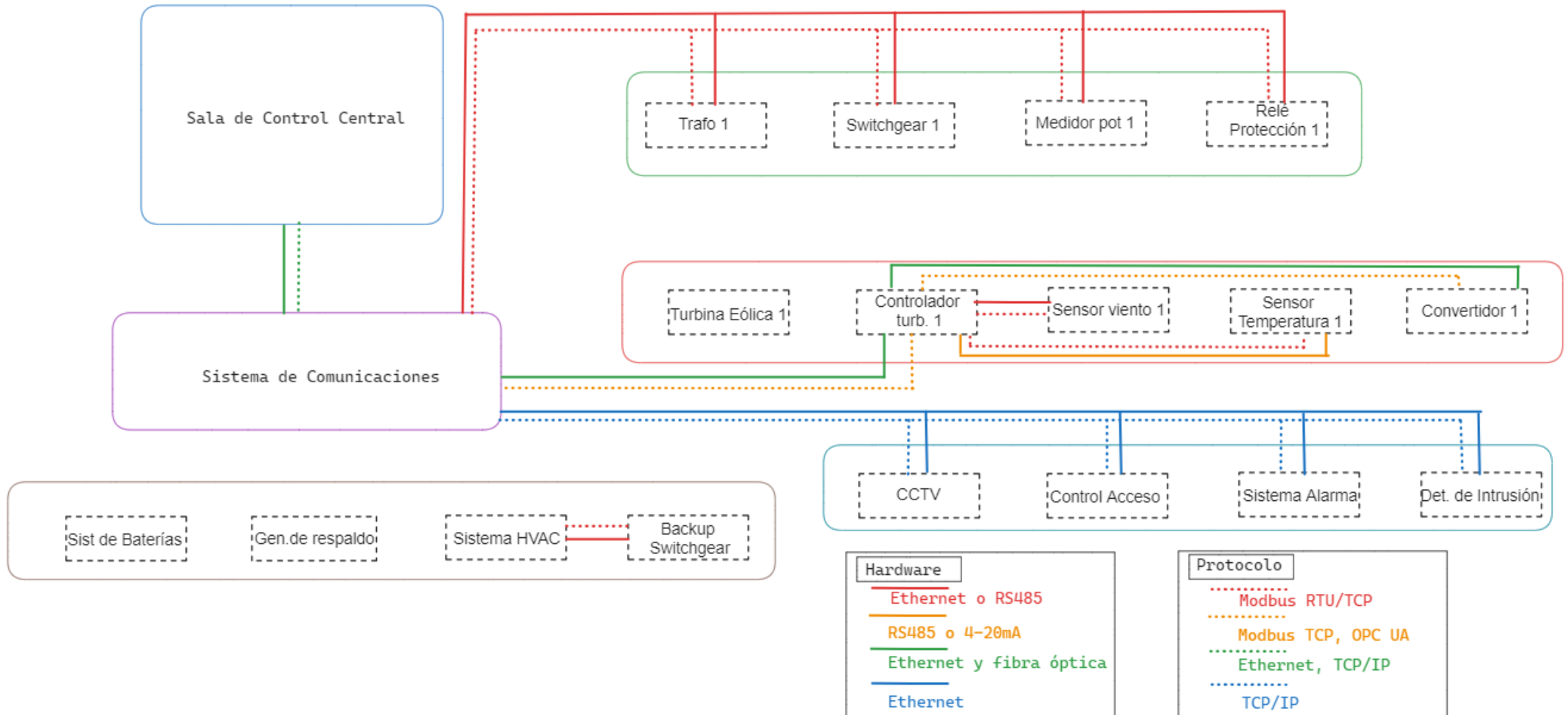
## ANEXO I: PLANOS DE DISEÑO

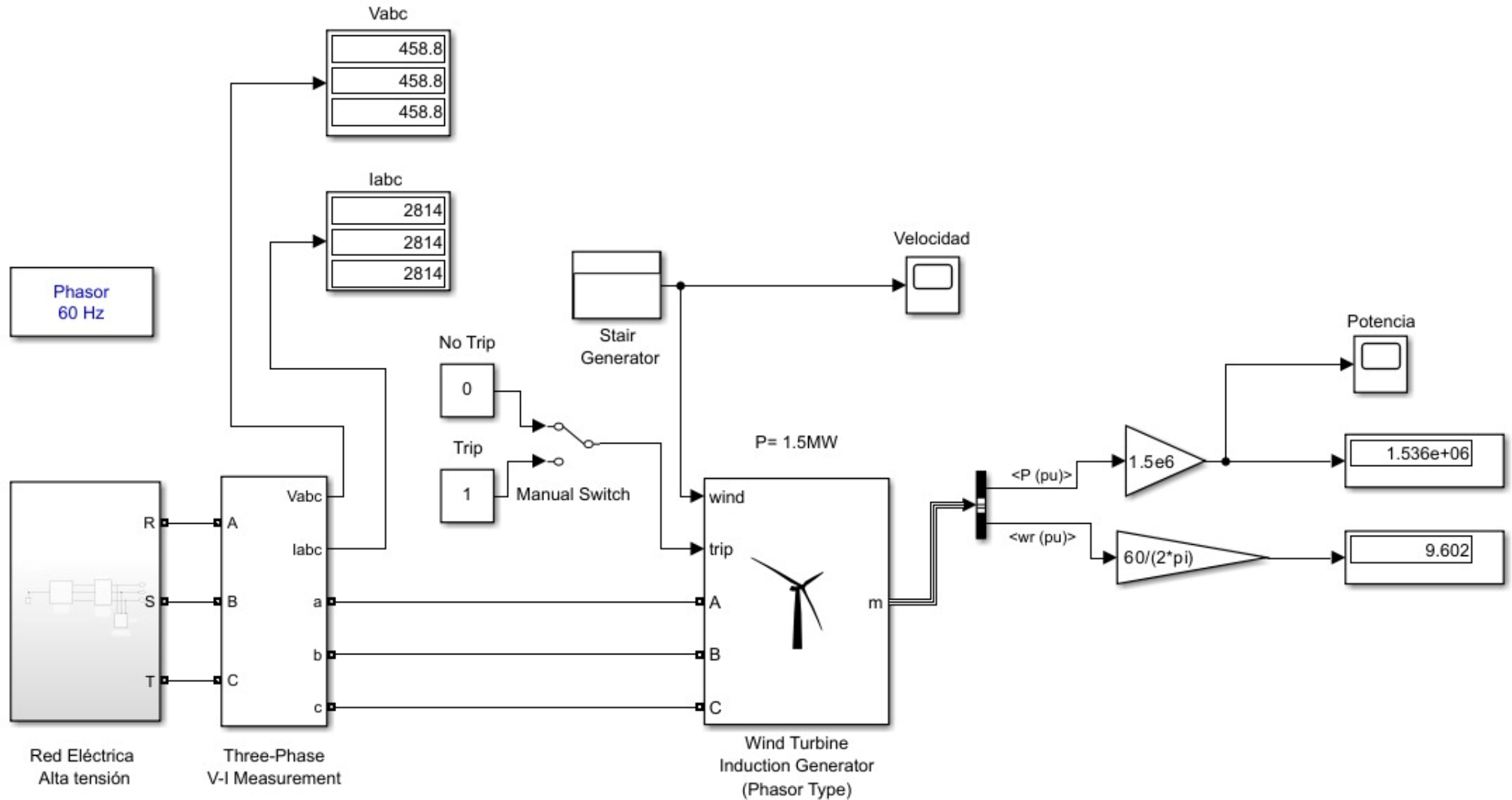


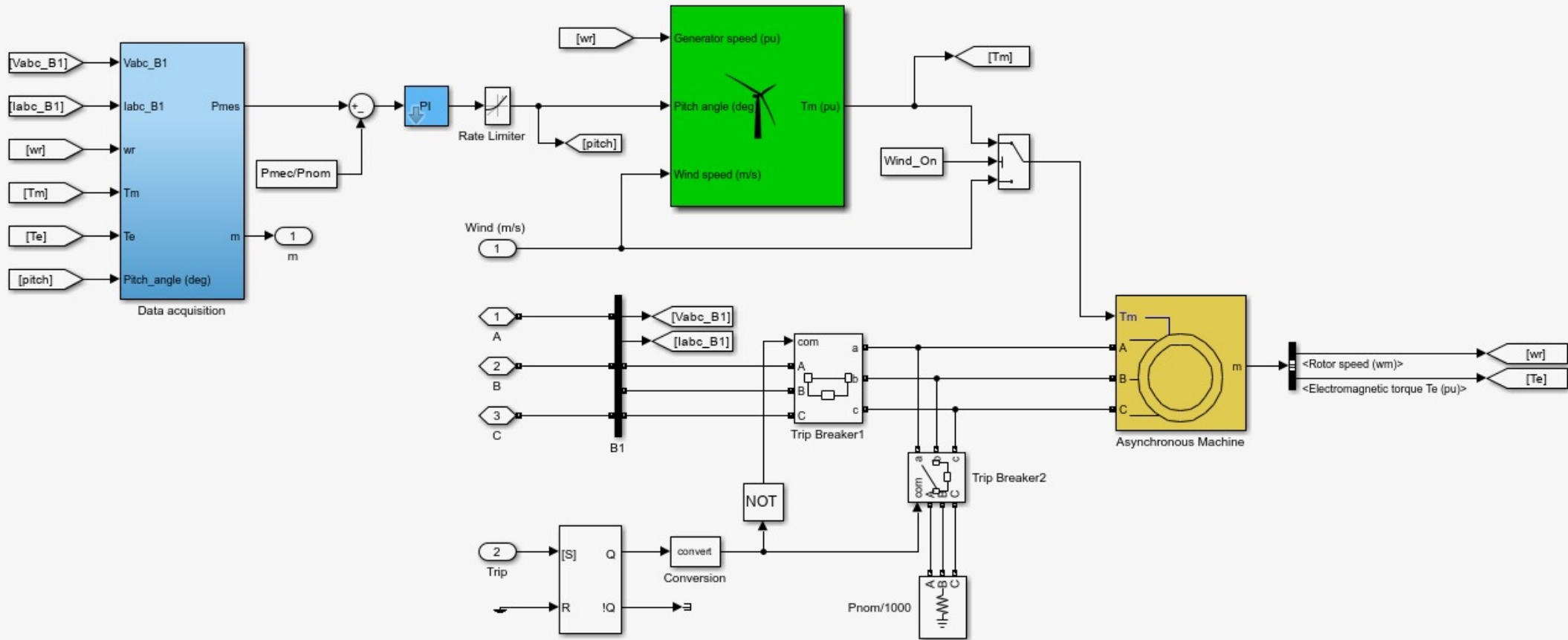




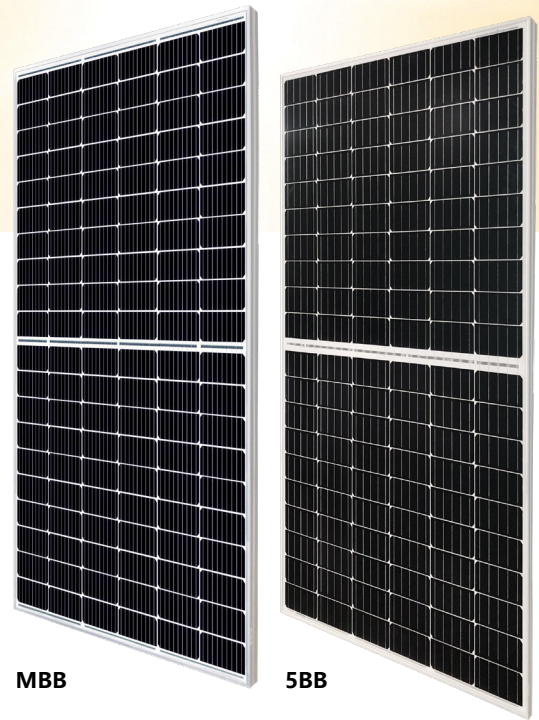








## **ANEXO II: CATÁLOGOS**



MBB

5BB

\*Black frame product can be provided upon request.

# KuPower

## HIGH EFFICIENCY MONO PERC MODULE

### CS3K-315|320|325|330|335MS

#### (1000 V / 1500 V)

#### MORE POWER



Low power loss in cell connection



Low NMOT:  $42 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$   
Low temperature coefficient (Pmax):  $-0.36 \text{ } \%/ \text{ }^\circ\text{C}$



Better shading tolerance



High PTC rating of up to: 93.28 %

#### MORE RELIABLE



Lower hot spot temperature



Minimizes micro-crack impacts



Heavy snow load up to 6000 Pa,  
wind load up to 4000 Pa\*



linear power output warranty\*



enhanced product warranty on materials  
and workmanship\*

\*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

#### MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES

ISO 9001:2015 / Quality management system  
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system  
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

#### PRODUCT CERTIFICATES\*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / CQC / MCS / INMETRO  
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US) / FSEC (US Florida)  
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE / IEC 60068-2-68: SGS  
Take-e-way



\* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

**CANADIAN SOLAR INC.** is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. No. 1 module supplier for quality and performance / price ratio in IHS Module Customer Insight Survey. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 40 GW deployed around the world since 2001.

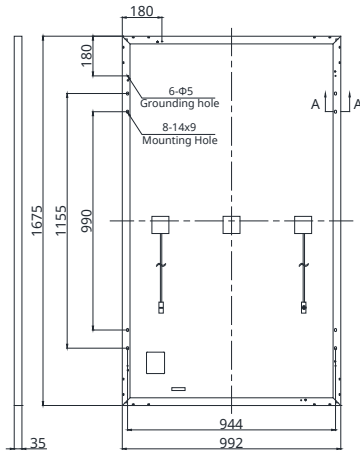
\* For detailed information, please refer to the Installation Manual.

**CANADIAN SOLAR INC.**

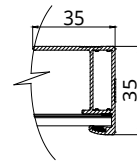
545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, [www.canadiansolar.com](http://www.canadiansolar.com), [support@canadiansolar.com](mailto:support@canadiansolar.com)

## ENGINEERING DRAWING (mm)

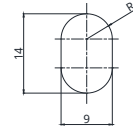
### Rear View



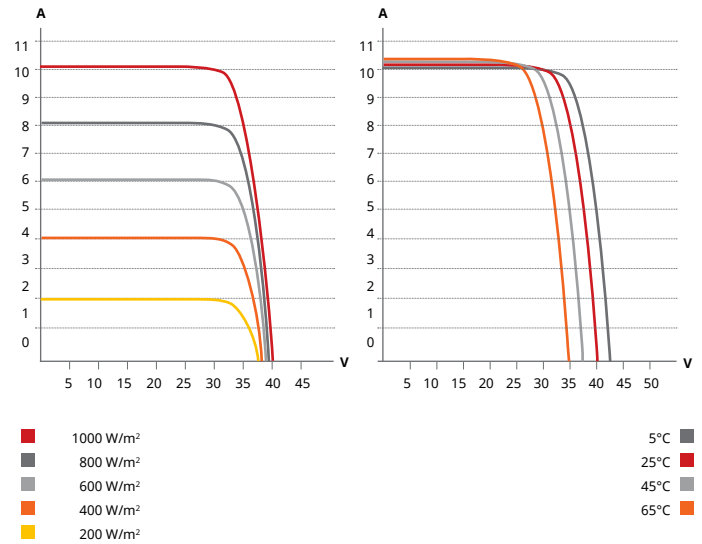
### Frame Cross Section A-A



### Mounting Hole



## CS3K-320MS / I-V CURVES



## MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	120 [2 X (10 X 6)]
Dimensions	1675 X 992 X 35 mm (65.9 X 39.1 X 1.38 in)
Weight	18.5 kg (40.8 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4.0 mm <sup>2</sup> (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 400 mm (15.7 in) (+) / 280 mm (11.0 in) (-); landscape: 1160 mm (45.7 in)*
Connector	T4 series or H4 UTX or MC4-EVO2
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	840 pieces

\* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

## TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.36 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.29 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42 ± 3°C

## PARTNER SECTION



## ELECTRICAL DATA | STC\*

CS3K	315MS	320MS	325MS	330MS	335MS
Nominal Max. Power (Pmax)	315 W	320 W	325 W	330 W	335 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	33.1 V	33.3 V	33.5 V	33.7 V	33.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	9.52 A	9.61 A	9.71 A	9.80 A	9.89 A
Open Circuit Voltage (Voc)	39.9 V	40.1 V	40.3 V	40.5 V	41.2 V
Short Circuit Current (Isc)	10.06 A	10.14 A	10.22 A	10.30 A	10.39 A
Module Efficiency	19.0%	19.3%	19.6%	19.9%	20.2%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C				
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)				
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or Class C (IEC 61730)				
Max. Series Fuse Rating	30 A				
Application Classification	Class A				
Power Tolerance	0 ~ + 10 W				

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

## ELECTRICAL DATA | NMOT\*

CS3K	315MS	320MS	325MS	330MS	335MS
Nominal Max. Power (Pmax)	235 W	238 W	242 W	246 W	249 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	30.8 V	31.0 V	31.2 V	31.4 V	31.6 V
Opt. Operating Current (Imp)	7.61 A	7.69 A	7.76 A	7.84 A	7.91 A
Open Circuit Voltage (Voc)	37.4 V	37.6 V	37.8 V	38.0 V	38.6 V
Short Circuit Current (Isc)	8.12 A	8.18 A	8.24 A	8.31 A	8.38 A

\* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

\* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustments to the information described herein at any time without further notice. Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

## CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, [www.canadiansolar.com](http://www.canadiansolar.com), [support@canadiansolar.com](mailto:support@canadiansolar.com)



# SUNNY BOY 3.0 / 3.6 / 4.0 / 5.0 / 6.0 con SMA SMART CONNECTED



SB3.0-1AV-41 / SB3.6-1AV-41 / SB4.0-1AV-41 / SB5.0-1AV-41 / SB6.0-1AV-41



**SMA ShadeFix**  
STRING LEVEL OPTIMIZATION

Servicio de monitorización premium  
**SMA SMART CONNECTED**



## Compacto

- Montaje por parte de una sola persona gracias al bajo peso de 17,5 kg
- Mínima necesidad de espacio gracias al diseño compacto

## Cómodo

- Instalación 100 % plug & play
- Monitorización en línea gratuita por medio de SMA Energy App
- Servicio automatizado mediante SMA Smart Connected
- Extensión de la garantía del fabricante de 5 a 10 años de forma gratuita

## De gran rendimiento

- Aprovechamiento de la energía sobrante por la limitación de la potencia activa dinámica
- Aumento del rendimiento sin trabajo de montaje gracias a la gestión de sombras integrada SMA ShadeFix

## Combinable

- Ampliable en cualquier momento con gestión inteligente de la energía y soluciones de almacenamiento
- Ampliables con el SMA Power Limiter para el uso de un receptor estático de telemando centralizado

## SUNNY BOY 3.0 / 3.6 / 4.0 / 5.0 / 6.0

Mayor rendimiento para los hogares particulares: generación inteligente de la energía solar

El nuevo Sunny Boy 3.0-6.0 garantiza máximos rendimientos energéticos para los hogares particulares. Este combina el servicio integrado SMA Smart Connected con una tecnología inteligente para cualquier requisito del entorno. El equipo es fácil de instalar gracias a su diseño extremadamente sencillo. Mediante la interfaz web integrada, el Sunny Boy puede ponerse rápidamente en funcionamiento a través del teléfono inteligente o la tableta. Para requisitos especiales en el techo, el SMA ShadeFix garantiza un máximo rendimiento de la instalación fotovoltaica. Los estándares de comunicación actuales hacen que el inversor pueda ampliarse con seguridad para el futuro y de forma flexible en cualquier momento con la gestión inteligente de la energía y las soluciones de almacenamiento de SMA.



# SMA SMART CONNECTED

## Servicio técnico integrado para un confort absoluto

SMA Smart Connected\* es la monitorización gratuita del inversor a través de Sunny Portal de SMA. Si se produce un error en un inversor, SMA informa de manera proactiva al operador de la planta y al instalador. Esto ahorrará valiosas horas de trabajo y costes.

Con SMA Smart Connected el instalador se beneficia del diagnóstico rápido de SMA, lo que le permite solucionar los errores con rapidez y ganarse la simpatía del cliente con atractivas prestaciones adicionales.



### ACTIVACIÓN DE SMA SMART CONNECTED

El instalador activa SMA Smart Connected durante el registro de la planta en Sunny Portal y de este modo se beneficia de la monitorización automática de inversores por parte de SMA.



### MONITORIZACIÓN AUTOMÁTICA DE INVERSORES

Con SMA Smart Connected, SMA se hace cargo de la monitorización de los inversores. SMA supervisa cada uno de los inversores de forma automática y permanente para detectar anomalías en el funcionamiento. De este modo, los clientes se benefician de la vasta experiencia de SMA.



### COMUNICACIÓN PROACTIVA EN CASO DE ERRORES

Tras el diagnóstico y el análisis de un error, SMA informa de inmediato al instalador y al cliente final por correo electrónico. Así todas las partes están perfectamente preparadas para corregir el error. Esto minimiza el tiempo de parada y, en consecuencia, ahorra tiempo y dinero. Gracias a los informes regulares sobre el rendimiento se obtienen valiosas conclusiones adicionales acerca del sistema completo.



### SERVICIO DE RECAMBIO

En caso de requerirse un equipo de recambio, SMA suministra automáticamente un nuevo inversor en el plazo de 1 a 3 días tras diagnosticarse el error. El instalador puede dirigirse de forma activa al operador de la planta para la sustitución del inversor.



### SERVICIO DE RENDIMIENTO

El operador de la planta puede exigir un pago compensatorio de parte de SMA si el inversor de recambio no se entrega dentro del plazo de 3 días.

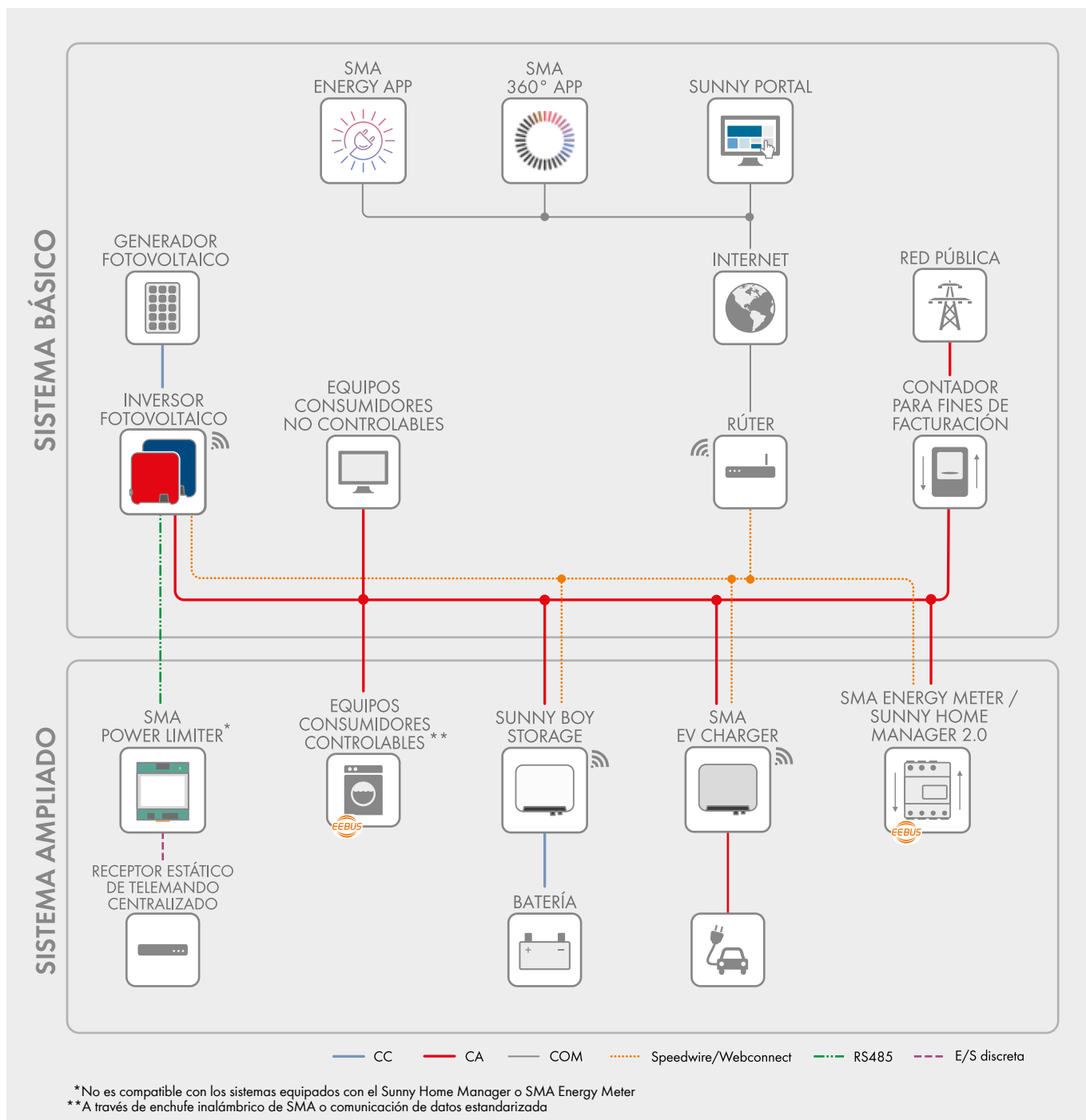
\* Para más detalles, véase el documento "Descripción de los servicios: SMA SMART CONNECTED"

Datos técnicos	Sunny Boy 3.0	Sunny Boy 3.6	Sunny Boy 4.0	Sunny Boy 5.0	Sunny Boy 6.0
<b>Entrada (CC)</b>					
Potencia máx. del generador fotovoltaico	5500 Wp	5500 Wp	7500 Wp	7500 Wp	9000 Wp
Tensión de entrada máx.	600 V				
Rango de tensión del MPP	De 110 V a 500 V	De 130 V a 500 V	De 140 V a 500 V	De 175 V a 500 V	De 210 V a 500 V
Tensión asignada de entrada	365 V				
Tensión de entrada mín./de inicio	100 V/125 V				
Corriente máx. de entrada, entradas: A/B	15 A/15 A				
Corriente máx. de entrada por string, entradas: A / B	20 A/20 A				
Número de entradas de MPP independientes/Strings por entrada de MPP	2/A:2; B:2				
<b>Salida (CA)</b>					
Potencia asignada (a 230 V, 50 Hz)	3000 W	3680 W	4000 W	5000 W <sup>1)</sup>	6000 W
Potencia máx. aparente de CA	3000 VA	3680 VA	4000 VA	5000 VA <sup>1)</sup>	6000 VA
Tensión nominal de CA/Rango	220 V, 230 V, 240 V/De 180 V a 280 V				
Frecuencia de red de CA/Rango	50 Hz, 60 Hz/De -5 Hz a +5 Hz				
Frecuencia asignada de red/Tensión asignada de red	50 Hz/230 V				
Corriente máx. de salida	13,7 A	16 A	18,2 A	22,8 A	26,1 A
Factor de potencia a potencia asignada	1				
Factor de desfase ajustable	0,8 inductivo a 0,8 capacitivo				
Fases de inyección/conexión	1/1				
<b>Rendimiento</b>					
Rendimiento máx./europeo Rendimiento	97,0%/96,4%	97,0%/96,5%	97,0%/96,5%	97,0%/96,5%	97,0%/96,6%
<b>Dispositivos de protección</b>					
Punto de desconexión en el lado de entrada	●				
Monitorización de toma a tierra/de red	●/●				
Protección contra polarización inversa de CC/Resistencia al cortocircuito de CA/con separación galvánica	●/●/—				
Unidad de seguimiento de la corriente residual sensible a la corriente universal	●				
Clase de protección (según IEC 61140)/Categoría de sobretensión (según IEC 60664-1)	I/III				
<b>Datos generales</b>					
Dimensiones (ancho/alto/fondo)	435 mm/470 mm/176 mm (17,1 in/18,5 in/6,9 in)				
Peso	17,5 kg (38,5 lb)				
Rango de temperatura de funcionamiento	De -25 °C a +60 °C (de -13 °F a +140 °F)				
Emisión sonora, típica	25 dB(A)				
Autoconsumo (nocturno)	5,0 W				
Topología	Sin transformador				
Sistema de refrigeración	Convección				
Tipo de protección (según IEC 60529)	IP65				
Clase climática (según IEC 60721-3-4)	4K4H				
Valor máximo permitido para la humedad relativa (sin condensación)	100 %				
<b>Equipamiento</b>					
Conexión de CC/CA	SUNCLIX/Conector de enchufe de CA				
Visualización a través de teléfono inteligente, tableta o portátil	●				
Interfaces: WLAN, Speedwire/Webconnect	▲/●/●				
Protocolos de comunicación	Modbus (SMA, Sunspec), Webconnect, SMA Data				
Gestión de las sombras: SMA ShadeFix (integrada)	●				
Garantía: 5/10/15 años	●/● <sup>2)</sup> /○				
Certificados y autorizaciones (otros a petición)	AS 4777.2, C10/11, CE, CEI 0-21, Dansk Energi DK1/2, DEWA, DIN EN 62109 / IEC 62109, EN 50438, EN 50549-1, G98/1, G99/1, IEC 61727, IEC 62116, IEC-EN50438, NBR16149, NEN-EN50438, NRS 097-2-1, NT_Ley20.571, ÖVE/ÖNORM E 8001-4-712 & TOR Erzeuger Typ A, PPC, PPDS, RD1699, RfG compliant, SI4777, UTE C15-712, VDE0126-1-1, VDE-AR-N 4105, VFR 2014				
Disponibilidad de SMA Smart Connected en los países	AU, AT, BE, CH, DE, ES, FR, IT, LU, NL, UK				
Modelo comercial	SB3.0-1AV-41	SB3.6-1AV-41	SB4.0-1AV-41	SB5.0-1AV-41	SB6.0-1AV-41

● Equipamiento de serie ○ Opcional — No disponible ▲ Según la disponibilidad Datos en condiciones nominales Versión: 01/2022

1) 4600 W/4600 VA para VDE-AR-N 4105

2) Al registrar el equipo a través de la página web de registro de productos de SMA (sma-service.com). Son aplicables las condiciones de la garantía del fabricante de SMA. Más información en SMA-Solar.com



### Funciones del SISTEMA BÁSICO

- Puesta en marcha sencilla gracias a la interfaz WLAN y Speedwire integrada
- Transparencia máxima gracias a la visualización en Sunny Portal/SMA Energy App
- Seguridad de la inversión por medio de SMA Smart Connected
- Modbus como interfaz de tercero

### Funciones del SISTEMA AMPLIADO

- Funciones del sistema básico
- Reducción del consumo de la red y aumento del autoconsumo mediante el uso de energía fotovoltaica almacenada provisionalmente
- Máxima utilización de la energía con una carga basada en la previsión
- Autoconsumo ampliado gracias a una gestión de la carga inteligente
- El SMA Power Limiter permite conectar los receptores estáticos de telemando centralizado de forma sencilla.

#### Con SMA Energy Meter

- Rendimiento máximo de la planta gracias a la limitación dinámica de la inyección a red entre el 0 % y el 100 %
- Visualización de los consumos energéticos

# POWERWALL

Tesla Powerwall es un sistema de batería de CA completamente integrado para uso residencial o comercial ligero. Su batería de iones de litio recargable proporciona almacenamiento de energía para autoconsumo solar, control programable y suministro de respaldo.

La interfaz eléctrica del Powerwall proporciona una conexión sencilla a cualquier casa o edificio. Su revolucionario diseño compacto alcanza una densidad energética líder en el mercado y es fácil de instalar, permitiendo a los propietarios empezar a beneficiarse rápidamente de las ventajas de una energía limpia y fiable.



## ESPECIFICACIONES DE RENDIMIENTO

Tensión de CA (nominal)	230 V
Tipo alimentación	Monofásica
Frecuencia de la red	50 Hz
Energía total <sup>1</sup>	14 kWh
Energía utilizable <sup>1</sup>	13,5 kWh
Potencia real, máx. continua	5 kW (carga y descarga)
Potencia aparente, máx. continua	5 kVA (carga y descarga)
Corriente nominal de salida de red	25 A
Corriente nominal de salida de respaldo	25 A
Corriente máxima de suministro en caso de fallo	10 kA
Corriente máxima de salida en caso de fallo	32 A
Intervalo de salida del factor de potencia	ajustable en +/- 1,0
Tensión de CC de la batería interna	50 V
Eficiencia de ida y vuelta <sup>1,2</sup>	90 %
Garantía	10 años <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Valores proporcionados para 25 °C y potencia de carga/descarga de 3,3 kW.

<sup>2</sup> CA a batería y a CA, en el inicio de su vida útil.

<sup>3</sup> Consulte los términos y condiciones en la garantía de Tesla Powerwall.

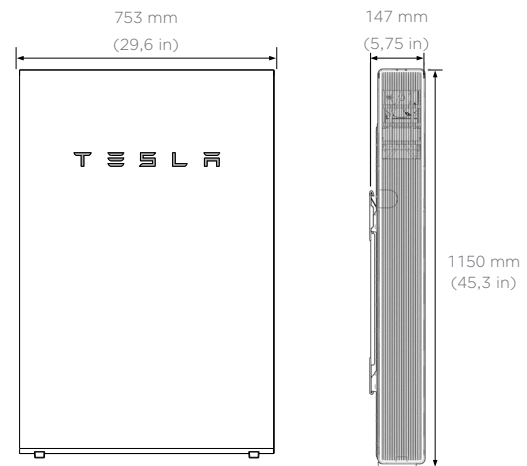
## INFORMACIÓN SOBRE CUMPLIMIENTO

Certificaciones	IEC 62109-1, IEC 62109-2, IEC 62619, UN 38.3
Conexión a la red	Compatibilidad mundial
Emisiones	IEC 61000-6-1, IEC 61000-6-3
Medio ambiente	Directiva RoHS 2011/65/EU, Directiva WEEE 2012/19/EU, Directiva sobre baterías 2006/66/EC, Reglamento REACH
Certificación sísmica	AC156, IEEE 693-2005 (alta)
País de fabricación	EE. UU.

## ESPECIFICACIONES MECÁNICAS

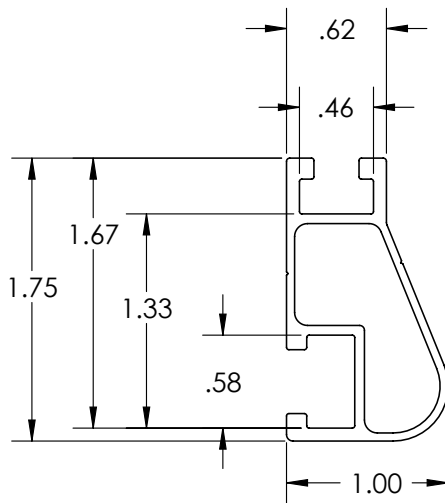
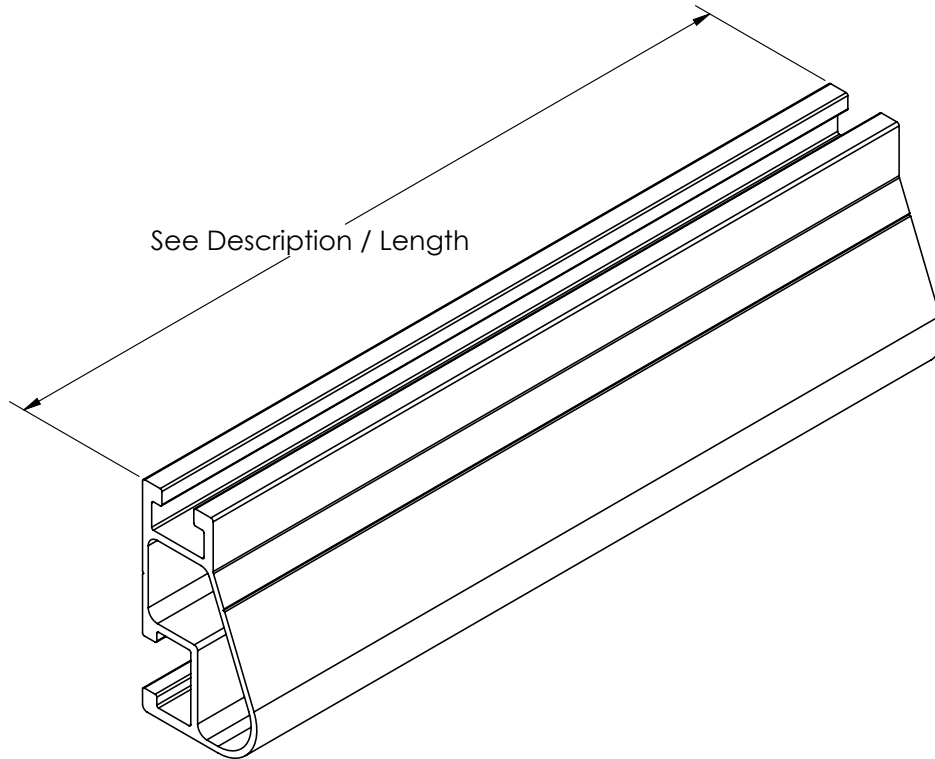
Dimensiones <sup>4</sup>	1150 mm x 753 mm x 147 mm
Peso	114 kg
Opciones de montaje	Montaje en pared o suelo

<sup>4</sup> Las dimensiones difieren ligeramente si el equipo se ha fabricado antes de marzo de 2019. Póngase en contacto con Tesla para obtener más información.



## ESPECIFICACIONES MEDIOAMBIENTALES

Temperatura de funcionamiento	De -20°C a 50 °C
Temperatura recomendada	De 0°C a 30°C
Humedad de funcionamiento (humedad relativa)	Hasta un 100 % con condensación
Condiciones de almacenamiento	De -20°C a 30 °C Hasta un 95 % de humedad relativa sin condensación Estado de energía: 25 % inicial
Elevación máxima	3000 m
Medio ambiente	Certificado para interiores y exteriores
Certificación de impermeabilidad	IP67 (batería y sistema electrónico de alimentación) IP56 (Compartimento de cableado)
Certificación de ubicación húmeda	Sí
Nivel de ruido a 1m	< 40 dBA a 30°C



Rail Section Properties	
Property	Value
Total Cross-Sectional Area	0.363 in <sup>2</sup>
Section Modulus (X-axis)	0.136 in <sup>3</sup>
Moment of Inertia (X-axis)	0.124 in <sup>4</sup>
Moment of Inertia (Y-axis)	0.032 in <sup>4</sup>
Torsional Constant	0.076 in <sup>3</sup>
Polar Moment of Inertia	0.033 in <sup>4</sup>

Clear Part Number	Black Part Number	Description / Length	Material	Weight
XR-10-132A	XR-10-132B	XR10, Rail 132" (11 Feet)	6000-Series Aluminum	4.67 lbs.
XR-10-168A	XR-10-168B	XR10, Rail 168" (14 Feet)		5.95 lbs.
XR-10-204A	XR-10-204B	XR10, Rail 204" (17 Feet)		7.22 lbs.

# V100-2,75 MW

El futuro para las zonas con vientos modestos



**Vestas**



## El conocimiento de la dirección que sopla el viento

El aerogenerador V100-2.75 MW detecta en la dirección que sopla el viento y está diseñado para seguirla. La tecnología OptiSpeed<sup>®</sup>, un importante avance en el rendimiento de los aerogeneradores, permite una variación de aproximadamente un 60% en las velocidades de giro del rotor con respecto a la velocidad nominal. Esto significa que con OptiSpeed<sup>®</sup>, la velocidad del rotor puede variar hasta un 30% por encima o por debajo de la velocidad sincrónica, lo que supone una mejora en la producción anual de energía. Como resultado, se puede decir que se saca el máximo partido a la fuerza máxima de las rachas de viento pasajeras.

Pero esto no es todo, la tecnología OptiSpeed<sup>®</sup> proporciona otras muchas ventajas. Por ejemplo, la velocidad variable del rotor reduce las cargas transmitidas al multiplicador, a las palas y a la propia torre debido al pico más bajo de descarga. Como beneficio añadido, la velocidad más baja de rotación conlleva una reducción general de los niveles de ruido. Finalmente, la tecnología OptiSpeed<sup>®</sup> proporciona energía de mejor calidad a la red, con una sincronización rápida, una distorsión armónica reducida y menores fluctuaciones.

## La tecnología de las palas

Las palas del rotor de 49 metros del aerogenerador V100 incorporan un perfil de nueva creación y una aerodinámica mejorada. Una nueva forma del plano y un borde trasero curvado mejoran la generación de energía, a la vez que hacen que el borde de ataque de la pala sea menos sensible a la suciedad y mantienen una buena relación geométrica entre el grosor de un plano aerodinámico y el siguiente.

Todo ello se traduce en un incremento de la producción y una disminución de las cargas transmitidas, o lo que es lo mismo, en una mejora de lo fundamental.

## Facilidad de reparación y mantenimiento

Vestas trabaja siempre con el objetivo de reducir la necesidad de asistencia técnica y mantenimiento de sus aerogeneradores y, al mismo tiempo, de asegurar que las reparaciones se realizan con la mayor facilidad posible. En el aerogenerador V100, el acceso se ha hecho más sencillo y se han ampliado las áreas de trabajo. También se ha optimizado la disposición de los componentes de la torre y de la góndola para facilitar las tareas de mantenimiento.

Todo esto unido a una serie de nuevas funciones, que van desde la lubricación automática del rodamiento de pala hasta un sistema de giro con lubricación de aceite, produce un ahorro considerable en los costes por paradas del aerogenerador y de personal. De hecho, como resultado de estas mejoras, el V100 sólo necesita una visita de mantenimiento al año.

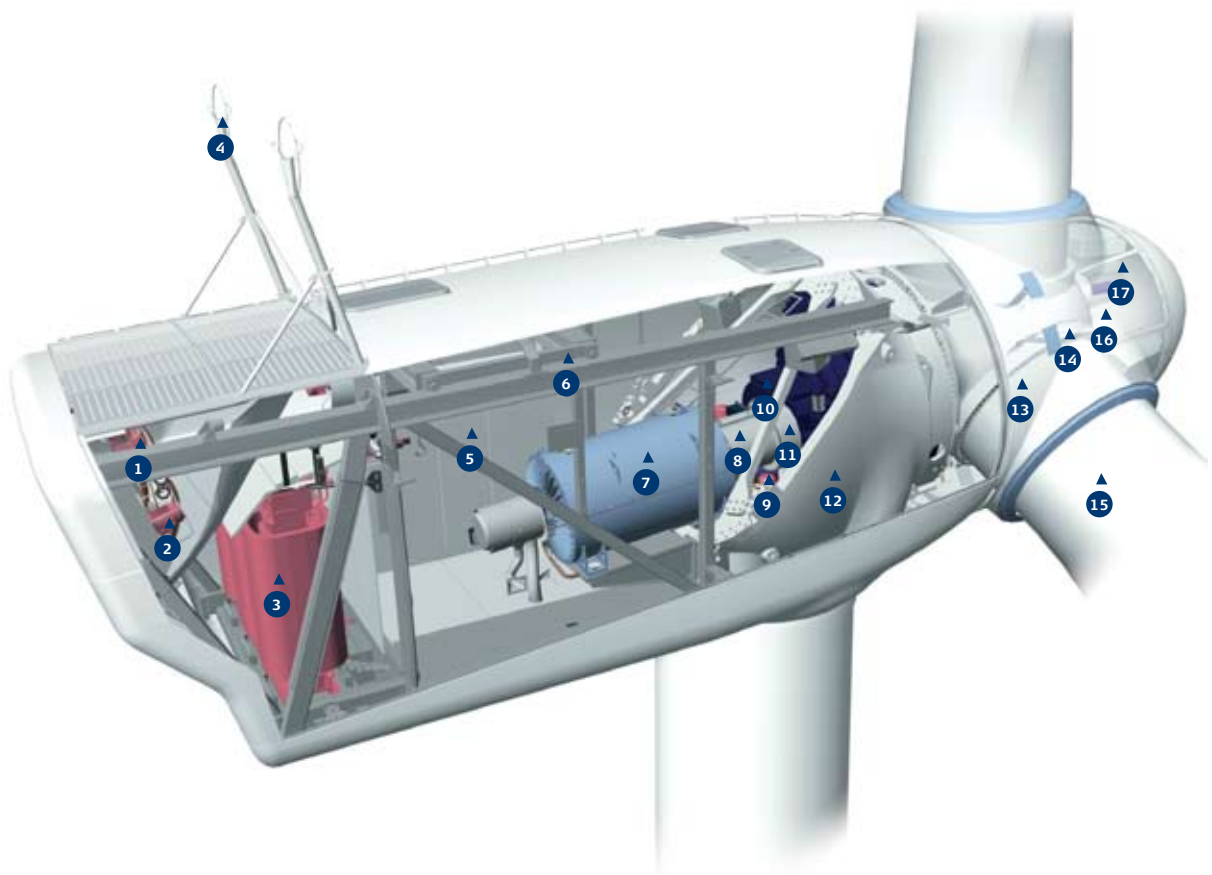
## Rendimiento Demostrado

Los parques eólicos requieren inversiones cuantiosas y el proceso puede ser muy complicado. Para facilitar el proceso de evaluación y compra, Vestas ha identificado cuatro factores decisivos que determinan la calidad de un aerogenerador: la producción de energía, la disponibilidad de funcionamiento, la calidad energética y los niveles de ruido.

En Vestas, pasamos varios meses analizando y documentando el rendimiento de sus aerogeneradores. Una vez que estamos plenamente satisfechos, realizamos una última comprobación permitiendo que una organización independiente verifique los resultados. Esta es una práctica normal en Vestas, un procedimiento que denominamos Proven Performance (Rendimiento Demostrado). En Vestas no nos limitamos a hablar de calidad; se la demostramos con hechos.

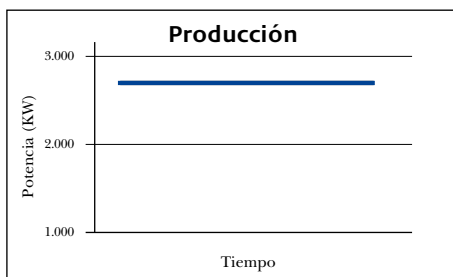
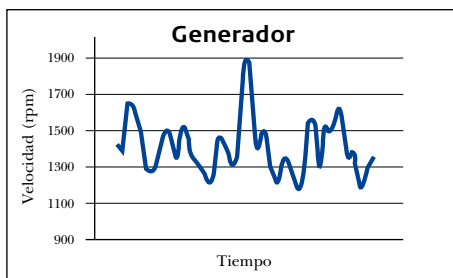
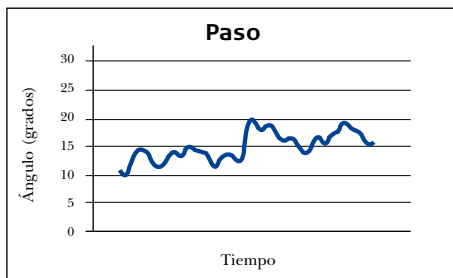
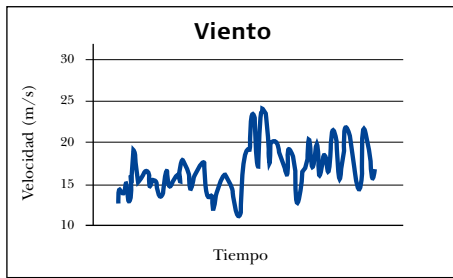
\* OptiSpeed<sup>®</sup> de Vestas no está disponible en EE. UU. ni Canadá.

## Especificaciones técnicas



- |                                       |                         |                            |                                |
|---------------------------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 1 Refrigerador de aceite              | 6 Grúa de mantenimiento | 11 Disco de freno mecánico | 16 Cilindro de control de paso |
| 2 Refrigerador por agua del generador | 7 Generador OptiSpeed®  | 12 Chasis                  | 17 Controlador del buje        |
| 3 Transformador de alta tensión       | 8 Acoplamiento          | 13 Rodamiento de pala      |                                |
| 4 Sensores ultrasónicos de viento     | 9 Sistema de giro       | 14 Buje                    |                                |
| 5 Controlador VMP-Top con convertidor | 10 Multiplicador        | 15 Pala                    |                                |





*OptiSpeed® permite una variación de las velocidades de giro del rotor de un 60% aproximadamente en relación con la velocidad nominal, por lo que, con OptiSpeed®, la velocidad del rotor puede variar hasta un 30% por encima o por debajo de la velocidad sincrónica. Esto reduce las fluctuaciones no deseadas en la producción suministrada a la red eléctrica y minimiza las cargas en las partes esenciales del aerogenerador.*

## Rotor

Diámetro:	100 m
Área barrida:	7.850 m <sup>2</sup>
Velocidad de giro nominal:	13,4 rpm
Intervalo operativo:	7,2-15,3 rpm
Número de palas:	3
Regulación de potencia:	Paso/OptiSpeed®
Freno neumático:	Inclinación total de la pala por tres cilindros hidráulicos de paso independientes

## Torre

Altura del buje:	100 m
------------------	-------

## Datos de funcionamiento

	IEC IIA/DIBt II: 2,750 MW
Velocidad de arranque del viento:	4 m/s
Velocidad nominal del viento:	15 m/s
Velocidad de corte del viento:	25 m/s

## Generador

Tipo:	IEC IIA/DIBt II: Asíncrono con OptiSpeed®
Potencia nominal:	2,750 MW
Datos de funcionamiento:	50 Hz 1000 V

## Multiplicador

Tipo:	Dos ejes planetarios y uno helicoidal
-------	---------------------------------------

## Control

Tipo:	Control basado en microprocesador de todas las funciones del aerogenerador, con la opción de monitorización y control remoto. Optimización y regulación de producción mediante OptiSpeed® y regulación de paso OptiTip®.
-------	--

## Peso

Góndola:	70 t
Rotor:	44 t
Torres:	
Altura del buje:	DIBt II
100 m	No disponible

*t = toneladas métricas*

Las torres DIBt sólo están aprobadas para Alemania.

Todas las especificaciones están sujetas a modificaciones sin preaviso.

# El futuro para las zonas con vientos modestos



Con los nuevos aerogeneradores V100-2,75 MW, Vestas se centra en los aerogeneradores de interior de alto rendimiento para emplazamientos con vientos de velocidades medias y bajas. El aerogenerador V100 representa un avance en el desarrollo del V90-3,0 MW que ya ha demostrado su valía. El V100 se diferencia del V90 en que las palas del rotor son más largas y posee un cociente de transmisión distinto para optimizar la producción de energía en áreas de poco viento.

Evidentemente, las numerosas innovaciones introducidas con el aerogenerador V90 están presentes en el V100, incluido el sistema de paso individual que permite el ajuste individual y preciso del ángulo para cada pala del rotor en función de las condiciones del viento dominante.

Este innovador sistema de paso reduce las cargas sobre los componentes esenciales y, de este modo, mejora la economía del conjunto.

Desde los materiales y la fabricación hasta la propia instalación del aerogenerador, pasando por el transporte, el peso es uno de los factores cruciales en los costes. A lo largo de los años, Vestas ha conseguido importantes reducciones del peso en casi todos los aspectos de sus aerogeneradores. Este uso también se ha aplicado al aerogenerador V100 que, con palas más ligeras, ha sido diseñado para una distribución de la carga óptima. Además, presenta un diseño innovador de la góndola con un sistema de transporte incorporado, lo que hace que el V100 sea más fácil de transportar que cualquier otro aerogenerador de su categoría.

**Vestas Wind Systems A/S**

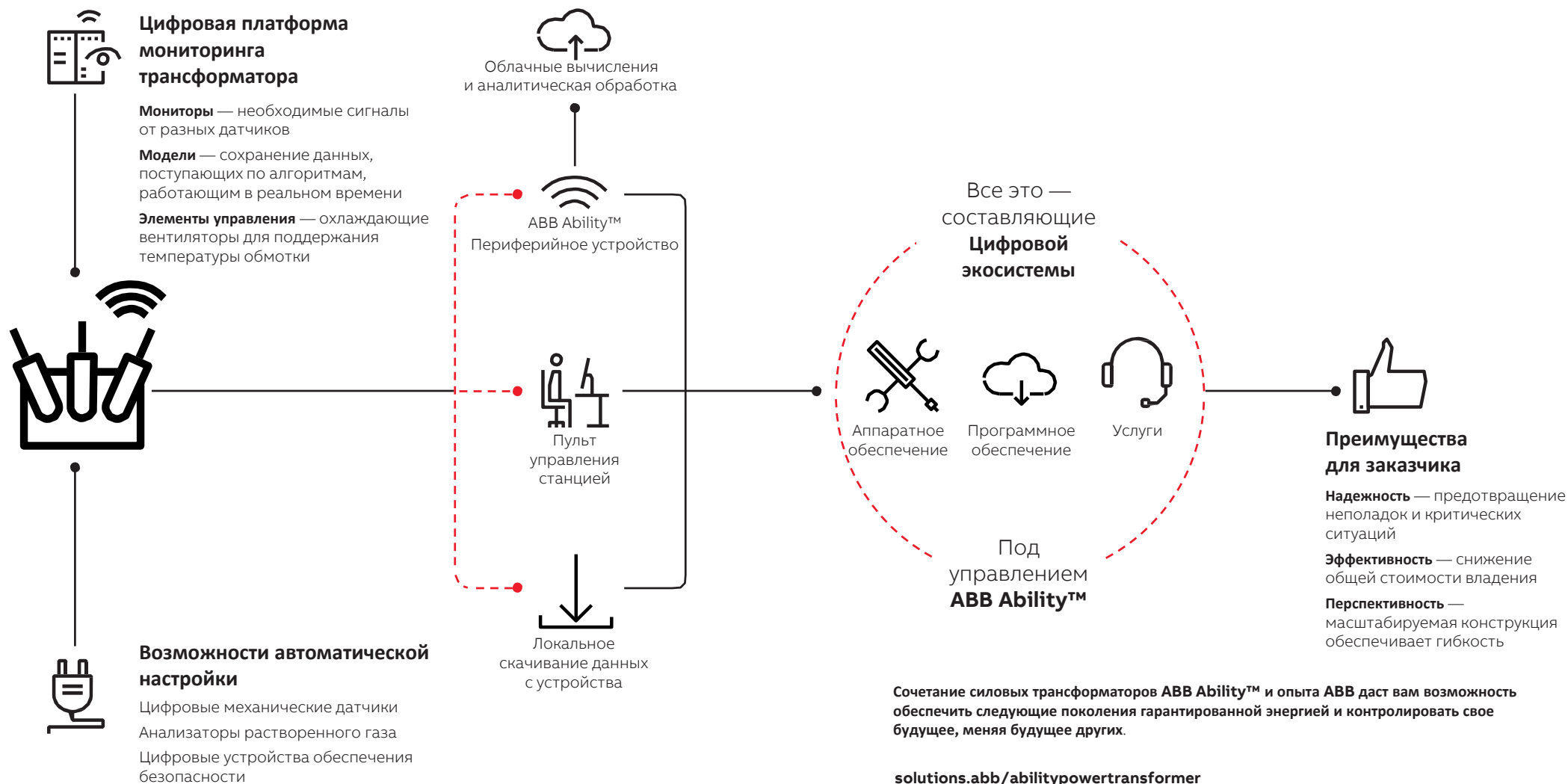
Alsvej 21  
8900 Randers  
Dinamarca  
Tel. +45 97 30 00 00  
Fax +45 97 30 00 01  
vestas@vestas.com  
www.vestas.com

Puede consultar una lista  
completa de todas nuestras  
oficinas de venta y servicio en  
[www.vestas.com](http://www.vestas.com)

# Силовой трансформатор ABB Ability™

## Новая эра в технологии трансформаторов

Новый силовой трансформатор ABB Ability™ развивает традиции компании ABB в области передовых инноваций и устанавливает новый отраслевой стандарт. Трансформатор впервые в мире оснащен цифровыми функциями для создания **более надежной, интеллектуальной и экологичной сети.**



Step 1: Select tag limit.		Step 2: Select a Development Runtime or Runtime as a primary server. Add back-up servers as needed.		Step 3: Add features to a server. Development Runtimes include the Data Sharing Package.		Step 4: Add Thin Clients. Not required on back-up servers. (Ex. 6 Clients = 5-Pack + Single)		
I/O Tags	Development Runtime	Runtime	Alarm Notification Email, SMS, Voice	Data Sharing to 3 <sup>rd</sup> Party Systems* ODBC Server, OPC Server, WEB Services	Thin Clients Concurrent PC and Mobile connections.			
					Single	5-Pack	Unlimited	
1,000	4,695	2,495	1,295	1,595	2,195	5,795	6,295	
5,000	5,895	3,095	2,095	2,095	2,495	7,995	11,795	
10,000	7,495	3,695	2,095	2,095	2,995	9,095	17,495	
25,000	8,695	4,495	2,995	2,395	3,695	11,795	27,395	
50,000	9,895	4,995	2,995	2,595	4,095	14,695	41,395	
100,000 to Unlimited	Please refer to Enterprise Pricing Sheet							

\* Add to the VTScada Runtime license - if required. This specific feature is included with every Development Runtime license.

**Support Options - Single Vendor**

90 days SupportPlus Technical Support and Product Updates	Included with software purchase
Annual SupportPlus Technical Support and Product Updates	15% of total software purchase price
Annual 24/7 Emergency Product Support. Available as extension of annual SupportPlus	5% (minimum €1,460)

Integrated Components Included (single installation)		Development Runtime	Runtime
Run and Operate	<b>Application Server</b> - Primary or redundant event-driven execution for any scale	✓	✓
	<b>Runtime Client</b> - Can function as a complete or partial back-up for system operations	✓	✓
	<b>Widgets and Graphics Library</b> - 1,000's for many industries and applications	✓	✓
	<b>Historian</b> - High performance with zero set-up time needed	✓	✓
	<b>Security</b> - Integrated and extensible by both privilege and role-based models	✓	✓
	<b>Network and Computer Resource Monitoring with SNMP Agent</b> - A total system view	✓	✓
	<b>Alarms and Events</b> - Unlimited logging of all user and system actions	✓	✓
	<b>Trending</b> - Automatic and available with no additional set-up	✓	✓
	<b>Reporting</b> - Manual or automatic report creation with extensible options	✓	✓
	<b>Slippy Maps Integration</b> - Available either on-line or off-line with full pan and zoom	✓	✓
I/O Drivers	<b>Electronic Operator Logbooks</b> - Tamperproof recording of noteworthy events	✓	✓
	<b>Common</b> (e.g. Modbus, DF1, CIP/ENIP, Siemens S7, Omron Host Link, OPC)	✓	✓
	<b>Advanced</b> (e.g. DNP3, SNMP, Motorola ACE, CalAmp and MDS radio diagnostics)	✓	✓
	<b>Proprietary</b> (e.g. DataFlow Systems and others)	✓	✓
Develop	<b>DataLogger</b> (e.g. DF1, SCADAPack)	✓	✓
	<b>Automatic Version Control</b> - System-wide disaster recovery and audit tools	✓	✓
	<b>Idea Studio</b> - Efficient development environment on-line, off-line and multi-developer	✓	
	<b>Change Deployment</b> - Remotely update all computers with a single click	✓	
	<b>Scripting and Debugging Tools</b> - Powerful event-driven language of 700+ functions	✓	
	<b>ODBC Server, OPC Server, Web Services</b> - Sharing process data and services with 3 <sup>rd</sup> party systems	✓	

Prices in effect as of June 1, 2023. Subject to change without notice.

VTScada and the Idea Studio are registered trademarks of Trihedral Engineering Limited. Allen-Bradley, SCADAPack, DataFlow Systems, Modbus, CIP, ENIP, Siemens S7, Omron Host Link, OPC, DNP3, SNMP, Motorola ACE, CalAmp and MDS are trademarks of their respective owners.

**Popular Bundles - Small and Medium Systems**

	Single Server Basic	Single Server Complete	Dual Server Redundant	Dual Server Config	Dual Server Premium
		One	Two	Two	Unlimited
<b>Run and Operate</b>					
Thin Client (PC or Mobile)	✓	✓	✓	✓	✓
Historian	✓	✓	✓	✓	✓
Security	✓	✓	✓	✓	✓
Trending	✓	✓	✓	✓	✓
Reporting	✓	✓	✓	✓	✓
Slippy Maps Integration	✓	✓	✓	✓	✓
Electronic Operator Logbooks	✓	✓	✓	✓	✓
Widgets and Graphics Library	✓	✓	✓	✓	✓
Network and Computer Resource Monitoring	✓	✓	✓	✓	✓
<b>I/O Drivers</b>					
Common: e.g. Modbus, DF1, CIP/ENIP, Siemens S7, Omron Host Link, OPC	✓	✓	✓	✓	✓
Advanced: e.g. DNP3, SNMP, Motorola ACE, CalAmp, MDS radio diagnostics	✓	✓	✓	✓	✓
Proprietary: e.g. DataFlow Systems and others	✓	✓	✓	✓	✓
DataLogger: e.g. DF1, SCADAPack	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Support Plus</b>					
1 <sup>st</sup> Year: Seamless Version Compatibility and Value Protection	✓	✓	✓	✓	✓
1 <sup>st</sup> Year: Unlimited Support and Upgrades	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Alarms</b>					
Alarms and Events Logging	✓	✓	✓	✓	✓
Email, SMS, Pager, Voice (text-to-speech) Dial-out/Dial-in	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Configuration</b>					
Automatic Version Control	✓	✓	✓	✓	✓
Idea Studio Development Environment	✓	✓	✓	✓	✓
Change Deployment	✓	✓	✓	✓	✓
Scripting and Debugging Tools	✓	✓	✓	✓	✓
ODBC Server, OPC Server, Web Services	✓	✓	✓	✓	✓
Multiple-plant Support			✓	✓	✓
<b>Redundancy</b>					
Back-up Historian			✓	✓	✓
Back-up Alarms and Events Logging			✓	✓	✓
Back-up Alarm Notification and Acknowledgement			✓	✓	✓
Back-up ODBC Server, OPC Server, Web Services			✓	✓	✓
Back-up Automatic Version Control			✓	✓	✓
Secondary Idea Studio™ Development Environment				✓	✓
Back-up Change Deployment				✓	✓
Multi-user Scripting and Debugging Tools				✓	✓
<b>Bonus:</b> €1,000 credit toward a regularly scheduled training class				✓	✓
<b>Bonus:</b> 1 <sup>st</sup> Year: 24/7 Emergency Support				✓	✓

**Tag Ranges**

<b>1,000 I/O</b>	<b>6,664</b>	<b>9,106</b>	<b>17,539</b>	<b>19,212</b>	<b>22,791</b>
<b>SPECIAL DISCOUNTED PRICE</b>			<b>12,395</b>	<b>13,495</b>	<b>15,895</b>
<b>SAVINGS</b>			29%	30%	30%
<b>5,000 I/O</b>	<b>8,889</b>	<b>11,665</b>	<b>22,545</b>	<b>24,329</b>	<b>33,360</b>
<b>SPECIAL DISCOUNTED PRICE</b>			<b>15,895</b>	<b>16,895</b>	<b>21,595</b>
<b>SAVINGS</b>			29%	28%	39%
<b>10,000 I/O</b>	<b>10,669</b>	<b>14,001</b>	<b>26,105</b>	<b>29,002</b>	<b>43,635</b>
<b>SPECIAL DISCOUNTED PRICE</b>			<b>18,095</b>	<b>20,395</b>	<b>27,395</b>
<b>SAVINGS</b>			31%	30%	37%
<b>25,000 I/O</b>	<b>13,005</b>	<b>17,116</b>	<b>32,224</b>	<b>35,232</b>	<b>60,026</b>
<b>SPECIAL DISCOUNTED PRICE</b>			<b>22,095</b>	<b>25,495</b>	<b>36,795</b>
<b>SAVINGS</b>			31%	28%	39%
<b>50,000 I/O</b>	<b>14,340</b>	<b>18,896</b>	<b>35,227</b>	<b>38,792</b>	<b>79,091</b>
<b>SPECIAL DISCOUNTED PRICE</b>			<b>27,795</b>	<b>32,495</b>	<b>49,295</b>
<b>SAVINGS</b>			21%	16%	38%

**100,000 - 2,500,000 (unlimited) I/O** Please Call for Enterprise Pricing

Prices in effect as of June 1, 2023. Subject to change without notice. Training credit is only available as long as the bundle remains current in SupportPlus. Allen-Bradley, SCADAPack, DataFlow Systems, Modbus, CIP, ENIP, Siemens S7, Omron Host Link, OPC, DNP3, SNMP, Motorola ACE, CalAmp and MDS are trademarks of their respective owners.