UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria Agroalimentària i de Biosistemes de Barcelona

Trabajo Final de Máster en Tecnologías Facilitadoras para la Industria Alimentaría y de Bioprocesos (TECH4AGRI+FOOD)

Título:

Mejora del sistema de control y comunicación de un invernadero agrivoltaico.

Autor:

Ing. Ernesto González Buchaca

Tutores:

Msc. Marcell Macarulla

Dr. Gil Gorchs

Barcelona
Junio de 2024

Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.

Albert Einstein

Dedicatoria

A mi familia que me han acompañado durante todo este tiempo.
A mi pareja que me brinda felicidad en todo momento.
A todos mis amigos por el apoyo brindado hasta ahora.

Ernesto

Agradecimientos

A mi mamá y mi papá que, gracias a ellos, por su apoyo, su educación, amor y confianza he podido llegar y lograr todas las metas que me he propuesto. A mi hermanita por darme el amor necesario para seguir hacia adelante. A mis abuelas que siempre me han malcriado, como lo hacen casi todas con los nietos, en especial a Iraida que es la que aguanta mis cantaletas diarias y comparte mis momentos felices. A mis abuelos José Manuel y Oscar, que a pesar de no estar con nosotros siempre se les tiene presente y fueron una referencia en mi educación, en especial José Manuel que fue como un segundo padre. A mi novia Anet por tener paciencia, brindarme apoyo y darme amor en todo este tiempo que hemos pasado juntos. A su familia que me han recibido con el mayor cariño posible y de una forma u otra han ayudado a realizar este trabajo

Ernesto

Resumen

En el presente trabajo se hace una propuesta de automatización de un invernadero experimental en el campus de Terrassa de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). También se termina de conformar el sistema de fotovoltaica que se estaba proponiendo como parte del proyecto del invernadero agrivoltaico. Esta solución se hace para implementarla en un futuro. Con todos los subsistemas puestos en marcha se pasaría a integrarlos para así poder gestionarlos desde un punto central, que sería el local de monitorización. Se hace un estudio de las diferentes tecnologías propuestas para lograr una selección adecuada. Al final se conforma la red de comunicación de los sistemas y se explica el software propuesto para la monitorización. Hay que destacar que la propuesta se hizo en base a futuras ampliaciones de la instalación y está preparada para reajustes de señales e integraciones con otros sistemas.

Resum

En el present treball es fa una proposta d'automatització d'un hivernacle experimental al campus de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). També s'acaba de conformar el sistema de fotovoltaica que s'estava proposant com a part del projecte de l'hivernacle. Aquesta solució es fa per poder implementar-la en un futur. Amb tots els subsistemes posats en marxa es passaria a integrar-los per a així poder gestionar-los des d'un punt central, que seria el local de monitoratge. Es fa un estudi de les diferents tecnologies proposades per a aconseguir una selecció adequada. Al final es conforma la xarxa de comunicació dels sistemes i s'explica el programari proposat per al monitoratge. Cal destacar que la proposta es va fer sobre la base de futures ampliacions de la instal·lació i està preparada per a reajustaments de senyals i integracions amb altres sistemes.

Abstract

This paper proposes a project to automate an experimental green house at the campus of the Polytechnic University of Cataluña. It intends to finish the photovoltaic system as part of the green house project. This proposed solution will be implemented in the future. Once all the subsystems are running, they would be integrated for being managed from a local center, this would be the monitoring local. Different proposed technologies were studied to select the most appropriate. To finish with, the systems´ communication network is set and an explanation on the proposed software is offered. It is important to highlight that the proposal is made on the basis of future expanded work and that is ready for signals reset and integration with other systems.

Índice

Capitulo1. Introducción, objetivos, alcance y estructura..... 10

1.1. Objetivos 11

1.2. Alcance y aportes prácticos 11

1.3. Estructura del trabajo 11

1.4. Localización y descripción general del invernadero. 12

Capítulo 2. Tecnologías de sistema fotovoltaico. 13

2.1. Introducción 13

2.2. Descripción actual de la instalación y aspectos a resolver. 13

2.3. Antecedentes de sistemas fotovoltaicos. 13

2.3.1 Elementos y funcionamiento de un sistema fotovoltaico..... 14

2.3.2. Como funciona el sistema fotovoltaico 15

2.3.3. Componentes de un sistema fotovoltaico..... 16

2.4. Opciones y proceso de elección 17

2.4.1 Principales fabricantes 17

2.4.2. Equipamiento actual del invernadero de la UPC en Terrassa..... 20

2.4.3. Elección del equipamiento. 22

2.4.4. Esquema general de conexión de sistema fotovoltaico..... 29

2.5. Conclusiones 30

Capítulo 3. Sistema de automatización 31

3.1. Introducción 31

3.2. Descripción actual de la instalación y aspectos a resolver 31

3.3. Lazos de control dentro del invernadero..... 31

3.4. Equipamiento actual instalado. 32

3.4.1 Distribución del equipamiento dentro del invernadero con la nueva propuesta. 36

3.5. Relación de Entrada/Salidas (E/S) 37

3.6. Opciones y proceso de elección. 39
3.6.1 Controladores de Schneider Electric 39
3.6.2. Controladores gama TM241 40
3.6.3. Análisis y elección del controlador lógico programable 40
3.7. Lógica de programación del controlador. 43
3.8. Conclusiones 46
Capítulo 4: Redes de Comunicación y Sistema de Monitorización. 47
4.1. Introducción 47
4.2. Descripción de la instalación y aspectos a resolver 47
4.3. Proceso de elección. Comunicación Modbus y Ethernet 47
4.4. Esquema de comunicación del sistema 49
4.5. Sistema de Monitorización del invernadero 50
4.5.1. Descripción de la herramienta EBO 50
4.5.2 Configuraciones iniciales 52
4.5.3. Creación y enlace de los gráficos en el EBO. 53
4.5.4. Registros de tendencias e históricos 54
4.5.4. Alarmas y calendarios 55
4.5.5. Cuentas de usuario 57
4.6. Conclusiones 58
Capítulo 5. Evaluación económica. Impacto medio-ambiental y social. 59
5.1. Introducción 59
5.2. Impacto medio-ambiental e impacto social de la propuesta. 61
Conclusiones 63
Recomendaciones 64
Bibliografía 65
Anexos 67

Glosario de términos

PLC: Controlador lógico programable

SCADA: Sistema de supervisión y adquisición de datos

UPC: Universidad Politécnica de Cataluña

FV: Fotovoltaica

CC: Corriente continua

CA: Corriente alterna

E/S: Entradas/salidas

EBO: EcoStruxure Building Operation

Capitulo1. Introducción, objetivos, alcance y estructura

Los invernaderos es una construcción agrícola de estructura metálica, usada para el cultivo y/o protección de plantas. con cubierta de película plástica traslúcida que no permite el paso de la lluvia al interior y que tiene por objetivo reproducir o simular las condiciones climáticas más adecuadas para el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas establecidas en su interior, con cierta independencia del medio exterior y cuyas dimensiones posibilitan el trabajo de las personas en el interior. Un invernadero aprovecha el efecto producido por la radiación solar porque al traspasar a través del plástico calienta el ambiente y los objetos que hay dentro. Hace algunos años con el desarrollo de la sociedad y las tecnologías la tendencia ha sido ir modernizando este sector agrícola para que fuera mas productivo y la producción se encuentren en un ambiente controlado. En estas instalaciones se pueden obtener microclimas favorables para superar situaciones climáticas adversas mediante el control de humedad, temperatura, fuertes vientos, entre otros.

En la actualidad con el desarrollo tecnológico se mezclan la producción agrícola en los invernaderos con las energías renovables, como por ejemplo la energía solar fotovoltaica. Se aprovechan espacios en los invernaderos, principalmente en la zona del tejado, para generar electricidad y autoabastecerse. En caso de generar mas de lo que se consume esta energía su puede aportar a la red eléctrica.

Con el trabajo se pretende mejorar el sistema de automatización del invernadero ubicado en el campus de la Universidad Politécnica de Cataluña en Terrassa. Hacer una propuesta del sistema de agrivoltaica para vincularlo con el sistema de automatización. Con la propuesta tener todos los componentes necesarios para que los sistemas entorno al invernadero se monitoricen desde un punto central que sería el local de control.

1.1. Objetivos

El objetivo principal del presente trabajo es la automatización y propuesta de sistema fotovoltaico del invernadero en el Campus de la UPC en Terrassa. Además de la integración de todos los sistemas en un entorno de monitorización.

En particular se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Analizar proponer tecnologías para la propuesta de agrivoltaica del invernadero.
- Proponer tecnologías y fabricantes para solución de automatización del invernadero.
- Valorar propuesta de automatización para que se pueda integrar con sistema de monitorización que se encuentra en la instalación.
- Diseñar estructura de red de comunicación para interconectar solución fotovoltaica, solución de automatización y sistema de monitorización.

1.2. Alcance y aportes prácticos

Automatizar el control de un invernadero ubicado en el campus de la Universidad Politécnica de Cataluña en Terrassa y utilizar energía solar fotovoltaica para gestionar la energía consumida. La automatización será mediante sensores y autómatas programables

Aportes prácticos esperados

- Funcionamiento de componentes de sistema fotovoltaico.
- Diseño de redes de comunicación.
- Funcionamiento de interfaz gráfica para gestión de invernadero.

1.3. Estructura del trabajo

- **Capitulo 1:** Ideas y necesidades que han dado lugar al desarrollo del proyecto. Problemas a resolver. Objetivos que se pretenden alcanzar al terminar el trabajo. Aportes prácticos adquiridos al terminar la propuesta.
- **Capitulo 2:** Estudio de tecnologías y funcionamiento de un sistema fotovoltaico. Propuesta de solución para sistema de agrivoltaica en invernadero piloto en el campus de la universidad. Cálculo de sistema

solar fotovoltaico y análisis de diversos fabricantes para brindar la solución mas adecuada a la problemática.

- **Capitulo 3:** Análisis de fabricantes para brindar la solución de automatización del invernadero con autómatas lógicos programables(PLC) y los sensores utilizados. Explicar en que consiste un esquema de control y como se aplica a las variables en un invernadero.
- **Capitulo 4:** Explicar las redes de comunicación utilizada en la solución. Diseñar la red de comunicación de los dispositivos. Integración mediante protocolos de comunicación todos los sistemas involucrados en el invernadero. Integración de los dispositivos con el sistema de monitorización actual.
- **Capitulo 5:** Se dedica la evaluación económica del proyecto. Se aporta el impacto social-ambiental de la propuesta.

1.4. Localización y descripción general del invernadero.

El invernadero esta ubicado en el campus de Terrassa de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). La dirección es Calle de Colom, 11, 08222 Terrassa, Barcelona, España. El invernadero cuenta con un área superior de 13m^2 la cual será utilizada para la propuesta del sistema fotovoltaico. El área total esta divida en 2 invernaderos pequeños. Estos presentan cortinas exteriores mecánicas tanto en la parte frontal como en la parte posterior. Los laterales son planchas de plástico para que penetre correctamente la radiación solar.

Capítulo 2. Tecnologías de sistema fotovoltaico.

2.1. Introducción

En este capítulo se realiza el estudio de los sistemas fotovoltaicos utilizando todos los componentes que lo conforman. Se mencionan las diferentes partes del sistema. Se analiza diferentes fabricantes con experiencia en el sector teniendo en cuenta presupuesto y la integración con el sistema de monitorización. Se explican mediante cálculos como queda el dimensionada la solución.

2.2. Descripción actual de la instalación y aspectos a resolver.

Actualmente la instalación fotovoltaica del invernadero del Campus de la Universidad Politécnica de Cataluña en Terrassa solo presenta las placas fotovoltaicas, el sistema no tiene ningún otro equipamiento por lo que no se encuentra en explotación. Las placas se encuentran ubicadas en el techo del invernadero. Con la propuesta de solución del sistema de agrivoltaica se logra que las placas generen electricidad y se pueda aprovechar la generación de electricidad en el funcionamiento del invernadero.

2.3. Antecedentes de sistemas fotovoltaicos.

Un sistema fotovoltaico, también sistema FV o sistema de energía solar, es un sistema de energía diseñado para suministrar energía. Consiste en una disposición de varios componentes, incluidos los paneles solares para absorber y convertir la luz solar en electricidad.

El descubrimiento del efecto fotovoltaico, la base de las células solares que permite convertir la luz solar en electricidad, se atribuye al físico francés Alexandre-Edmond Becquerel en 1839. Cinco décadas después, en 1883, el inventor americano Charles Fritts creó la primera célula fotovoltaica. Para ello utilizó un semiconductor de selenio con una fina capa de oro. Era un pequeño dispositivo con una eficiencia del 1%. En 1946, el ingeniero americano Russell Shoemaker Ohl patentó la célula solar moderna (*Evolucion tecnológico de los paneles solares.*, 2021).

Becquerel observó que, al exponer una pila electrolítica a la luz, tras sumergirla en una sustancia de las mismas propiedades, generaba más electricidad; descubría de esta forma el «efecto fotovoltaico» consistente en convertir la luz solar en energía eléctrica (Axial, s. f.).

A partir de este descubrimiento, durante todo el siglo XIX y hasta nuestros días, la evolución ha sido imparable y se han ido sucediendo importantes avances en el campo de la energía solar fotovoltaica. En el año 1876 entró en juego el selenio gracias al profesor inglés William Grylls Adams quien descubrió la electricidad fotoeléctrica al observar cómo dicho elemento semiconductor reaccionaba al ser expuesto a la luz generando un flujo eléctrico. Tras aquellos experimentos iniciales no fue hasta 1883 cuando se construyó el primer panel solar de la historia. Este invento se atribuye al norteamericano Charles Fritts quien tuvo la idea de extender selenio sobre un soporte metálico y recubrirlo de una capa de oro, de forma que fuera transparente a la luz. Aunque en aquellos momentos la eficiencia fue baja (1-2%) se había alcanzado un hito en el ámbito de la energía solar: la creación del primer módulo fotoeléctrico. En 1946 Russell Ohl patentó la célula solar moderna y en 1954 los Laboratorios Bell desarrollaron y comercializaron las primeras células solares de silicio. (Axial, s. f.)

A partir de entonces comenzaron las primeras aplicaciones de las células solares, instaladas en satélites espaciales. Estos fueron los primeros usos de una energía que podría ser clave en el futuro (Axial, s. f.).

2.3.1 Elementos y funcionamiento de un sistema fotovoltaico.

En la actualidad existen básicamente dos tipos de sistemas fotovoltaicos:

- **Sistemas conectados a red:** son sistemas que están integrados con los sistemas eléctricos residenciales e industriales convencionales. Pueden utilizarse cuando sea necesario en alternancia o en combinación con la red eléctrica para responder a las necesidades energéticas del usuario final (Enel X, s. f.).
- **Sistemas autónomos (aislados):** se diseñan de tal manera que incluyen un sistema de baterías para garantizar la «continuidad del servicio», es

decir, el suministro de energía eléctrica incluso durante la noche o cuando el nivel de irradiación solar es insuficiente o nulo (Enel X, s. f.).

Actualmente ambos sistemas se pueden configurar de tal manera que se puede aportar energía a la red eléctrica o se configura para que no inyecte nada (inyección cero), esta configuración se hace en el inversor del sistema.

Los sistemas fotovoltaicos van desde pequeñas instalaciones, montados en edificios con capacidad de pocos kilovatios, hasta grandes instalaciones instaladas en centrales eléctricas. En la actualidad la mayoría de los sistemas se encuentran conectados a la red.

2.3.2. Como funciona el sistema fotovoltaico

Un panel fotovoltaico (PV), comúnmente llamado panel solar**,** contiene células PV que absorben la luz del sol y convierten la energía solar en electricidad. Estas células, hechas de un semiconductor que transmite energía (como el silicio), se encadenan para crear un módulo (Enel X, s. f.).

Cuando el semiconductor de los paneles fotovoltaicos absorbe la luz solar, los electrones se liberan de su lugar y fluyen por el semiconductor. Estos electrones, cada uno con una carga negativa, circulan a través de la célula hacia la superficie frontal, creando un desequilibrio de carga entre la parte delantera y la trasera. Las células fotovoltaicas producen electricidad porque, a su vez, este desequilibrio crea un potencial de tensión como los terminales negativo y positivo de una batería. Luego, la corriente se recolecta en los cables e, inmediatamente, se utiliza o almacena en una batería del sistema fotovoltaico. No es cierto que las células solares solo funcionan cuando brilla el sol. Pero no generarán tanta energía en un día nublado como en uno soleado (Enel X, s. f.). Este comportamiento se puede observar en las figuras 2.1 y figura 2.2.

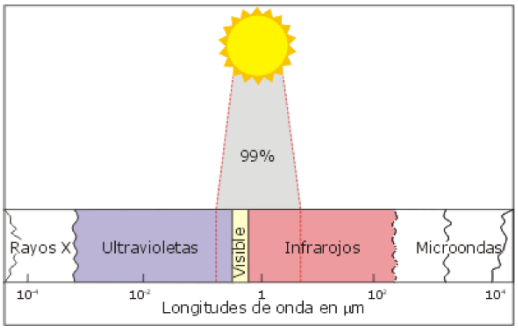


Figura 2.1: Impacto de los rayos del sol.

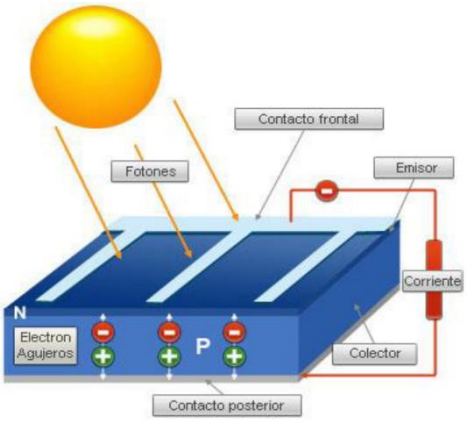


Figura 2.2: Comportamiento de los electrones al recibir radiación

2.3.3. Componentes de un sistema fotovoltaico

Los elementos fundamentales de un sistema fotovoltaico son los siguientes:

- **Módulos fotovoltaicos o placas solares:** Los módulos son los encargados de captar la radiación solar para convertirla en corriente continua (CC).
- **Estructura de los módulos:** Las estructuras son las que sostienen los módulos fotovoltaicos para que queden fijados a los tejados, paredes, suelos, etc. Existen diferentes estructuras y modelos dependiendo de donde se vaya a montar el sistema. Las estructuras modernas son capaces de orientar los paneles para que estos capten mayor radiación solar.
- **Convertidor o inversor:** Es el dispositivo que convierte la energía producida por las placas (CC) en la energía que se consumen en las residencias y en las industrias, corriente alterna (CA). En la actualidad los inversores vienen con elementos de protecciones para garantizar su correcto funcionamiento y preservar las vidas de las personas.
- **Elementos de protección de CA:** Son las protecciones necesarias en la instalación para garantizar que el sistema no sea peligroso en caso de alguna avería eléctrica.
- **Cables eléctricos:** Los cables son los encargados de llevar la energía del sistema hacia los usuarios finales ya sea en el sector residencial o industria.

Los elementos mencionados anteriormente son la base necesaria para instalar un sistema fotovoltaico. Es cierto que hay soluciones que incorporan mas elementos como reguladores, baterías, contadores de energía, etc. Un ejemplo de sistema básico se puede observar en la figura 2.3

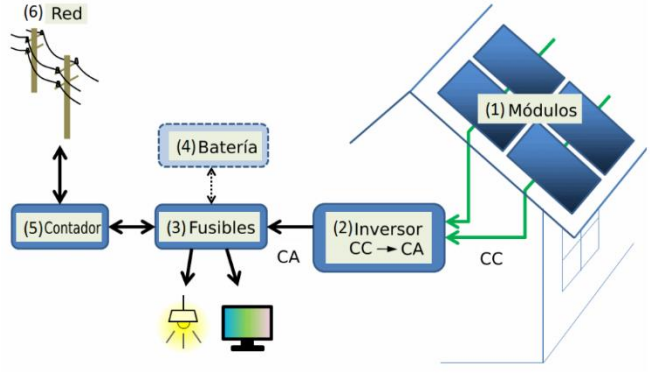


Figura 2.3: Sistema fotovoltaico residencial.

2.4. Opciones y proceso de elección

2.4.1 Principales fabricantes

Actualmente existen diversos fabricantes de elementos fotovoltaicos en el mundo, todos con propuestas y soluciones muy útiles, de ahí que haya sido necesario hacer un estudio sobre estos y sus tecnologías para seleccionar el más factible para la solución.

JA Solar (placas solares)

JA Solar es uno de los principales fabricantes de paneles solares a nivel mundial, y clasificado como Tier 1 (entre las placas solares más fiables del mercado) por Blomberg New Energy Finance. Desde 2005, JA Solar Holdings Co. Ltd. ha crecido hasta convertirse en uno de los principales fabricantes de tecnología solar fotovoltaica del mundo con presencia en más de 100 países. Sus paneles solares se caracterizan por ofrecer una excelente relación calidad/precio, así como una elevada garantía de producción a largo plazo, ideales tanto para instalaciones en viviendas como en negocios. (EDP, s. f.)

Risen Energy (placas solares)

Risen Energy es una destacada empresa líder en la industria de la energía solar en China. Risen Energy ha demostrado su excelencia y confiabilidad en el sector

fotovoltaico. Con una plantilla de más de 50,000 empleados y una impresionante cartera de casi 1,400 patentes en productos relacionados con la energía solar, Risen Energy se destaca como un jugador clave en el mercado. En los últimos años, Risen Energy ha sido galardonada con los premios más prestigiosos de la industria, al tiempo que ha obtenido una sólida calificación Altman Z-Score, lo que atestigua su sólida posición financiera y calidad inigualable en la producción de paneles solares. Lo que distingue a los paneles solares de Risen Energy es su excelente relación calidad-precio y una garantía de producción a largo plazo. Estos paneles son la elección ideal tanto para instalaciones en hogares como en empresas, brindando un rendimiento confiable y sostenible en el tiempo.

Onyx Solar (placas solares)

Es el líder global en vidrio fotovoltaico para edificios. El principal objetivo de la empresa es sustituir el vidrio convencional utilizado en la envolvente de los edificios por un vidrio capaz de generar la electricidad que cada edificio necesita, reduciendo así sus emisiones de CO_2. La empresa, que fue fundada el año 2009, ya ha ejecutado más de 350 proyectos en 50 países de los 5 continentes y tiene oficinas en España, EE.UU. y China. Cuenta con una capacidad de producción de 200.000 m2 al año y con todas las certificaciones (IEC, UL, ISO, UNE-EN) que aseguran su sistema de calidad total. Todos estos hitos han permitido a la empresa convertirse en la más premiada del sector fotovoltaico, con más de 75 premios obtenidos.

Huawei (inversores fotovoltaicos)

Los inversores Huawei se han convertido en una de las principales, novedosas y avanzadas tecnologías en los últimos años en el mercado fotovoltaico. Su amplia gama de productos ofrece soluciones para todos los usos: residencial, industrial, comercial e, incluso, grandes plantas fotovoltaicas. Los inversores Huawei, al tratarse de un reconocido fabricante, cuentan con excelentes características técnicas a un ajustado precio en comparación a otros inversores de fabricantes de similares características. La comunicación entre inversores Huawei es uno de los puntos más atractivos para instalaciones de gran tamaño,

pues el repetidor de señal que integran permite la conexión inalámbrica entre inversores Huawei instalados a una distancia significativa. (Tienda Solar, s. f.)

Growatt (inversores fotovoltaicos)

Los inversores de la famosa marca Growatt son realmente de una calidad inigualable, esto debido a sus excelentes características técnicas, las cuales a través de más de 10 años de experiencia han logrado mejorar, hasta tal punto de llegar a ser uno de los mejores inversores para instalaciones fotovoltaicas de placas solares. Growatt New Energy coloca a disposición de todos, una gran variedad de elementos, desde un inversor de conexión a red hasta las instalaciones aisladas. Cada uno de ellos aporta soluciones óptimas con la finalidad de gestionar la energía. Los inversores solares Growatt ofrecen la máxima garantía, la cual es de 5 años e incluso puede llegar a extenderse hasta unos 10 años, todo va a depender del trato que se le dé, esto siempre y cuando los inversores no hayan sido nunca manipulados por los usuarios. (Tienda Solar, s. f.)

SMA (inversores fotovoltaicos)

SMA (SMA AG) es una compañía de inversores alemana fundada hace más de 40 años en la localidad de Niestetal, con una larga trayectoria en el diseño y fabricación de componentes electrónicos. SMA cuenta con más de 3000 trabajadores y facturaciones anuales de más de 750 millones de euro. La compañía se ha centrado las últimas décadas en el diseño de inversores solares tanto a gran escala (inversores centrales para grandes plantas) como pequeños inversores de conexión a red (los muy conocidos Sunny Boy). SMA es uno de líderes de mercado a nivel mundial en la fabricación y venta de inversores. Ha estado en el top 10 de fabricantes mundiales todos los años desde que se realizan estadísticas. Si bien es cierto que en los últimos ha ido perdiendo su hegemonía mundial frente a los gigantes chinos Huawei y Sungrow, SMA sigue siendo hoy en día una marca de referencia en el sector de la energía solar, debido a su gran calidad. (Inversores, s. f.)

A continuación, en la figura 2.4 se pueden observar los principales fabricantes de inversores fotovoltaicos del mercado. Hay que tener en cuenta que estos datos son del año 2021, de esa fecha hasta la actualidad es muy probable que existan cambios en el orden.

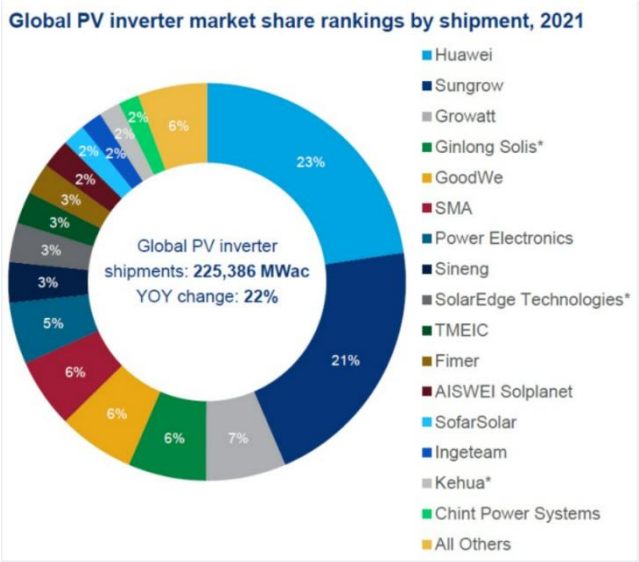


Figura 2.4: Principales fabricantes de inversores fotovoltaicos (Periódico de la energía, 2022).

2.4.2. Equipamiento actual del invernadero de la UPC en Terrassa

Actualmente en el invernadero se encuentran instaladas **16 placas fotovoltaicas** del fabricante Onyx Solar de 22W de potencia, 34V de voltaje nominal y 0.65A de corriente nominal. En la figura 2.5 se muestra como está actualmente la instalación.

Figura 2.5: Placas instaladas en el invernadero.

Las placas instaladas son del modelo GL.01 las cuales son de vidrio fotovoltaico transparente que además de generar energía, filtra la entrada de calor al interior del invernadero. Esto tiene como ventaja una mayor eficiencia en el control de temperatura en el interior y menor coste energético. Los datos técnicos completos se pueden observar en el Anexo 1.

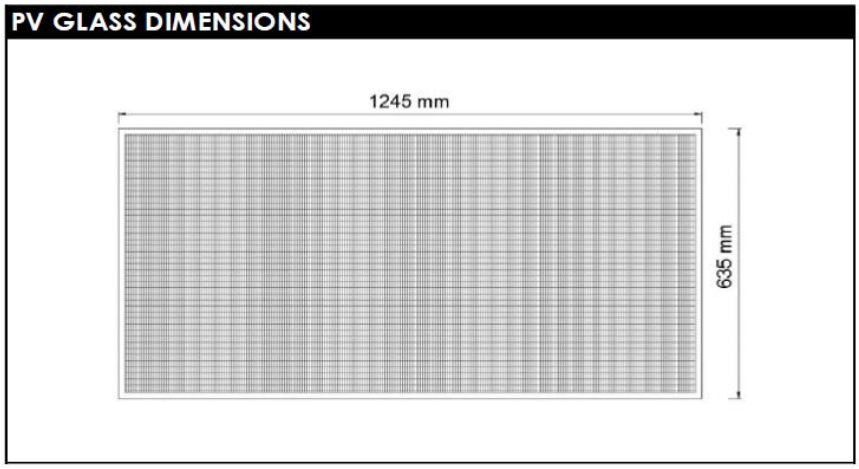


Figura 2.6: Placa fotovoltaica transparente Onyx.

Lo único que se encuentra instalado en el invernadero son las placas, a continuación, se hace la propuesta de solución.

2.4.3. Elección del equipamiento.

Existe diferentes formas de conectar las placas solares. Este conexionado puede ser:

- **Paralelo:** Consiste en conectar todos los terminales positivos (+) de las placas y conectar todos los terminales negativos (-), al final quedarían libres dos conexiones que irían hacia el inversor. Al hacer una conexión en paralelo se mantiene el nivel de tensión de las placas, pero se suman los valores de corriente que brinda cada una. Un ejemplo de conexión se puede ver en la figura 2.7
- **Serie:** Consiste en la conexión del terminal positivo (+) de una placa con el terminal negativo (-) de la siguiente y asi sucesivamente quedando al final dos conexiones que irían hacia el inversor. Al conectar las placas en serie se mantiene el valor de corriente, pero se suman los valore de tensión de cada placa. Un ejemplo de esta conexión se puede ver en la figura 2.8.
- **Combinación serie-paralelo:** Consiste en combinar las dos conexiones antes mencionadas para garantizar los valores de tensión y corriente óptimos para poder conectar con el inversor. Un ejemplo de este conexionado se puede ver en la figura 2.9.

Figura 2.7: Ejemplo Conexión en paralelo.

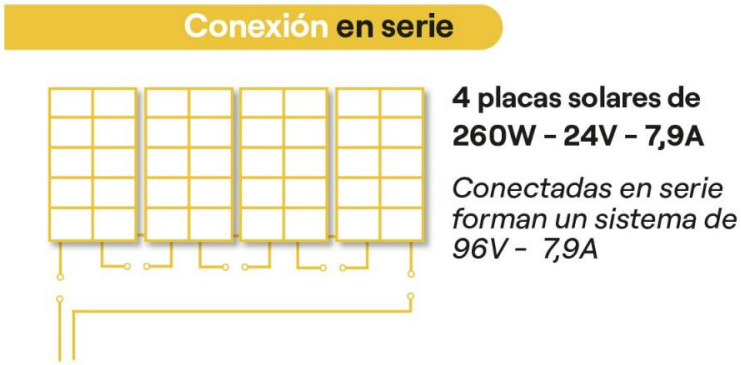


Figura 2.8: Ejemplo Conexión en serie

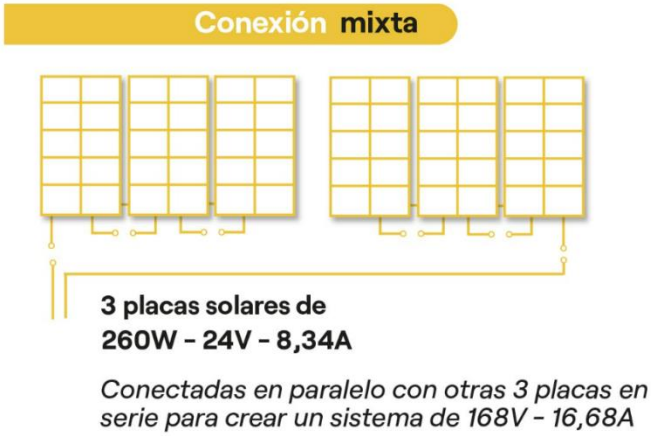


Figura 2.9: Ejemplo Conexión serie-paralelo

Los datos de una placa fotovoltaica instalada en el invernadero de la UPC en Terrassa es el siguiente:

$V_{nominal}$ = 34V

$I_{nominal}$ = 0.65A

$P_{nominal}$ = 22W.

Los datos totales del sistema fotovoltaico propuesto en el invernadero de la UPC en Terrassa son los siguientes

$V_{total} = V_{nominal} \times 16 = 544V$

$I_{total} = I_{nominal} \times 16 = 10.4A$

$P_{total} = P_{nominal} \times 16 = 352W$

En un primer estudio se valoró utilizar micro inversores los cuales presentan ventajas y desventajas respecto a los inversores, pero al hacer la comparación

técnica-económica y la integración que pudiesen tener respecto a los inversores se decidió utilizar estos últimos.

Se estudiaron varios inversores los cuales se muestran a continuación.

Inversor de Red Growatt MIC 1500TL-X Monofásico

El Inversor Red Growatt MIC 1500TL-X Monofásico, figura 2.10, es un inversor de conexión a red, este modelo presenta una potencia de 1500W. Este inversor se conecta a la red eléctrica para poder inyectar energía y para poder sincronizarse con el sistema eléctrico y tener la misma forma de onda. Este dispositivo cuenta con un regulador MPPT para lograr la mayor eficiencia de las placas El coste de este inversor en el mercado español ronda los 423,58 euros. Se puede ver la ficha técnica completa del dispositivo en los Anexos.

Figura 2.10: Inversor Growatt MIC 1500TL-X

Inversor de Red SAJ R5-07K-S1

Es un inversor Monofásico, figura 2.11, para pequeñas instalaciones. Este dispositivo viene incluido con protecciones contra rayos además que puede aportar hasta una potencia de 700W lo que lo convierte en un dispositivo muy útil para aplicaciones reducidas. Presenta también un regulador MPPT para lograr la mayor eficiencia posible de las placas solares. Tiene un coste en España que ronda los 464,20 euros. La ficha técnica completa se puede ver en los Anexos.

Figura 2.11: Inversor SAJ R5-07K-S1

Inversor de Red SMA Sunny Boy 1.5W VL-40

El inversor de red de SMA, figura 2.12, es un excelente producto para soluciones fotovoltaicas. Es un dispositivo muy fiable y que cumplen con todas las normas de calidad para las instalaciones. Incorpora un servidor web y conectividad con WLAN. El dispositivo tiene incorporado un regulador de potencia reactiva y un regulador MPPT para garantizar la mayor eficiencia de los paneles. Es capaz de suministrar hasta una potencia de 1500W. El coste en España aproximadamente de 357,19 euros. La ficha técnica se puede ver en los Anexos.

Figura 2.12: Inversor de red SMA Sunny Boy 1.5W VL-40

Tabla 2.1: Resumen de inversores fotovoltaicos

Inversores	Potencia(W)	Tensión nominal(V)	Tensión mínima de funcionamiento(V)	Corriente(A)	Precio
Growatt MIC 1500TL	1500W	500V	50V	13A	423,58€
SAJ R5-07K-S1	700W	360V	40V	12.5A	464,20€

SMA Sunny Boy 1.5W VL-40	1500W	360V	50V	10A	357,19€

Si se conectaran las 16 placas en serie quedaría de la siguiente forma:

$$Itotal = 0.65\ A$$
$$Vtotal = Vnominal\ x\ 16 = 544V$$

Con esta conexión los inversores no son capaces de soportar estos niveles de tensión.

Si se conectaran las 16 placas en paralelo quedaría de la siguiente forma:

$$Itotal = Inominal\ x\ 16 = 10.4A$$
$$Vtotal = 34V$$

Con esta conexión no se llega el valor mínimo de tensión de entrada de los inversores.

Al tener 16 placas fotovoltaicas se decide hacer un conexionado mixto de dos grupos de 8 placas conectadas en paralelo para estos dos grupos finales conectarlos en serie. La conexión quedaría de la siguiente forma:

Grupo 1 (8 placas conectadas):

$$I1 = Inominal * 8 = 5.2A$$

$$V1 = 34V$$

Grupo 2 (8 placas conectadas):

$$I2 = Inominal * 8 = 5.2A$$

$$V2 = 34V$$

Conexión Final

$$Itotal = 5.2A$$

$$Vtotal = V1 + V2 = 68V$$

El esquema de conexión de las placas queda de la siguiente manera:

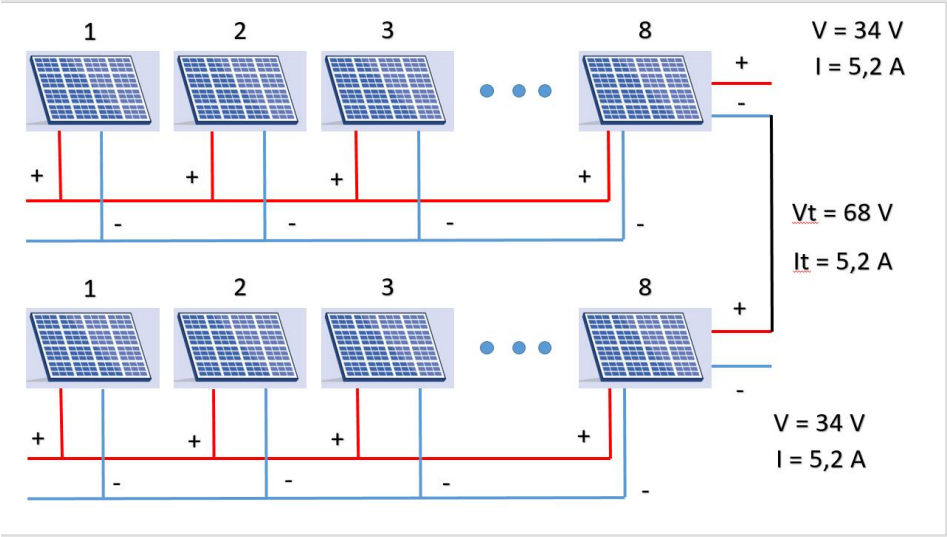


Figura 2.13: Esquema de conexión de las placas

Tras analizar todos los dispositivos se decidió por Inversor de red SMA Sunny Boy 1.5W VL-40 porque cumple con todas las características técnicas de entrada, además que incluye protocolo de comunicación SMA Modbus sobre ethernet (similar a Modbus TCP/IP) para poder integrar los parámetros y variables del inversor con el sistema de monitorización. También se tuvo en consideración el tema económico donde el inversor SMA, al tener menos precio, tiene ventaja respecto a los otros equipos anteriormente mencionado.

En la propuesta también se tienen en cuenta las protecciones eléctricas para el correcto funcionamiento de la instalación. Los dispositivos de protección son los siguientes:

Protecciones de CC

- Interruptor de CC: El Interruptor termomagnético, figura 2.14, se utiliza para la protección de los conductores en caso de que ocurre un corto circuito. El modelo propuesto es el A9N61528 de Schneider Electric

Figura 2.14: Interruptor de CC

- Limitador de sobretensión: El limitador, figura 2.15, protege la instalación fotovoltaica de las descargas eléctricas producto de los relámpagos. El modelo propuesto es el A9L40271 de Schneider Electric

Figura 2.15: Protección de sobretensión

Protecciones de CA

- Interruptor de CA: Interruptor termomagnético, figura 2.16, para la protección de los conductores en caso de que ocurre un corto circuito en la zona después del inversor. El modelo propuesto es el A9F73210 de Schneider Electric.

-

- Figura 2.16: Interruptor termomagnético

- Seccionador: Dispositivo, figura 2.17, para aislar la instalación en caso de alguna avería, reparación o mantenimiento. El modelo propuesto es el A9S60220 de Schneider Electric.

Figura 2.17: Seccionador de CA

La distancia aproximada entre la ubicación del cuadro eléctrico para el sistema fotovoltaico y el cuadro eléctrico general serían de 300 metros. En caso de ser superior se tendría que tener en cuenta para que los conductores eléctricos lleguen correctamente.

2.4.4. Esquema general de conexión de sistema fotovoltaico

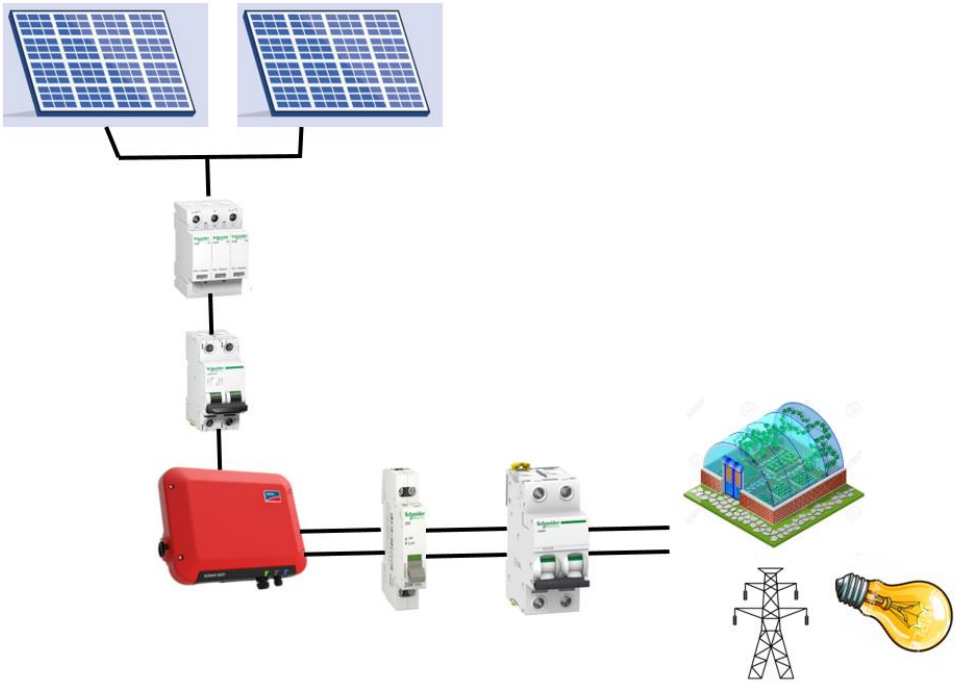


Figura 2.18: Esquema general de sistema de agrivoltaica.

2.5. Conclusiones

Al conocer como funcionan los sistemas fotovoltaicos nos permite hacer una propuesta de solución para un sistema que se pondrá en funcionamiento en un futuro. Ayuda a tener mas conocimiento acerca de este sector de las energías renovables y de como se está aplicando en la actualidad en la agricultura principalmente en invernaderos, los cuales cada a medida que pasa el tiempo se hacen en las zonas urbanas que en las zonas rurales. Con la nueva propuesta se ayuda con el ahorro energético y facilita que la energía del invernadero sea un poco mas independiente. Si la energía captada no se consume esta puede ser enviada a la red y se obtendrían ganancias. Para hace la propuesta te tuvieron en cuenta diversos factores como calidad del producto, calidad/precio, disponibilidad del equipamiento, soporte técnico y recursos de la entidad para llevar a cabo la propuesta.

Capítulo 3. Sistema de automatización

3.1. Introducción

En la época actual para la industria tenga una producción eficiente y de excelente calidad es imprescindible que existan instrumentos encargados del control y la automatización de los procesos. Un dispositivo esencial para llevar a cabo tales propósitos es el controlador lógico programable (PLC), el cual es el encargado de efectuar el control del sistema. En este capitulo se argumenta sobre el controlador propuesto en la automatización del invernadero, se muestra el equipamiento actual con el que se están haciendo las pruebas de los lazos de control y la instrumentación existente. Además, se hace la lógica de programación del PLC.

3.2. Descripción actual de la instalación y aspectos a resolver

Actualmente las pruebas del control del invernadero se están haciendo con dispositivos Arduino y Raspberry porque son elementos relativamente económicos y para una etapa de prueba y experimental funcionan correctamente. Se tienen que acudir a estos 2 dispositivos porque no se alcanzan las entradas/salidas necesarias para abarcar todo el sistema. Con la propuesta realizada se logra mayor robustez, se garantiza que el controlador propuesto cumpla con las necesidades del sistema y que presente una reserva de señales para futuras ampliaciones o modificaciones. La solución de automatización garantizará la correcta integración de los controladores automáticos con el sistema de monitorización actual.

3.3. Lazos de control dentro del invernadero

Las principales variables a controlar dentro del invernadero son: temperatura, humedad, radiación solar, nivel de radiación dentro del invernadero, niveles de CO_2.

El lazo de control de temperatura, figura 3.1, está compuesto por un sensor de temperatura que está ubicado en el punto crítico del invernadero, un controlador,

el actuador de los ventiladores que son los encargados de dejar pasar la alimentación para que empiece o se detenga el flujo de aire

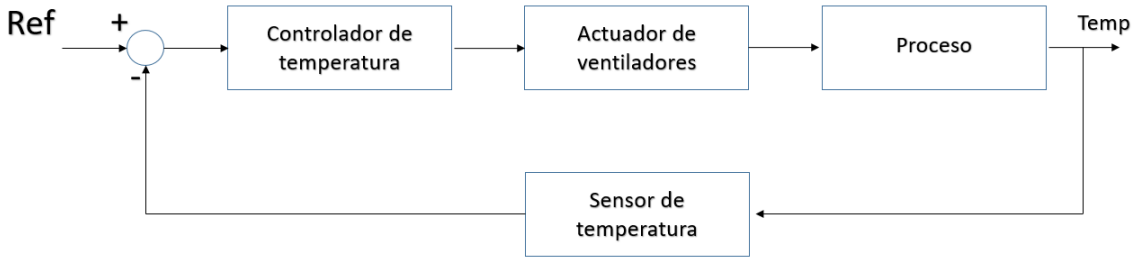


Figura 3.1: Lazo de control de temperatura.

Con la impulsión o de aire se regula la temperatura y se controla la humedad relativa dentro del invernadero.

El lazo de control para la radiación solar es similar al lazo de temperatura lo que el controlador sería de radiación solar, los actuadores serían las cortinas presentes en diferentes zonas del invernadero. Para el funcionamiento de las cortinas también se tendrá en cuenta las mediciones de valores meteorológicos para saber si es ideal recogerlas o no.

El lazo de control de radiación ePAR sería similar al lazo de temperatura, siendo el controlador de ePAR y el actuador sería la acción sobre las luces LED que existen dentro del invernadero.

3.4. Equipamiento actual instalado.

Actualmente la gestión de las señales del invernadero se hace con una **Raspberry Pi 4**, figura 3.2, con un **Arduino Uno**, figura 3.3, para abarcar todas las señales de entradas/salidas hasta el momento, además de sensores de temperatura, humedad, radiación.

Raspberry Pi

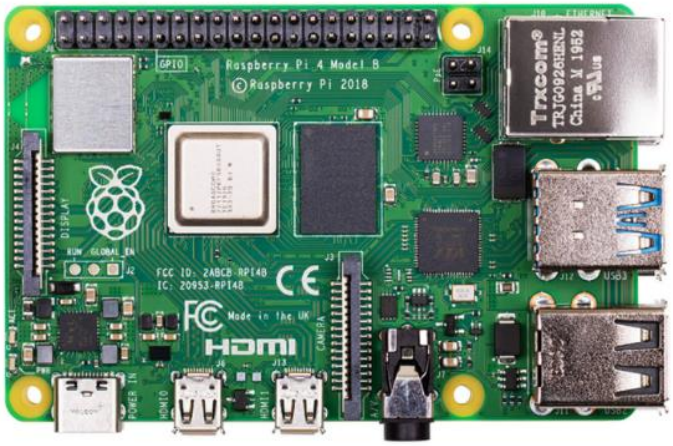


Figura 3.2: Raspberry Pi 4.

La Raspberry cuenta con diversos parámetros electrónicos en lo que se destaca los puertos de comunicación USB 3.0 y USB 2.0. Además, presenta comunicación Ethernet Gigabit real garantizando la comunicación con la PC para la gestión de datos. Este dispositivo cuenta con un conector GPIO de 40 pines para manejar diversas entradas/salidas. Estos conectores presentan el inconveniente de estar limitados en niveles de tensión hasta los 3.3 voltios.

Arduino UNO

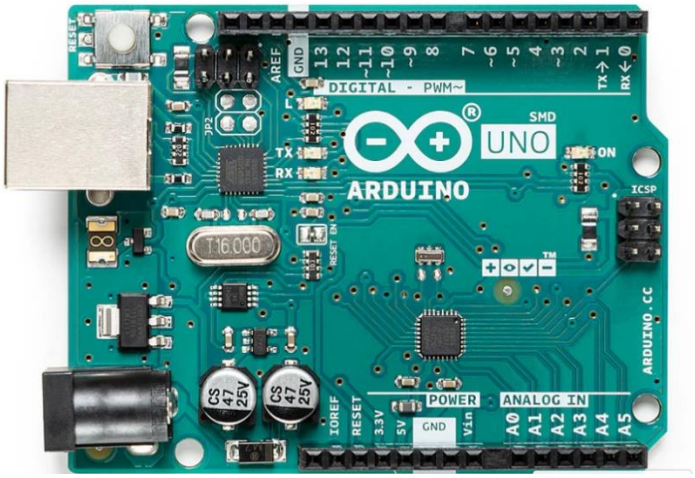


Figura 3.3: Arduino Uno Rev3 SMD.

El Arduino Uno Rev3 es un microcontrolador basado en ATMEGA328. Presenta 14 pines digitales configurables como entradas/salidas. De esos pines de E/S se

pueden configurar 6 como salidas PWM. El Arduino contiene pines para entradas analógicas, alimentación, leds de funcionamiento y conector del puerto del microcontrolador para la programación del dispositivo.

Conversor USB-RS 485

Se utiliza un conversor USB-Modbus RS485, figura 3.4 para la comunicación de la Raspberry con los sensores que se encuentran en el invernadero.

Figura 3.4: Conversor USB/RS485.

Este conversor no necesita fuente externa y se conecta directamente al puerto USB de la Raspberry. Es compatible con USB 2.0 y facilita el emparejamiento mediante RS 485 con los sensores en campo. Soporta velocidad de comunicación entre 75-115200 baudios/seg (6Mbps) y puede comunicar hasta una distancia de 1.2 kilómetros con baja interferencia.

Sensores Guardian

Figura 3.5: Sensores Guardian apogee.

El Guardian Apogee es un dispositivo para la medición de diversos parámetros dentro del invernadero. Las principales variables medidas son radiación (ePAR), temperatura, humedad relativa, niveles de CO_2, presión. Existen principalmente 2 modelos de sensores, el SM500 y el SM600. La diferencia entre estos es que el SM600 es capaz de medir mayor rango de ePAR que su versión anterior, por

lo demás son similares. Estos sensores presentan una comunicación RS 485 por donde envían la información de la medición. La ficha técnica se puede observar en los Anexos.

En la imagen 3.6 se puede observar la forma y estructura del sensor.

Figura 3.6. Sensor SM 600

Sensores Piranómetro y ePAR.

El sensor SP-522-SS, figura 3.7, es un sensor que presenta comunicación RS 232/485, figura 3.8 para dar la información de las mediciones. Es el encargado de medir en determinados puntos el nivel de radiación solar que se está recibiendo.

Figura 3.7: Sensor Piranómetro SP-522-SS

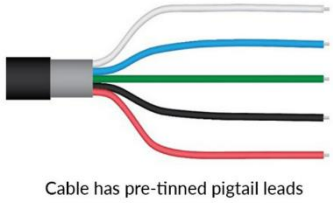


Figura 3.8: Cables de alimentación y comunicación

El sensor SQ-618-SS, figura 3.9, es un sensor de medición de ePAR, el cual es el encargado de medir la cantidad de radiación recibida en diferentes puntos del invernadero. Este sensor también tiene una comunicación RS 485 por lo que permite la integración con el sistema para tomas las medidas.

Figura 3.9: Sensor SQ-618-SS

3.4.1 Distribución del equipamiento dentro del invernadero con la nueva propuesta.

La distribución de los sensores y los controladores dentro del invernadero se puede apreciar en la figura 3.10.

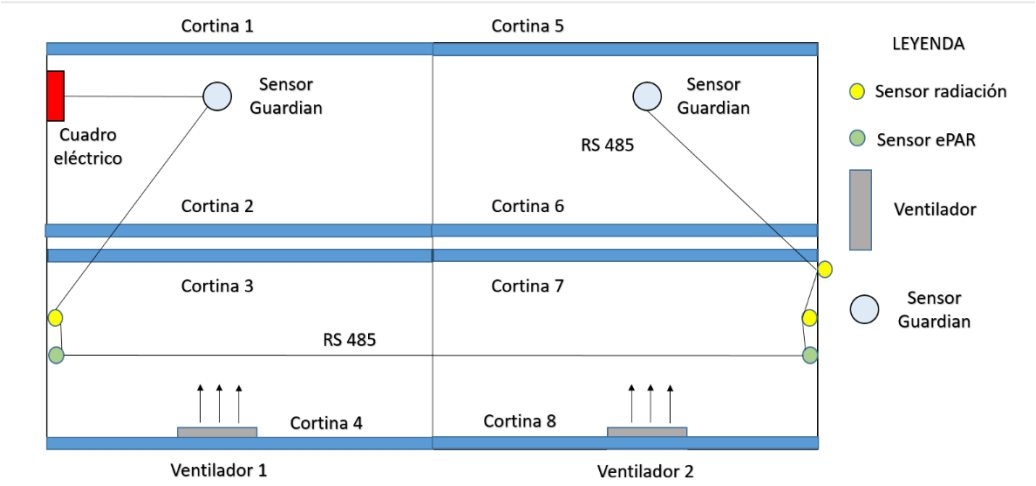


Figura 3.10: Distribución de equipamiento dentro del invernadero.

3.5. Relación de Entrada/Salidas (E/S)

Para poder seleccionar el controlador correcto para la instalación lo fundamental es que este cumple con la relación entrada/salidas (E/S) correspondiente. Siempre es buena práctica, además de cumplir con la relación dejar una reserva por futuras ampliaciones o modificaciones del sistema.

La tabla siguiente muestra la cantidad de E/S existente en la instalación.

Tabla 3.1 Relación E/S existente

Señales	***Tipo E/S***
Actuador de cortina 1	Salida digital
Actuador de cortina 2	Salida digital
Actuador de cortina 3	Salida digital
Actuador de cortina 4	Salida digital
Actuador de cortina 5	Salida digital
Actuador de cortina 6	Salida digital
Actuador de cortina 7	Salida digital
Actuador de cortina 8	Salida digital
Actuador de LED 1	Salida digital
Actuador de LED 2	Salida digital
Actuador de ventilador 1	Salida digital
Actuador de ventilador 2	Salida digital
Señal sensor Guardian 1	Punto virtual(COM)
Señal sensor Guardian 2	Punto virtual(COM)
Señal sensor radiación 1	Punto virtual(COM)
Señal sensor radiación 2	Punto virtual(COM)
Señal sensor radiación 3	Punto virtual(COM)
Señal sensor ePAR 1	Punto virtual(COM)
Señal sensor ePAR 2	Punto virtual(COM)

Para hacer la propuesta además de tener en cuenta las señales existentes se cuentan los estados de funcionamientos para saber si realmente se llevo a cabo la orden u ocurrió alguna falla. Además, se suman también señales de válvulas

para regar el invernadero. Las señales de los sensores al ser por protocolos de comunicación se cuentan como puntos virtuales, no como señales físicas. Estos sensores se encuentran conectador mediante un bus de comunicación Modbus RS 485.

Tabla 3.2: Relación E/S de la propuesta

Señales	***Tipo E/S***	***E/S en el PLC + Módulo de E/S***
Actuador de cortina 1	Salida digital	DO 1
Actuador de cortina 2	Salida digital	DO 2
Actuador de cortina 3	Salida digital	DO 3
Actuador de cortina 4	Salida digital	DO 4
Actuador de cortina 5	Salida digital	DO 5
Actuador de cortina 6	Salida digital	DO 6
Actuador de cortina 7	Salida digital	DO 7
Actuador de cortina 8	Salida digital	DO 8
Estado de cortina 1	Entrada digital	DI 1
Estado de cortina 2	Entrada digital	DI 2
Estado de cortina 3	Entrada digital	DI 3
Estado de cortina 4	Entrada digital	DI 4
Estado de cortina 5	Entrada digital	DI 5
Estado de cortina 6	Entrada digital	DI 6
Estado de cortina 7	Entrada digital	DI 7
Estado de cortina 8	Entrada digital	DI 8
Actuador de LED 1	Salida digital	DO 9
Actuador de LED 2	Salida digital	DO 10
Estado de LED 1	Entrada digital	DI 9
Estado de LED 1	Entrada digital	DI 10
Actuador de ventilador 1	Salida digital	DO 11
Actuador de ventilador 2	Salida digital	DO 12
Estado de ventilador 1	Entrada digital	DI 11
Estado de ventilador 2	Entrada digital	DI 12
Alarma de ventilador 1	Entrada digital	DI 13
Alarma de ventilador 2	Entrada digital	DI 14

Bomba 1	Salida digital	DO 13
Bomba 2	Salida digital	DO 14
Señal sensor Guardian 1	Punto virtual(COM)	Comunicación RS 485
Señal sensor Guardian 2	Punto virtual(COM)	Comunicación RS 485
Señal sensor radiación 1	Punto virtual(COM)	Comunicación RS 485
Señal sensor radiación 2	Punto virtual(COM)	Comunicación RS 485
Señal sensor radiación 3	Punto virtual(COM)	Comunicación RS 485
Señal sensor ePAR 1	Punto virtual(COM)	Comunicación RS 485
Señal sensor ePAR 2	Punto virtual(COM)	Comunicación RS 485

En total se contabilizan como señales físicas 14 salidas digital y 14 entradas digitales. Como se mencionó anteriormente las señales de los sensores al ser por protocolos de comunicación no intervienen en la relación E/S.

3.6. Opciones y proceso de elección.

3.6.1 Controladores de Schneider Electric

Schneider Electric es una compañía europea que opera a nivel mundial. Fue fundada en 1836 por los hermanos Eugène y Adolphe Schneider. Sus principales actividades se centran en la industria pesada y en la eléctrica, más concretamente en la transformación digital en el mundo de la gestión de la energía, la automatización en los edificios, hogares, infraestructuras e industrias.(Schneider Electric, 2020)

Los PLCs (Controladores Lógicos Programables) y PACs (Controladores de Automatización Programables) Modicon controlan y supervisan las operaciones industriales de una manera sostenible, flexible, eficiente y segura. La familia Modicon de controladores lógicos programables (PLC) es sinónimo de innovación y ofrece una gama completa de soluciones para satisfacer tus necesidades de automatización. Desde máquinas pequeñas automatizadas hasta automatización avanzada de máquinas. (Schneider Electric, 2020)

Los PLCs del fabricante Schneider Electric garantizan conectividad punta con el protocolo de comunicación Ethernet, ciberseguridad incluida y potencia en los procesos de automatización y en los análisis de datos. Se dividen en diferentes

gamas, bajo estándar (aplicaciones sencillas), medio estándar (aplicaciones comunes y cantidad de señales reducidas) y alto estándar para aplicaciones y soluciones con gran numero de señales.

3.6.2. Controladores gama TM241

Los controladores de la gama Modicon TM241 se categorizan dentro de la gama media de los PLC de Schneider Electric. Son controladores diseñados para solución en máquinas y procesos industriales. Presentan una conectividad versátil y en rendimiento de alto nivel. Está preparado para estar presente dentro de la industria 4.0.

Dentro de los beneficios que presenta se encuentra una programación intuitiva con el Software EcoStruxure Machine Expert. Presenta facilidad para el intercambio de información pudiendo llegar, dependiendo de la configuración, hasta 5 puerto de comunicación, siempre garantizando la seguridad de los datos. Se pueden conectar a través de internet y mediante tarjetas se puede lograr comunicación inalámbrica. Son controladores escalables y permite una actualización sencilla y mejor rendimiento para mejorar la eficiencia en los procesos donde intervienen.

3.6.3. Análisis y elección del controlador lógico programable

Para hacer una correcta propuesta se analizaron diversas configuraciones y diversos controladores dentro de la gama de Schneider Electric.

TM241CE24R

El TM241CE24R, figura 3.11, es un controlador de 14 entradas digitales y 10 salidas. Presenta un puerto Ethernet para la integración con el sistema supervisor. Esta comunicación Ethernet es bajo la capa Modbus TCP. Presenta puertos de comunicación RS485. Para una solución mas amplia permite conectarle módulos de entradas/salidas para incrementar las señales que este posee. Tiene un precio de alrededor de 461 euros. Para ver la ficha técnica ver los Anexos.

Figura 3.11: Controlador TM241CE24R

Módulo de E/S TM3 24E/S

El módulo de entradas/salidas TM3 24E/S, figura 3.12, presenta 16 puertos de entradas digitales y 8 salidas digitales. Estas salidas presentan características eléctricas concretas, las cuales hay que respetar para que no se dañe el módulo. Este se puede integrar perfectamente con el controlador mediante un acople lateral con el PLC. Presenta un índice de protección de IP20. Tiene un precio entorno de los 219 euros.

Figura 3.12: Módulo de E/S.

TM241CE40R

El TM241CE40R, figura 3.13, es un controlador de 24 entradas digitales y 16 salidas digitales. Presenta un puerto Ethernet para la integración con el sistema supervisor. Esta comunicación Ethernet es bajo la capa Modbus TCP. Además, tiene incorporado 2 puertos de comunicación RS232/485, donde los conectores de estos puertos son a tornillos y por RJ45. El controlador tiene un índice de protección IP20. Tiene un precio de alrededor de 546.60 euros. Para ver la ficha técnica ver los Anexos

Figura 3.12: Controlador TM241CE40R

Viendo la relación de E/S de la instalación y con la premisa de tener una reserva de señales para futuras ampliaciones es seleccionó el TM241CE40R.

Tabla 3.3. E/S Resultante

Señales Instalación	Señales PLC	Señales de reserva
Entradas digitales - 14	Entradas digitales - 24	Entradas digitales - 10
Salidas digitales - 14	Salidas digitales - 16	Salidas digitales - 2
Comunicación RS485	Comunicación ETH y RS485	-

El TM241CE40R puede actuar como interfaz de una amplia variedad de sensores/transductores y dispositivos a controlar.

Protección frente a fallos de alimentación

Debido a la memoria no volátil (Flash), la unidad encenderá con la configuración fijada y trabajará normalmente tras un fallo de alimentación.

Reloj en tiempo real

El reloj ofrece datos tales como año, fecha, día, hora, minuto y segundo. Un condensador interno mantiene funcionando el reloj en caso de fallo de alimentación durante al menos 72 horas.

Entradas digitales

Las entradas digitales se utilizan para contactos de alarmas, indicaciones de estado, conteo de pulsos, etc. Los circuitos de entradas digitales están alimentados internamente.

Salidas digitales

Las salidas digitales están pensadas para el control de equipos tales como ventiladores, bombas o dispositivos similares. La señal de salida puede ser de modulación por pulsos.

3.7. Lógica de programación del controlador.

Los controladores de Schneider Electric se pueden programar de diversos lenguajes como, de contactos(Ladder), diagrama de bloques y texto estructurado. En las aplicaciones sencillas y moderadas es utilizado el Ladder porque es similar a la lógica de circuitos eléctricos y el código es de fácil compresión. Un ejemplo de programación en Ladder se puede ver en la figura 3.13.

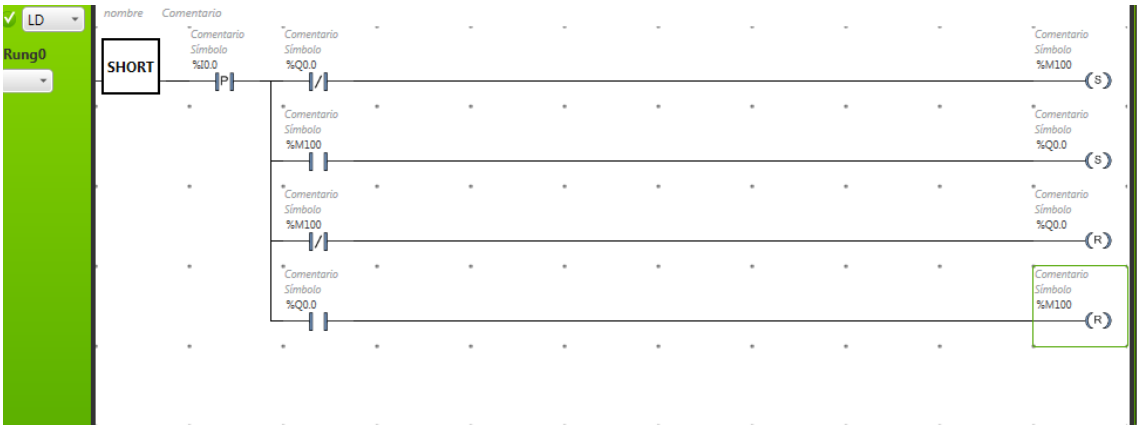


Figura 3.13: Programación en Ladder.

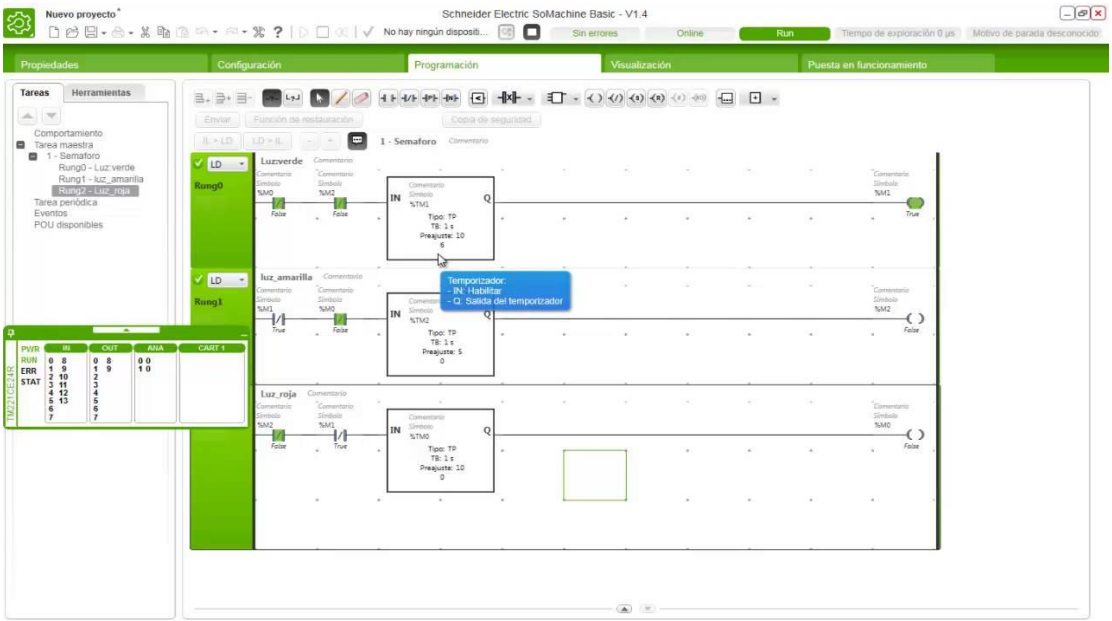


Figura 3.14. Programación en Ladder.

Los esquemas para la programación del controlador lógico programables se pueden ver en los siguientes esquemas.

El esquema de la figura 3.15 muestra de manera resumida el lazo general de control de las variables en el invernadero.

Figura 3.15: Esquema general de controla del invernadero.

En la figura 3.16 se ve el esquema de las alarmas que se consideran mas críticas las cuales son las que no dejan arrancar el sistema. Hay que destacar que las prioridades de estas alarmas se pueden cambiar a petición del operador del sistema.

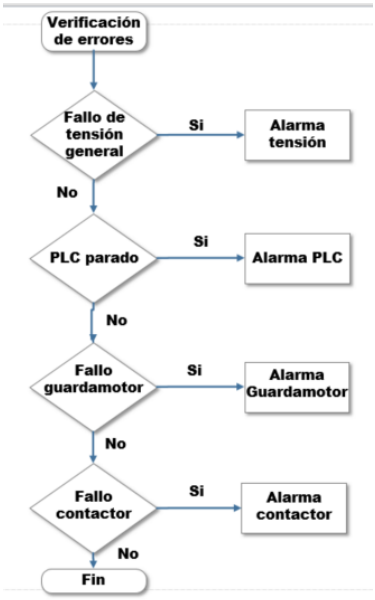


Figura 3.16: Proceso de verificación de errores

Los lazos de control de todas las variables que interviene son similares, el único que varía un poco es el control de las cortinas del invernadero, tanto las interiores como las exteriores. En la figura 3.17 y 3.18 se ve la lógica de este control. El resto de los lazos de control se pueden ver en los Anexos.

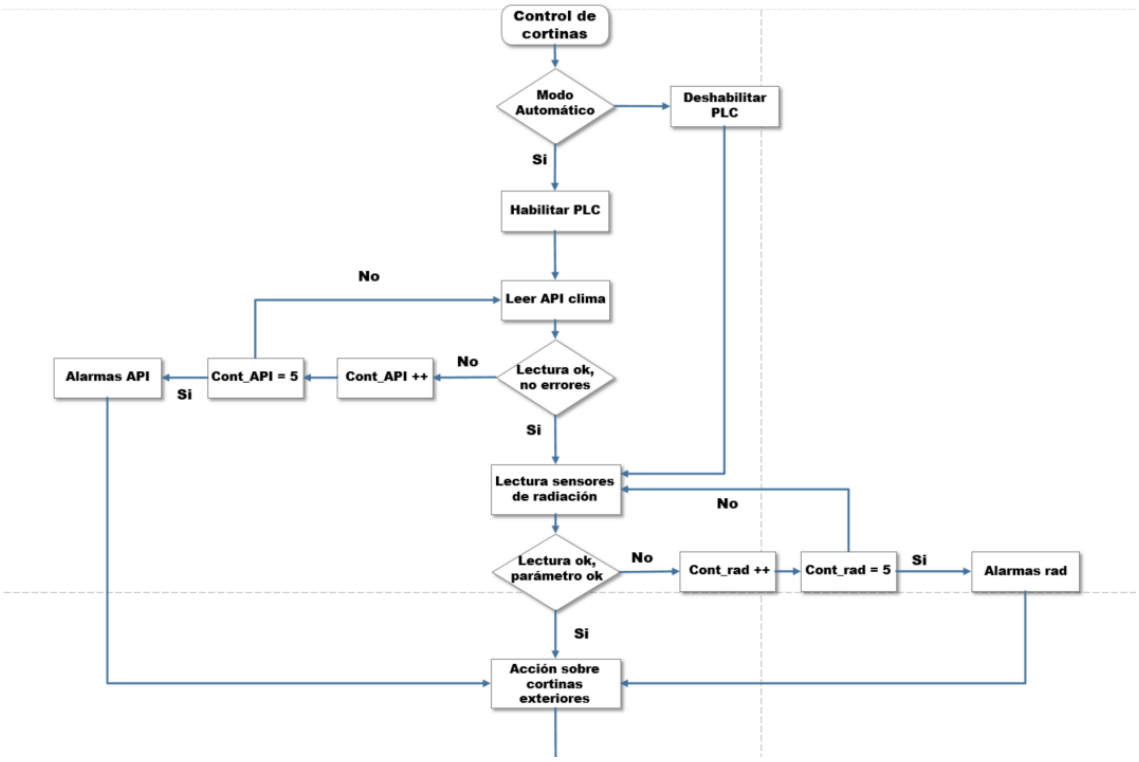


Figura 3.17: Control de cortinas del invernadero.

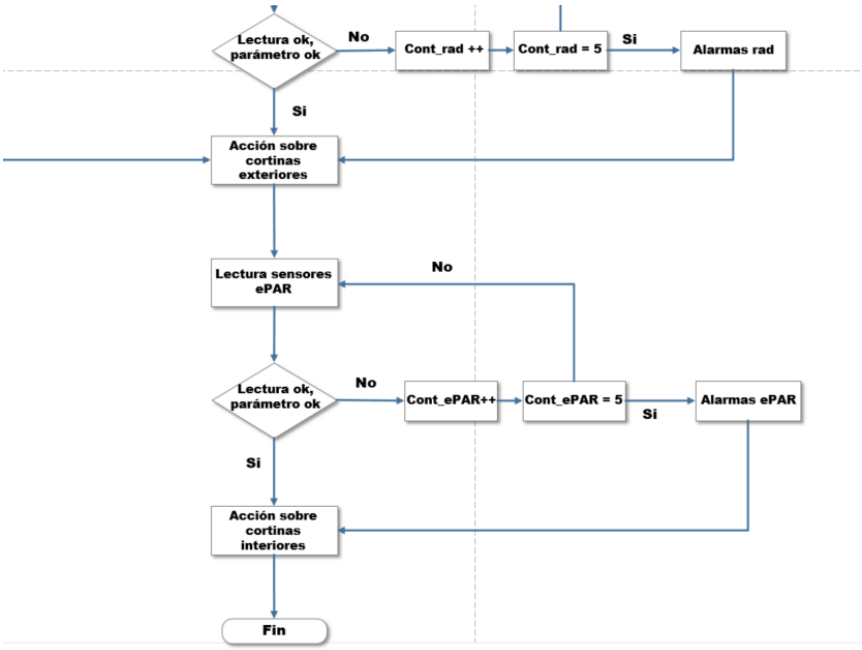


Figura 3.18: Control de cortinas

3.8. Conclusiones

En este capitulo se pudo ver la propuesta del controlador lógico programable TM241CE40R para el invernadero del Campus de la UPC en Terrassa y el análisis que se hizo para hacer la selección. Se dio una breve explicación del lenguaje de programación del controlador y la lógica de programación que se debe aplicar cuando se adquiera este equipamiento. Esta programación garantiza un correcto funcionamiento del invernadero y controla todas las variables que intervienen en la gestión de la instalación

Capítulo 4: Redes de Comunicación y Sistema de Monitorización.

4.1. Introducción

En la actualidad todos los procesos tienden a ser automáticos ya que evita fallos humanos, y si el sistema está correcto garantizan que siempre funcione lo mas óptimo posible. Estos sistemas automáticos deben estar interconectados para desde un centro de maniobras o de monitorización se pueda el tener control de todas las variables que interviene en el proceso. Para la integración de estos sistemas automáticos se tiene que tener una red de comunicación robusta y que garantice la correcta lectura de los datos. En este capítulo se explica las redes de comunicación implementadas en la solución y como todo el sistema se integra al sistema supervisor que se implementará en un futuro.

4.2. Descripción de la instalación y aspectos a resolver

En estos momentos el invernadero ubicado en el Campus de la UPC en Terrassa no cuenta con ninguna red de comunicación que integre todos los sistemas que intervienen en su funcionamiento. Al ser un invernadero en fase experimental de automatización las pruebas se hacen con buses de comunicación con los sensores de forma local, presentando fallos en las lecturas. Actualmente existe una propuesta de sistema de monitorización para gestionar todas las variables del invernadero y basándose en esa propuesta se diseña la red para la integración de todos los sistemas. Con el diseño de la red se logra que todos los subsistemas que intervienen en el invernadero se comuniquen entre ellos y se logre una gestión más eficiente. Al tener una correcta red de comunicación se asegura la monitorización de la instalación desde un punto central.

4.3. Proceso de elección. Comunicación Modbus y Ethernet

Una red de comunicación (Modbus), dentro de un sistema automatizado es de vital importancia ya que permite la comunicación entre todos los dispositivos que conforman el sistema. Modbus es un protocolo de comunicación abierto, utilizado para transmitir información a través de redes en serie entre dispositivos electrónicos. El dispositivo que solicita la información se llama maestro Modbus y los dispositivos que suministran la información son los esclavos Modbus. La

red puede estar compuesta por varios dispositivos entre los que se encuentran: dispositivos transmisores-receptores, registradores de datos, cableado de interconexión, sensores, actuadores, entre otros. Esta comunicación puede ser mediante Modbus RS232/485 (comunicación serial), Modbus RTU y comunicación Modbus TCP/IP (comunicación sobre Ethernet).

MODBUS TCP es para cumplir con la tendencia de desarrollo actual del mundo, y cualquier cosa se puede conectar con la red Ethernet o Internet para transmitir datos. Entonces, el modo MODBUS TCP, la interfaz de hardware de este modo es el puerto Ethernet, que es el puerto de red común en nuestra computadora. (Jkon-Tek, 2018)

RS485 / MODBUS es un popular modo de red, que se caracteriza por una implementación simple y conveniente, y ahora admite cada vez más instrumentos RS485, especialmente en la industria. El RS485 / MODBUS simplemente domina el mundo. La interfaz del conmutador RS485 es mucho más económica y variada. Al menos en el mercado de gama baja, RS485 / MODBUS también será el método de red más importante. (Jkon-Tek, 2018)

Un protocolo de comunicación está diseñado para el control de redes. Se caracterizan por mensajes cortos, de pequeño ancho de banda, múltiple comunicación, bajo mantenimiento, bajo costo de soporte técnico, entre otras características. En la figura 4 se pueden ver los elementos básicos de una red de comunicación genérica.

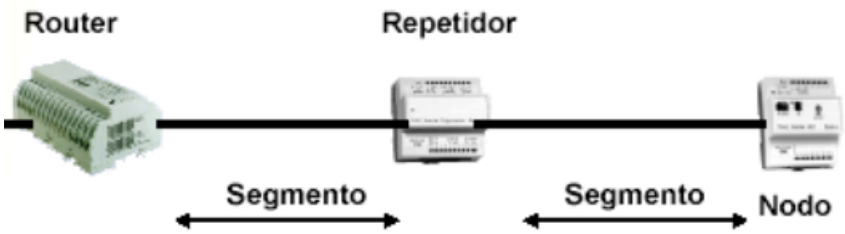


Figura 4: Elementos de un canal de comunicación.

Ethernet

Para implementar una red de comunicaciones, como se muestra es la figura 2.13, en el nivel superior de la pirámide de automatización, se utiliza el estándar Ethernet. El mismo ha evolucionado notablemente y ha superado muchas de las desventajas

que le impedían acercarse a la producción. Esto se evidencia en la evolución de los dispositivos, los cuales han alcanzado la robustez suficiente para tener un funcionamiento adecuado en condiciones severas de entorno (AA.B, 2016)

El mismo implementa las tres primeras capas del modelo OSI, física, enlace y red, puede utilizar diferentes medios físicos en función de la distancia, la velocidad y el ambiente en que se emplee, entre los que se encuentran el UTP (par trenzado no apantallado), STP (par trenzado apantallado) o fibra óptica. Soporta velocidades de 10/100/1000 MBit/seg. Su topología física también es diversa pero habitualmente se emplea una estructura de árbol, en la que puede haber secciones estrella y anillo. Emplea el CSMA/CD (carrier sense multiple access/collision detection) como control de acceso al medio. Inicialmente empleaba transmisión half-dúplex, pero en la actualidad es capaz de transmitir full-dúplex.

4.4. Esquema de comunicación del sistema

El esquema general de la red de comunicación para la integración de todos los sistemas que intervienen entorno al invernadero es la siguiente, figura 4.1.

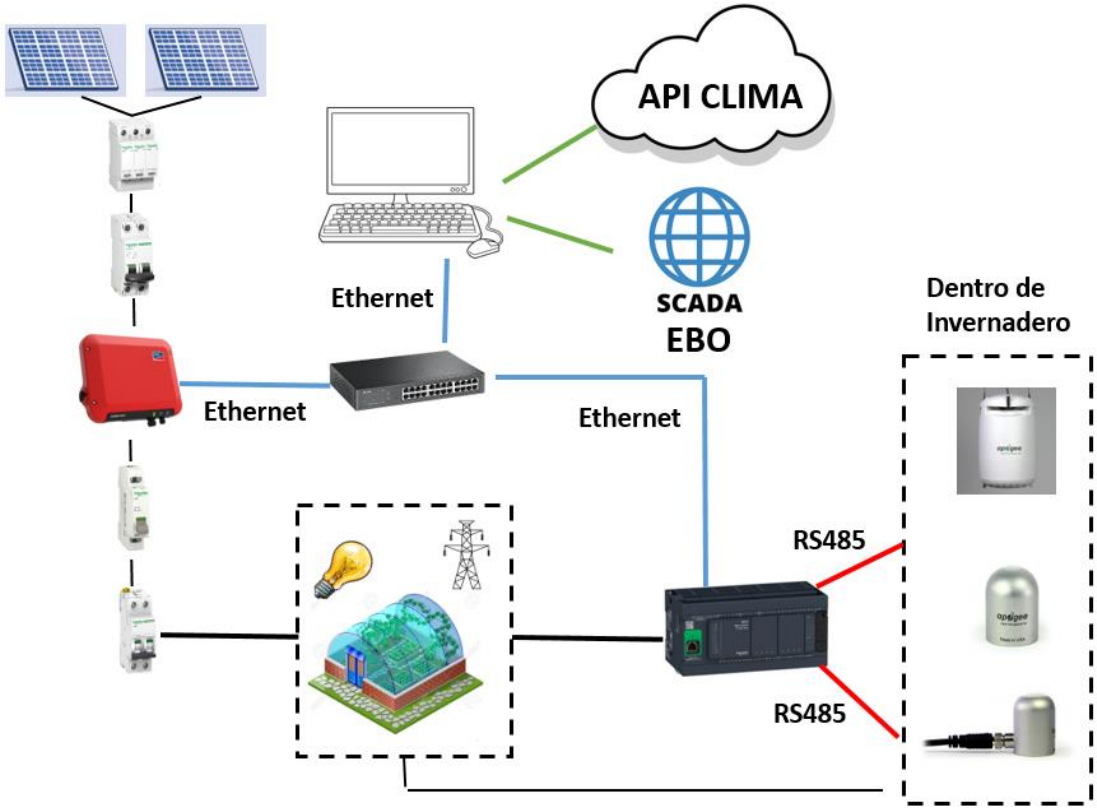


Figura 4.1: Esquema de red de comunicación del sistema

4.5. Sistema de Monitorización del invernadero

De acuerdo con la definición de SCADA (en inglés Supervisory Control And Data Adquisition), se puede observar que no se está hablando solo de un sistema de control, sino de monitoreo y supervisión; que realiza la función de interfaz entre el PLC y los niveles superiores de gestión.

Los sistemas SCADAS presentan las siguientes ventajas:

- Monitorizan procesos industriales que se encuentran muy lejanos geográficamente del centro de control, mediante el uso de los sistemas de comunicación y de la automatización que permite la tecnología actual, brinda seguimiento al proceso y a la evolución continuada del producto, así como su representación través de históricos, tendencias, reportes y sinópticos
- Manejan grandes cantidades de datos por medio de computadoras (PC), que le presentan la información al usuario de una forma organizada y sintetizada para que este pueda darle una interpretación rápida y eficiente.
- Permiten variaciones en el control de procesos a distancia, los cuales, facilitan el manejo y adaptación de los mismos.
- Al tener acceso a toda la información de los procesos, permite obtener datos valiosos acerca del rendimiento de la planta, lo cual, los ayuda en la toma de decisiones económicas.
- Está diseñado específicamente para el manejo de los diferentes sistemas de una manera ágil, esto supone un gran ahorro en tiempo y trabajo realizado.
- Presentan alarmas en tiempo real, que permiten a los operadores, detectar fallos momentáneos en los procesos en la industria.
- Presentan en muchos casos un sistema de diagnóstico de fallas que elevan la robustez y la confiabilidad del sistema.

4.5.1. Descripción de la herramienta EBO

Dentro del paquete de las aplicaciones pertenecientes a EBO (EcoStruxure Building Operation) que ofrece Schneider Electric, se encuentra WorkStation for Projects, que permite la configuración del sistema offline. Es importante no

confundir esta herramienta con WorkStation, pues esta es la interfaz desde la cual los usuarios e ingenieros acceden a los servidores una vez que el sistema es implementado. La figura 4.2 muestra la distribución del entorno de trabajo de WorkStation for Projects

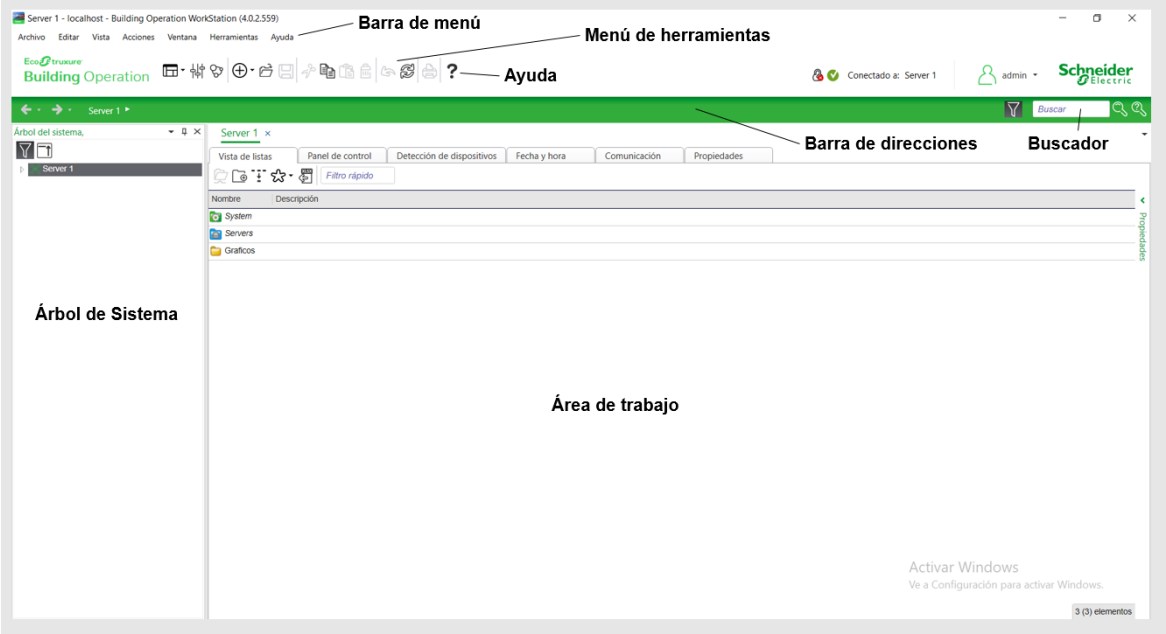


Figura 4.2: Entorno de trabajo de EBO 2022.

En el panel de Árbol del Sistema se muestra la estructura del proyecto según los ajustes realizados. Este permite ver, crear, eliminar, copiar, mover y cambiar el nombre de los objetos fácilmente. Además, dispone de filtros para mostrar u ocultar los objetos de presentación (carpetas, gráficos, paneles, listas de registro de tendencias, gráficos de tendencias, programaciones, entre otros).

En el Área de Trabajo los objetos de presentación son manipulados. El resto de los componentes (barras y vistas) se utilizan para garantizar la rapidez del diseño. En esta Área se muestran los paneles que hayan sido creados por el usuario o las características y propiedades de algún elemento seleccionado en el árbol del sistema.

WorkStation for Projects trabaja en conjunto con las aplicaciones Building Operation Menta Editor y Building Operation Graphic Editor, para la programación del controlador y el diseño del sistema de Monitorización, respectivamente. Estos dos programas pueden ser abiertos desde el entorno de trabajo de WorkStation for Projects, otorgándole al sistema un carácter

centralizado para la gestión de los proyectos. Existen algunos objetos que tienen visores específicos como son: las alarmas, los documentos, los gráficos, los eventos, las programaciones, los calendarios, las listas y los gráficos de tendencias.

4.5.2 Configuraciones iniciales

Las configuraciones en esta herramienta se realizan mediante el panel de control del programa. La primera configuración que se realiza fue el establecimiento del uso horario.

Posteriormente se definen un servidor de empresa (Enterprise Server) y un servidor de automatización (Automation Server, en caso de ser necesario), el primero es la versión de la aplicación Windows en la que se recopilan todos los datos de la instalación, además, se alojan las bases de datos de configuración e históricos, y el segundo es el componente principal de una solución EcoStruxure. Es un dispositivo potente que puede actuar como pasarela y controlador entre los elementos de campo y el software de monitorización.

Luego se configuran las redes de comunicaciones correspondiente para poder comunicar los controladores y los elementos de campo con el sistema de gestión, esto se puede observar en la figura 4.3.

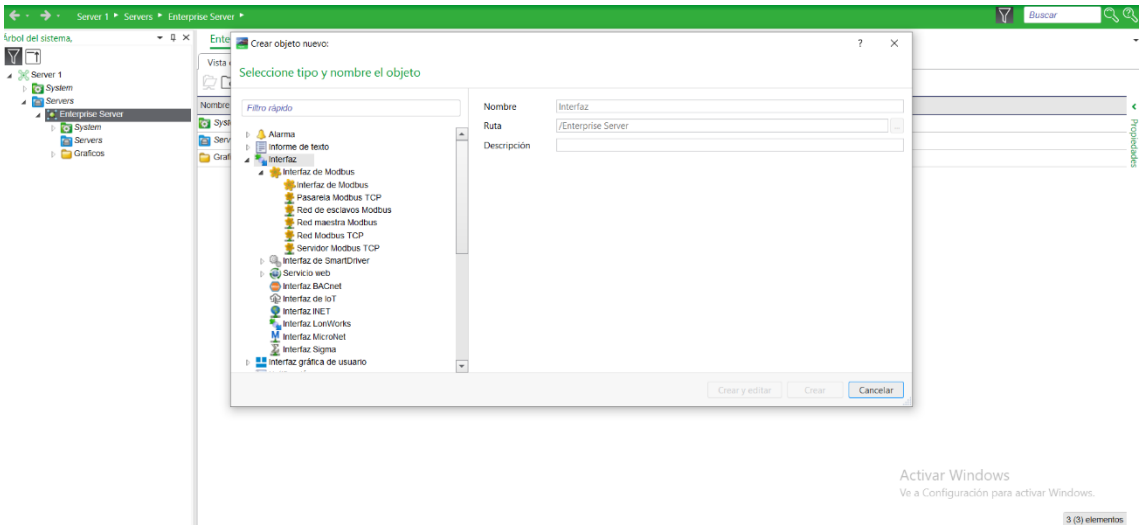


Figura 4.3: Interfaz para drivers de comunicación.

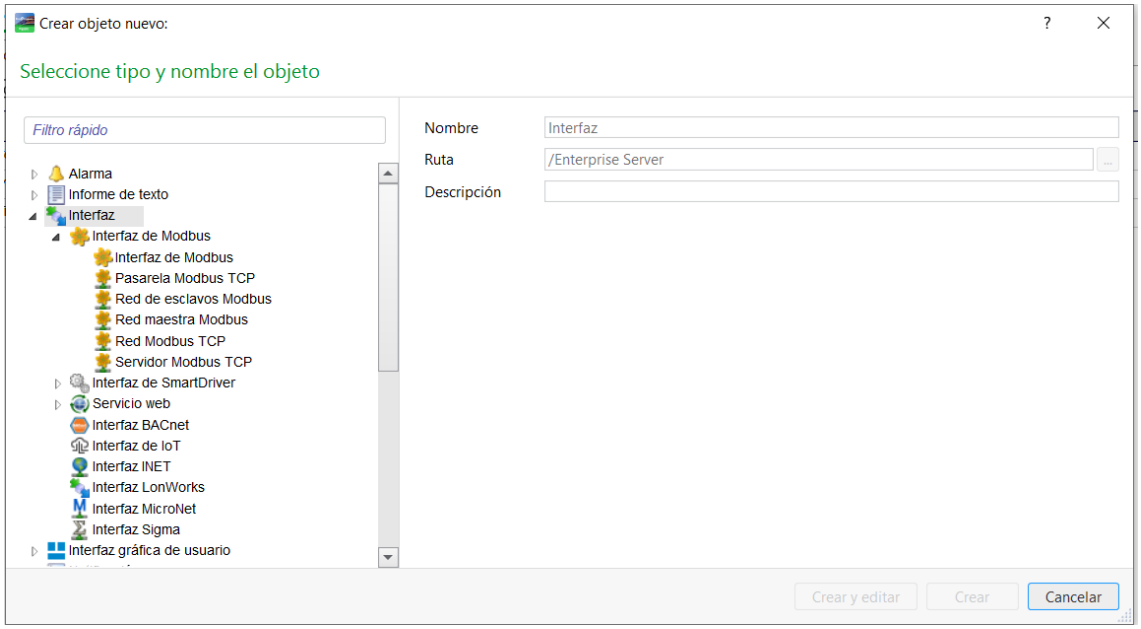


Figura 4.4: Drivers de comunicación

4.5.3. Creación y enlace de los gráficos en el EBO.

El software que permite la realización de los mímicos que simulan el funcionamiento del proceso se denomina Building Operation Graphic Editor. Estos mímicos brindan a los usuarios una mejor interpretación de lo que sucede en el proceso. En la figura 4.5 se muestra la interfaz de trabajo de dicho software

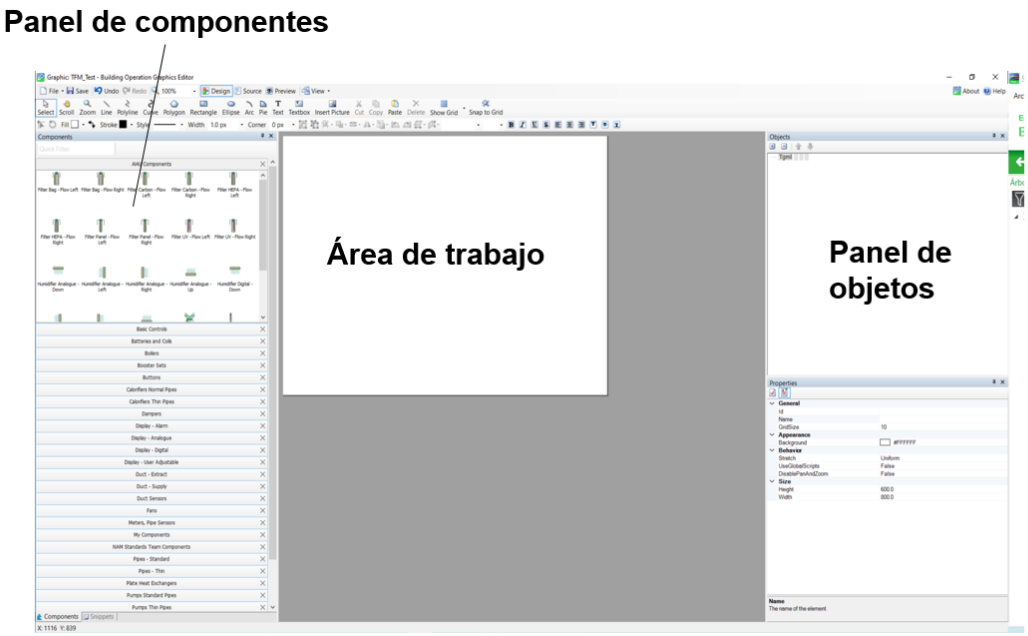


Figura 4.5: Interfaz de trabajo en el Building Graphic Editor.

El software se basa en la utilización de *bindings* o enlaces, estos se encargan de vincular a un objeto de la aplicación, con su respectiva fuente que le proporciona el valor o estado que este debe tener en cada momento. El software cuenta con librerías con varios objetos que tienen funcionalidades determinadas y poseen sus respectivos *bindings*, en caso de necesitar un objeto o elemento determinado que no se encuentre en dichas librerías, se pueden crear nuevos objetos haciendo uso de las herramientas de dibujo, igualmente estos nuevos elementos se les pueden asignar enlaces. La utilización de estos elementos posee múltiples ventajas. Además, de garantizar un diseño rápido y fluido, la separación entre objetos y enlaces posibilita el uso de plantillas de estos últimos para reducir el tiempo de trabajo.

Un ejemplo de como quedaría un esquema de una Unidad Manejadora de Aire (UMA) se puede observar en la figura 4.6.

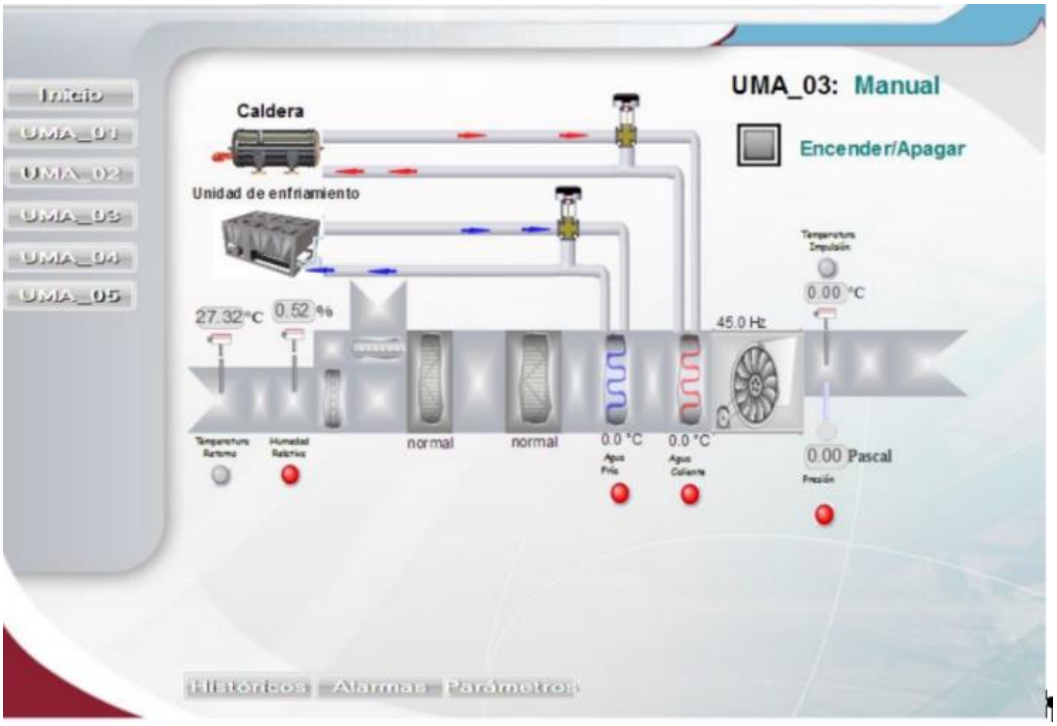


Figura 4.6: Pantalla de ejemplo de una UMA

4.5.4. Registros de tendencias e históricos

Uno de los aspectos de mayor importancia en este tipo de aplicación son los históricos o registros de tendencias, como también se les conoce. Estos son una recopilación de datos que permiten tener un registro en el tiempo de una determinada variable. Esto permite la posterior recuperación de los datos, establecer

comparaciones, creación de estadísticas, gráficos, análisis del comportamiento de una variable en el tiempo, etc.

En WorkStation for Projects, pueden ser implementados varios tipos de registros: de tendencias de intervalos, del contador y ampliados. El primero de ellos recopila datos en un intervalo de tiempo específico. Para mayores intervalos, se añade el registro de tendencias ampliado. Estos tipos de registros se pueden observar en la figura 4.7

El registro de tendencias ampliado suele guardarse en un servidor de un nivel superior con más capacidad de almacenamiento que el de un registro de tendencias convencional, lo cual permite guardar más entradas antes de que se sobrescriban las antiguas. Estos no pueden ser utilizados para archivar el valor de las variables directamente, sino que constituyen una forma de permitir la expansión de un registro ya creado.

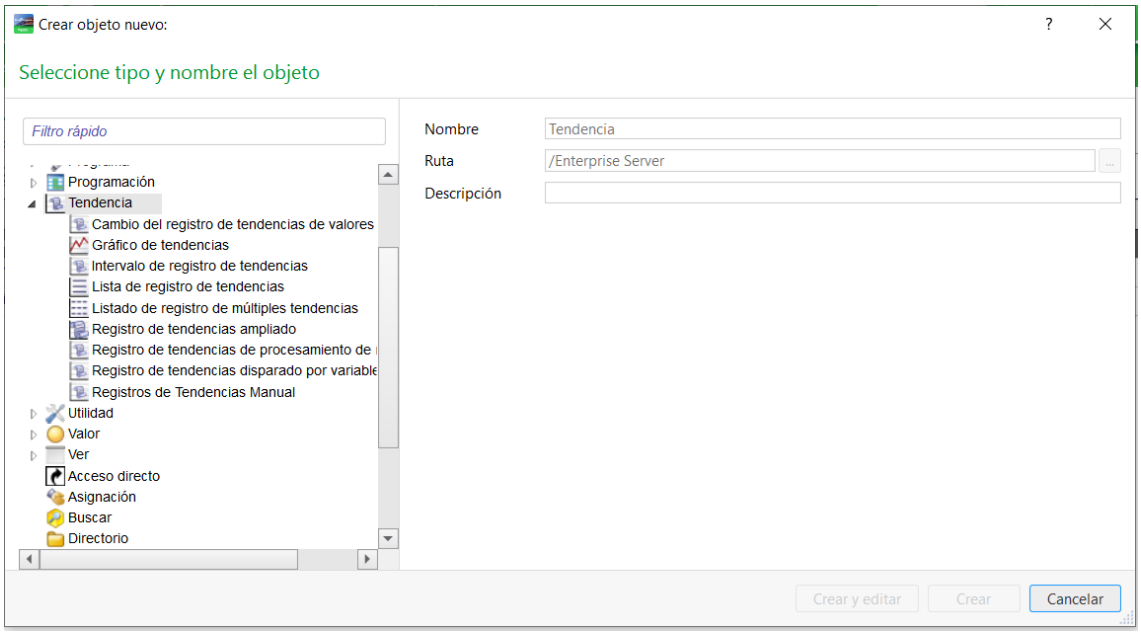


Figura 4.7: Tipos de registros de tendencia

4.5.4. Alarmas y calendarios

Para hacer una programación horaria se pueden ejecutar calendarios donde estos se configuran una única vez para hacer una secuencia automática del proceso. Ejemplo de la interfaz de la programación horaria se puede ver en la figura 4.8.

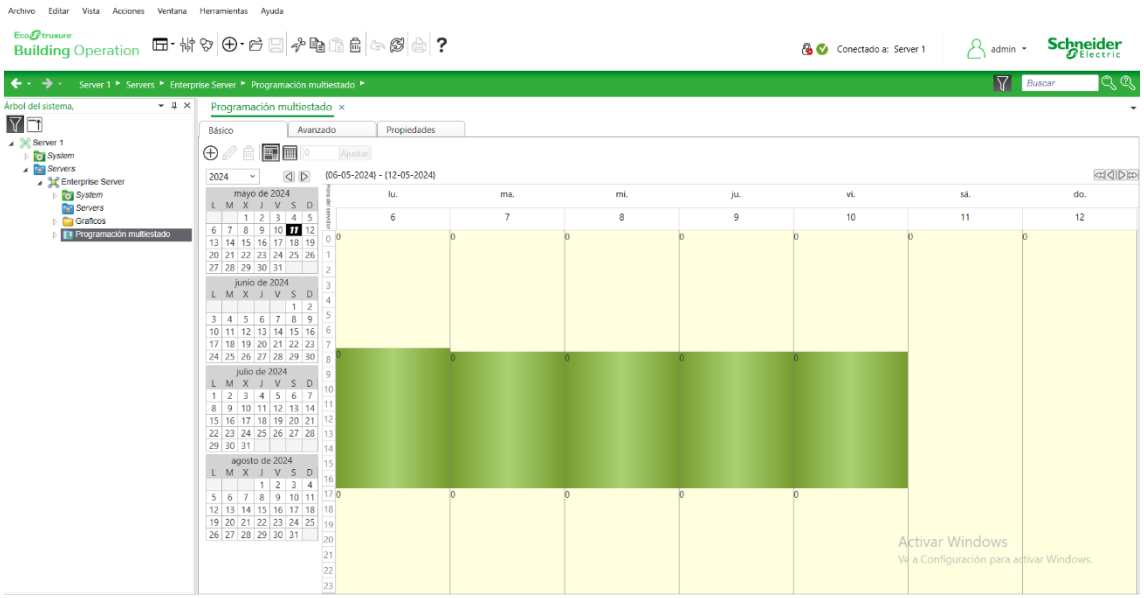


Figura 4.8: Programación del calendario.

En WorkStation, cuando una alarma se activa, se muestra en una lista junto con su información y su estado actual. En ella, las alarmas pueden ser reconocidas, aceptadas, comentadas, ordenadas, ocultadas o deshabilitadas. Además, estas pueden ser enviadas a un usuario o grupo de usuarios que se considere que son los más indicados para resolver el problema.

Por otra parte, las acciones del usuario permiten explicar mejor por qué se han activado y qué hacer para solucionar lo que las originó. En algunos casos, añadir una acción a una alarma es opcional, en otros, se tendrá que añadir cuando se reconozca la alarma. Las acciones pueden ser: comentario, notas de causa y notas de acción. Por ejemplo, se puede añadir un comentario a una alarma que puede ser útil la próxima vez que la misma se active y este puede ser leído por otros usuarios. Todas las acciones son registradas con el nombre de usuario y la hora en que se realizaron. En WorkStation for Projects se pueden crear varios tipos de alarmas, por ejemplo, por fuera de rango de referencia o por cambio de estado.

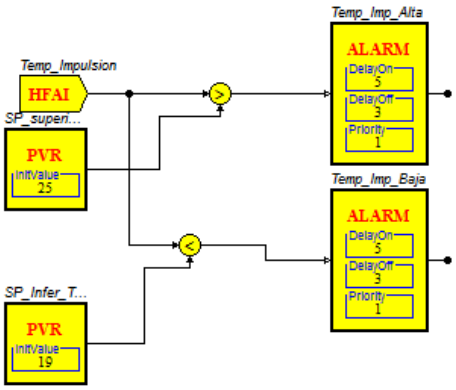


Figura 4.9: Ejemplo de programación de evento de alarma en una UMA.

En la figura 4.10 se observa como es el visor de alarma del EBO. Este puede ser configurable, el que se muestra es el visor por defecto

Estado	Recuento	Prioridad	Hora de inicio	Nombre de fuente	Texto de alarma
	1	2	2016-04-15 12:35:06	Temp. Impulsión	Temp. Impulsión por enc ...
	1	2	2016-04-15 12:28:47	Humedad Relativa	Hr por encima del valor p...
	1	2	2016-04-15 12:01:56	Pre Filtro	Pre Filtro Sucio
	1	3	2016-04-15 11:34:12	Filtro Fino	Filtro Fino Sucio
	1	2	2016-04-15 10:54:11	Presión	Presión en valor adecuad...

Figura 4.10: Ejemplo de visor de alarma

4.5.5. Cuentas de usuario

Para cumplir con los requisitos de seguridad se deben implementar las cuentas de usuarios con aquellos que tendrán acceso al sistema cuando se lleve a cabo la puesta en marcha. Estas cuentas resumen la información personal de cada trabajador. Además, se puede definir el período de validez de la misma, la cantidad de intentos de inicio de sesión y se puede configurar para forzar al usuario a cambiar su contraseña la próxima vez que inicie en el programa.

Para acceder, Figura 4.11, siempre se exige un usuario y una contraseña. El usuario serían los roles configurados anteriormente los cuales tienen permisos específicos y tienen limitadas las acciones a realizar dentro del sistema.

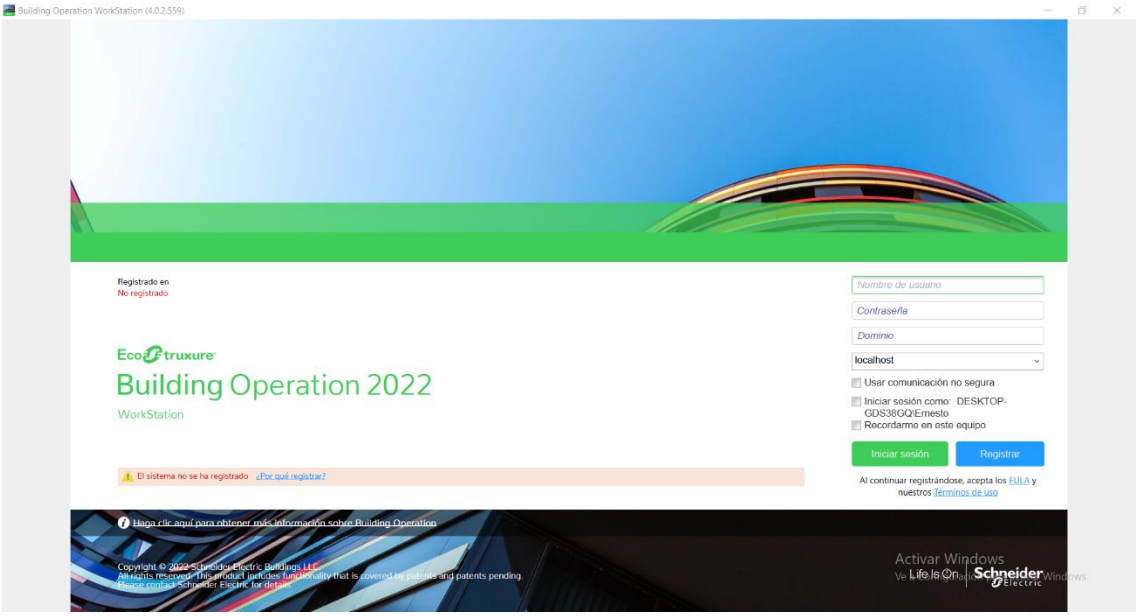


Figura 4.11: Acceso al sistema de monitorización

4.6. Conclusiones

Unas correctas redes de comunicación garantizan la integración de todos los subsistemas que intervienen en la gestión del invernadero ubicado en el Campus de la UPC en Terrassa. Estas redes aseguran que desde un punto central se pueda gestionar y monitorizar todos los procesos que intervienen, en este caso en el invernadero. En relación al sistema de monitorización se explica las funcionalidades que tiene el sistema en donde se debe integrar y visualizar todos los subsistemas. Se ponen ejemplos de posibles diseños y estructuras de programación que se pueden llevar a cabo para hacer el sistema de monitorización más funcional

Capítulo 5. Evaluación económica. Impacto medio-ambiental y social.

5.1. Introducción

En todo proyecto de inversión es de vital importancia efectuar el análisis técnico-económico, ya que este brinda la posibilidad de que la entidad que pretenda costear el proyecto tenga una idea de cuál será el gasto total del mismo. En él se recogen datos como, precios de los medios, salarios de los vinculados en su realización, entre otros. También en este se realiza un análisis cualitativo y cuantitativo entre el costo total del proyecto.

Materiales

Código	***Unidad***	***Descripción***	***Cantidad***	***Precio unitario***	***Precio Total***
M-1	ud	Inversor de red SMA Sunny Boy 1.5W VL-40	1	357,19	357,19€
M-2	ud	Interruptor termomagnético de CC A9N61528	1	23,95	23,95€
M-3	ud	Limitador de sobretensión A9L40271	1	121,00	121,00€
M-4	ud	Interruptor termomagnético de CA A9F73210	1	19,00	19,00€
M-5	ud	Seccionador de CA A9S60220	1	24,28	24,28€
M-6	ud	Sensor SM 600 Apogge	2	1016,12	2032,24€
M-7	ud	Sensor SP-522-SS Apogge	3	460,00	1380,00€
M-8	ud	Sensor SQ-618-SS Apogge	2	585,27	1170,54€
M-9	ud	Controlador lógico programable TM241CE40R	1	546,60	546,60€
M-10	ud	Fuente de alimentación de CC de 5A	1	65,00	65,00€
M-11	ud	Cable Ethernet de comunicación	1(100m)	30,00	30,00€
M-12	ud	Cable de bus de comunicación	1(100m)	66,55	66,55€

Precios unitarios

Código	***Unidad***	***Descripción***	***Precio unitario***
U-1	ud	Proyecto de ingeniería	3500 €
U-2	ud	Conexionado de sensores y actuadores	5000€
U-3	ud	Instalación de PLC y cableado	2700€
U-4	ud	Instalación de inversor	1550€
U-4	ud	Conexionado de protecciones eléctricas	2570€
U-5	ud	Licencias del software	3614,20€
U-6	ud	Software de programación	1943,90€
U-7	ud	Programación del PLC	850,00€

Precios descompuestos

Código	***Unidad***	***Descripción***	***Cantidad***	***Precio unitario***	***Precio Total***
D-1	h	Proyecto de ingeniería	233,33 horas	15,00	3500€
D-2	h	Conexionado de sensores y actuadores	352,11 horas	14,20	5000€
D-3	h	Instalación de PLC y cableado	160,00 horas	16,87	2700€
D-4	h	Conexionado de protecciones eléctricas	169,08 horas	15,20	2570€
D-5	h	Programación del PLC	85 horas	10,00	850,00€
D-6	h	Instalación de inversor	80,03 horas	14,37	1150€

Presupuesto total

Código	***Unidad***	***Descripción***	***Precio Total***
T-1	ud	Precio total de los materiales	5835,81
T-2	ud	Precio total unitario	21328,10
T-3	ud	IVA(21%)	5704,40
Presupuesto total de base de licitación			**32868,31**

Con lo cual el presupuesto base de licitación de la propuesta de la gestión y automatización del invernadero es de TREINTA Y DOS MIL OCHOCIENTOS SESENTA Y OCHO CON TREINTA Y UN CÉNTIMOS.

5.2. Impacto medio-ambiental e impacto social de la propuesta.

La producción agrícola dentro de un invernadero se hace para lograr una mayor productividad en los cultivos. Al tener un ambiente controlado la producción se obtiene con mayor eficiencia y calidad. El clima dentro del invernadero es un ambiente artificial y resguarda a los cultivos de fuerte vientos, granizos, plagas, etc, que a afectan a la producción. Con la gestión correcta de un invernadero se tiene un uso eficiente de los insumos. Existe la posibilidad de cultivar todo el año obteniéndose productos fuera de temporada con una alta calidad. Se puede lograr cultivos en cualquier zona, aunque esta posea condiciones restrictivas. Se tiene una mayor comodidad y seguridad. Con los invernaderos se logra hacer experimentos e investigaciones que ayudan en el desarrollo del sector agrícola.

Con la automatización de un invernadero todas estas ventajas planteadas anteriormente se incrementan en un alto porcentaje porque al no estar el control humano en los procesos se minimizan errores a gran escala. Aumente mucho mas la eficiencia y la producción. Como punto negativo es que esta automatización requiere una inversión inicial bastante elevada, pero que después se compensa con los resultados que se obtienen. Para la implementación automática tiene que haber personal cualificado para que funcione correctamente. Además, que se tiene que hacer una correcta

implementación del sistema porque en vez de dar dividendos se tendrían pérdidas económicas tanto por la inversión como por la producción obtenida.

Al incrementarse los productos agrícolas, tanto en cantidad como en calidad, aporta a la sociedad la posibilidad de adquirir alimentos en cualquier etapa del año. Al existir mas producción trae como consecuencia que los precios bajen y esto beneficia en la economía de las personas.

Conclusiones

Con el desarrollo de este trabajo se cumplen los objetivos propuestos. Hacer una propuesta integral de solución para los sistemas fotovoltaicos y de automatización en el invernadero ubicado en el Campus de la Universidad Politécnica de Cataluña en Terrassa.

- Las propuestas realizadas cumplen con todos los estándares técnicos requeridos por la instalación.
- La red que se propone para la integración de todos los sistemas logra una correcta comunicación entre los dispositivos de campo y los controladores.
- Se logra llevar toda la información de los subsistemas hasta un sistema de gestión centralizado.
- La lógica de programación en el PLC asegura un correcto funcionamiento del invernadero, además de un adecuado manejo de las variables a controlar.
- El sistema de monitorización a donde se va a integrar el sistema permite gestionar en tiempo real lo que está sucediendo en el invernadero.
- Con la propuesta realizada se mejora en el control y la gestión del invernadero logrando una mayor calidad en la producción agrícola.

Recomendaciones

Con el objetivo de aprovechar los resultados obtenidos se sugieren las siguientes recomendaciones.

- Realizar los contratos necesarios con los fabricantes del equipamiento para llevar a cabo la propuesta.
- Analizar llevar a cabo esta propuesta a otros tipos de invernaderos, incluso de mayor tamaño.
- Lograr la integración de la gestión del invernadero con el sistema de monitorización que se encuentra en la instalación.
- Llevar a cabo en un futuro la implementación del riego automático dentro del invernadero para obtener mejores resultados en la producción.
- Utilizar el aire frio de unidades manejadores de aire que se encuentran cerca para mejorar el control de temperatura.
- Integración de la automatización del invernadero con otros sistemas automáticos.
- Ampliar la solución del sistema fotovoltaico no solo para usar la energía en el invernadero sino para poder aportar a la red eléctrica y obtener beneficios que se puedan reinvertir en mejoras.

Bibliografía

AA.B, D. (2016). *Plantilla de automatización de sistemas de climatización en complejos biofarmacéuticos*.

Axial. (s. f.). *EL ORIGEN DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA*. https://www.axialstructural.com/el-origen-de-la-energia-solar-fotovoltaica#:~:text=Becquerel observó que al exponer,luz solar en energía eléctrica.

EDP. (s. f.). *Paneles solares JA Solar*. https://www.edpenergia.es/es/hogares/energia-solar/productos/paneles-solares/ja-solar/

Enel X. (s. f.). *¿Qué es un sistema fotovoltaico y cómo funciona?* https://corporate.enelx.com/es/question-and-answers/how-does-a-photovoltaic-system-work

Evolucion tecnológico de los paneles solares. (2021).

Hernández, R. (2024). *Guía: ¿Qué es un invernadero? Tipos y Usos*. https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=44#:~:text=Es una Construcción Agrícola de,el crecimiento y desarrollo de

Inversores. (s. f.). *Tienda Auto Solar*.

Jkon-Tek. (2018). *La relación y la diferencia de RS485 y MODBUS*. https://www.econcnc.com/news/what-is-the-difference-of-rs485-and-modbus-13440114.html#:~:text=RS485 es una interfaz física,lenguaje%22 que se menciona arriba.

Periódico de la energía. (2022). *Los 10 principales fabricantes de inversores solares controlan el 82 % del mercado mundial*. https://elperiodicodelaenergia.com/los-10-principales-fabricantes-de-inversores-solares-controlan-el-82-del-mercado-mundial/

Schneider Electric. (2020). *PLCS, PAC y otros controladores*. https://www.se.com/es/es/product-category/3900-plcs-pac-y-otros-controladores/

Tienda Solar. (s. f.). *Listado de productos de la marca SMA*. https://tienda-solar.es/es/brand/31-sma

Schneider Electric. (2014). Creating and Configuring Alarms. Tutorial Guide.

Schneider Electric. (2014). Creating and Configuring Graphics. Tutorial Guide

Schneider Electric. (2014). Creating and Configuring Trend Logs Tutorial Guide

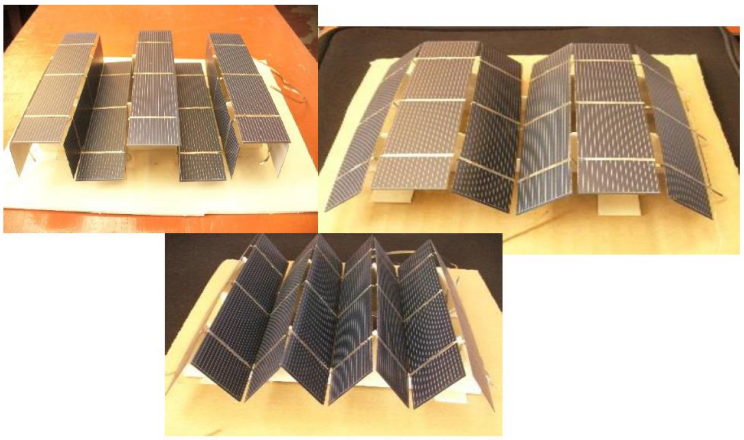
Entradas y salidas digitales. https://franciscomoya.gitbooks.io/taller-de-raspberry-pi/content/es/elems/gpio.htm

Hernández, R. (2024). *Guía: ¿Qué es un invernadero? Tipos y Usos*. https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=44#:~:text=Es una Construcción Agrícola de,el crecimiento y desarrollo de

Anexos

Anexo 1: Paneles fotovoltaicos

Panel solar 3D

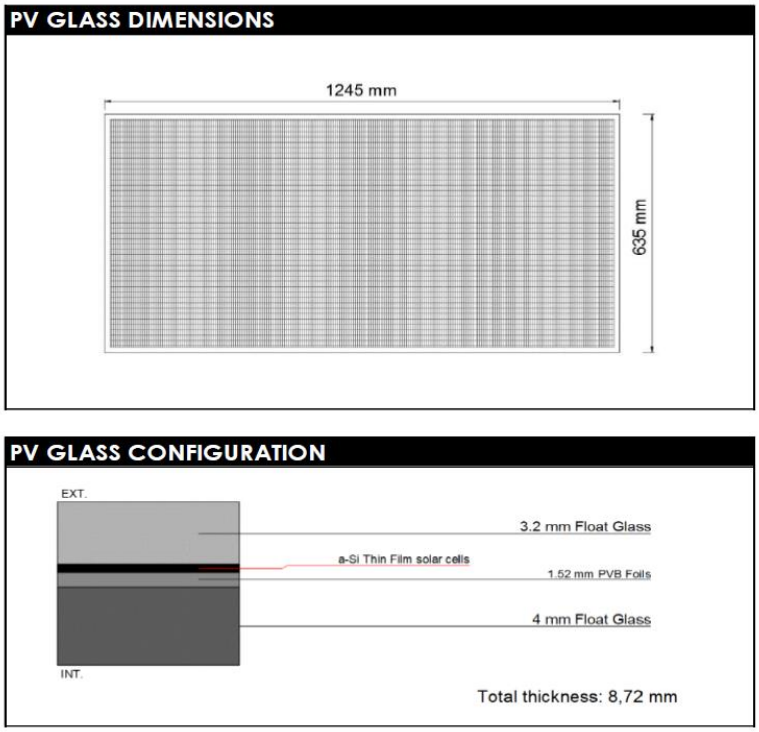


Anexo 2: Ficha técnica paneles Onyx

FICHA TÉCNICA - GL.01

PHOTOVOLTAIC GLASS	1245 x 635 XL Vision (30%)	
Electrical data test conditions (STC)		
Nominal peak power	22	P_{mpp} (Wp)
Open-circuit voltage	50	V_{oc} (V)
Short-circuit current	0,77	I_{sc} (A)
Voltage at nominal power	34	V_{mpp} (V)
Current at nominal power	0,65	I_{mpp} (A)
Power tolerance not to exceed	±5	%
STC: 1000 w/m², AM 1.5 and a cell temperature of 25°C, stabilized module state.		
Mechanical description		
Length	1245	mm
Width	635	mm
Thickness	8,72	mm
Surface area	0,79	sqm
Weight	14	Kgs
Cell type	a-Si	Thin Film
Transparency degree	XL	Vision (30%)
PV Active Glass	3,2 mm	Float Glass
Rear Glass	4 mm	Float Glass
Thickness encapsulation	1,52 mm	PVB Foils
Category / Color code		
Junction Box		
Protection	IP65	
Wiring Section	2,5 mm² or 4,0 mm²	
Limits		
Maximum system voltage	1000	Vsys (V)
Operating module temperature	-40…+85	°C
Max. Series Fuse	3	A

Anexo 3: Dimensiones paneles Onyx



Anexo 4: Placas instaladas

Anexo 5: Ficha técnica inversor SAJ

SAJ

R5-0.7K/1K/1.5K/2K/2.5K/3K-S1 Datasheet

Type	R5-0.7K-S1	R5-1K-S1	R5-1.5K-S1	R5-2K-S1	R5-2.5K-S1	R5-3K-S1
Input (DC)						
Max.PV Array Power [Wp]@STC	1050	1500	2250	3000	3750	3900
Max. DC Voltag [V]	450				500	
MPPT Voltage range [V]	40-425				50-450	
Nominal DC Voltage [V]	360					
Start Voltage [V]	40				50	
Min. DC Voltage [V]	40					
Max. DC Input Current [A]	12.5					
Max. DC Short Current [A]	15					
Number of DC Connection Sets per MPPT	1					
Number of MPPT	1					
DC Switch	Integrated (Optional)					
Output (AC)						
Rated AC Power[W]	700	1000	1500	2000	2500	3000
Max. AC Power[VA]	770	1100	1650	2200	2750	3300
Rated AC Current [A]@230Vac	3.1	4.4	6.6	8.7	10.9	13.1
Max. AC Current [A]	3.5	5.0	7.5	10	12.5	15
Nominal AC voltage/ range[V]	220,230,240/180-280					
Grid frequency/ range[Hz]	50 , 60/45-55 , 55-65					
Power factor [cos φ]	0.8 leading~0.8 lagging					
Total Harmonic Distortion [THDi]	< 2%					
Feed-in	L+N+PE					
Efficiency						
Max. Efficiency	97.2%	97.3%	97.4%	97.6%	97.7%	97.8%
Euro Efficiency	96.4%	96.7%	96.8%	97.0%	97.1%	97.2%
MPPT Accuracy	>99.9%					
Protection						
Internal Over-voltage Protection	Integrated					
DC Insulation Monitoring	Integrated					
DCI Monitoring	Integrated					
GFCI Monitoring	Integrated					
Grid Monitoring	Integrated					
AC Short Circuit Current Protection	Integrated					
AC grounding detection	Integrated					

Anexo 6: Ficha técnica inversor Growatt

Datasheet	MIC 750TL-X	MIC 1000TL-X	MIC 1500TL-X	MIC 2000TL-X	MIC 2500TL-X	MIC 3000TL-X	MIC 3300TL-X
Input data (DC)							
Max. recommended PV power (for module STC)	1050W	1400W	2100W	2800W	3500W	4200W	4290W
Max. DC voltage	500V	500V	500V	500V	550V	550V	550V
Start voltage	50V	50V	50V	50V	80V	80V	80V
Nominal voltage	120V	180V	250V	360V	360V	360V	360V
MPP voltage range	50V-500V	50V-500V	50V-500V	50V-500V	65V-550V	65V-550V	65V-550V
No. of MPP trackers	1						
No. of PV strings per MPP tracker	1						
Max. input current per MPP tracker	13A						
Max. short-circuit current per MPP tracker	16A						
Output data (AC)							
AC nominal power	750W	1000W	1500W	2000W	2500W	3000W	3300W
Max. AC apparent power	750VA	1000VA	1500VA	2000VA	2500VA	3000VA	3300VA
Nominal AC voltage(range*)	230V (180-280V)						
AC grid frequency(range*)	50/60 Hz (45-55Hz/55-65 Hz)						
Max. output current	3.6A	4.8A	7.1A	9.5A	11.9A	14.3A	14.3A
Adjustable power factor	0.8leading…0.8lagging						
THDI	<3%						
AC grid connection type	Single phase						
Efficiency							
Max.efficiency	97.4%	97.4%	97.4%	97.4%	97.6%	97.6%	97.6%
European efficiency	96.5%	96.5%	97.0%	97.0%	97.0%	97.1%	97.1%
MPPT efficiency	99.9%						
Protection devices							
DC reverse polarity protection	Yes						
DC switch	Yes						
AC/DC surge protection	Type III / Type III						
Insulation resistance monitoring	Yes						
AC short-circuit protection	Yes						
Ground fault monitoring	Yes						
Grid monitoring	Yes						
Anti-islanding protection	Yes						
Residual-current monitoring unit	Yes						
AFCI protection	Optional						

Anexo 7: Ficha técnica inversor SMA

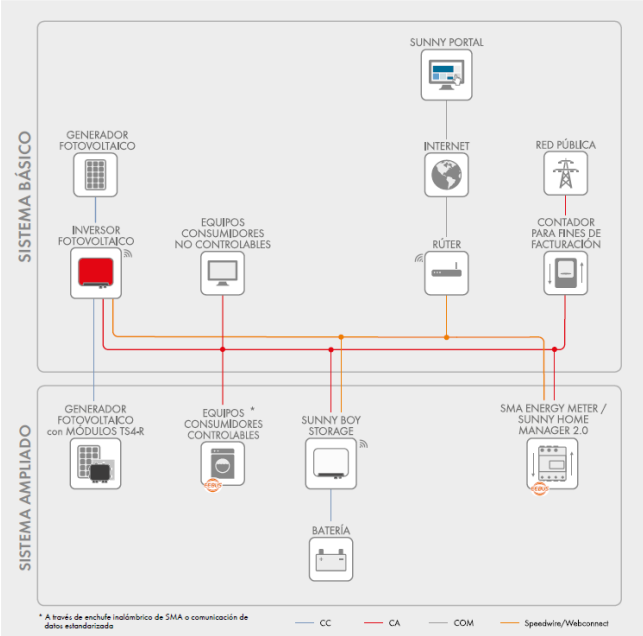
Datos técnicos	Sunny Boy 1.5	Sunny Boy 2.0	Sunny Boy 2.5
Entrada (CC)			
Potencia máx. del generador fotovoltaico	3000 Wp	4000 Wp	5000 Wp
Tensión de entrada máx.	600 V	600 V	600 V
Rango de tensión del MPP	160 V a 500 V	210 V a 500 V	260 V a 500 V
Tensión asignada de entrada	360 V		
Tensión de entrada mín. / de inicio	50 V / 80 V		
Corriente máx. de entrada por string	10 A		
Corriente de cortocircuito máx. por string	18 A		
Número de entradas de MPP independientes / strings por entrada de MPP	1 / 1		
Salida (CA)			
Potencia asignada (a 230 V, 50 Hz)	1500 W	2000 W	2500 W
Potencia máx. aparente de CA	1500 VA	2000 VA	2500 VA
Tensión nominal de CA	220 V / 230 V / 240 V		
Rango de tensión nominal de CA	180 V a 280 V		
Frecuencia de red de CA/Rango	50 Hz, 60 Hz / −5 Hz a +5 Hz		
Frecuencia / tensión asignadas de red	50 Hz / 230 V		
Corriente máx. de salida	7 A	9 A	11 A
Factor de potencia a potencia asignada	1		
Factor de desfase ajustable	0,8 inductivo a 0,8 capacitivo		
Fases de inyección / fases de conexión	1 / 1		
Rendimiento			
Rendimiento máx. / europeo	97,2 % / 96,1 %	97,2 % / 96,4 %	97,2 % / 96,7 %
Dispositivos de protección			
Punto de desconexión en el lado de CC	●		
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 62103) / categoría de sobretensión (según IEC 60664-1)	I/III		
Protección contra corriente inversa	No es necesario.		
Datos generales			
Dimensiones (ancho / alto / fondo)	460 / 357 / 122 mm (18,1 / 14,1 / 4,8 in)		
Peso	9,2 kg (20,3 lb)		
Rango de temperatura de funcionamiento	−40 °C a +60 °C (−40 °F a +140 °F)		
Emisión sonora, típica	< 25 dB		
Autoconsumo (nocturno)	2,0 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 %		
Equipamiento			
Conexión de CC/CA	SUNCLIX / conector de enchufe		
Visualización a través de teléfono inteligente, tableta o portátil	●		
Interfaces: WLAN / ethernet	● / ●		

Activar Windows
Ve a Configuración para activar W

Anexo 8: Ficha técnica inversor SMA

Datos generales			
Dimensiones (ancho / alto / fondo)	460 / 357 / 122 mm (18,1 / 14,1 / 4,8 in)		
Peso	9,2 kg (20,3 lb)		
Rango de temperatura de funcionamiento	−40 °C a +60 °C (−40 °F a +140 °F)		
Emisión sonora, típica	< 25 dB		
Autoconsumo (nocturno)	2,0 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 %		
Equipamiento			
Conexión de CC/CA	SUNCLIX / conector de enchufe		
Visualización a través de teléfono inteligente, tableta o portátil	●		
Interfaces: WLAN / ethernet	● / ●		
Protocolos de comunicación	Modbus (SMA, Sunspec), Webconnect		
Garantía: 5 / 10 / 15 / 20 años	● / ○ / ○ / ○		
Certificados y autorizaciones (otros a petición)	AS4777, C10/11, CE, CEI0-21, DIN EN 62109-1/IEC 62109-1, DIN EN 62109-2/IEC 62109-2, EN50438, G83/2, IEC61727, IEC62116, NBR16149, NEN-EN50438, NRS097-2-1, VDE-AR-N4105, VDE 0126-1-1, VFR2014		
Disponibilidad de SMA Smart Connected en los países	AU, AT, BE, CH, DE, ES, FR, IT, LU, NL, UK		
Modelo comercial	SB1.5-1VL-40	SB2.0-1VL-40	SB2.5-1VL-40

Anexo 9: Ficha técnica inversor SMA



Anexo 10: Ficha técnica de TM241CE40R

Green Premium

Modicon M241 - Controlador M241 40 ES Relé Ethernet

TM241CE40R

Principal

Gama De Producto	Modicon M241
Tipo De Producto O Componente	Autómata programable
[Us] Tensión De Alimentación Asignada	100...240 V AC
De Pie Conducto	24, entrada discreta 8 entrada rápida acorde a IEC 61131-2 tipo 1
Tipo De Salida Digital	Relé Transistor
Número De Salidas Discretas	4 transistor 4 salida rápida 12 relé
Tensión De Salida	5...125 V CC para salida del relé 5...250 V CA para salida del relé 24 V CC para salida transistor
Montado En La Pared Del Conducto	0.1 A para salida rápida (modo PTO) - tipo de cable: TR0...TR3) 2 A para salida del relé - tipo de cable: Q4...Q15) 0.5 A para salida transistor - tipo de cable: TR0...TR3)

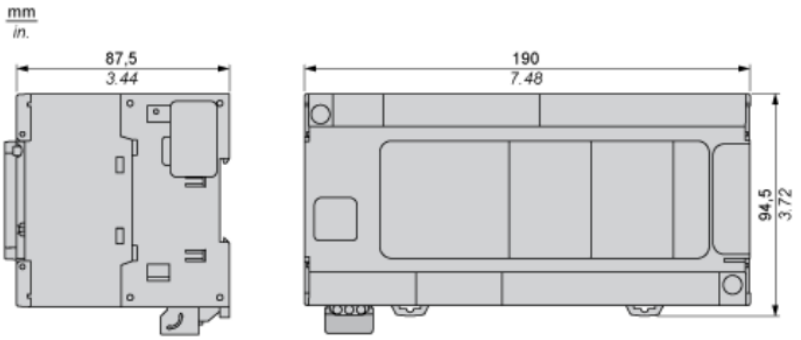
Complementario

Número De E/S Digitales	40
Numero De E/S Del Módulo De Expansión	7 - tipo de cable: local 14 - tipo de cable: remoto
Límites Tensión Alimentación	85...264 V
Frecuencia De Red	50/60 Hz

Activ
Ve a Co

Anexo 11: Dimensiones TM241CE40R

Dimensiones

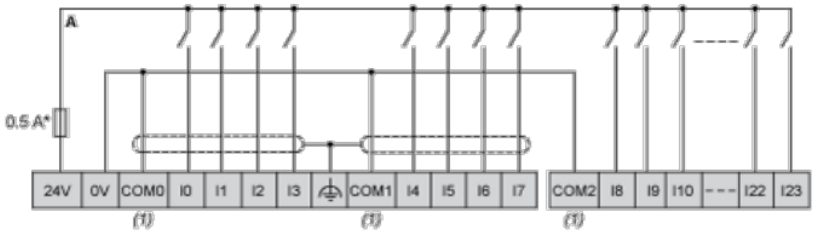


Anexo 13: Esquema de conexiones

Conexiones y esquema

Entradas digitales

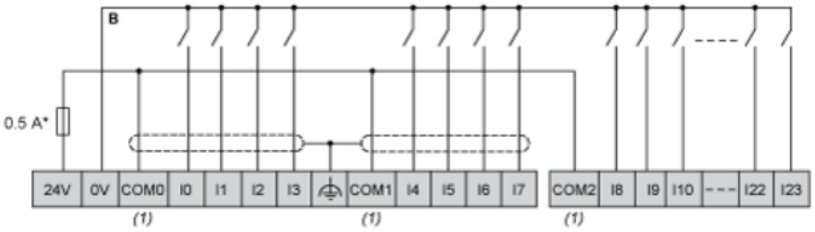
Diagrama de cableado (lógica positiva)



(*): Fusible tipo T

(1): Los terminales COM0, COM1 y COM2 no están conectados internamente.

Diagrama de cableado (lógica negativa)



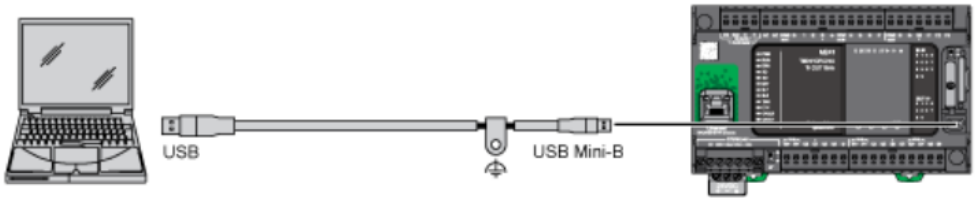
(*): Fusible tipo T

(1): Los terminales COM0, COM1 y COM2 no están conectados internamente.

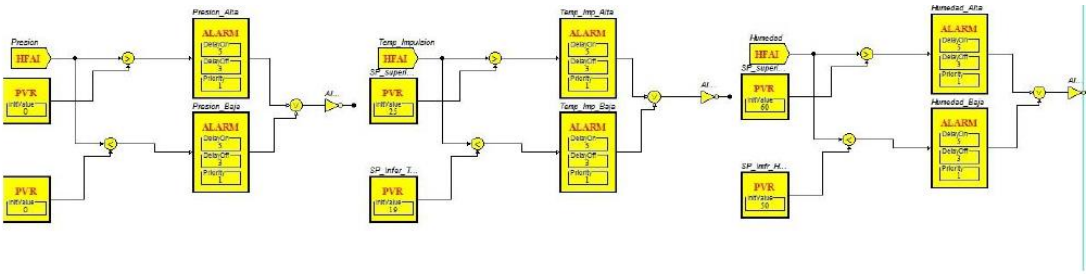
Ac
Ve

Anexo 14: Conexión con la PC del PLC

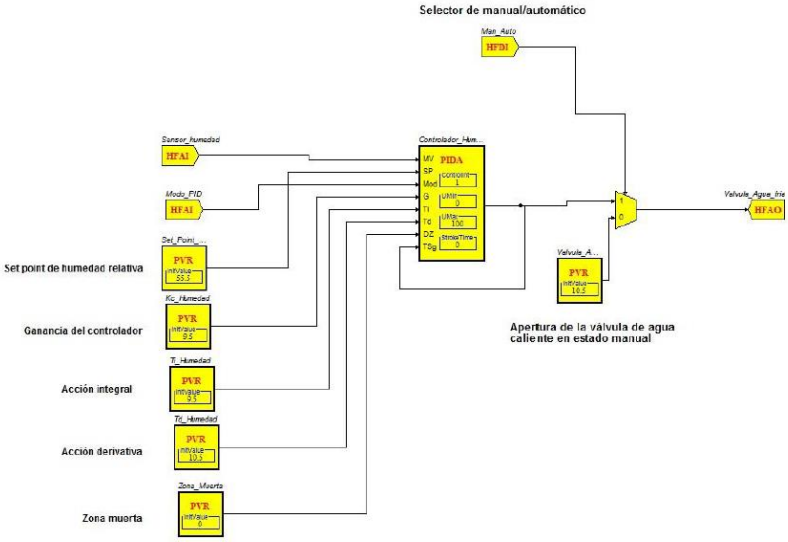
Conexión USB mini B



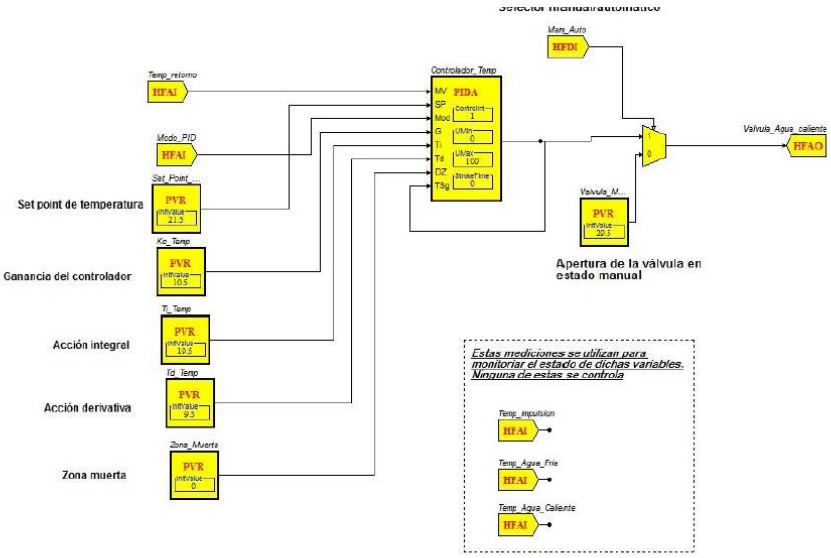
Anexo 15: Ejemplo de lógica de alarmas



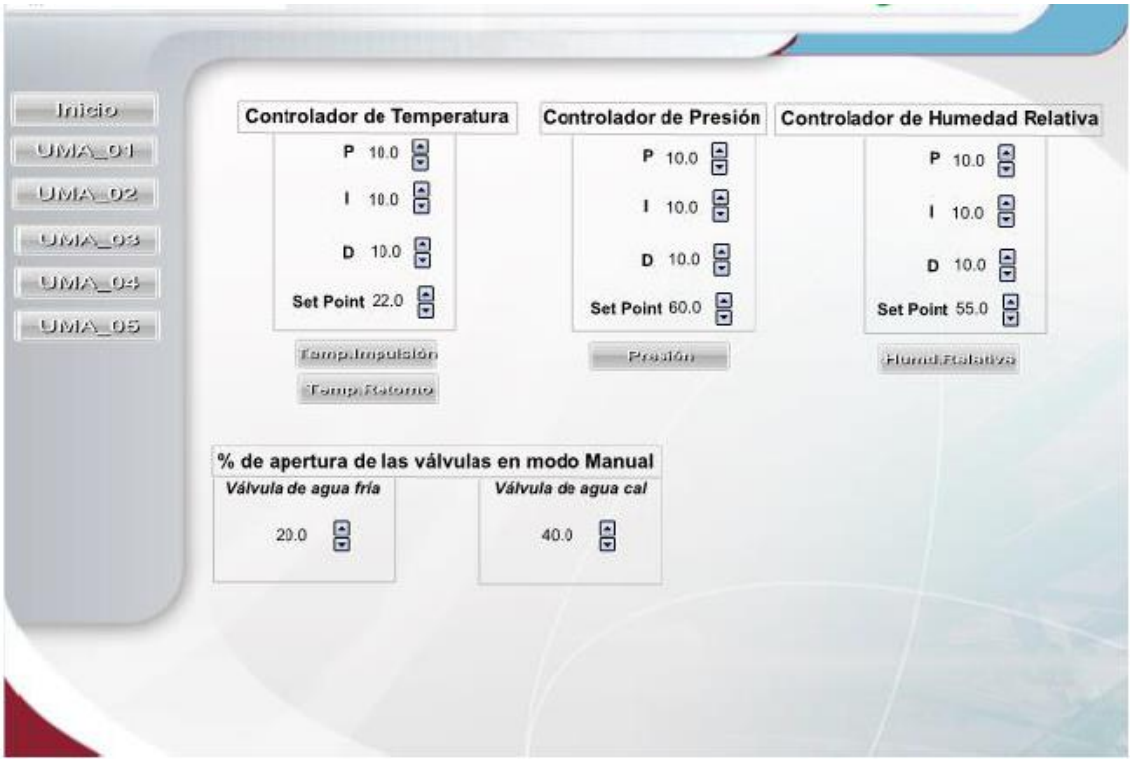
Anexo 16: Ejemplo de programación del EBO



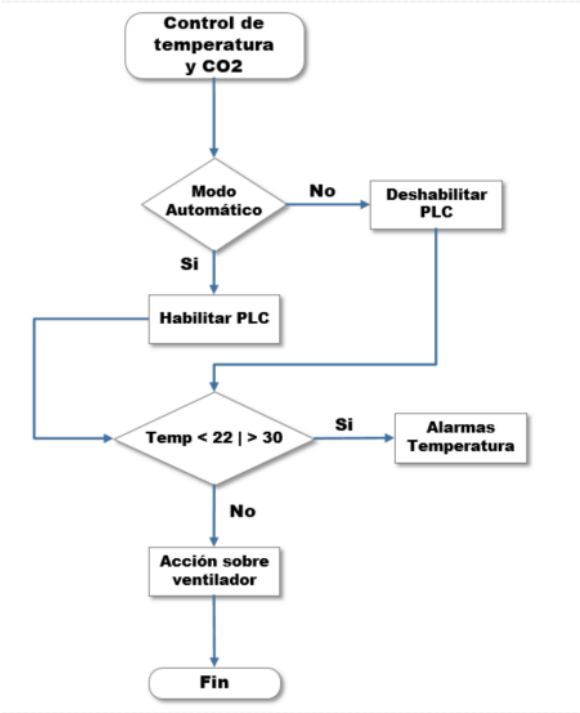
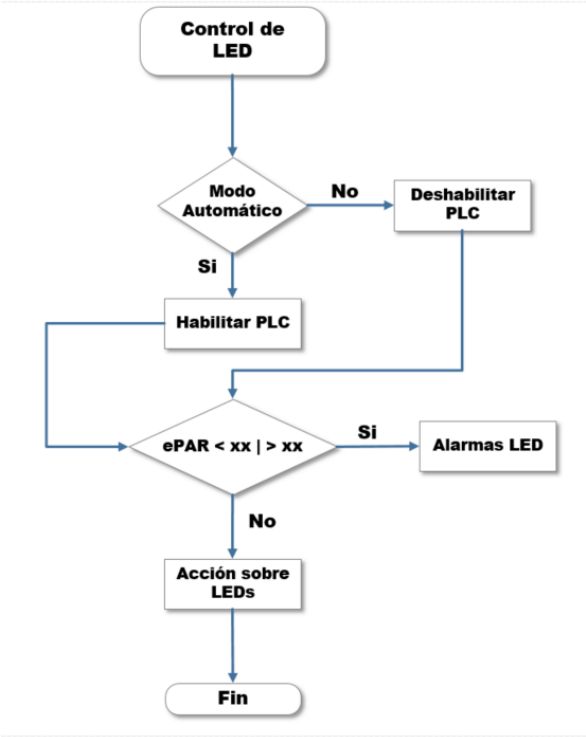
Anexo 17: Ejemplo de programación del EBO



Anexo 18: Ejemplo de pantalla en EBO



Anexo 19: Control de temperatura en invernadero



Anexo 20: Control sobre LEDs