



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**“Diseño e Implementación de una Interfaz Hombre – Máquina para la monitorización de la eficiencia en Sistemas Fotovoltaicos utilizando celdas calibradas compensadas”**

Propuesta tecnológica presentada previo a la obtención del Título de Ingeniero  
Electromecánico

**Autores:**

Chimborazo Calvopiña, Jonathan David  
Tigse Guishcasho, Nelson Reinaldo

**Tutor:**

Ing. Cruz Pachi Luis Rolando M.Sc.

**LATACUNGA – ECUADOR**

**MARZO – 2025**

## DECLARACIÓN DE AUTORIA

Nosotros **JONATHAN DAVID CHIMBORAZO CALVOPÍÑA**, con cédula de ciudadanía No. 0504438219, y **NELSON REINALDO TIGSE GUISHCASHO**, con cédula de ciudadanía No. 1804528402, declaramos ser autores de la presente PROPUESTA TECNOLÓGICA: “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTERFAZ HOMBRE MAQUINA PARA LA MONITORIZACION DE EFICIENCIA EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS UTILIZANDO CELDAS CALIBRADAS COMPENSADAS**”, siendo el Ing. Luis Rolando Cruz Panchi M.Sc., tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a su representante legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, marzo 2025



Jonathan David Chimborazo Calvopiña

C.C: 050443821-9



Nelson Reinaldo Tigse Guishcacho

C.C: 180452840-2

## **AVAL DEL TUTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA**

En calidad de Tutor de la Propuesta Tecnológica sobre el título:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTERFAZ HOMBRE MAQUINA PARA LA MONITORIZACION DE EFICIENCIA EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS UTILIZANDO CELDAS CALIBRADAS COMPENSADAS”**, de los ponentes: Jonathan David Chimborazo Calvopiña y Nelson Reinaldo Tigse Guishcasho, de la carrera de Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, marzo 2025



Ing. Luis Rolando Cruz Panchi M.Sc.

C.C: 050259517-6

**TUTOR**

## AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban la presente Propuesta Tecnológica de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y, por la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**; por cuanto los postulantes: Jonathan David Chimborazo Calvopiña y Nelson Reinaldo Tigse Guishcacho, con el título de la Propuesta Tecnológica: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTERFAZ HOMBRE MAQUINA PARA LA MONITORIZACION DE EFICIENCIA EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS UTILIZANDO CELDAS CALIBRADAS COMPENSADAS”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, marzo 2025

Para constancia firman:



---

Ing. Jefferson Alberto Porras Reyes M.Sc.  
C.C: 070440044-9

**LECTOR 1 (PRESIDENTE)**



---

Ing. Cristian Fabián Gallardo Molina M.Sc.  
C.C: 050284769-2

**LECTOR 2 (MIEMBRO)**



---

Ing. Luis Miguel Navarrete López M.Sc.  
C.C: 180374728-4

**LECTOR 3 (MIEMBRO)**

## **AGRADECIMIENTO**

*En primer lugar, mi más profundo agradecimiento a mi familia, quienes han sido mi pilar inquebrantable. Su amor, paciencia y apoyo incondicional me han dado la fortaleza para seguir adelante en los momentos más desafiantes. Cada sacrificio, cada palabra de aliento y cada gesto de confianza han sido el motor que me ha impulsado a superar cada obstáculo.*

*A mis profesores de mi carrera Electromecánica, cuyo conocimiento y guía han sido esenciales para la realización de esta investigación. Su compromiso con la enseñanza, su exigencia y su dedicación han sido una fuente constante de inspiración.*

*Gracias por compartir su sabiduría y por motivarme a alcanzar nuevos niveles de excelencia.*

***David Ch.***

## DEDICATORIA

*Este trabajo de titulación es el resultado de años de esfuerzo, perseverancia y aprendizaje, y quiero dedicarlo con profundo respeto y gratitud a todas aquellas personas que han sido fundamentales en este proceso.*

*En primer lugar, a mi familia, cuyo apoyo incondicional ha sido mi mayor fortaleza. Su amor, paciencia y confianza en mis capacidades me han impulsado a seguir adelante incluso en los momentos más desafiantes. Cada logro alcanzado es también suyo.*

*A mis profesores, quienes con su guía, conocimientos y exigencia académica han contribuido a mi formación profesional y personal. Sus enseñanzas han dejado una huella imborrable en mi camino, brindándome no solo conocimientos técnicos, sino también valores fundamentales como la disciplina, la ética y el compromiso.*

*A mis amigos y compañeros, con quienes compartí esta etapa llena de desafíos, aprendizaje y crecimiento. Sus palabras de aliento, su compañía y los momentos de reflexión han sido un pilar fundamental en esta travesía.*

## AGRADECIMIENTO

*A Dios, por darme la fuerza y la perseverancia para llegar hasta aquí.*

*A mi familia, por su amor incondicional, su paciencia y su apoyo en cada momento de este camino, sin ustedes, esto no sería posible.*

*Al Ing. Luis Cruz docente electromecánico, por compartir sus conocimientos y motivación a seguir aprendiendo y superándome.*

*A mi compañero David Ch., por su amistad en momentos difíciles y celebrar cada logro académico.*

*Y en especial a mis dos amores Brigitte y Daniela que de una u otra manera, contribuyeron a que este sueño se hiciera realidad.*

*Gracias de corazón.*

**Nelson T.**

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a mi amor Brigitte y Daniela el motor que mueve mi vida, porque son mi pilar, mi inspiración y mi mayor motivación.*

*A mis padres Trajano y Julia, por su amor incondicional, su ejemplo de esfuerzo y su fe inquebrantable en mí, a mis hermanas Ampy y Cris, por su apoyo inagotable.*

*A mis docentes electromecánicos, cuyo conocimiento y guía han dejado una huella imborrable en mi formación.*

*A mis amigos, por su aliento en los momentos difíciles y por compartir conmigo cada pequeño logro académico.*

*Y, finalmente, a mi pequeña Angelica, este logro es también suyo.*

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERA Y APLICADAS**

**TÍTULO: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTERFAZ HOMBRE –  
MÁQUINA PARA LA MONITORIZACIÓN DE LA EFICIENCIA EN SISTEMAS  
FOTOVOLTAICOS UTILIZANDO CELDAS CALIBRADAS COMPENSADAS”**

**Autores:**

Chimborazo Calvopiña, Jonathan David  
Tigse Guishcasho, Nelson Reinaldo

**RESUMEN**

Ante la necesidad de optimizar el aprovechamiento de la energía solar y la medición de la eficiencia de los paneles solares de un sistema fotovoltaico, surge la importancia de desarrollar herramientas para la supervisión y gestión de estos elementos. En esta propuesta, se plantea una solución tecnológica: la implementación de una interfaz Hombre-Máquina diseñada específicamente monitorear y registrar la eficiencia de los paneles solares del sistema fotovoltaico perteneciente al proyecto de tecnologías de eficiencia energética (DIRGI-CP2021-008) aplicando un sistema de adquisición de datos basado en la celda calibrada compensada. El objetivo principal de esta propuesta tecnológica es proporcionar una herramienta que permita la visualización en tiempo real para posterior análisis estadístico de las variables operativas clave del sistema fotovoltaico, tales como la eficiencia del panel solar, minimizando errores comunes en las mediciones. La metodología aplicada combina investigación bibliográfica, desarrollo de software y la integración de sensores electrónicos que aseguran la fiabilidad de los datos. En pruebas se comprobó que la eficiencia en días soleados y al mediodía están en un rango del 14% al 16% existiendo un valor promedio de eficiencia del panel y su funcionamiento está dentro de los valores esperados, también en la tarde se obtuvo el 9% siendo una eficiencia baja debido a diferentes circunstancias. Con esta propuesta se puede decir que los datos en tiempo real ofrecen una solución capaz de integrarse en sistemas fotovoltaicos existentes, promoviendo el uso eficiente y sostenible de los recursos energéticos.

**Palabras clave:** Panel solar, visualización, implementación, celdas calibradas, eficiencia.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERA Y APLICADAS**

**TITLE: “DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A MAN – MACHINE INTERFACE  
FOR MONITORING EFFICIENCY IN PHOTOVOLTAIC SYSTEMS USING  
CALIBRATED COMPENSATED CELLS”**

**AUTHORS:**

Chimborazo Calvopiña, Jonathan David  
Tigse Ghishcasho, Nelson Reinaldo

**ABSTRACT**

Given the need to optimize the use of solar energy and the measurement of the efficiency of the solar panels of a photovoltaic system, the importance of developing tools for the monitoring and management of these elements arises. In this proposal, a technological solution is proposed: the implementation of a Man-Machine interface specifically designed to monitor and record the efficiency of the solar panels of the photovoltaic system belonging to the energy efficiency technologies project (DIRGI-CP2021-008) by applying a data acquisition system based on the compensated calibrated cell. The main objective of this technological proposal is to provide a tool that allows real-time visualization for subsequent statistical analysis of key operating variables of the photovoltaic system, such as solar panel efficiency, minimizing common errors in the measurements. The applied methodology combines bibliographic research, software development and the integration of electronic sensors that ensure data reliability. In tests it was verified that the efficiency in sunny days and at noon are in a range of 16% to 18%, existing an average value of efficiency of the panel and its operation is within the expected values, also in the afternoon 9% was obtained being a low efficiency due to different circumstances. With this proposal it can be said that the real time data offered by the panel is within the expected values.

**Keywords:** Solar energy, supervision, implementation, calibrated cells, efficiency.

## ÍNDICE GENERAL

Declaración de Autoría .....	ii
Aval del Tutor de la Propuesta Tecnológica .....	iii
Aval de Aprobación del Tribunal de Titulación .....	iv
Agradecimiento.....	v
Dedicatoria.....	vi
Resumen .....	ix
Abstract.....	x
Índice General.....	xi
Índice de Figuras.....	xiv
Índice de Tablas .....	xvi
1. Información General .....	17
2. Introducción.....	18
2.1 Situación Problemática .....	19
2.2 Formulación del Problema .....	20
2.3 Objeto y Campo de Acción.....	20
2.3.1 Objeto de Investigación.....	20
2.3.2 Campo de Acción .....	20
2.4 Beneficiarios .....	20
2.4.1 Directos.....	20
2.4.2 Indirectos .....	20
2.5 Justificación .....	21
2.6 Objetivos .....	21
2.6.1 Objetivo General .....	21
2.6.2 Objetivos Específicos .....	21
2.6.3 Sistema de Tareas .....	22
3 Fundamentación Teórica .....	23
3.1 Antecedentes.....	23
3.2 Marco Referencial.....	24
3.2.1 Energía Fotovoltaica.....	24
3.2.1.1 Sistema Fotovoltaico .....	24
3.2.2 La eficiencia en sistemas fotovoltaicos .....	25

3.2.2.1	Eficiencia de un panel solar .....	25
3.2.2.2	Celdas Calibradas .....	27
3.2.3	Sistema SCADA.....	27
3.2.3.1	Definición de sistema SCADA.....	27
3.2.3.2	Arquitectura del sistema SCADA.....	28
3.2.3.3	Elementos del sistema SCADA .....	29
3.2.3.4	Interfaz Hombre-Máquina (HMI).....	29
3.2.4	Sistemas de Comunicación .....	31
3.2.4.1	Protocolos de comunicación .....	31
3.2.5	Software de proceso industrial .....	36
3.2.5.1	Almacenamiento de datos.....	37
3.2.6	Intouch HMI.....	38
3.2.7	Norma ISA 101.....	39
3.2.7.1	Principios Fundamentales de la ISA 101.....	39
3.2.7.2	Beneficios de la ISA 101 para las Operaciones Industriales .....	40
3.2.8	Reglas para su diseño de pantallas HMI.....	40
3.2.8.1	Fondo para pantallas HMI .....	41
3.2.8.2	Colores para pantallas HMI .....	41
3.2.8.3	Secciones claras para las pantallas HMI.....	41
3.2.8.4	Menú de iconos.....	42
3.2.8.5	Niveles de usuario.....	43
4	Métodos y Procedimientos .....	44
4.1	Descripción del Proyecto .....	44
4.2	Declaración de Variables .....	45
4.2.1	Variables Dependientes .....	45
4.2.2	Variables Independientes.....	45
4.3	Descripción de componentes del sistema de adquisición de Datos.....	46
5.3.1	Topología de la red .....	48
4.4	Desarrollo de la Propuesta .....	48
4.4.1	Conexiones de la celda calibrada .....	49
4.4.2	Conexiones de Red del Regulador Solar MPPT.....	50
4.4.3	Implementación del sistema de adquisición de datos.....	51
4.4.3.1	Pasos para la creación del servidor OPC .....	53

4.4.3.2 Implementación del cliente OPC .....	56
4.5 Desarrollo del HMI mediante el software InTouch .....	60
4.6 Pantalla principal HMI .....	68
4.7 Presupuesto .....	69
4.7.1 Costos Directos.....	69
4.7.2 Costos indirectos .....	69
5. Análisis y Discusión de Resultados.....	71
5.1 Recepción de datos en el KepServerEx .....	71
5.2 Irradiancia .....	72
5.3 Cálculo del Área del panel solar .....	73
5.3.1 Medición de la eficiencia mediante la interfaz.....	73
5.4 Envío y recepción de variables .....	74
6. Conclusiones y Recomendaciones.....	76
6.1 Conclusiones .....	76
6.2 Recomendaciones.....	77
7. Referencias Bibliograficas .....	78
Anexos .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de un sistema fotovoltaico .....	25
Figura 2. Tipos de paneles solares .....	26
Figura 3. Datasol MET RS-485 .....	27
Figura 4. Arquitectura de sistemas SCADA.....	28
Figura 5. Componentes del Sistema SCADA.....	29
Figura 6. Interfaz pantalla HMI .....	30
Figura 7. Esquema protocolo Modbus.....	32
Figura 8. Versiones del protocolo Modbus.....	33
Figura 9. Medio de Transmisión RS485 .....	35
Figura 10. Proceso de comunicación RS-485 .....	36
Figura 11. Software de proceso industrial .....	37
Figura 12. Base de datos industriales .....	37
Figura 13. Interfaz software Intouch .....	38
Figura 14. Diseño de una interfaz HM .....	42
Figura 15. Variables identificadas.....	45
Figura 16. Diagrama de Flujo .....	46
Figura 17. Desarrollo de la implementación hombre-maquina .....	47
Figura 18. Esquema del desarrollo diseño e implementación de la HMI .....	47
Figura 19. Topología de red.....	48
Figura 20. Disposición interna de celda calibrada.....	49
Figura 21. Conexiones de red y terminales de alimentación del MPPT.....	50
Figura 22. Configuración de ModbusPoll .....	52
Figura 23. Plataforma de software de comunicación.....	52
Figura 24. Creación del Nuevo Canal.....	53
Figura 25. Selección del protocolo Modbus .....	53
Figura 26. Configuración del protocolo seleccionado.....	54
Figura 27. Verificación de información.....	54
Figura 28. Creación de nuevo dispositivo .....	54
Figura 29. Registro y configuración Modbus .....	55
Figura 30. Comprobación de información introducida.....	55
Figura 31. Creación de Tag .....	56

Figura 32. Incorporación de Tags .....	56
Figura 33. Operations Control Management Console .....	57
Figura 34. Configuración de los servidores de integración .....	57
Figura 35. Asignación del protocolo de comunicación .....	57
Figura 36. Configuración del server nodo .....	58
Figura 37. Configuración grupo OPC.....	58
Figura 38. Ventana ítem Brower OPC.....	59
Figura 39. Lista de tags asignados.....	59
Figura 40. Configuración de Tags del regulador de carga solar (MPPT).....	60
Figura 41. Aplicaciones del Software InTouch .....	61
Figura 42. Pantalla principal de Application Manager .....	61
Figura 43. Creación de nuevo proyecto.....	61
Figura 44. Ventana de WindowMaker.....	62
Figura 45. Intersección de Tags .....	63
Figura 46. Insertar un nuevo Tag.....	63
Figura 47. Insertar imágenes vectoriales .....	64
Figura 48. Embed Industrial Graphic .....	64
Figura 49. Custom Properties .....	65
Figura 50. Añadir un Scrip .....	65
Figura 51. Pantalla Principal de la Interfaz .....	66
Figura 52. Inserción y configuración las tendencias .....	66
Figura 53. Pantalla de tendencias .....	67
Figura 54. Inserción de imágenes, scripts y tendencias.....	67
Figura 55. Interfaz hombre-máquina desarrollado .....	68
Figura 56. Disposición de Pantallas HMI.....	68
Figura 57. Recepción de datos del MPPT .....	71
Figura 58. Recepción de datos de la Datasol Met .....	72
Figura 59. Medición digital de Irradiancia .....	72
Figura 60. Datos registrados en la interfaz HMI para el análisis.....	74
Figura 61. HMI con datos primarios.....	75
Figura 62. Interfaz HMI con datos procesados.....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO .....	17
Tabla 2. Descripción del sistema de actividades .....	22
Tabla 3. Dispositivos disponibles .....	49
Tabla 4. Variables de la DataSol Met .....	50
Tabla 5. Variables del regulador solar MPPT .....	51
Tabla 6. Costos directos del proyecto de monitorización de datos.....	69
Tabla 7. Costos indirectos del proyecto.....	70
Tabla 8. Costo total de la propuesta tecnológica .....	70
Tabla 9. Parámetros de operación obtenidos del sistema .....	71

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Tema del proyecto:** “Diseño e Implementación de una Interfaz Hombre – Máquina para la monitorización de la eficiencia en Sistemas Fotovoltaicos utilizando celdas calibradas compensadas”

### Modalidad de Titulación:

Propuesta Tecnológica

Proyecto de Investigación

**Carrera:** Ingeniería Electromecánica

### Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto:

DIRGI-CP2021-008 Implementación de tecnologías de eficiencia energética en el sector productivo del sector San Felipe para reducir las pérdidas en la red eléctrica.

### Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:

**Ponente 1:** Jonathan David Chimborazo Calvopiña

**Ponente 2:** Nelson Reinaldo Tigse Guishcasho

**Docente Tutor:** Ing. Luis Rolando Cruz Panchi M.Sc.

### Área de Conocimiento:

Tabla 1. Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO

07 Ingeniería, Industrial y Construcción	071 Ingeniería y Profesiones Afines	0712 Tecnología de protección del medio ambiente
		0713 Electricidad y energía
		0714 Electrónica y automatización

### Línea de investigación:

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

### Sublíneas de investigación de la Carrera:

Energética en sistemas electromecánico y uso de fuentes renovables de energía.

## 2. INTRODUCCIÓN

La energía solar fotovoltaica se ha convertido en una opción preferida en el campo energético renovable porque es capaz de producir electricidad de forma limpia y sostenible. Sin embargo, la eficiencia de conversión de la energía solar a energía eléctrica es un factor crítico que determina el rendimiento y la viabilidad económica de los sistemas fotovoltaicos. La eficiencia de estos sistemas se ve influenciada por varios factores, incluyendo la calidad de los materiales, las condiciones ambientales, monitoreo y mantenimiento de los mismos.

El rendimiento de los paneles solares, medido en términos de eficiencia de conversión, es esencialmente la fracción de energía solar que puede ser transformada en electricidad utilizable. Los paneles comerciales típicos alcanzan eficiencias entre el 15% y 20%, esta eficiencia puede verse comprometida por diversos factores, entre estos se encuentran la temperatura ambiente, que puede reducir la eficiencia de los paneles, la acumulación de suciedad junto con polvo en las superficies de los paneles y la degradación de los materiales con el tiempo. Además, la orientación e inclinación de los paneles respecto al sol juegan un papel crucial en la maximización de la captación de energía solar [1][2].

Para abordar estos desafíos y mejorar la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos, es fundamental implementar tecnologías avanzadas que permitan visualizar datos reales. En este sentido, el uso de celdas calibradas compensadas se presenta como una solución prometedora. Estas celdas son capaces de proporcionar mediciones de la irradiación solar, compensando variaciones ambientales y mejorando la precisión de los datos recolectados. Estudios realizados en diferentes contextos han demostrado que el uso de estas celdas puede incrementar la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos en un rango del 5% al 10% [3][4].

En el contexto ecuatoriano, donde la adopción de energía solar está en crecimiento debido a su alto potencial solar, la implementación de sistemas de monitorización avanzados es crucial. La implementación de una interfaz hombre-máquina para la monitorización de la eficiencia en sistemas fotovoltaicos utilizando celdas calibradas compensadas permitirá obtener datos en tiempo real sobre dicha eficiencia de los paneles solares. Esta información es vital para llevar a cabo la operación de los sistemas fotovoltaicos, asegurando que se aproveche al máximo el recurso solar disponible.

## 2.1 Situación Problemática

A nivel mundial, la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica alcanzó los 707 GW en 2020, con países como China, Estados Unidos y Alemania liderando esta expansión. Sin embargo, la eficiencia de conversión de energía solar a eléctrica de los paneles solares comerciales típicos oscila entre el 15% y el 20%, afectada por la calidad de los materiales, condiciones climáticas, entre otros. La eficiencia de los paneles solares se determina principalmente midiendo la relación entre la energía eléctrica generada y la energía solar recibida, así también factores como la temperatura, la orientación e inclinación de los paneles, y la limpieza de su superficie también influyen significativamente en su rendimiento. La degradación de los materiales a lo largo del tiempo puede reducir aún más la eficiencia, subrayando la importancia del mantenimiento regular y el uso de materiales de alta calidad [1]. En Ecuador, la adopción de energía solar ha sido más lenta, pero está en crecimiento gracias a su alto potencial solar, con una irradiación solar promedio anual de 4.5 kWh/m<sup>2</sup>/día. A pesar de esto, la eficiencia de los paneles solares en el país enfrenta desafíos significativos debido a la falta de tecnología avanzada y problemas de mantenimiento. La ausencia de sistemas de monitoreo en tiempo real y la carencia de técnicas de mantenimiento adecuadas pueden llevar a un aprovechamiento del recurso solar disponible. Además, las condiciones climáticas locales, como la nubosidad y la humedad, pueden afectar negativamente la eficiencia de los paneles solares, reduciendo su capacidad de generar energía. La capacitación técnica y la inversión en tecnologías avanzadas son cruciales para mejorar la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos en Ecuador[2].

La implementación de celdas calibradas compensadas puede mejorar la eficiencia de los paneles solares, permitiendo una medición real y ajustada de la irradiación solar. Estas celdas están diseñadas para compensar las variaciones de temperatura y otros factores ambientales que pueden influir en las mediciones. Estudios en países como Japón y Alemania muestran que estas celdas pueden aumentar la eficiencia de los paneles de sistemas fotovoltaicos entre un 5% y 10%. Además, la integración de sistemas de monitorización avanzados puede proporcionar datos en tiempo real sobre la eficiencia de los paneles, facilitando la optimización operativa. La precisión en la medición de la irradiación solar permite ajustes finos en la orientación e inclinación de los paneles, maximizando su exposición solar y, por ende, su eficiencia general[3].

## **2.2 Formulación del problema**

Ante la necesidad de monitorear en tiempo real los diferentes parámetros de la celda calibrada compensada, se presenta una dificultad debido a la descentralización de estos datos y la falta de acceso directo al monitoreo de la eficiencia de los paneles fotovoltaicos.

## **2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN**

### **2.3.1 Objeto de investigación**

Los paneles solares del sistema fotovoltaico de 2kW perteneciente al proyecto de tecnologías de eficiencia energética (DIRGI-CP2021-008).

### **2.3.2 Campo de acción**

3322.05 Fuentes no convencionales de energía

## **2.4 BENEFICIARIOS**

### **2.4.1 Directos**

Docentes a cargo del proyecto DIRGI-CP2021-008 ya que contarán con parámetros del sistema fotovoltaico en tiempo real.

### **2.4.2 Indirectos**

La población del sector productivo del sector San Felipe debido a la implementación de tecnologías de eficiencia energética, para la disminución de pérdidas en la red eléctrica y la población estudiantil al contar con medios de investigación.

## **2.5 JUSTIFICACIÓN**

La presente propuesta tecnológica ayudará a la mejora de la eficiencia de los paneles solares del sistema fotovoltaico de 2kW perteneciente al proyecto de tecnologías de eficiencia energética, mediante la implementación de un sistema de adquisición de datos basado en la celda calibrada compensada.

Esto no solo mejorará la producción de energía limpia, sino que también impulsará la innovación tecnológica promoviendo la sostenibilidad a la reducción de dependencias del uso de fuentes no renovables, beneficiando a usuarios del sector aledaño y a la comunidad estudiantil al proporcionar energía más confiable y económica.

Los sistemas fotovoltaicos normalmente carecen de mecanismos para medir y determinar la eficiencia en sus paneles y al desarrollar una interfaz avanzada para la monitorización de parámetros en estos sistemas facilitan la gestión y su optimización continua. Además, la mejora en la eficiencia reduce los costos operativos, haciendo que la energía solar sea más accesible y rentable.

El desarrollo de nuevas tecnologías presenta una solución innovadora para los desafíos actuales con respecto a la eficiencia energética.

## **2.6 OBJETIVOS**

### **2.6.1 Objetivo General**

Crear una interfaz hombre-máquina por medio del software InTouch para la monitorización de datos que determinen la eficiencia de paneles solares en el sistema fotovoltaico utilizando señales de una celda calibrada compensada obteniendo la irradiancia.

### **2.6.2 Objetivos Específicos**

- Investigar información de técnicas, protocolos y configuraciones que permitan la comunicación usuario-cliente determinando las variables de monitoreo.
- Diseñar la interfaz hombre-máquina mediante el software InTouch para el registro de las variables y obtención de la eficiencia de paneles solares del sistema fotovoltaico.
- Implementar el sistema de recopilación de datos mediante el uso de la celda calibrada para el monitoreo de eficiencia de paneles solares del sistema fotovoltaico.
- Realizar pruebas de funcionamiento de la interfaz hombre-máquina mediante verificación de comunicaciones entre componentes del sistema fotovoltaico.

### 2.6.3 Sistema de tareas

A continuación, se presenta las actividades a realizar para dar cumplimiento a cada objetivo propuesto.

Tabla 2. Descripción del sistema de actividades

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, medios e instrumentación
Investigar información de técnicas, protocolos y configuraciones que permitan la comunicación usuario-cliente determinando las variables de monitoreo.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Análisis bibliográfico de técnicas de diseño y aplicaciones industriales.</li> <li>2. Documentación técnica para configurar un sistema HMI.</li> <li>3. Información de datos técnicos de Datasol-Met.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Obtención de normativas de interfaces.</li> <li>* Información de formas de comunicación industrial.</li> <li>* Diccionario de Tagnames.</li> <li>* Creación de base de datos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Páginas Web</li> <li>* Ordenadores</li> <li>* Listado de Excel</li> <li>* Manuales Técnicos</li> </ul>
Diseñar la interfaz hombre-máquina mediante el software Intouch para el registro de las variables y obtención de la eficiencia de paneles solares del sistema fotovoltaico.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identificación de variables dependiente e independiente.</li> <li>2. Elaboración de un esquema fotovoltaico.</li> <li>3. Información de diferentes softwares de automatización.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Selección del software InTouch.</li> <li>* Instalación y configuración del software mediante direcciones de red local.</li> <li>* Interfaz diseñada mediante documentación técnica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Software InTouch.</li> <li>* Licencia del software.</li> <li>* Manuales Técnicos.</li> <li>* Normativas de diseño.</li> <li>* Tutoriales digitales.</li> </ul>
Implementar el sistema de recopilación de datos mediante el uso de la celda calibrada para el monitoreo de eficiencia de paneles solares del sistema fotovoltaico.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Recopilación de datos de la celda calibrada compensada.</li> <li>2. Integración de la interfaz HMI en el funcionamiento del sistema fotovoltaico.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Identificación del sensor Datasol-Met.</li> <li>* Comunicación entre la interfaz HMI y los dispositivos del sistema.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Software InTouch.</li> <li>* Ordenador</li> <li>* Dispositivos</li> </ul>
Realizar pruebas de funcionamiento de la interfaz hombre-máquina mediante verificación de comunicaciones entre componentes del sistema fotovoltaico.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Conexión de los dispositivos que conforman el sistema fotovoltaico.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Visualización de datos mediante la interfaz desarrollada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Celda calibrada compensada.</li> <li>* Interfaz HMI.</li> </ul>

### **3 FUNDAMENTACION TEÓRICA**

#### **3.1 Antecedentes**

La necesidad de fuentes de energía sostenibles conlleva a la implementación de sistemas fotovoltaicos en todo el mundo. Sin embargo, la eficiencia y el rendimiento de estos sistemas pueden verse comprometidos por factores como condiciones ambientales, desgaste de materiales y acumulación de suciedad en los paneles. La monitorización adecuada es esencial para identificar y corregir estos problemas a tiempo, garantizando así la eficiencia de los paneles solares que conforman un sistema fotovoltaico. La ausencia de información en tiempo real acerca de la eficiencia en sistemas fotovoltaicos provoca que las operaciones sean ineficientes dando a lugar la pérdida de recursos. Por tal razón, realizar un sistema capaz de monitorizar la eficiencia es de excelente ayuda.

Al diseñar e implementar una Interfaz Hombre-Máquina que proporcione la monitorización de la eficiencia en los paneles del sistema fotovoltaico por medio del uso de una celda calibrada compensada (Datasol-Met) se permitirá a quienes operen supervisen en tiempo real dicha eficiencia, así mismo lograr la detección y a la vez corregir irregularidades de manera oportuna, para así lograr optimizar las condiciones de funcionamiento maximizando la producción de energía. Además, la implementación de la celda calibrada compensada facilitará mediciones reales, optimizando la exactitud de los datos coleccionados y permitiendo mejorar en cuanto a toma de decisiones. El uso y manejo del software InTouch ayudará al desarrollo de una interfaz capaz de cumplir las necesidades de la monitorización de datos en el sistema fotovoltaico.

Este proyecto se implementará en la Universidad Técnica de Cotopaxi, beneficiando en la mejora de la eficiencia de los paneles solares del sistema fotovoltaico perteneciente al proyecto de tecnologías de eficiencia energética al proporcionar una herramienta avanzada para la monitorización de datos basado en la celda calibrada compensada.

Además, los docentes investigadores del proyecto se beneficiarán directamente con los parámetros del sistema fotovoltaico en tiempo real. La comunidad científica del Ecuador y sectores como el residencial, el comercial y la población del sector productivo en sistemas autónomos también se verán beneficiados a largo plazo, al disponer de una solución de monitoreo avanzada que puede ser replicada y adaptada a diferentes contextos y necesidades.

## 3.2 MARCO REFERENCIAL

### 3.2.1 Energía Fotovoltaica

La energía fotovoltaica viene a ser la conversión directa de la radiación solar en electricidad por medio del efecto fotovoltaico. Este fenómeno tiene lugar en los paneles fotovoltaicos, donde la radiación solar incide sobre el material semiconductor ocasionando una diferencia de potencial. Aprovechando la luz del sol, la energía solar fotovoltaica se convierte en una forma sostenible y renovable de generar electricidad[4].

#### 3.2.1.1 Sistema Fotovoltaico

Los sistemas fotovoltaicos son instalaciones que convierten la radiación solar en electricidad a través del uso de paneles fotovoltaicos o celdas solares.

Un sistema fotovoltaico se forma por uno o varios paneles solares interconectados, dependiendo de las necesidades, es posible conectar paneles en paralelo (aumenta la intensidad de corriente útil) o en serie (aumenta el voltaje útil), y se compone de los siguientes elementos[5], [6]:

- **Paneles solares.** - Son dispositivos capaces de transformar la luz solar en energía eléctrica.
- **Reguladores.** - Este componente tiene como objetivo garantizar una conexión adecuada entre el panel solar, los inversores y los acumuladores, así como con las cargas en DC (si las hay).
- **Baterías.** - Estos elementos tienen la función principal de almacenar energía eléctrica a través de una transformación de energía electroquímica, generada por el sistema fotovoltaico, permitiendo utilizar dicha energía en ausencia de luz solar o en momentos en que esta no sea suficiente para abastecer toda la carga.
- **Inversores.** - Son dispositivos diseñados para convertir la corriente continua que proviene de los acumuladores y/o paneles solares en corriente alterna, permitiendo así alimentar equipos que funcionan con este tipo de energía.
- **Cargas en AC y/o DC.-** Es la potencia en vatios (W) que consumen los equipos que estarán conectados al sistema fotovoltaico.

- **Sistema de Monitoreo y Control.** - Facilita la supervisión del rendimiento del sistema al recopilar datos sobre la producción de energía y el estado de los dispositivos, para un mantenimiento eficiente.

Los sistemas fotovoltaicos están conformados por varios componentes, como se representa en la figura 1, y su estructura puede diferir dependiendo del tipo de sistema.

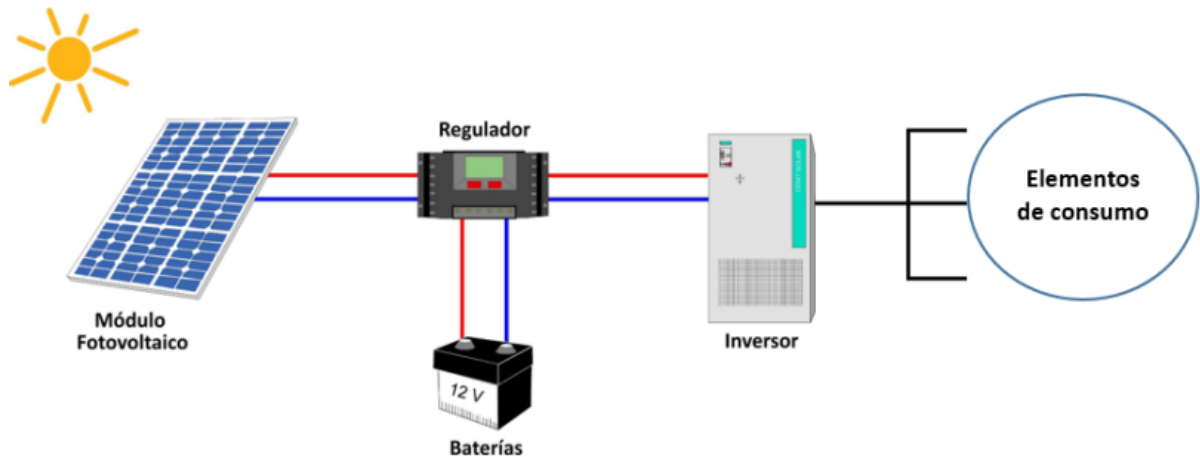


Figura 1. Esquema de un sistema fotovoltaico[7]

### 3.2.2 La eficiencia en sistemas fotovoltaicos

La eficiencia energética se refiere al uso inteligente de la energía, lo que implica satisfacer nuestras necesidades utilizando la menor cantidad posible de esta. Esta práctica no solo optimiza el consumo, sino que también contribuye a la preservación del medio ambiente, promoviendo políticas que fomentan el uso responsable y el ahorro energético[1].

#### 3.2.2.1 Eficiencia de un panel solar

La eficiencia de un panel solar hace referencia al porcentaje de energía solar que es capaz de convertirse en energía eléctrica. Este aspecto está vinculado tanto a la tecnología de las células solares como al diseño del panel[1].

Para el cálculo la eficiencia en los paneles solares, es fundamental consultar en la ficha hoja técnica proporcionada por el fabricante. En este caso los valores presentados en la ficha técnica se han obtenido siguiendo un protocolo de cálculo STC (Standard Test Conditions)[3].

Donde:

- Irradiación:  $\frac{1000 \text{ W}}{\text{m}^2}$
- Temperatura del panel: 25°C
- Masa de Aire: 1.5G

Una manera sencilla de calcular la eficiencia de las placas solares es:

$$\eta_{\text{Tcell}} = \frac{\text{Potencia pico del panel}}{\text{Irradiación en STC} * \text{Superficie en } \text{m}^2 \text{ del panel}} * 100\%$$

Es decir:

$$\eta_{\text{Tcell}} = \frac{P_p}{Irr * S} * 100\% \quad (1)$$

La eficiencia de conversión energética ( $\eta_{\text{Tcell}}$ ), se establece como el cociente con respecto a la máxima potencia ( $P_M$ ) y la insolación incidente ( $P_L$ ) sobre el panel solar, que es el producto de la irradiancia incidente estándar de 1000 W/m<sup>2</sup> por el área del panel (es decir la suma de las áreas de cada celda).

$$\eta_{\text{Tcell}} = \frac{P_M}{P_L} * 100\% \quad (2)$$

En la figura 2, se evidencian las tres tecnologías que influyen en la eficiencia de los paneles solares:

- **Monocristalino.** - Presentan una eficiencia superior, oscilando entre el 17% y el 23%.
- **Policristalino.** – Son económicos, tienen una eficiencia ligeramente inferior entre el 14% y un 16%.
- **Capa fina.** - Son menos eficientes, con una eficiencia que oscila entre el 7% y el 9%.

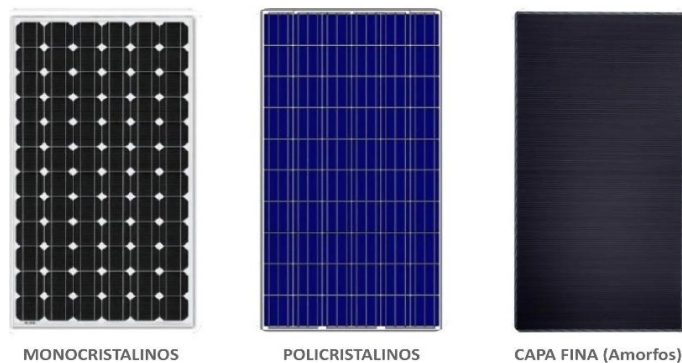


Figura 2. Tipos de paneles solares[8]

### 3.2.2.2 Celdas Calibradas

Es un dispositivo electrónico de alta precisión diseñado para medir la radiación solar en un sistema de energía fotovoltaica. Incorporan un sensor de temperatura ubicado directamente sobre la célula, lo cual permite compensar las desviaciones en las medidas de la radiación solar, esto se traduce en lecturas precisas a lo largo de todo el rango de radiación y temperatura.

Las celdas calibradas en sistemas fotovoltaicos son fundamentales para garantizar la precisión en las mediciones tales como: radiación solar, temperatura ambiente, temperatura del panel, velocidad del viento. El componente maestro puede solicitar los datos anteriores utilizando el estándar MODBUS[9], como se representa en la figura 3.

La DATASOL MET es un tipo de dispositivo electrónico, que usa el protocolo de comunicación RS-485 para recopilar los datos en sistemas de monitoreo. Este equipo permite una transmisión de datos de alta velocidad, configurable hasta 115200 bps, y ofrece frecuencias de muestreo programables para adquirir datos. Cuenta con mecanismos de protección contra sobretensiones y cortocircuitos, asegurando así un funcionamiento estable y seguro. Su amplio rango de temperatura operativa, que abarca desde -40 °C hasta 85 °C, lo hace adecuado para entornos exigentes[9].

La alimentación se realiza mediante una fuente de 9-24 VDC, mientras que la precisión y calidad de la medición dependen del tipo de sensor en conjunto.



Figura 3. Datasol MET RS-485[9]

### 3.2.3 Sistema SCADA

#### 3.2.3.1 Definición de sistema SCADA

Un sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) es un conjunto de hardware y software empleado para la supervisión y control de procesos industriales o infraestructura crítica en tiempo real. SCADA permite la recolección de datos desde sensores y dispositivos

distribuidos en plantas o instalaciones, y proporciona interfaces gráficas para monitorear y controlar esos procesos de manera remota[10].

### 3.2.3.2 Arquitectura del sistema SCADA

- **Hardware.-** Interfaz Hombre-Máquina (HMI, MMI); Unidad central (MTU, Master Terminal Unit); Unidad Remota (RTU, Remote Terminal Unit).
- **Sistemas de comunicación.-** Intercambio de información entre servidores y clientes.
- **Software.-** El software SCADA hace referencia al conjunto de elementos que ayudan al desarrollo de aplicaciones especialmente diseñadas a la operación con los PC de supervisión, con el propósito de realizar funciones de control y configuración de manera eficiente.
- **Comunicación entre aplicaciones.-** Los principales métodos utilizados para el intercambio de información entre aplicaciones informáticas son: ODBC, OPC, ASCII y API.
- **Almacenamiento de datos.-** Almacenamiento de datos en tiempo real en bases de datos industriales.

Como se muestra en la figura 4, la arquitectura SCADA facilita la integración de dispositivos.

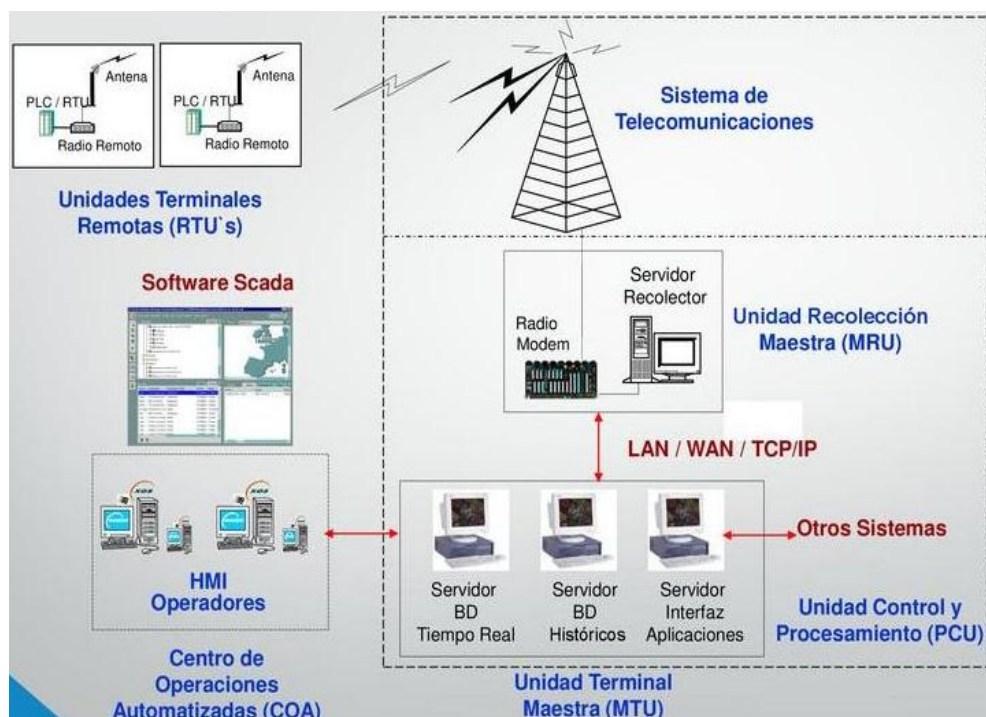


Figura 4. Arquitectura de sistemas SCADA[11]

### 3.2.3.3 Elementos del sistema SCADA

Un sistema SCADA básico se compone de los siguientes elementos, los mismos que se interpretan mejor manera en la figura 5.

1. Interfaz hombre-máquina
2. Sistema de supervisión
3. Unidades terminales remotas
4. Autómatas programables (PLC)
5. Infraestructura de comunicaciones
6. Programación SCADA

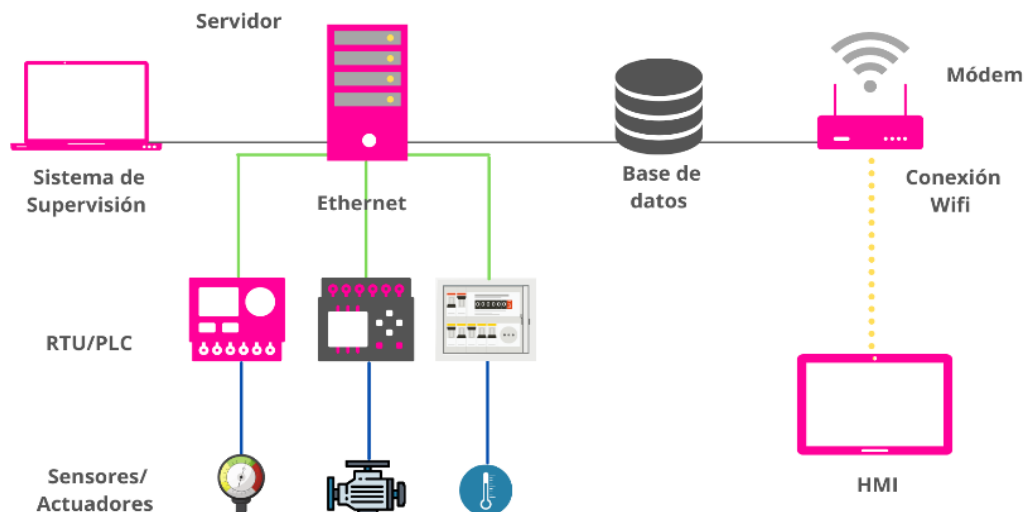


Figura 5. Componentes del Sistema SCADA[12]

### 3.2.3.4 Interfaz Hombre-Máquina (HMI)

Las siglas HMI (Interfaz Hombre-Máquina) referencian la interrelación entre operador y sistema automatizado, permitiendo recopilar y transmitir información para controlar procesos. El panel de control se caracteriza por ser funcional, intuitivo y accesible. El proceso se desarrolla en tiempo real a través de señales tanto de entrada como de salida al procesador, así como los dispositivos conectados internamente en un sistema[13].

#### a) Definición

Una interfaz hombre-máquina (HMI) ofrece una plataforma para el control, la visualización y la manipulación de un proceso o sistema computacional, facilitando la interacción entre el

usuario y el proceso. Esta interfaz proporciona un nivel de confianza al permitir la supervisión y gestión de aplicaciones específicas, funcionando en términos simples como el panel de control.

El objetivo de los HMI es presentar información operativa en tiempo real de manera clara y comprensible, estos sistemas convierten variables de procesos complejos en datos accesibles y procesables. Además, permiten a gerentes y supervisores optimizar los procesos al ofrecer datos históricos y tendencias sobre la eficiencia de las máquinas y la calidad del producto, evidenciando en la figura 6. Las capacidades avanzadas y la flexibilidad del software HMI moderno abren nuevas y significativas oportunidades para mejorar la eficiencia[14].



Figura 6. Interfaz pantalla HMI[15]

## b) Funciones del HMI

- **Monitoreo.** - Esta función permite obtener los datos del proceso a través de gráficos o cifras, lo que brinda al operador la información necesaria para la toma de decisiones.
- **Supervisión.** - Facilita el acceso y la modificación de las condiciones operativas de la planta directamente a partir del panel de control.
- **Control.** - Permite configurar parámetros y añadir sentencias para la modificación y ajuste dinámico de los valores del proceso, facilitando un control preciso y adaptable.
- **Alarmas.** – Aquí es posible detectar y visualizar eventos no deseados que puedan afectar la ejecución de los algoritmos previamente programados, permitiendo una respuesta oportuna.

- **Historial.** - Permite el almacenamiento de datos esenciales para registrar y documentar los trabajos ejecutados en el sistema, facilitando el análisis, seguimiento y optimización de procesos operativos.

### 3.2.4 Sistemas de Comunicación

La optimización de los procesos de automatización permite está estrechamente relacionado al progreso de las redes de comunicación. El empleo de métodos como RS485/422 y IEEE-488 ha sido ampliamente reconocido. Estos sistemas han convencido durante más de 20 años las necesidades de comunicación en instalaciones de baja y media complejidad, garantizando las capacidades requeridas para una intercomunicación efectiva.[13]

La comunicación se define como el intercambio de información entre dos o más partes. En este proceso, la información se transporta desde un emisor a un receptor, quien recibe, procesa y decide si la guarda o la descarta, dependiendo de su relevancia. Cuando se introduce un enfoque industrial, se hace referencia a lo que conocemos como "comunicación industrial".

Con respecto a las comunicaciones industriales, se distinguen en dos áreas esenciales: *comunicación a nivel de campo* y *comunicación hacia el sistema SCADA*. Con respecto a la transmisión de datos esta se desarrolla en tiempo real o con un retraso no muy significativo en comparación con los tiempos del proceso, lo cual se vuelven críticos en el nivel de campo[16].

#### 3.2.4.1 Protocolos de comunicación

Es un conjunto de normas que regulan la comunicación entre dispositivos dentro de una red. En el entorno industrial, algunos de los protocolos son:

- Modbus RTU
- EtherNet/IP
- Ethernet TCP/IP
- Modbus TCP/IP
- Profinet
- Profibus

### a) Protocolo Modbus

El protocolo, desarrollado en 1979 por Modicon ahora llamado Schneider Electric, se utiliza para establecer comunicaciones en configuraciones de "Maestro-Esclavo" y "Cliente-Servidor" entre componentes inteligentes y componentes de campo.

Entre las principales características del protocolo se establecen:

- Diseñó considerando la aplicación en entornos industriales, por lo que transmite información por medio redes conectadas en serie entre componentes electrónicos.
- Su arquitectura se basa en un modelo Maestro/Esclavo.
- Cada dispositivo posee una dirección única de esclavo.
- Es de carácter público y gratuito.
- Su implementación es sencilla y demanda poco desarrollo.
- Permite la gestión de bloques de datos sin imponer restricciones.

Este sistema de comunicación se utiliza ampliamente para la transmisión de señales desde dispositivos de instrumentación y control hacia un controlador central o un sistema SCADA de recolección de datos. En la figura 7 se puede observar que este protocolo y sus aplicaciones abarcan diversos ajustes maestro-esclavo, permitiendo la supervisión y programación de equipos. Además, facilita la interacción entre dispositivos inteligentes, sensores e instrumentos, y posibilita el monitoreo en tiempo real de dispositivos de campo a través de PC e interfaces (HMI)[16].



Figura 7. Esquema protocolo Modbus [17]

### b) Versiones protocolo Modbus

- **Modbus RTU.** - Es la variante más frecuente de Modbus, mediante la cual los aparatos electrónicos pueden compartir información a través de conexiones en serie. Una particularidad de esta variante es la implementación de codificación binaria y de control de errores CRC, los datos son enviados en fragmentos de 8 bits, uno por uno, a

velocidades que oscilan entre 1200 bits por segundo (baudios) y 115200 bits por segundo.

- **Modbus ASCII.** - Es la variante más antigua, aunque incluye todos los componentes de un paquete RTU, representado enteramente en símbolos ASCII. Estos representan valores hexadecimales que tienen 4 bits de información cada uno. Hoy en día, este protocolo se considera antiguo y no se utiliza con regularidad.
- **Modbus TCP.** - Se implementó para utilizar las infraestructuras de red local, lo que a su vez incrementó la cantidad de dispositivos que podían enlazarse a la misma red. La identificación del dispositivo o esclavo no es el método principal de dirección en el protocolo TCP, la identificación más relevante es la dirección IP. Además, puede existir más de un maestro.

Desde el año 2007, la variante Modbus TCP se incluye en la norma IEC 61158 emitida por la Comisión Electrotécnica Internacional. Esta norma define los protocolos necesarios para conectar los elementos de sistemas de automatización a través de redes de bus de campo en entornos industriales. Estas configuraciones posibilitan la creación de jerarquías de protocolos, uniendo las interfaces hombre-máquina (HMI) con los controladores lógicos programables por medio de sensores, actuadores, motores eléctricos y conmutadores.

- **Modbus PLUS.** - Es un protocolo versátil que integra conexión rápida, comunicación peer to peer y una instalación sencilla. La parte física se realiza con RS485 y opera sobre un cable trenzado con blindaje, mientras que, en la capa de enlace de datos, en el nivel dos, se apoya en el protocolo multipunto HDLC (High Level Data Link), logrando una tasa de transmisión de datos de 1 Mbps.

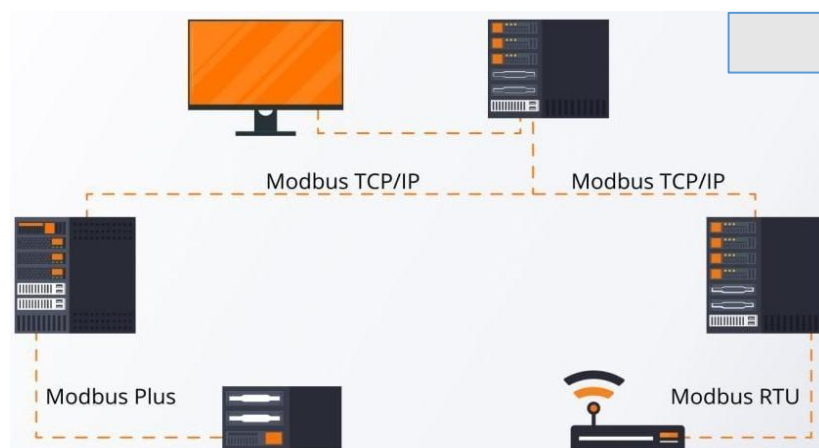


Figura 8. Versiones del protocolo Modbus[18]

### c) Comunicación entre aplicaciones

Tanto si se trata de un equipo antiguo como de uno recién instalado, es esencial entender los procesos de comunicación involucrados. Las suposiciones y confusiones pueden obstaculizar la producción y dificultar la solución de problemas. No obstante, conocer y tener un esquema para esos procesos puede mejorar significativamente la relación principal de su comunicación.

- **OPC.** - Es una tecnología creada para conectar aplicaciones. Sin importar la procedencia de la información, la forma de presentar y acceder a los datos será constante.
- **Open Data Base Connectivity.** – Posibilita a las aplicaciones obtener información de Sistemas de Gestión de Bases de Datos. Facilita que una aplicación se conecte a diferentes bases de datos al integrar el driver adecuado en la aplicación que necesita acceder a la información.
- **Structure Query Language.** - Sistema reconocido como el más destacado para la interacción con bases de datos, SQL ofrece una interfaz unificada que facilita el acceso a la información para cualquier aplicación que cumpla con el estándar SQL.
- **ASCII.** - Común a la mayoría de las aplicaciones de software, existe una norma fundamental para la transferencia de información. Es fácil tanto la exportación como la importación de datos de configuración, valores de variables y más.
- **Application Programming Interfaces.** - Otorgan la entrada a las bases de datos de los sistemas (datos guardados temporalmente o archivos históricos).

Con esto hará posible que varios aparatos que utilizan distintos protocolos puedan usar el mismo puerto de comunicación del maestro de SCADA, lo que elimina la necesidad de contar con un puerto para cada protocolo.

### d) Medio de Transmisión

Envía datos mediante redes en serie entre aparatos electrónicos. El aparato que pide los datos se denomina maestro Modbus, mientras que los aparatos que proporcionan la información se conocen como esclavos Modbus.

- **Protocolo de comunicación RS485**

El **RS485** facilita la comunicación semidúplex a través de una línea equilibrada, abarcando distancias de hasta 1,2 kilómetros.

La transmisión de información se realiza en paquetes de 8 bits, enviando un bit a la vez, con velocidades en baudios que varían entre 1200 y 115200 bits por segundo. Sin embargo, la mayoría de los dispositivos solo admiten velocidades de hasta 38400 bits por segundo. Para la conexión de cables RS-485, se utilizan conectores estándar DB9 o M12 como se observa en la figura 9, la elección del conector más adecuado (acodado, recto, atornillado o con salida para PC) es crucial para garantizar una instalación óptima y un rendimiento confiable del sistema[19].



Figura 9. Medio de Transmisión RS485

En la figura 10 se tiene el proceso de comunicación y el bus RS-485 es una interfaz estándar de la capa física de comunicación, diseñada para la transmisión eficiente de señales. Su función principal es transportar datos mediante dos cables: uno transmite la señal original y el otro su versión inversa. Este método diferencial proporciona una alta inmunidad a las interferencias en modo común, mejorando la estabilidad y confiabilidad de la comunicación. La línea de transmisión emplea un cable de par trenzado, que puede ser blindado o no blindado, dependiendo de los requisitos del entorno y la necesidad de protección. [11]

Una vez que la línea de comunicación RS-485 esté configurada para operar a nivel físico, es necesario definir el protocolo de transferencia de datos. Esto implica que los dispositivos del sistema deben acordar un formato común para la transmisión de paquetes de datos. En este sistema, los comandos son enviados por el nodo maestro, y todos los nodos restantes conectados al maestro reciben los datos a través de los puertos RS-485. Este enfoque asegura que la comunicación entre dispositivos sea coherente. [11]

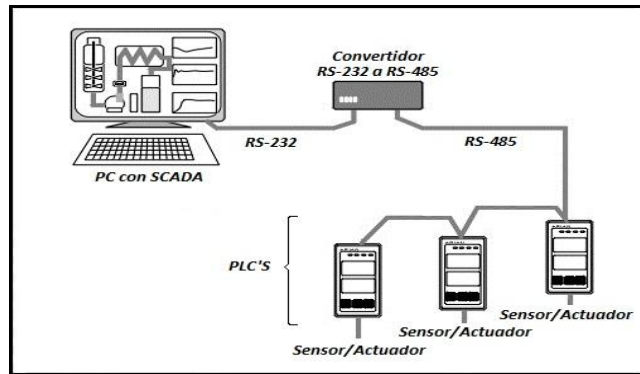


Figura 10. Proceso de comunicación RS-485[19]

### 3.2.5 Software de proceso industrial

En la época industrial, la tecnología es fundamental para mejorar los procesos, aumentar la eficiencia y elevar la competitividad de las empresas. En especial, el software industrial se ha vuelto esencial para las operaciones contemporáneas, ayudando a las organizaciones a abordar los desafíos complicados del entorno empresarial actual.

Hay diversos programas disponibles, dependiendo del proveedor, con variaciones notables en costos y eficacia como se puede evidenciar en la figura 11. La decisión sobre cuál emplear se basa en múltiples elementos, además de las inclinaciones individuales; sin embargo, suele estar influenciada por la dificultad de la tarea que se desea realizar, la eficacia demandada, las limitaciones establecidas por el cliente y el dinero disponible. Entre algunos paquetes de calidad tenemos[20]:

- InTouch
- Labview
- FreeSCADA
- Scada Argos
- Scada Factory Talk View
- Acimut SCADA Monitorizar



Figura 11. Software de proceso industrial[21]

### 3.2.5.1 Almacenamiento de datos

Las técnicas modernas implementadas favorecen la mejora del desempeño de las bases de datos y, por ende, la obtención de información por tal motivo la magnitud de datos se debe archivar en un tiempo determinado.

El almacenamiento requerido es significativo debido a la gran cantidad de información que se debe guardar es por ello que innovaciones como IndustrialSQL, de Wonderware, resuelven el inconveniente de la actualización de datos al incrementar la capacidad de registro y reducir el espacio requerido en la unidad de disco interpretados en la figura 12.



Figura 12. Base de datos industriales[22]

### 3.2.6 Intouch HMI

InTouch es un software de creación para interfaz hombre-máquina (HMI) desarrollado por Wonderware, ahora parte de AVEVA. Es ampliamente utilizado en la industria para la supervisión y control de procesos automatizados. Permite a los operadores interactuar con el sistema de control, monitorear el estado de los equipos, registrar datos y alarmas, y tomar decisiones informadas basadas en la visualización de datos en tiempo real[23].

En la figura 13 se evidencian algunas características clave de InTouch, además se incluyen:

- **Visualización en tiempo real:** Permite crear gráficos y pantallas personalizadas para mostrar el estado de los procesos y equipos en tiempo real.
- **Integración:** Es compatible con una amplia variedad de dispositivos y sistemas de control, lo que permite una integración fluida en entornos industriales diversos, adaptándose a diferentes configuraciones.
- **Alarmas y eventos:** Configuración y gestión de alarmas y eventos para alertar a los operadores sobre condiciones anómalas.
- **Historial de datos:** Almacena datos históricos que pueden ser utilizados para realizar análisis detallados y generar informes, facilitando la toma de decisiones y la mejora.
- **Seguridad:** Control de acceso y autenticación para garantizar que solo el personal autorizado pueda interactuar con el sistema.
- **Escalabilidad:** Puede ser utilizado en pequeñas instalaciones hasta grandes plantas industriales.



Figura 13. Interfaz software Intouch[23]

### 3.2.7 Norma ISA 101

La Norma ISA 101 fue desarrollada para orientar el diseño, implementación y evaluación de interfaces hombre-máquina en sistemas de automatización de procesos industriales. Su objetivo principal es optimizar la eficiencia operativa, mejorar la seguridad y aumentar la usabilidad, fomentando el desarrollo de interfaces más intuitivas y fáciles de utilizar.

Además, establece pautas para el diseño de pantallas, distribuciones, colores, tipografía e interacciones, con el objetivo de garantizar que la información se presente de forma clara y comprensible para los operadores, brindando la información relevante para su operación sin abrumarlos con datos innecesarios[24].

#### 3.2.7.1 Principios Fundamentales de la ISA 101

La norma ISA 101 se fundamenta en varios principios clave para garantizar el diseño eficaz de interfaces hombre-máquina. Entre los más significativos incluyen:

- **Jerarquía de la Información:** Organización jerárquica de la información, dando prioridad a los datos más relevantes y se presentan de forma clara y concisa, facilitando la rápida comprensión y toma de decisiones.
- **Patrones de Navegación:** Empleo de patrones de navegación coherentes que simplifican el acceso a la información y disminuyen la carga mental de los operadores.
- **Retroalimentación Visual:** Brindar una retroalimentación visual inmediata acerca del estado del sistema, asegurando que los operadores estén informados sobre cualquier cambio, variación o anomalía presentada, lo que ayuda en la toma de decisiones oportunas y efectivas.
- **Simplicidad y Claridad:** Dar prioridad a la simplicidad y claridad en la presentación de la información, con el fin de evitar que los operadores se vean sobrecargados por datos internos.
- **Personalización:** Permitir la personalización de las interfaces de acuerdo con las preferencias y necesidades específicas de los operadores, siempre que sea adecuado y conveniente.

### 3.2.7.2 Beneficios de la ISA 101 para las Operaciones Industriales

La adopción de la ISA 101 aporta una serie de beneficios tangibles a las operaciones industriales, incluyendo:

- **Menor tiempo de respuesta:** Con una interfaz donde la información relevante, alarmas y eventos se destacan mientras que la información en condiciones normales forma parte del fondo, se reduce el estrés visual y la sobrecarga de información para el operador, mejorando así el tiempo de respuesta para las acciones necesarias en esa interfaz.
- **Reducción de errores:** Las interfaces más intuitivas y fáciles de usar ayudan a reducir los errores humanos, aumentando la precisión y fiabilidad de las operaciones.
- **Mejora de la eficiencia:** Las interfaces bien diseñadas permiten que los operadores accedan e interpreten la información de manera más rápida y eficiente, mejorando la productividad general del sistema.
- **Menos tiempo de entrenamiento:** Las interfaces más intuitivas y consistentes requieren menos tiempo de entrenamiento para los operadores, permitiendo una integración más rápida y eficiente de nuevos miembros del equipo.
- **Mayor seguridad:** Las interfaces que proporcionan retroalimentación visual inmediata sobre el estado del sistema ayudan a los operadores a identificar y responder rápidamente a situaciones de riesgo, mejorando la seguridad en el lugar de trabajo.
- **Mantenimiento simplificado:** Las interfaces bien diseñadas pueden facilitar el mantenimiento preventivo y correctivo, proporcionando un acceso rápido a información relevante sobre el estado del sistema y posibles fallas.

La norma ISA 101 juega un papel fundamental en la estandarización y mejora de las interfaces hombre-máquina en entornos industriales al proporcionar pautas claras y completas para el diseño, implementación y evaluación de interfaces. Esta norma ayuda a promover operaciones más eficientes, seguras y productivas[24].

### 3.2.8 Reglas para su diseño de pantallas HMI

Se facilita el acceso a todos los datos relevantes para la ejecución de los procesos. Para ello, es fundamental incorporar las unidades, parámetros y valores estándar utilizados en la industria,

permitiendo así que el usuario verifique y compare los datos obtenidos, con el objetivo de optimizar la calidad de las actividades[24].

### **3.2.8.1 Fondo para pantallas HMI**

Nunca se debe emplear un fondo negro en las interfaces. La normativa sugiere utilizar fondos de colores claros o degradados, ya que resultan menos fatigantes para la vista y son más agradables para el usuario. Los fondos claros también ayudan a resaltar mejor los elementos de la pantalla[24].

### **3.2.8.2 Colores para pantallas HMI**

En el diseño de pantallas HMI, es importante considerar la elección de los colores. No es necesario utilizar toda la gama disponible, ya que una interfaz limpia y clara se logra con una paleta limitada. Con el uso de solo dos colores, como fondos grises y un color primario (por ejemplo, el color representativo de una empresa, como rojo, azul o verde), se pueden crear diseños visuales[24].

Se debe evitar el uso de colores primarios brillantes en la medida de lo posible, salvo para indicar situaciones anormales. El objetivo es diseñar pantallas que, bajo condiciones normales de operación, sean visualmente simples y discretas. De esta forma, será más fácil identificar una condición de alarma, como una luz roja intermitente, en una pantalla de color apagado[24].

### **3.2.8.3 Secciones claras para las pantallas HMI**

Es fundamental definir claramente las distintas secciones en las que se dividirá la navegación de la pantalla. Para ello, es necesario contar con un diagrama que visualice los flujos de navegación, permitiendo entender cómo se interconectan.

- **Trabajo:** Es la pantalla que el operario utilizará el 95% del tiempo, brindando acceso a los botones, entradas de datos y visualizaciones esenciales para el funcionamiento.
- **Edición:** Sección destinada para personal autorizado. Aquí se configuran los parámetros de la máquina o los requisitos del sistema. No es permitido que el operador de la máquina realice cambios en esta sección de manera regular.

- **Alarmas:** Se muestran las alarmas actuales, junto con información sobre cómo resolver las posibles incidencias. Además, se puede acceder a un historial de alarmas previas para facilitar el seguimiento y resolución de problemas.
- **Mantenimiento:** Funciones de mantenimiento, permitiendo el acceso a los manuales y proporcionando información relevante sobre el mantenimiento de la máquina, como las horas de producción, los consumos entre otros.
- **Producción:** Muestra los datos relacionados con la producción, proporcionando una visión completa del desempeño y los indicadores.

En la figura 14 se muestran como las pantallas deben ser claras y permitir interacciones rápidas, con no más de tres pasos para acceder a cualquier sección. Por lo tanto, la organización de los menús y la estructura deben estar optimizadas. Elaborar un diagrama o esquema puede ser útil para definir cómo mejorar la navegación y facilitar el movimiento del usuario por la pantalla[24].

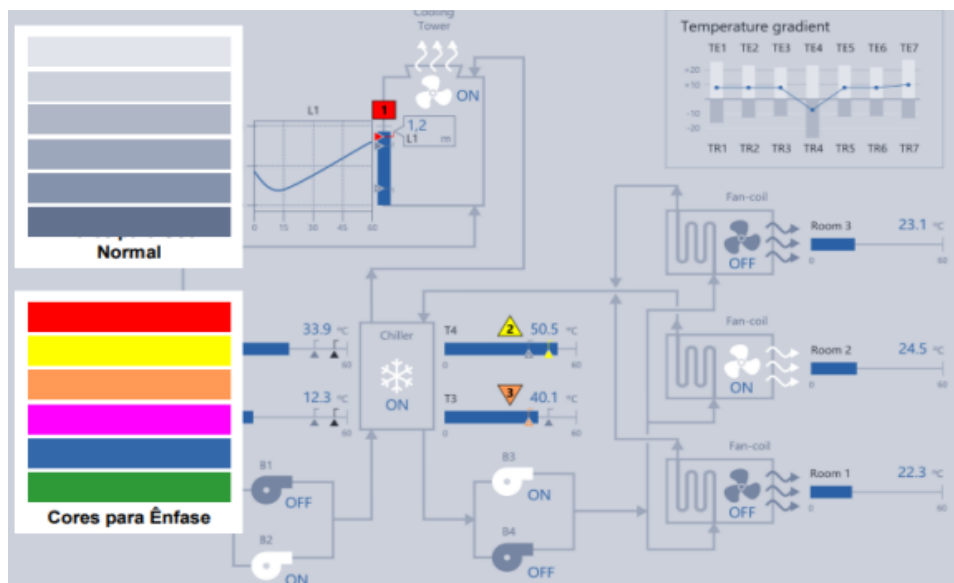


Figura 14. Diseño de una interfaz HM[25]

### 3.2.8.4 Menú de iconos

Para facilitar el acceso rápido a todas las secciones del HMI, es esencial contar con un menú. En muchos casos, un icono es más reconocible y familiar para los usuarios que otros tipos de simbología. El menú debe permitir un acceso rápido al inicio, y en los HMI, se suele crear una página genérica de menú que sea accesible y visible desde cualquier página[25].

### 3.2.8.5 Niveles de usuario

Las pantallas HMI permiten establecer un sistema de usuarios con distintos niveles de acceso.

- **Nivel operador:** Diseñado para los operadores, permite únicamente la modificación de parámetros esenciales de las máquinas, sin posibilidad de realizar cambios.
- **Nivel producción:** Destinado a personal técnico, otorgando acceso a datos de producción, edición de parámetros de máquina y configuración de solicitud.
- **Nivel mantenimiento:** Acceder a la pantalla para visualizar datos específicos destinados al personal de mantenimiento.
- **Nivel fabricante de máquina:** Acceso completo a todas las secciones, especialmente a la edición de la configuración.

## 4 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

### 4.1 Descripción del proyecto

Esta propuesta tecnológica busca determinar la eficiencia en paneles fotovoltaicos para evaluar la operación del sistema y determinar las pérdidas en estudios posteriores mediante la implementación de una celda calibrada y el diseño de una interfaz hombre-máquina para el monitoreo y visualización de datos.

El sistema fotovoltaico de 2kW perteneciente al proyecto de tecnologías de eficiencia energética (DIRGI-CP2021-008) se encuentra ubicado en las instalaciones del campus matriz de la Universidad Técnica de Cotopaxi, cuenta con un arreglo conformado por nueve paneles solares conectados en serie, cada panel posee una potencia de 140 Watts, así mismo se cuenta con cuatro baterías de 12V y un inversor cuya potencia oscila entre los 700W a 2500W.

Cabe recalcar que actualmente no se cuenta con un sistema de adquisición de datos que permita el monitoreo de la eficiencia y para solventarla, se diseña e implementa una interfaz hombre-máquina mediante el uso del software InTouch, que ayudará a monitorearla y obtener la eficiencia en tiempo real, por tal razón se estableció importante investigar el software aplicativo, así como también el elemento necesario que brindará los datos a ser medidos y monitorizados en el sistema fotovoltaico. Para obtener mencionados datos, se empleará el uso de la celda calibrada (Datasol MET-485), que emite datos en detalle de nuestras variables tales como radiación, temperatura ambiental, temperatura del panel. Estos datos se enviarán mediante cable RS-485 conectado directamente a la PC y este a la vez se comunica con el OPC SERVER quien es el canal de comunicación por medio del protocolo MODBUS RTU permitiendo el intercambio de datos hacia el OPC CLIENT finalizando la comunicación hombre-máquina diseñado en el software InTouch, logrando obtener los parámetros de la generación fotovoltaica en tiempo real para el tener la eficiencia del panel solar.

La interfaz creada a través del software InTouch permite conseguir de diferentes formas los datos técnicos, visualizando la evolución de las variables de estudio y cómo interactúan entre sí a lo largo del tiempo. Además, con la configuración realizada con respecto a parámetros de comunicación, este software facilita el monitoreo a través de una interfaz y los usuarios pueden acceder a datos para generar la eficiencia del panel fotovoltaico.

## 4.2 Declaración de variables

### 4.2.1 Variables dependientes

La eficiencia del panel solar, tomado como referencia muestras de tres paneles de 140W conectados en serie.

### 4.2.2 Variables independientes

La radiación, temperatura ambiental, temperatura del panel.

- **Identificación de variables de la propuesta por medio de la celda calibrada.**

Al proyecto de tecnologías de eficiencia energética se implementó una celda calibrada y como se evidencia en la figura 15, es la que permite obtener datos como: la radiación, temperatura ambiente y del panel.

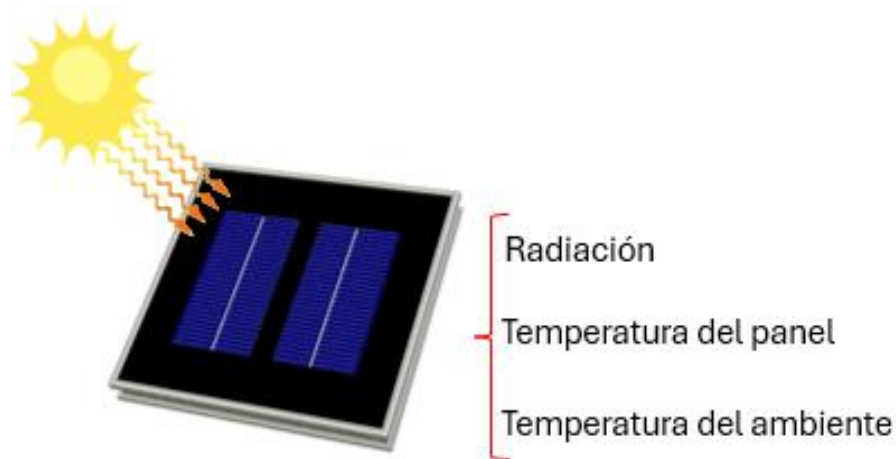


Figura 15. Variables identificadas

A continuación, en la figura 15, se presenta el flujograma dando a conocer de manera resumida el proceso realizado para la ejecución de la propuesta tecnológica.



Figura 16. Diagrama de Flujo

### 4.3 Descripción de componentes del sistema de adquisición de Datos

A continuación, se describe cada uno de los elementos que conforman el sistema:

1. **Captura de Datos con Datasol MET:** El sistema inicia con la captación de radiación solar utilizando celdas Datasol MET, las cuales están instaladas en los paneles solares. Estas celdas son una herramienta que envía datos para determinar eficiencia de los paneles solares en tiempo real.
2. **TriStar-MPPT-60:** Es un cargador de batería con identificación del punto de carga máxima potencia (MPTT) para sistemas autónomos de energía solar (FV), con una potencia máxima (Pmp) de hasta 4,2 kilovatios.
3. **Transmisión de Datos:** Los datos capturados por las celdas Datasol MET son transmitidos a través de un cable RS-485. Este tipo de cable es conocido por su capacidad de transmitir datos en entornos industriales, permitiendo la comunicación confiable entre los dispositivos de monitoreo y el sistema de control.
4. **Implementación de HMI:** Los datos transmitidos son recibidos e integrados en un sistema de Interfaz Hombre-Máquina (HMI), utilizando software como AVEVA InTouch. Este software permite la visualización y monitoreo de la información en tiempo real, facilitando la toma de decisiones basada en los datos recibidos.

5. **Registro y Almacenamiento de Datos con AVEVA Historian:** Finalmente, la información procesada y visualizada es registrada y almacenada en una base de datos histórica utilizando AVEVA Historian. Esto permite analizar el rendimiento a largo plazo de los paneles solares y realizar optimizaciones basadas en tendencias históricas.

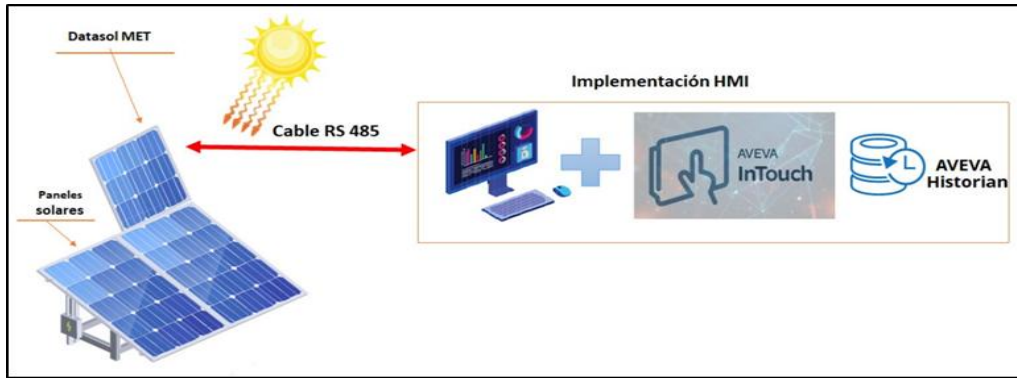


Figura 17. Desarrollo de la implementación hombre-maquina

El esquemático del proyecto que a continuación se presenta en la figura 18, se aprecia el procedimiento realizado para la implementación de la interfaz hombre-máquina.

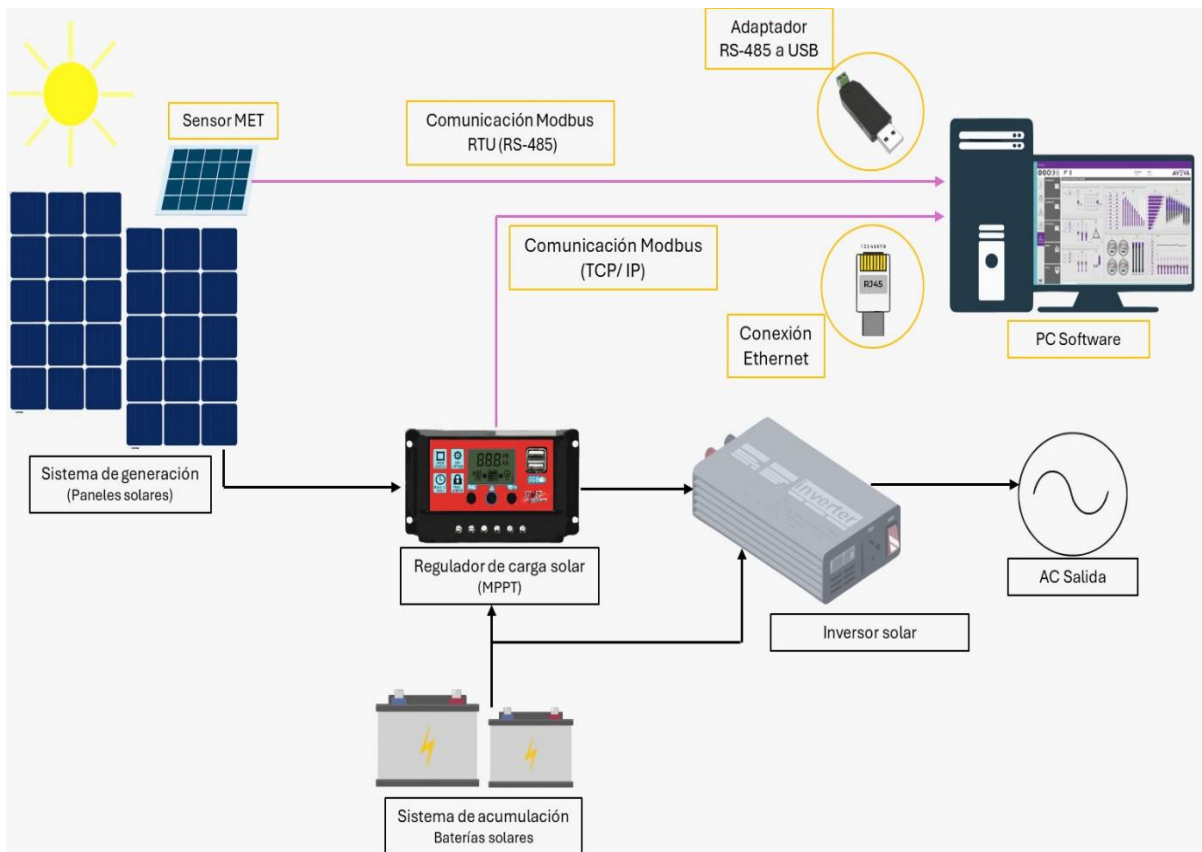


Figura 18. Esquema del desarrollo diseño e implementación de la HMI

### 5.3.1 Topología de la red

Para el sistema fotovoltaico los dispositivos están conectados por los siguientes protocolos de comunicación.

- Modbus TCP/IP. – Protocolo de comunicación empleado en este sistema porque opera sobre una infraestructura Ethernet, permitiendo el intercambio de información entre dispositivos en este caso sensores dentro de la red.
- Modbus RTU RS 485.- Protocolo de comunicación serial que funciona sobre el RS-485 mediante un bus de dos hilos (A y B), ampliamente. Su arquitectura define cómo se interconectan los dispositivos dentro de la red, asegurando la transmisión de datos segura y eficiente.

Como se indica en la siguiente figura 19, la celda calibrada se encuentra conectada por el protocolo Modbus RTU RS485 con un adaptador USB al ordenador. Además, el regulador de carga solar MPPT este comunicado por otro protocolo Modbus TCP/IP con la conexión Ethernet.

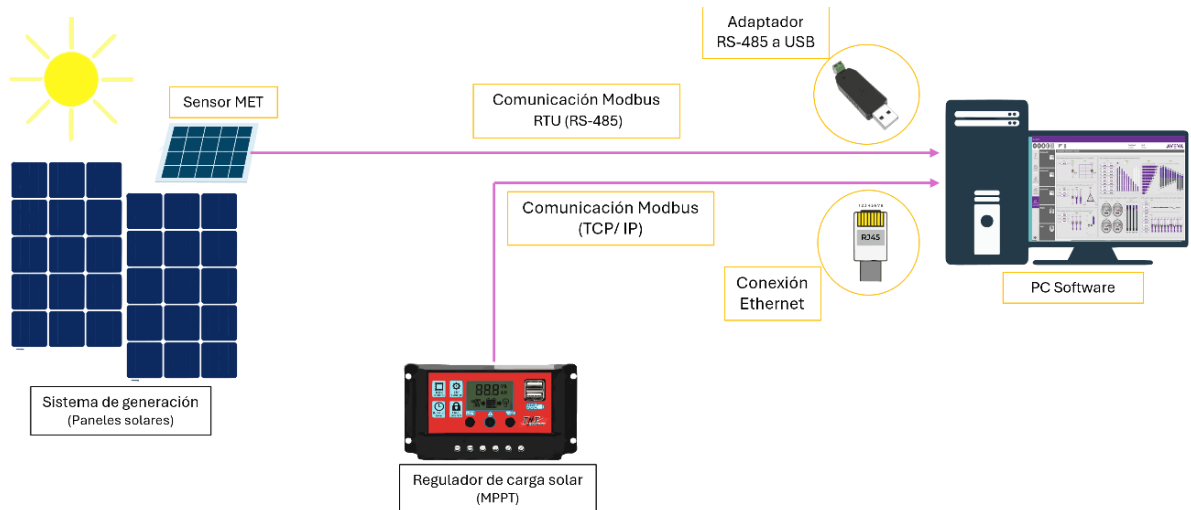


Figura 19. Topología de red

## 4.4 DESARROLLO DE LA PROPUESTA

El sistema fotovoltaico integra los equipos asociados al proyecto de tecnologías de eficiencia energética llevado a cabo en la Universidad Técnica de Cotopaxi. La lista completa de los dispositivos disponibles se encuentra en la tabla 3.

Tabla 3. Dispositivos disponibles

Equipo	Tipo	Modelo	Cantidad
Paneles solares	Simax (Suzhou) Green New Energy	SP636-140	9
Batería	Gel	6-CNJ-120	4
Inversor	SureSine	W7	1
Regulador	TriStar MPPT	Morningstar	1
Celda Calibrada	MET	ATERSA	1

#### 4.4.1 Conexiones de la celda calibrada

Toda la información recolectada es transmitida mediante el protocolo de comunicación RS485, asimismo en su interior tiene sensores y componentes de alta sensibilidad, susceptibles a daños por golpes bruscos o caídas y en la figura 20, se muestra la disposición de sus entradas y salidas. Este dispositivo contiene los siguientes puertos:

- Puertos de alimentación de entrada (-VCC/+VCC)
- Puertos de comunicación RS-485 de Entrada
- Puertos de comunicación RS-485 de Salida
- Puertos de Temperatura



Figura 20. Disposición interna de celda calibrada

Cabe señalar la importancia de seguir instrucciones especificadas por el fabricante, las misma que se detallan en la parte posterior de componente.

Mediante la tabla 4, se logró identificar y registrar las variables necesarias para la obtención de datos, asegurando su correcta clasificación y almacenamiento las que van a permitir analizarlos.

Tabla 4. Variables de la DataSol Met

VARIABLES DE LA CELDA CALIBRADA			
Dirección	Nombre	Unidad	Descripción
1	A_limp		Alarma
1.1	A_seg		Alarma
130	H_Sol	h	Totalizador de horas sol pico desde que arrancó el equipo Parte baja registro
129	H_SolH	h	Totalizador de horas sol pico desde que arrancó el equipo Parte alta registro
98	R_cel1	W/m2	Radiación semi celda2
99	R_cel2	W/m2	Radiación semi celda1
97	R_med	W/m2	Radiación media
107	T_amb	C	Temperatura ambiente
108	T_pan1	C	Temperatura del panel

#### 4.4.2 Conexiones de Red del Regulador Solar MPPT

Las conexiones de red permiten al TriStar MPPT la comunicación con otras computadoras. Una red puede ser tan simple como una PC, o a la vez compleja como decenas de controladores supervisados vía Internet. En la figura 2, se muestra la disposición de sus entradas y salidas.

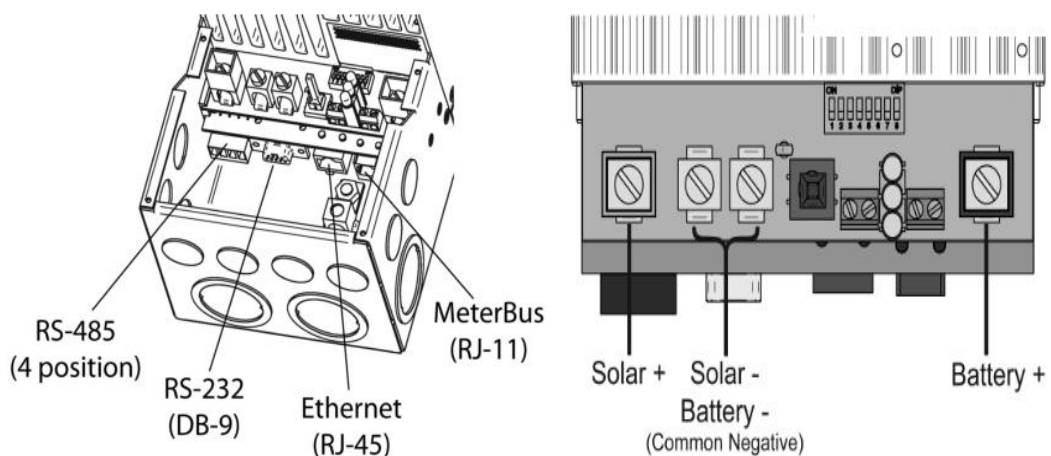


Figura 21. Conexiones de red y terminales de alimentación del MPPT

Tabla 5. Variables del regulador solar MPPT

Variables del MPPT				
Dirección	Nombre	Unidad	Descripción	Escala
1	V_PU hi	V	Voltage scaling, whole term	
2	V_PU lo		Voltage scaling, fractional term	
3	I_PU hi	A	Current scaling, whole term	
4	I_PU lo		Current scaling, fractional term	
68	Ahc_daily	Ah	Total Ah charge daily	n·0.1
71	Pout_max_daily	W	Max. Power Out, daily	$n \cdot V_{PU} \cdot I_{PU} \cdot 2^{-17}$
60	power_inShw	W	Input Power	$n \cdot V_{PU} \cdot I_{PU} \cdot 2^{-17}$
59	power_Outshw	W	Output Power	$n \cdot V_{PU} \cdot I_{PU} \cdot 2^{-17}$
38	T_batt	C	Battery regulation temperature	-127 to +127
36	T_hs	C	Heatsink temperature	-127 to +127
37	T_rts	C	RTS temperature	-127 to +127
67	va_max_daily	V	Max. daily input voltage	$n \cdot V_{PU} \cdot 2^{-15}$
42	vb_max	V	Maximum battery voltage	$n \cdot V_{PU} \cdot 2^{-15}$
66	vb_max_daily	V	Max. daily battery voltage	$n \cdot V_{PU} \cdot 2^{-15}$
41	vb_min	V	Minimum battery voltage	$n \cdot V_{PU} \cdot 2^{-15}$
65	vb_min_daily	V	Min. daily battery voltage	$n \cdot V_{PU} \cdot 2^{-15}$
69	whc_daily	Wh	Total Wh charge daily	

#### 4.4.3 Implementación del sistema de adquisición de datos

El sistema utiliza distintos instrumentos para recopilar información de sensores y otros dispositivos, pero también se debe tener claro que las comunicaciones industriales aseguran un aspecto fundamental en la transmisión de datos y mediante la facilidad de la versión de prueba del software de **Modbus Poll** como aplicación de simulación de un dispositivo maestro Modbus y en la figura 22 se aprecia la ventana de configuración, que permite la prueba y simulación del protocolo Modbus en distintos entornos de comunicación. Así como también la supervisión simultánea de múltiples dispositivos esclavos Modbus o distintas áreas de datos.

Y para acceder a los registros se evidencia la realización de la prueba de comunicación para entender el protocolo Modbus que comunica entre la PC y la celda calibrada

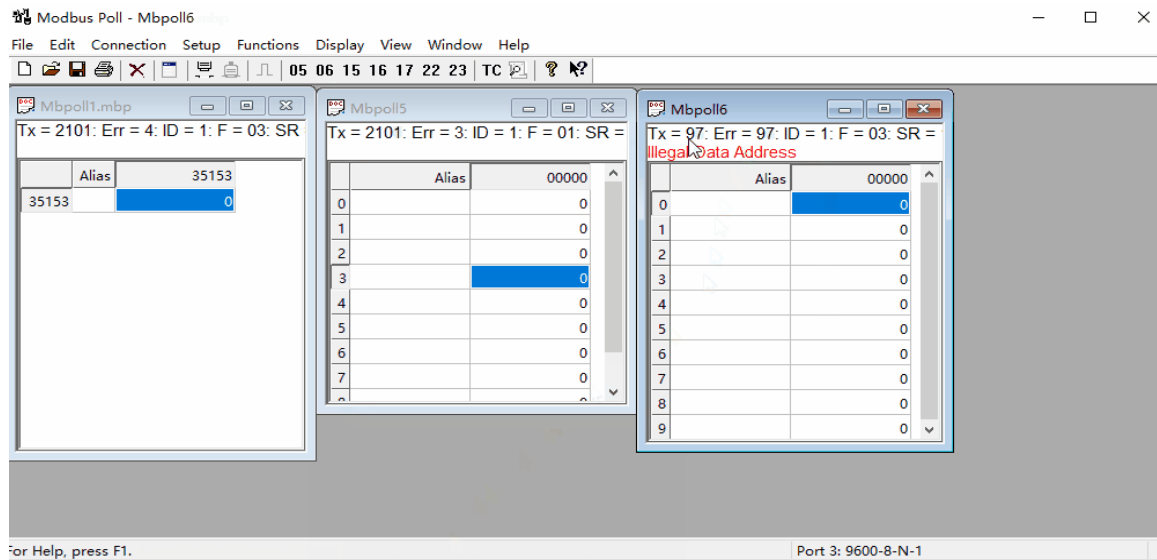


Figura 22. Configuración de ModbusPoll

Con detalle en la figura 23 se incluye el software de comunicación industrial **KEPServerEX** donde se efectuó la comunicación bidireccional de datos para establecer las variables de estudio. Este software tiene la capacidad de recopilar datos y al establecer la comunicación se consolida la información para visualizar y distribuirla mediante los protocolos OPC DA y OPC UA.

- OPC DA (Data Access) se lo va emplear principalmente para acceder e intercambiar datos en tiempo real.
- OPC UA (Arquitectura Unificada) admite varios protocolos de transporte, como TCP, puede lograr una integración de datos.

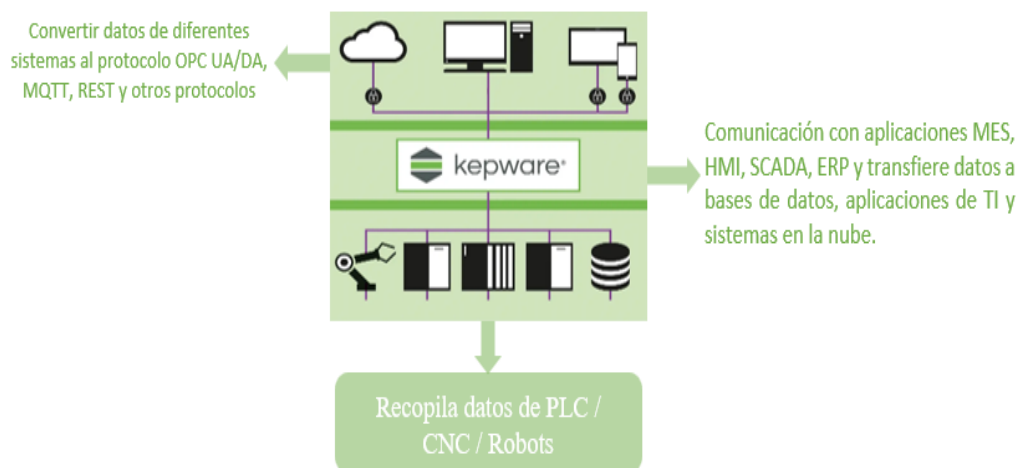


Figura 23. Plataforma de software de comunicación

Para realizar este procedimiento con referencia a la adquisición de datos es necesario la implementación de un software de servidor OPC, que permite la comunicación de dispositivos como: OPC DA, OPC UA, MQTT que facilitan la recopilación de datos desde múltiples dispositivos conectados a la red.

#### 4.4.3.1 Pasos para la creación del servidor OPC

1. Mediante apoyo de la figura 24, se debe ubicar la *carpeta Project* y dar clic en la palabra *connectivity*, seleccionando la opción *New Channel*.

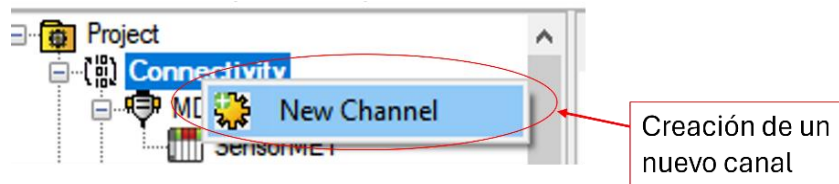


Figura 24. Creación del Nuevo Canal

2. Se realiza la selección del protocolo a ser utilizado como se muestra en la siguiente figura 25 se despliegan una serie de opciones.

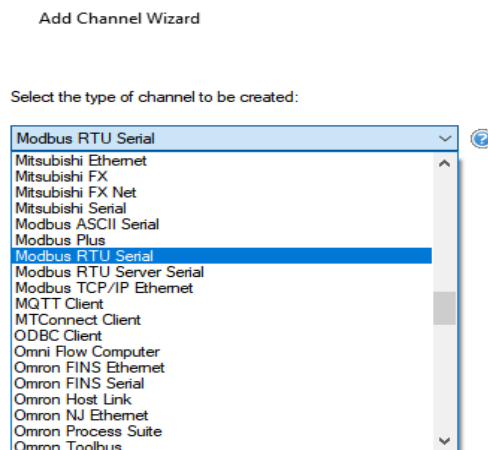


Figura 25. Selección del protocolo Modbus

3. Registro del nombre del canal y configuración del tipo de puerto, número y velocidad.

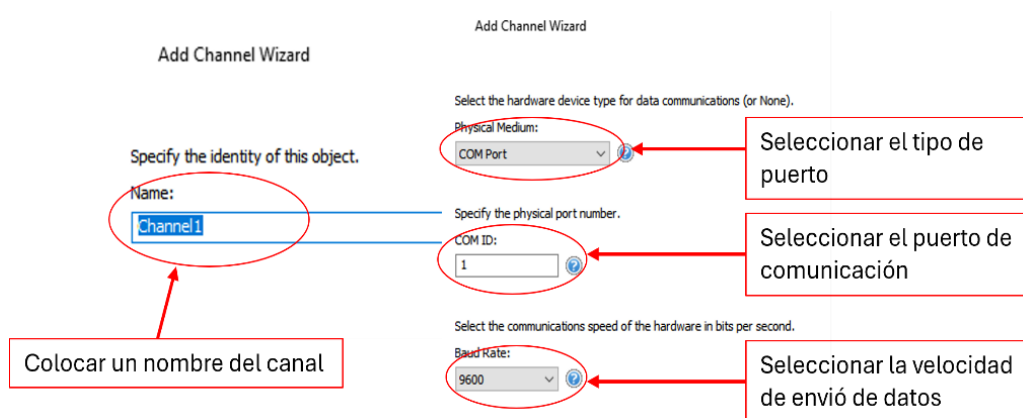


Figura 26. Configuración del protocolo seleccionado

4. Verificar la información seleccionada previamente realizada para la creación del canal.

Name	Channel1
Description	
Driver	Modbus RTU Serial
<b>Diagnostics</b>	
Diagnostics Capture	Disable
<b>Tag Counts</b>	
Static Tags	0
<b>Connection Type</b>	
Physical Medium	COM Port
Shared	No
<b>Serial Port Settings</b>	
COM ID	1
Baud Rate	9600
Data Bits	8
Parity	Even
Stop Bits	1

Figura 27. Verificación de información

5. Una vez creado el canal creado, dar un clic en **New Device** para crear el dispositivo nuevo.

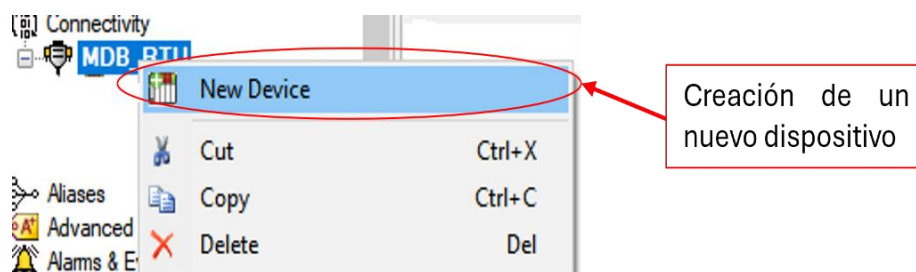


Figura 28. Creación de nuevo dispositivo

6. Registro de nombre del dispositivo y configuración del tipo de comunicación a usar.

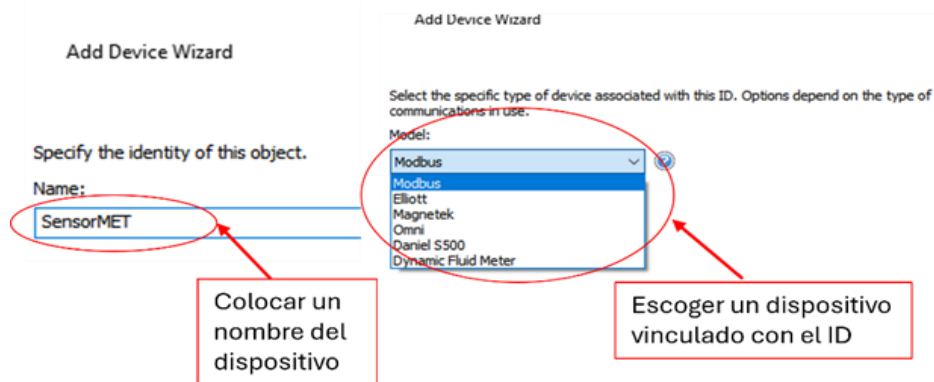


Figura 29. Registro y configuración Modbus

7. Comprobación de la información para la posterior creación del dispositivo.

Identification	
Name	SensorMET
Description	
Driver	Modbus RTU Serial
Model	Modbus
Channel Assignment	MDB_RTU
ID Format	Decimal
ID	1
Operating Mode	
Data Collection	Enable
Simulated	No
Tag Counts	
Static Tags	0

Figura 30. Comprobación de información introducida

8. Para la creación de los Tags, se debe tener en cuenta la lista de variables de la celda calibrada implementada para seleccionar el nombre del tag, dirección, tipo de dato y descripción de cada uno de ellos. Los Tags son los datos a los cuales se debe asignar nombres. Realizar este procedimiento dar clic en el dispositivo creado y elegir la opción *New Tag*.

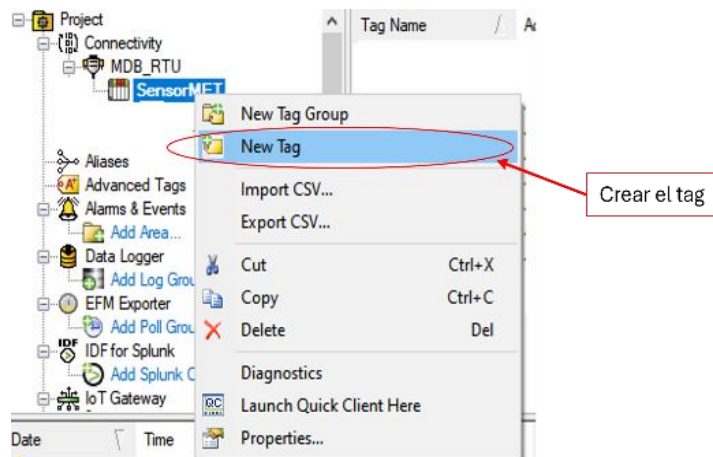


Figura 31. Creación de Tag

- Colocar nombre, descripción, dirección del identificador, definir el formato donde se almacenar, escoger el permiso, tiempo de escaneo. El procedimiento de repetir de manera sistemática para incorporar los tags seleccionados.

Identification	
Name	H_SolH
Description	h
Data Properties	
Address	40129
Data Type	Word
Client Access	Read/Write
Scan Rate (ms)	100

Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate	Scaling	Description
A_imp	40001.0	Boolean	100	None	
A_seg	40001.1	Boolean	100	None	
H_SoL	40130	Word	100	None	h
H_SolH	40129	Word	100	None	h
R_cel1	40098	Word	100	None	W/m2
R_cel2	40099	Word	100	None	W/m2
R_med	40097	Word	100	None	W/m2
T_amb	40107	Word	100	None	Temperatura ambient...
T_panl	40108	Word	100	None	Temperatura del pan...

Figura 32. Incorporación de Tags

#### 4.4.3.2 Implementación del cliente OPC

- Ejecutar OCMC (Operations Control Management Console). - Es una herramienta interna del Software AVEVA Intouch que maneja la comunicación entre distintos procesos.

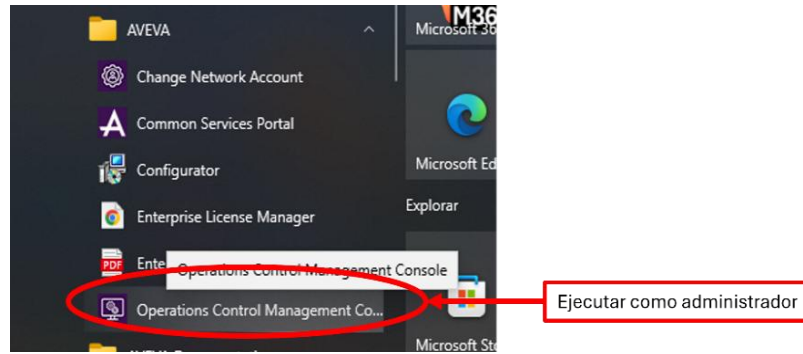


Figura 33. Operations Control Management Console

2. Operations Integration Server Manager se utiliza para administrar, configurar los servidores de integración que permiten la comunicación entre el software Intouch, Historial y Dispositivos.

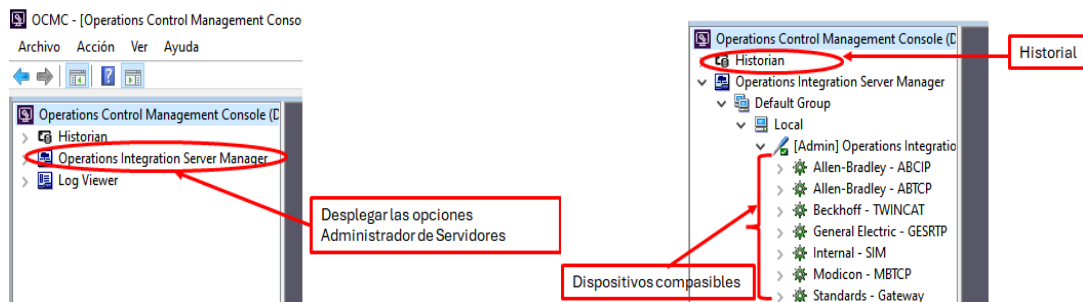


Figura 34. Configuración de los servidores de integración

3. Una vez identificado la ventana *Standards Gateway* se debe asegurar que se haya activado el permiso de inicio automático. Luego de desplegar la configuración, se debe asignar el protocolo de comunicación.

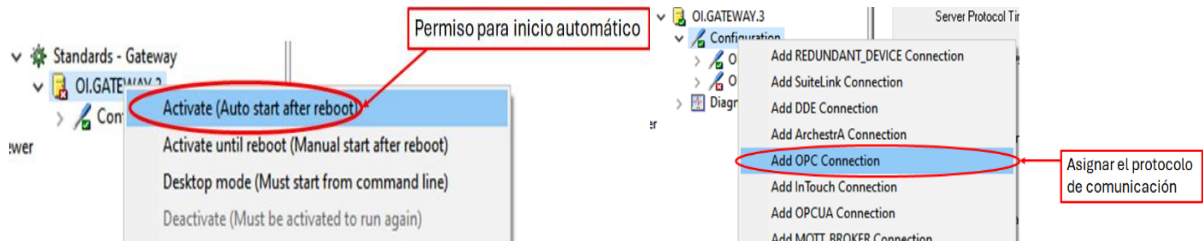


Figura 35. Asignación del protocolo de comunicación

4. Una vez asignado el protocolo de comunicación, configurar y asegurarse que el *server nodo* sea el correcto, también el nombre del servidor OPC y colocar el número de reconoció automático con el tiempo de reconexión por cada intento.

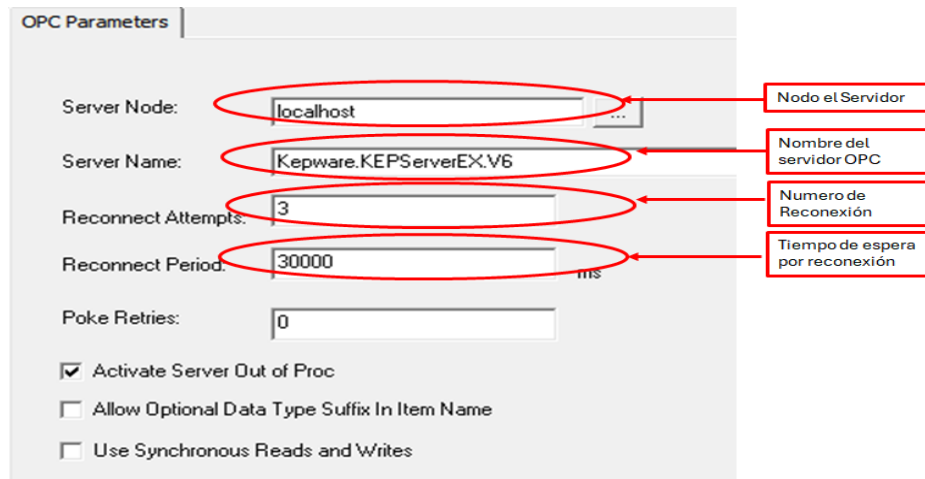


Figura 36. Configuración del server nodo

- Se procede a agregar un grupo de conexión asignando el nombre, el intervalo de tiempo que se demora en la transmisión si como también la configuración de tags para ser añadidos al software Intouch.

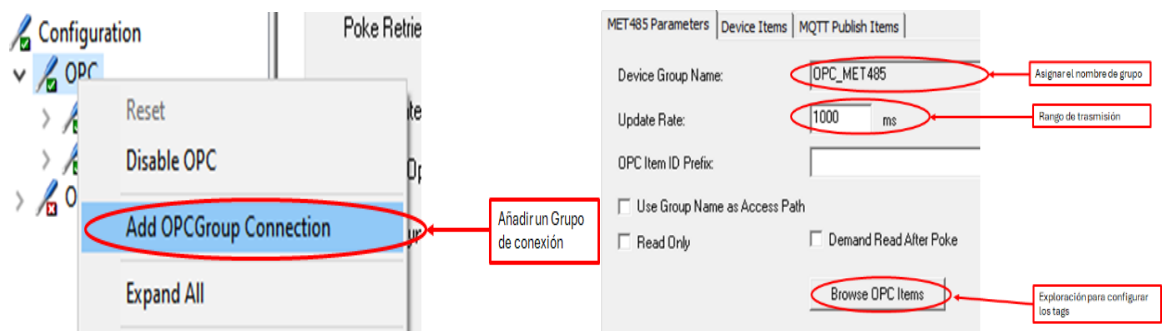


Figura 37. Configuración grupo OPC

- En la ventana identificada **Brower OPC** se busca la carpeta de los tags anterior mente creados para añadirlos o eliminarlo de la subventana.

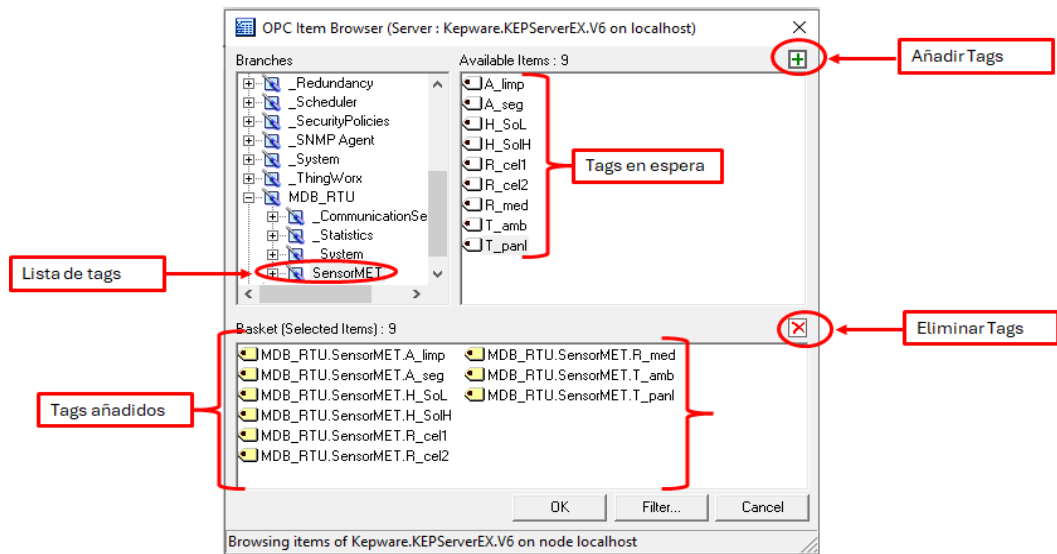


Figura 38. Ventana ítem Brower OPC

7. En la ventana subsiguiente se encuentran la **lista de Tags** asignados para la transmisión de datos al proyecto implementado (HMI).

Name	Item Reference
A_limp	MDB_RTU.SensorMET.A_limp
A_seg	MDB_RTU.SensorMET.A_seg
H_SolH	MDB_RTU.SensorMET.H_SolH
H_SolL	MDB_RTU.SensorMET.H_SolL
R_cel1	MDB_RTU.SensorMET.R_cel1
R_cel2	MDB_RTU.SensorMET.R_cel2
R_med	MDB_RTU.SensorMET.R_med
T_amb	MDB_RTU.SensorMET.T_amb
T_panl	MDB_RTU.SensorMET.T_panl

Figura 39. Lista de tags asignados

8. Para añadir los **Tags** que pertenecen al regulador de carga solar (MPPT) se realiza el mismo procedimiento sistemático efectuado previamente para la configuración de la celda calibrada.

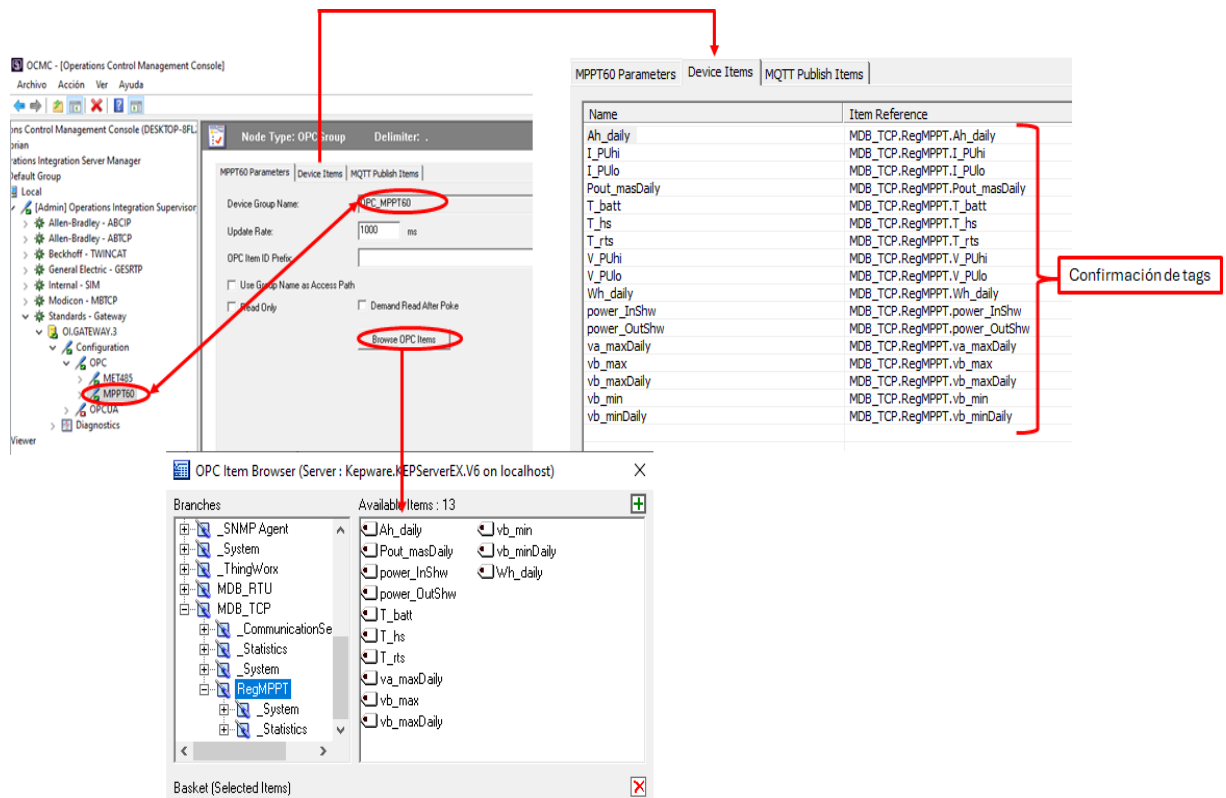


Figura 40. Configuración de Tags del regulador de carga solar (MPPT)

#### 4.5 Desarrollo del HMI mediante el software InTouch

AVEVA InTouch HMI. - es una plataforma de visualización HMI diseñada para monitorización y control de procesos industriales. Este software permite manipular y monitorear en tiempo real.

El paquete de software de consta de los elementos principales:

- **Application Manager.** - Gestiona la mayoría de las tareas globales, como la creación, eliminación y modificación de aplicaciones de InTouch. Además, proporciona una vista detallada de las aplicaciones actuales de InTouch.
- **Window Maker.** - Herramienta de diseño basada en gráficos vectoriales por objetos, en lugar de gráficos por píxeles. Este componente del sistema facilita la creación de la interfaz hombre-máquina y permite la conexión con dispositivos externos de entrada/salida, como en este caso la celda calibrada.
- **Window Viewer.** - Esta sección del sistema es la encargada de ejecutar las aplicaciones previamente diseñadas.



Figura 41. Aplicaciones del Software InTouch

**Application Manager.** - En esta aplicación del Software Intouch se puede crear nuevos proyectos, así como también renombrar, importar, exportar e incluso eliminar. Con respecto a los proyectos ya realizados en este apartado se los puede encontrar para seguir desarrollando.

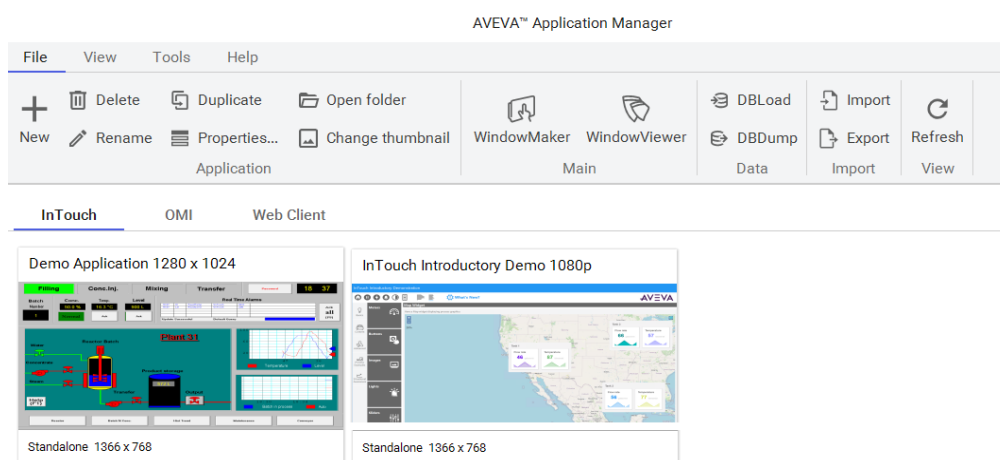


Figura 42. Pantalla principal de Application Manager

En **Application Manager** seleccionar en la pestaña **New** para poder crear un nuevo proyecto añadiendo en nombre ya la ubicación en la que se va a guardar.

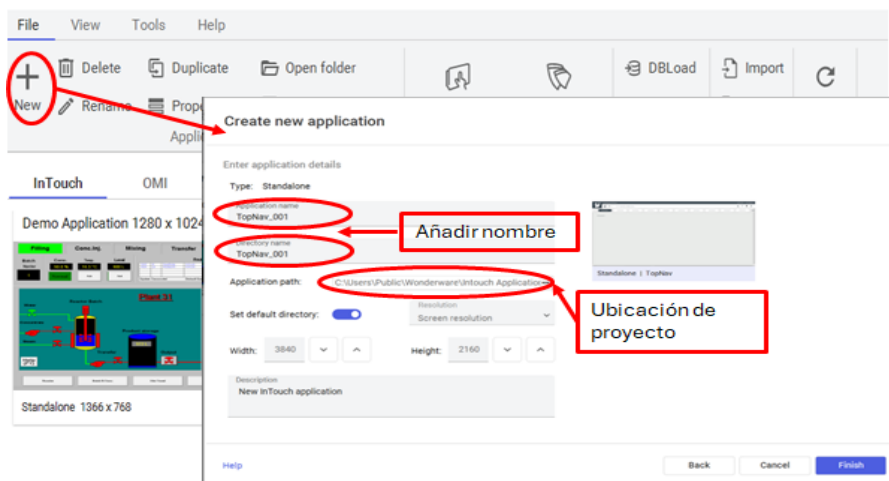


Figura 43. Creación de nuevo proyecto

Una vez creado el proyecto se abre la ventana de **WindowMaker** en él se despliega diferentes menús tales como:

- Diccionario de tags. – Lugar donde puede encontrar varios tags propios de Intouch además se los puede crear dependiendo de la necesidad.
- Grupo de alarma. En esta ventana se crea un grupo de alarmas donde se organiza las relacionadas al proyecto para el monitore.

Cuenta con un catálogo de gráficos prediseñados, y demás configuraciones de pantalla principal.

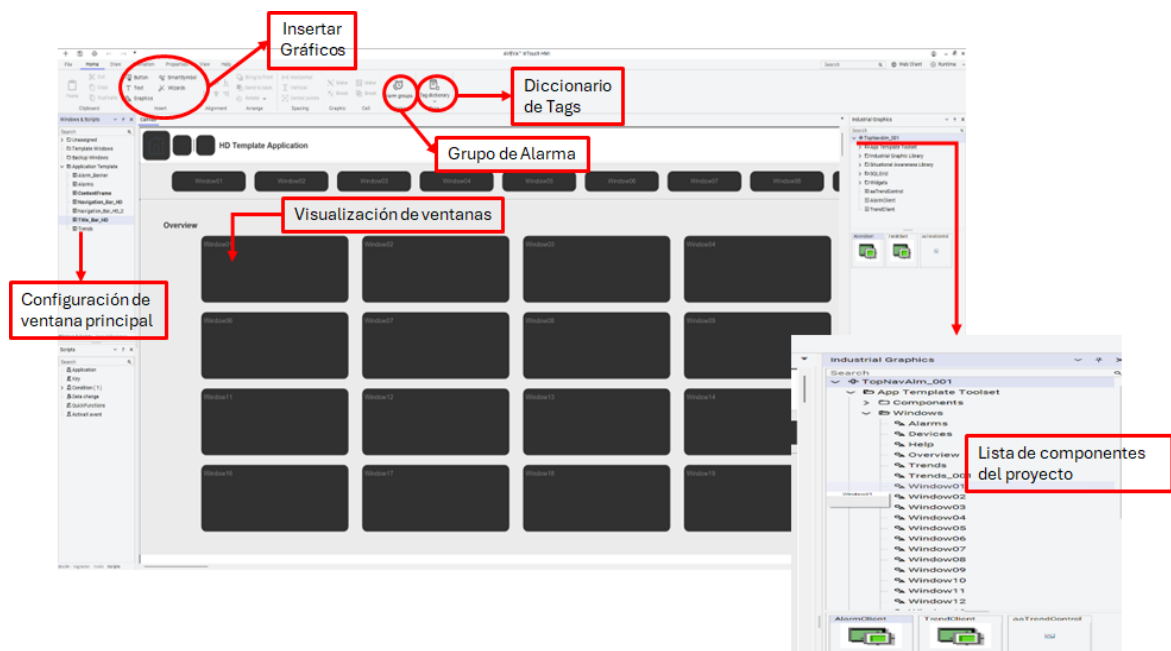


Figura 44. Ventana de WindowMaker

Para insertar tags:

1. En la pestaña **Tag Dictionary** se va a desplegar una ventana para seleccionar o añadir de acuerdo con los requerimientos del proyecto.
2. Seleccionar la pestaña **Access Name** añadir el OPC que se desee configurar indicando nombres, localidad y adaptador verificando el nombre registrado en la aplicación (OCMC).

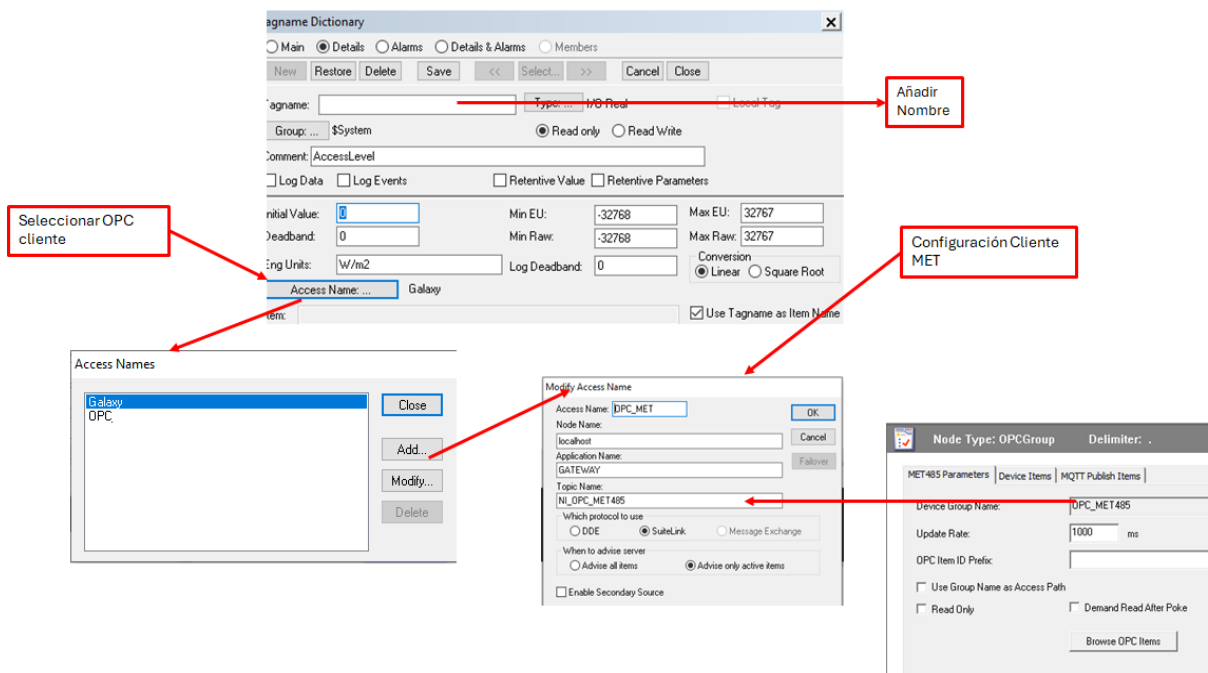


Figura 45. Intersección de Tags

3. Para insertar un nuevo Tag configurar las siguientes condiciones:

- Nombre de tag
- Formato de dato
- Log Data
- Log Events

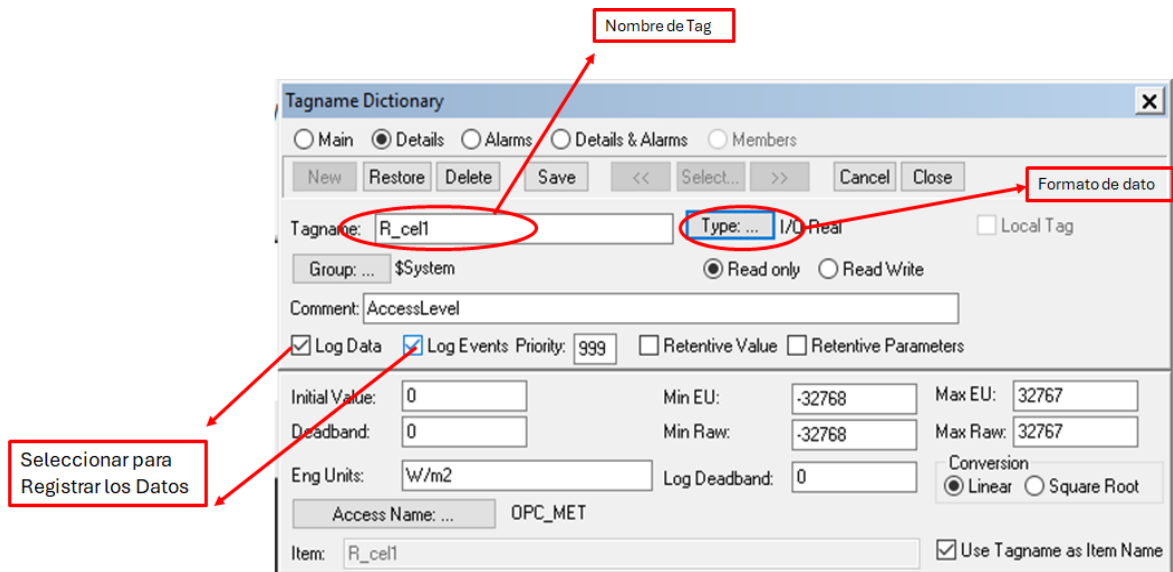


Figura 46. Insertar un nuevo Tag

4. Para insertar **Imágenes vectoriales** de alta calidad se debe seleccionar tener en cuenta el formato de la imagen (SVG) son imágenes prediseñadas.

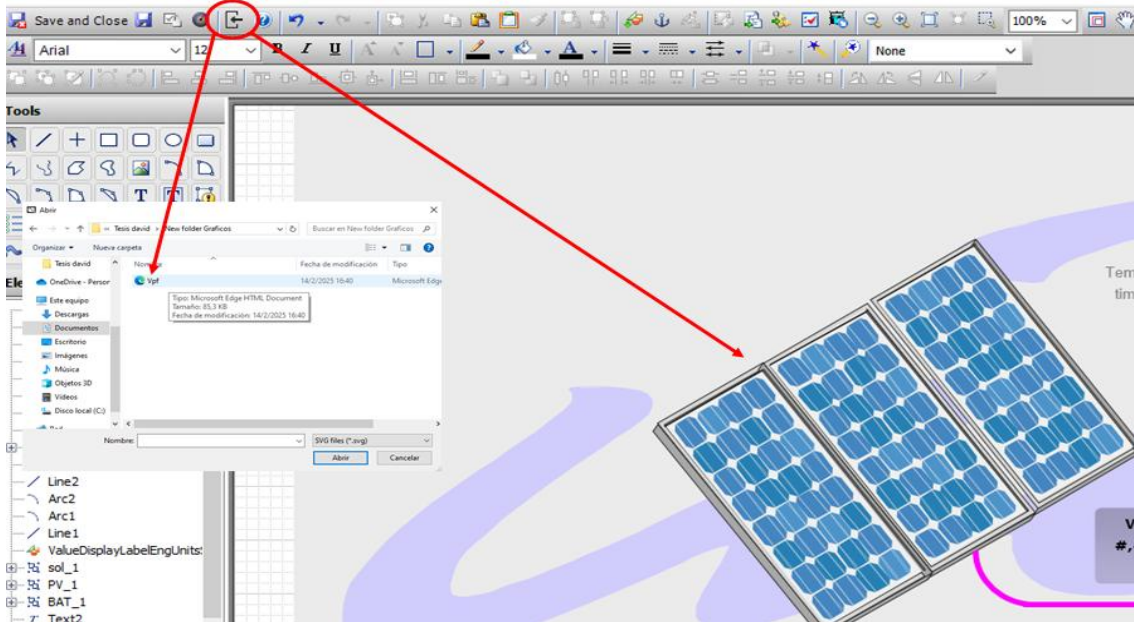


Figura 47. Insertar imágenes vectoriales

5. Para insertar Cuadros de visualización de variables seleccionar: **Embed Industrial Graphic** el catálogo de imágenes prediseñadas, brindara imágenes que nos ayudara leer y a escribir las variables numéricas.

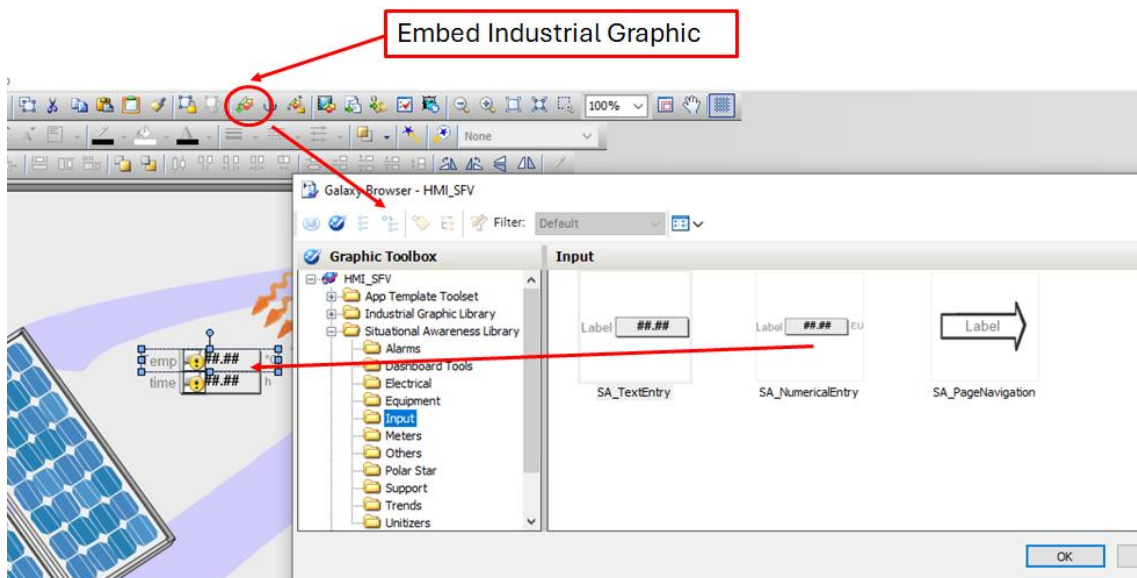


Figura 48. Embed Industrial Graphic

- Para asignar un Tag a un cuadro de lectura y escritura dar clic en **Custom Properties** y se despliega un menú que permite seleccionar el Tag a visualizar.

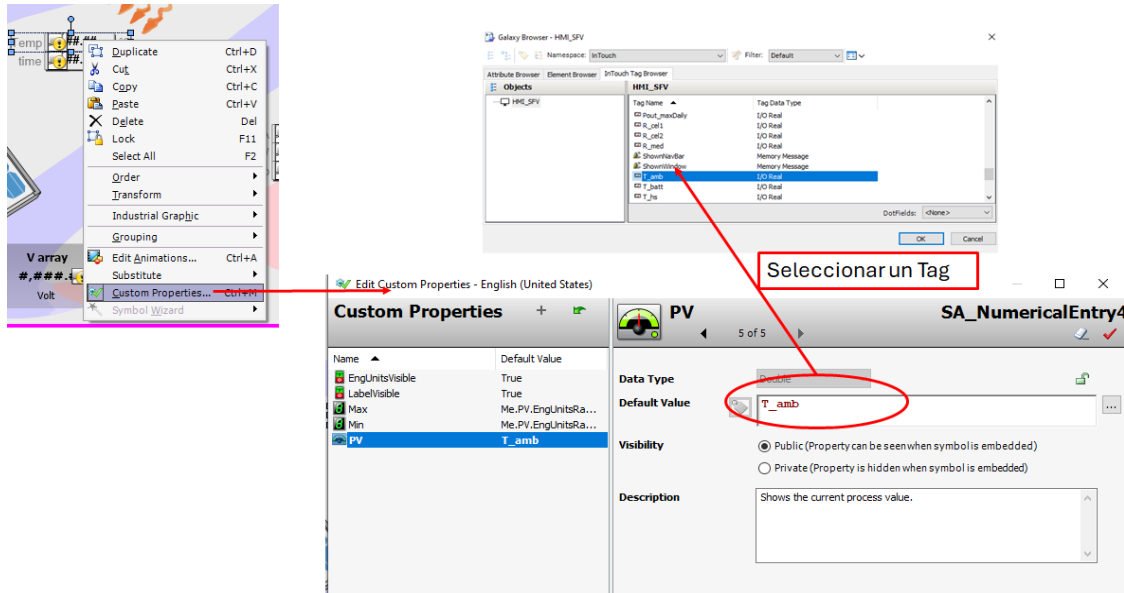


Figura 49. Custom Properties

- Para añadir un **Script** que permite escalar las variables dadas por el Tag y previas investigaciones bibliográficas en manuales técnicos se desarrolla el código con funciones matemáticas para obtener el dato correcto de la variable.

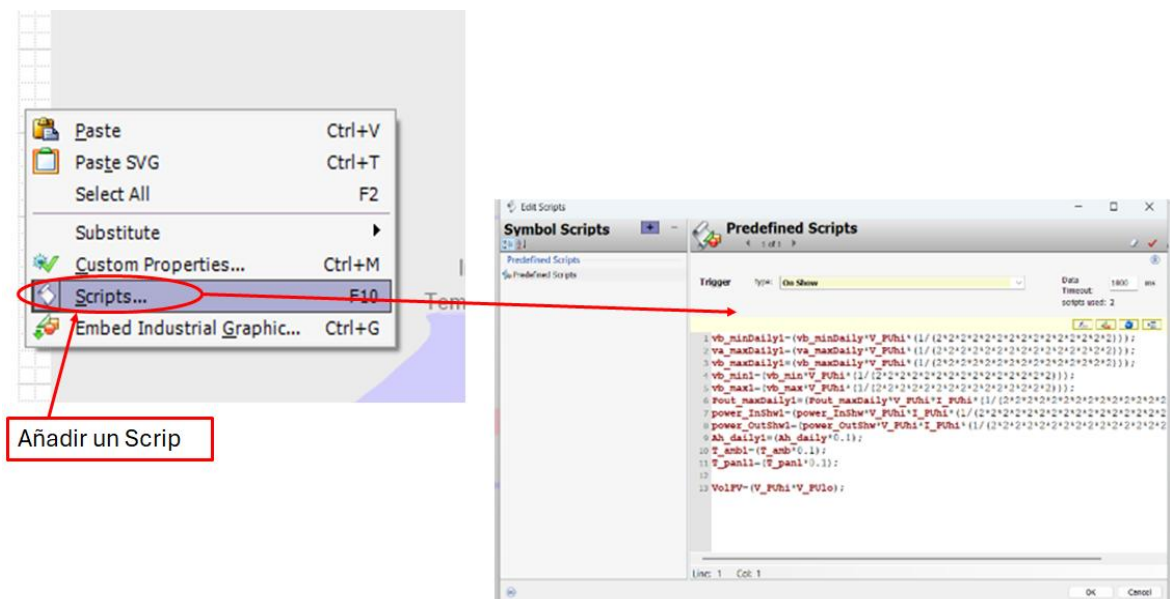


Figura 50. Añadir un Scrip

- Tras insertar las imágenes y realizar la configuración, las variables se visualizarán en la pantalla principal de la siguiente manera.

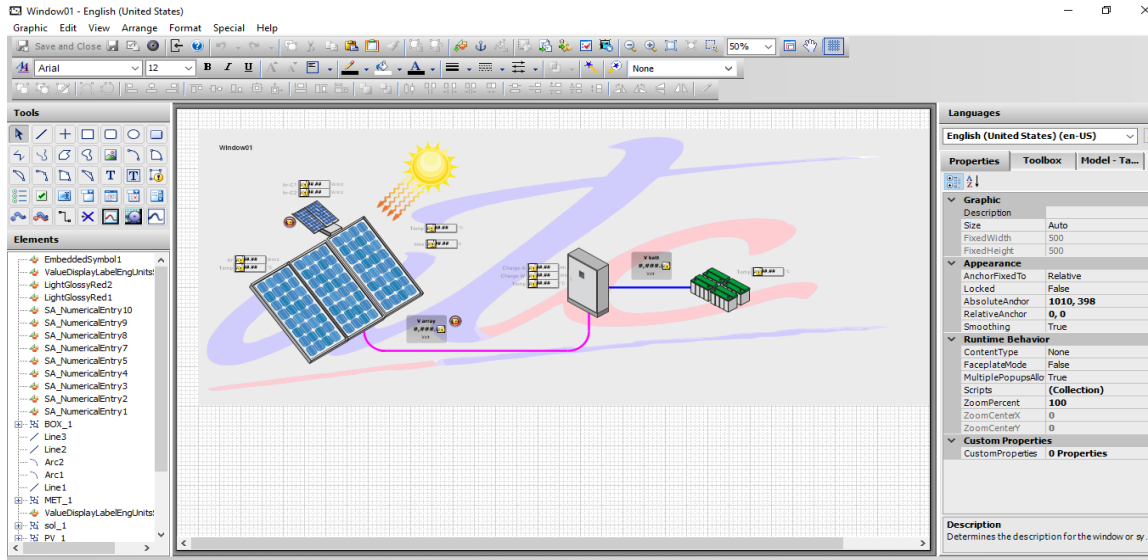


Figura 51. Pantalla Principal de la Interfaz

- Para insertar y configurar las tendencias que se puede visualizar el monitoreo de las variables asignadas a la gráfica.

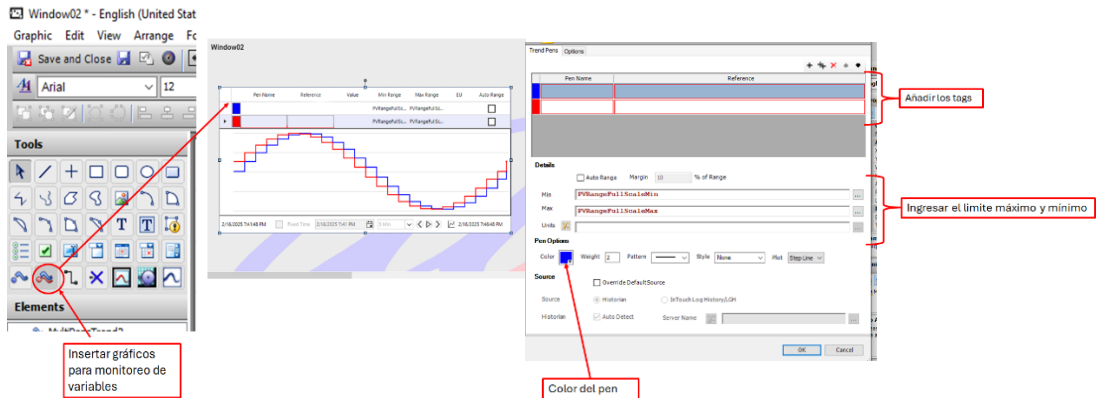


Figura 52. Inserción y configuración las tendencias

- Con las configuraciones aplicadas, en la pantalla de tendencias se visualizará de la siguiente manera.

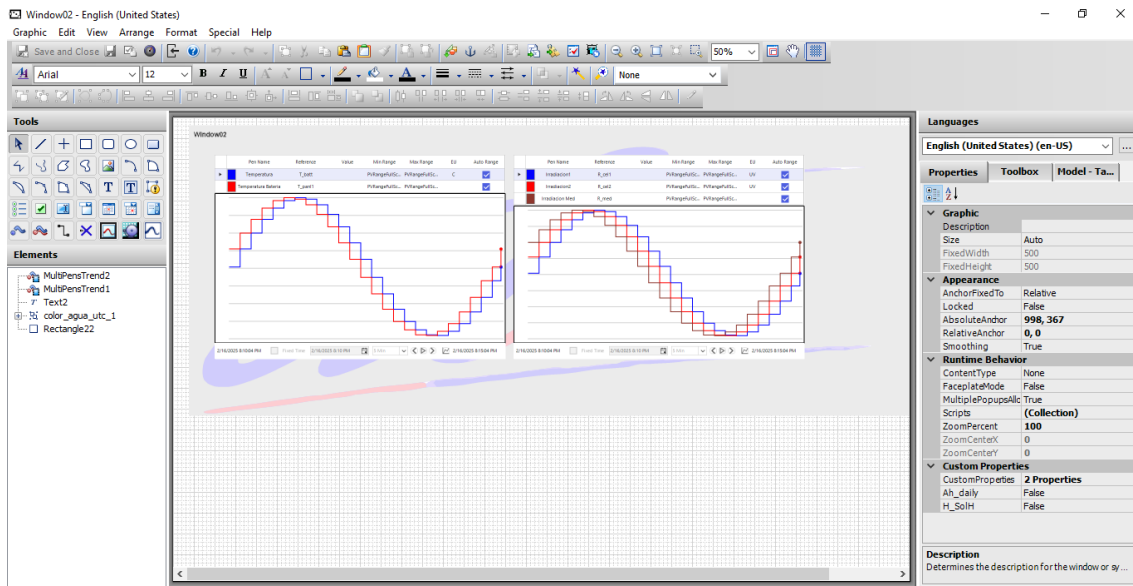


Figura 53. Pantalla de tendencias

11. Con la aplicación de todas las configuraciones, incluyendo la inserción de imágenes, scripts y tendencias, la visualización quedará de la siguiente manera.

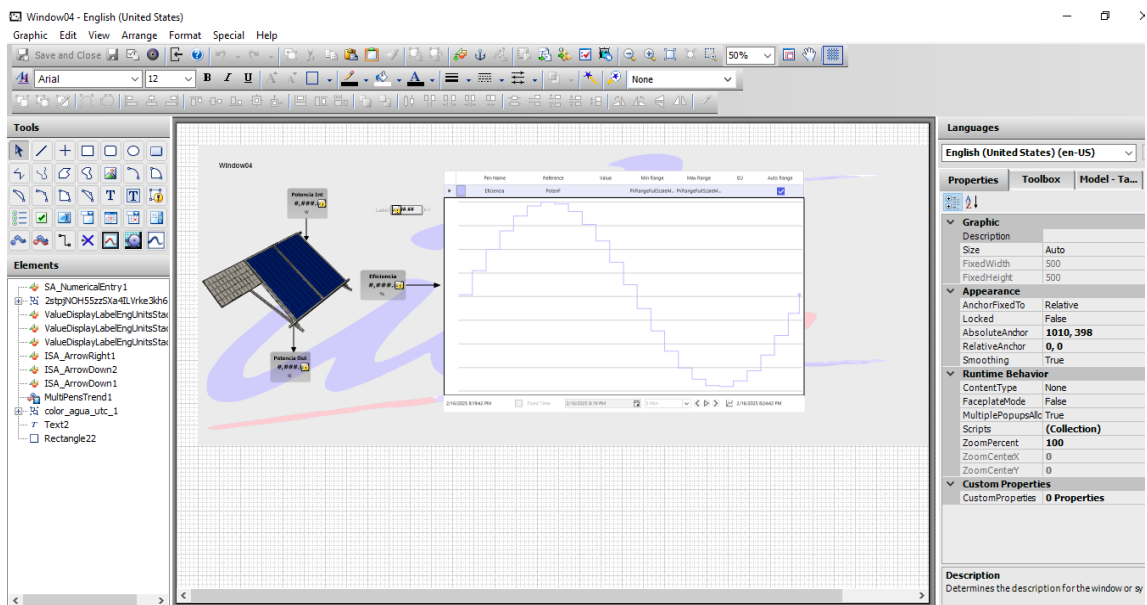


Figura 54. inserción de imágenes, scripts y tendencias

## 4.6 Pantalla principal HMI

A partir de los siguientes componentes, y de acuerdo a su correcta interconexión se dispondrá de una interfaz completamente funcional, permitiendo al usuario monitorizar de manera eficiente la explotación de datos optimizando así los procesos y mejorando la toma de decisiones basada en datos comunicados por servidores OPC. Cabe señalar el aseguramiento de la interacción de todos los componentes del proceso sean correctos, con una comunicación fluida entre la celda calibrada compensada y la interfaz desarrollada.

En la implementación del proyecto se adquirió el software InTouch, para realizar un Sistema SCADA mediante una interfaz hombre-máquina que ayude con la visualización del comportamiento de variables de estudio y su eficiencia porcentual.

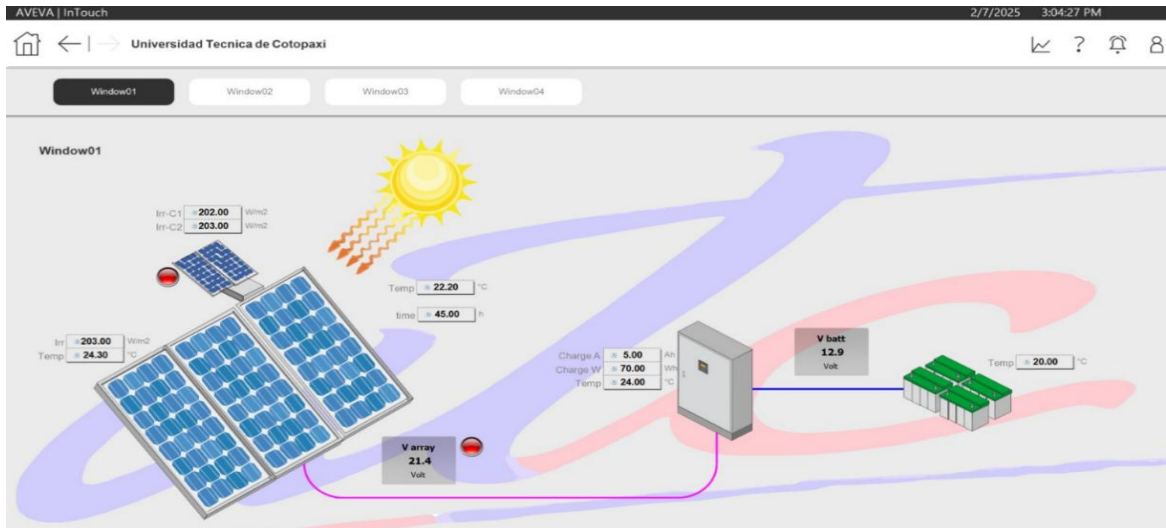


Figura 55. Interfaz hombre-máquina desarrollado

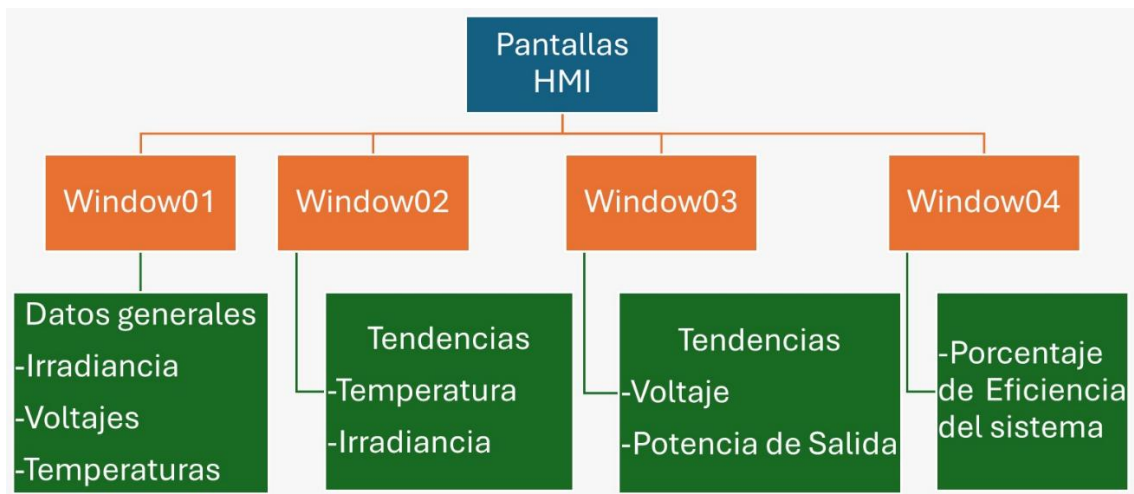


Figura 56. Disposición de Pantallas HMI

## 4.7 Presupuesto

A continuación, se procede a detallar los costos directos e indirectos necesarios para la realización de la presente propuesta tecnológica. Mencionados costos se encuentran especificados en las siguientes tablas.

### 4.7.1 Costos Directos

Para saber sobre los costos directos de esta propuesta tecnológica, es necesario tener en cuenta las ideas claras de que estos son asignados directamente al diseño e implementación de la interfaz hombre-maquina. Esta información se presenta a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 6. Costos directos del proyecto de monitorización de datos.

<b>COSTOS DIRECTOS</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (\$)</b>	<b>Costo (\$)</b>
Development Studio Demo, Educ Consignment Support, Initial	1 unidad	\$ 1.00	\$ 1.00
Aveva Advdev Studio 2023 R2 Unlimited, Educ Demo Consignment - Instruct	1 unidad	\$ 964.080	\$ 964.80
Aveva Advdev Studio 2023 R2 Unlimited, Educ Demo Consignment - Student	20 unidad	\$ 1.00	\$ 20.00
<b>Subtotal</b>			\$ 985.08
<b>IVA 15%</b>			\$ 147.76
<b>TOTAL</b>			\$ 1132.84

### 4.7.2 Costos indirectos

Para los costos indirectos, es fundamental comprender que estos están relacionados a la facilidad de la obtención del producto final, por tal razón se detalla en la tabla que a continuación se presenta.

Tabla 7. Costos indirectos del proyecto.

<b>COSTOS INDIRECTOS</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (\$)</b>	<b>Costo (\$)</b>
Transporte	2.00	\$ 25.00	\$ 50.00
Flash memory	1.00	\$ 2.50	\$ 2.50
Aduana y envío Servientrega	— — —	\$ 36.21	\$ 36.21
Horas hombre	20	\$ 20	\$ 400
<b>TOTAL</b>			\$ 488.71

Finalmente, se obtiene una sumatoria total de los dos tipos de gastos para saber el presupuesto empleado en la propuesta tecnológica, incluyendo los impuestos. Estos valores económicos están detallados a continuación.

Tabla 8. Costo total de la propuesta tecnológica

<b>COSTO TOTAL</b>		
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad (\$)</b>
1	Costos directos	\$ 1132.84
2	Costos indirectos	\$ 488.71
<b>TOTAL</b>		\$ 1621.55

El presupuesto asciende a la cantidad de mil doscientos veinte un dólar con cincuenta y cinco centavos, fondos económicos que son solventados por el equipo de trabajo.

## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis constituye una fase fundamental en la evaluación del proyecto de creación de interfaz hombre-máquina por medio del software InTouch para monitorear datos que determinen la eficiencia de paneles solares en el sistema fotovoltaico empleando señales de la celda calibrada. En esta sección, se analizarán los datos recopilados con el fin de comprender la obtención de la eficiencia en una muestra de tres paneles de 140W conectados en serie. Los parámetros obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 9. Parámetros de operación obtenidos del sistema

ÍTEM	VARIABLES	UNIDADES
1	Irradiancia	W/m <sup>2</sup>
2	Temperatura ambiente	°C
3	Temperatura del panel	°C
4	Eficiencia	%

### 5.1 Recepción de datos en el KEPServerEX

En la figura 54 y 55 a continuación, se visualiza el estado de los TAGS de las variables del regulador de carga solar y celda calibrada, se puede verificar que en la calidad de recepción de datos nos marca **GOOD**, en las variables de estudio se identifica que se modifican los valores según el estado.

Item ID	Data Type	Value	Timestamp	Quality	Update Count
Channel2.GATEW...	Word	78	16:24:10.185	Good	1
Channel2.GATEW...	Word	342	16:24:10.185	Good	1
Channel2.GATEW...	Word	60	16:24:42.175	Good	31
Channel2.GATEW...	Word	80	16:24:42.175	Good	19
Channel2.GATEW...	Word	22	16:24:10.194	Good	1
Channel2.GATEW...	Word	25	16:24:10.194	Good	1
Channel2.GATEW...	Word	22	16:24:10.194	Good	1
Channel2.GATEW...	Word	3930	16:24:10.185	Good	1
Channel2.GATEW...	Word	11348	16:24:10.194	Good	1
Channel2.GATEW...	Word	2617	16:24:10.185	Good	1
Channel2.GATEW...	Word	11348	16:24:10.194	Good	1
Channel2.GATEW...	Word	2355	16:24:10.185	Good	1
Channel2.GATEW...	Word	78	16:24:10.185	Good	1

Date	Time	Event
3/10/2024	16:24:10	Added 21 items to gr...
3/10/2024	16:24:10	Added group 'Chann...
3/10/2024	16:24:10	Added 25 items to gr...
3/10/2024	16:24:10	Added group 'Chann...
3/10/2024	16:24:10	Added 9 items to gr...
3/10/2024	16:24:10	Added group 'Chann...
3/10/2024	16:24:10	Added 26 items to gr...
3/10/2024	16:24:10	Added 17 items to gr...
3/10/2024	16:24:10	Added group 'Chann...
3/10/2024	16:24:10	Added group 'Chann...
3/10/2024	16:24:10	Added 6 items to aro...

Figura 57. Recepción de datos del MPPT

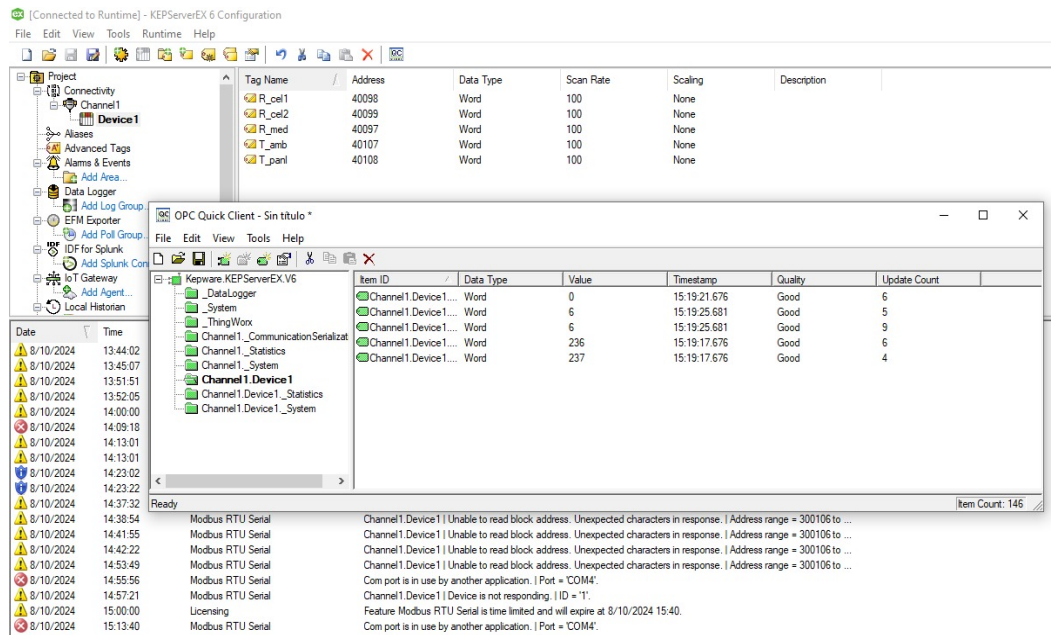


Figura 58. Recepción de datos de la Datasol Met

## 5.2 Irradiancia

Los métodos utilizados para el análisis de datos y el monitoreo en tiempo real de las variables varían entre los estudios investigados previamente. En el sistema fotovoltaico se ingresaron datos a la interfaz creada de la medición de la irradiancia ( $W/m^2$ ) desde la celda calibrada, teniendo en cuenta el área de celda solar del panel solar, la posición del sol y otros elementos topográficos.

Este dato también fue corroborado mediante medición digital con el equipo: *Medidor de irradiancia solar Fluke FLK-IRR1-SOL* en el sistema fotovoltaico.



Figura 59. Medición digital de Irradiancia

Con el valor medido de la irradiancia ( $\text{W/m}^2$ ) se realiza parte del cálculo de la eficiencia del panel mediante los sensores de la celda conectados directamente al computador.

### 5.3 Cálculo del Área del panel solar

La potencia de entrada en un sistema fotovoltaico se determina a partir del producto entre la irradiancia solar incidente y el área total de los paneles.

- **Potencia de Entrada** = Área total de los paneles x Irradiancia

Finalmente, se puede obtener la eficiencia empleando la fórmula investigada:

$$\% \text{ de Eficiencia} = \frac{\text{Potencia de Salida}}{\text{Potencia de Entrada}} * 100$$

Para este caso se toma en cuenta la conexión en serie de tres paneles solares como ejemplo práctico, en cuales se toma las medidas ancho y largo de las celdas solares del panel fotovoltaico.

#### Datos:

- Medida del ancho: 0.635
- Medida de largo: 1.415

$$\text{Area del panel} = 0.635\text{m} * 1.415\text{m}$$

$$\text{Area del Panel} = \mathbf{0.898 \text{ m}^2}$$

Como se está tomando como muestra la conexión en serie de tres paneles, por lo tanto, el área es:  $A = \mathbf{2.694 \text{ m}^2}$

#### 5.3.1 Medición de la eficiencia mediante la interfaz

Antes de realizar la medición se procedió a realizar un mantenimiento en los paneles solares del sistema fotovoltaico, se cambió la posición de la inclinación y orientación, ya que las condiciones climáticas, tiempo de uso, vida útil, suciedad acumulada, polvo o residuos, también influyen en la medición de la eficiencia.



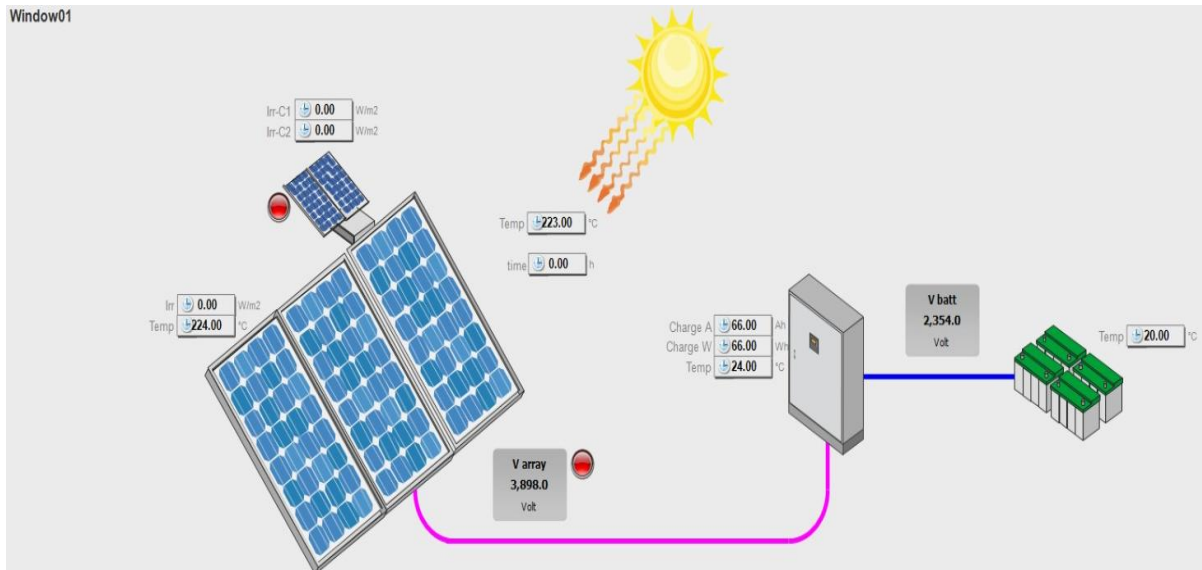


Figura 61. HMI con datos primarios

Posteriormente se crea un *script* con todas las instrucciones para transformar dichos datos a un proceso mostrados en la figura 62.

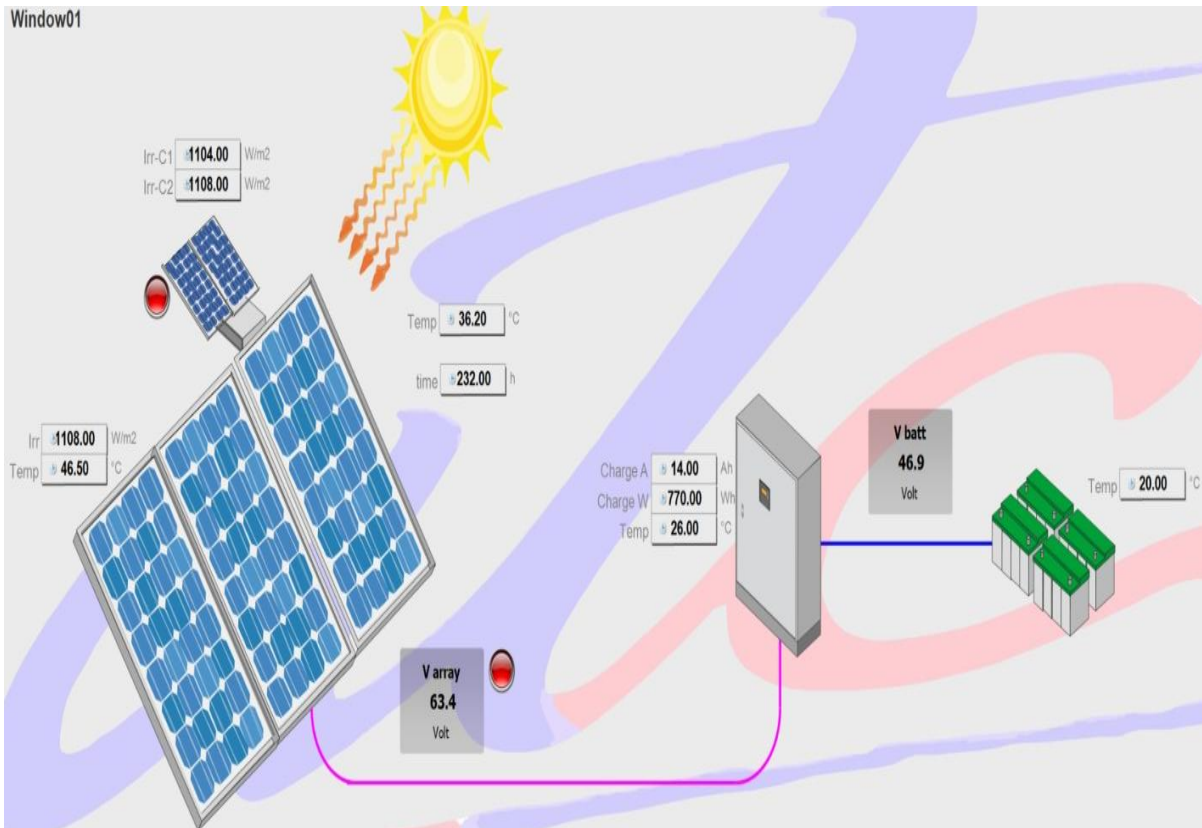


Figura 62. Interfaz HMI con datos procesados

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

- La obtención de información mediante la revisión bibliográfica y la inspección visual de la estación fotovoltaica junto con la celda calibrada, fue fundamental para analizar el comportamiento de los paneles solares. Esta evaluación de parámetros permite comprender el desempeño del sistema, además de identificar las variables que influyen en el proceso de adquisición de datos y en la eficiencia energética.
- Se desarrolló cuatro ventanas en InTouch para optimizar la monitorización de datos, en donde la primera ventana muestra la visualización de datos en tiempo real, la segunda y tercera ventana representan las tendencias como irradiancia, voltajes, temperaturas, mientras que la cuarta ventana es la pantalla de cálculos con tendencia de eficiencia.
- Se diseñó e implementó un sistema capaz de recopilar y procesar los datos de los parámetros necesarios del sistema fotovoltaico, lo que posibilitó la determinación de las condiciones de operación y obtención de la eficiencia evidenciando un rango promedio del 14% al 16 %. La visualización y el monitoreo de este porcentaje fueron realizados a través de la interfaz hombre-máquina del software Intouch, utilizando el protocolo de Modbus TCP/IP y RTU 485.
- Las pruebas realizadas en un día soleado en tres paneles fotovoltaicos, arrojaron una eficiencia del 16% al mediodía, existiendo un valor promedio de eficiencia del panel ya que se encuentra dentro del rango de 14% al 16% y su funcionamiento se halla dentro de los límites permisibles, evidenciando el funcionamiento de la interfaz hombre-máquina implementada además de verificar la comunicación entre los componentes del sistema fotovoltaico, asegurando la correcta transmisión de datos y la importancia de seguir avanzando en el desarrollo de nuevas tecnologías fotovoltaicas.

## 6.2 Recomendaciones

- En el sistema HMI añadir un servidor para almacenar y gestionar datos de la celda calibrada del sistema fotovoltaico, facilitando el monitoreo de la eficiencia a través de un acceso seguro con autenticación de usuario y contraseña.
- Desarrollar métodos de análisis basados en técnicas de procesamiento de señales y modelado matemático para interpretar los datos monitoreados del sistema fotovoltaico, con el objetivo de evaluar su eficiencia en la extracción de la máxima potencia y optimizar su desempeño bajo diferentes condiciones de irradiancia y temperatura.
- La implementación de nuevas tecnologías basadas en IoT y redes de comunicación industriales facilitaría la centralización de la información y el análisis en tiempo real, optimizando la gestión energética, debido a que la dispersión de los datos no solo limita la capacidad de monitoreo, sino que también afecta la integridad y eficiencia de las bases de datos de los sistemas.
- Los valores de eficiencia medidos alrededor del mediodía son normales, pero la caída a 9% en la tarde es significativa por lo que se recomienda mejorar procesos de mantenimiento de paneles o implementar medios para reducir la pérdida de calor y para evitar bloqueos en la captación de luz mediante nuevas tecnologías o estrategias de optimización.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] “¿Qué es la eficiencia energética de los paneles solares? | Enel X.” Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://corporate.enelx.com/es/question-and-answers/are-solar-panels-energy-efficient>
- [2] “Vista de Evaluación de la actualidad de los sistemas fotovoltaicos en Ecuador: avances, desafíos y perspectivas | Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar.” Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/6835/10389>
- [3] N. Rosario, F. Rivera, M. Ángel, D. Ramírez, and R. Ramírez Bon, “Medición de la eficiencia energética de los paneles solares de silicio.”
- [4] “Vista de Herramienta para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos aislados.” Accessed: Jan. 15, 2025. [Online]. Available: <https://revistas.ucatolicaluisamigo.edu.co/index.php/lampsakos/article/view/1936/1785>
- [5] C. De, “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL”.
- [6] “SOLAR ENERGY INTERNATIONAL FOTOVOLTAICA Manual de diseño e instalación Una panorámica de la energía fotovoltaica”.
- [7] “Errores frecuentes en sistemas fotovoltaicos: 1. Conexión del ondulator – Censolar.” Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://www.censolar.org/errores-frecuentes-1/>
- [8] “Tipos de paneles solares | Blog Ecofener.” Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://ecofener.com/blog/tipos-de-paneles-solares/>
- [9] A. de Radiación and T. Velocidad del Viento, “Datasol MET 1 Manual de Operación y de Instalación Datasol MET”.
- [10] A. R. Penin, “Sistemas SCADA (3a edición),” *Sistemas SCADA (3a edición)*, 2014.
- [11] “SISTEMAS SCADA República Bolivariana de Venezuela - ppt descargar.” Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://slideplayer.es/slide/13952672/>
- [12] “¿Qué es un SCADA? Control de Supervisión y Adquisición de Datos.” Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://www.nunsys.com/scada/>
- [13] N. Agudelo, G. Tano, and C. Andrés Vargas, “HISTORIA DE LA AUTOMATIZACIÓN”.
- [14] “¿Qué es HMI? | Becolve Digital.” Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://becolve.com/blog/que-es-hmi/>

- [15] “AVEVA InTouch HMI – First Automation.” Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://first-automation.com/aveva-intouch-hmi/>
- [16] “Sistemas Industriales Distribuidos”.
- [17] “PROGRAMACIÓN AVANZADA CON M221 Y COMUNICACIONES → Descripción del protocolo MODBUS - Ideas Capacitación.” Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://c.ideascapacitacion.com/courses/programacion-avanzada-de-plc-m221-con-somachine-basic-y-comunicaciones/temas/descripcion-del-protocolo-modbus/>
- [18] “PROGRAMACIÓN AVANZADA CON M221 Y COMUNICACIONES → Descripción del protocolo MODBUS - Ideas Capacitación.” Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://c.ideascapacitacion.com/courses/programacion-avanzada-de-plc-m221-con-somachine-basic-y-comunicaciones/temas/descripcion-del-protocolo-modbus/>
- [19] N. Automation, “CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE RS485 Y RS422 INTRODUCCIÓN”.
- [20] W. S., W. J., L. D., and Z. C., “Implementing smart factory of industrie 4.0: An outlook. International Journal of Distributed Sensor Networks,” 2016.
- [21] “Softwares para Automação Industrial | Soluções Inteligentes em Automação Industrial.” Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <http://www.scansoft.com.br/site/>
- [22] “Bases de datos: la importancia de asegurar tu información - IONOS.” Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://www.ionos.com/es-us/digitalguide/servidores/seguridad/bases-de-datos-la-importancia-de-asegurar-tu-informacion/>
- [23] “AVEVATM InTouch HMI | AVEVA.” Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://www.aveva.com/es-es/products/intouch-hmi/>
- [24] “ISA101 Norma para el diseño HMI - infoPLC.” Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://www.infoplcn.net/actualidad-industrial/item/102902-isa101-hmi>
- [25] O. P. Rivera, P. Asociado, P. Oscar, and P. Rivera, “Pagina 1 Norma ISA”.