



OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS DE ENERGÍA Y HUELLA HÍDRICA UTILIZANDO LA ENERGÍA SOLAR PARA AEROPONÍA

Integrantes

Carlos Martin Camargo Cueva
DNI 72639584

Alberto Kikushima Taira
DNI 74626788

Jorge Suarez de Freitas Ferrari
DNI 75595869

Samuel Zegarra Poma
DNI 75876960

Docente tutor

Fabricio Humberto Paredes Larroca

Av. Javier Prado Este 4600, Santiago de Surco - Lima – Perú

Teléfono: (511) 437 6767

Noviembre de 2022

1. PROBLEMÁTICA

La palabra agricultura está formada por dos derivaciones latinas: Agri- de *agri*, que significa “arte de cultivar el campo”, y -Cultura, del verbo *Colere*, cuya raíz nativa quiere decir “cultivar” y “habitar”. Por lo que el significado profundo de la palabra Agricultura sería “el arte de cultivar y habitar la tierra”.

La agricultura es una actividad económica esencial para la subsistencia de las poblaciones; desde su aparición, como una actividad de autoabastecimiento se han experimentado diversas maneras de hacerla más productiva.

La tecnificación, gracias a los avances tecnológicos, ha transformado y convertido a la agricultura en una actividad más predecible. Las acciones de control de plagas, fertilizaciones precisas, el uso de modernos dispositivos y equipos, así como el conocimiento y manejo de la información transforman esta actividad, con el objetivo de maximizar la productividad, minimizar los costos y el uso de recursos.

Sin embargo, la tierra, como el medio por excelencia de creación de cultivos va compartiendo con otros métodos como la hidroponía y la aeroponía, opciones que, en estos tiempos, responden a modernas exigencias ecológicas que involucran el parámetro relevante de la calidad del cultivo, lográndose beneficios como un menor consumo de agua, suelo y pesticidas.

El presente proyecto propone el diseño e implementación de un sistema integrado inteligente para el riego en aeroponía empleando tecnologías de la industria 4.0, energías limpias y gestión de la energía con el propósito de lograr la eficiencia energética en el riego, reduciendo el consumo hídrico y eléctrico, y en consecuencia minimizando la huella de carbono.

2. DESCRIPCION DEL PROYECTO Y MEJORA PROPUESTA

Nuestra propuesta de mejora consiste en convertir un vivero de aeroponía en un sistema autónomo, inteligente y sostenible.

El proyecto incluye el desarrollo del sistema de alimentación de energía por medio de paneles solares montados en un mecanismo que permita maximizar la captación de energía solar según la posición del sol a lo largo del día.

La primera versión del sistema de riego usa una bomba periférica AC, 220 V, cuyo consumo es de aproximadamente 590 Watts, reemplazada por 3 bombas DC que se retroalimentan con el sistema de optimización de captación de energía solar.

Para alimentar el sistema se utilizan 2 paneles solares de 21V que conectados en serie entregarán 40V, 5-6 A, para lograr este objetivo se ha propuesto:

Diseñar y fabricar un mecanismo, cuya estructura siga perpendicularmente la trayectoria del sol durante las 24 horas, para maximizar la captación de la energía solar.

Lo anterior permitirá alimentar al sistema para almacenar la energía en baterías.

El mecanismo señalado se compone de una estructura de acero al carbono, un tornillo sin fin y sensores LDR que permiten dar lectura a la luz.

Como controlador se usa un dispositivo IOT 2040 de Siemens con el fin de accionar los dos motores DC que permitan rotar la estructura e inclinar los paneles en el ángulo óptimo respecto a la posición del sol.

Para medir los parámetros óptimos del sistema con paneles solares se acoplarán sensores de voltaje, corriente, intensidad luminosa, humedad y radiación, conectados a la IOT 2040 de Siemens mencionada en el punto anterior.

Para el sistema de aeroponía se decidió utilizar 7 válvulas de bola acompañadas de servomotores y un mecanismo que permite abrir o cerrar las válvulas según la programación deseada, para esta sección se utilizará como controlador otra IOT 2040 de Siemens.

La segunda versión del sistema de riego se plantea conectar 3 bombas DC encargadas de la retroalimentación de la mezcla con nutrientes para el sistema aeropónico, la propuesta consiste en aplicar inteligencia artificial en la programación del control de las bombas, se utiliza una IOT 2040 de Siemens.

La propuesta considera recopilar la información obtenida por las 3 IOTS 2040 utilizadas mediante el uso de un PLC S7 1200, con la finalidad de enviar los datos a la nube y poder visualizarlos en un *dashboard* en tiempo real.

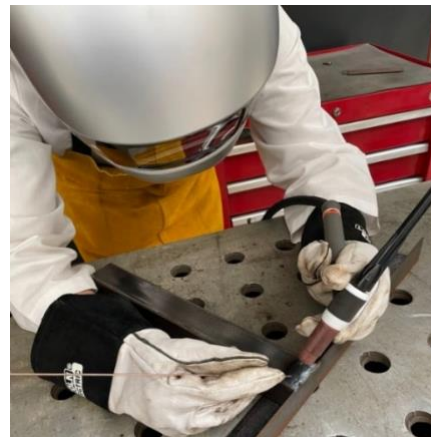
-Para la monitorización de energía de la primera versión del sistema de riego utilizando la bomba periférica AC se utilizará el software SENTRON powermanager.(ver figura anexo1)

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

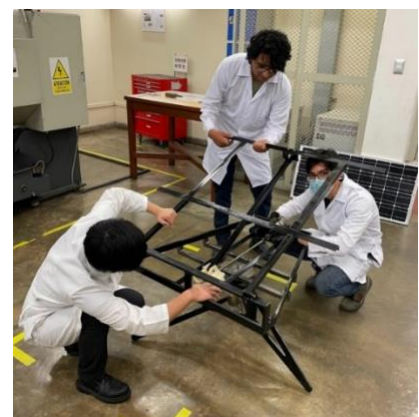
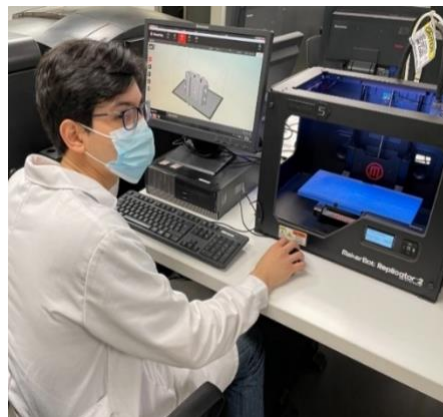
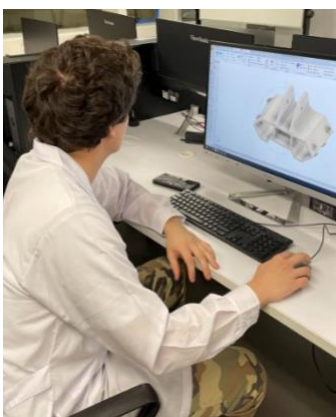
Para el desarrollo del mecanismo de optimización de captación de energía solar, se propuso un sistema con 2 motores DC que permitiera rotar los 2 paneles solares y regular el ángulo de inclinación de acuerdo a la posición del sol en el transcurso del día, por lo que teniendo en cuenta el peso y las dimensiones de los paneles se diseñó la estructura en el software Autodesk Inventor.



-Debido al peso y dimensiones de los paneles solares se diseñó la estructura en base a perfiles de acero al carbono, para los cuales se utilizó el tipo de soldadura TIG.



El mecanismo de rotación de los paneles está conformado por una plataforma que permite girar 360 grados gracias al accionamiento de un motor DC, mientras que para la inclinación se utilizó un tornillo sin fin, otro motor DC y prisionero,



acompañado de una pieza impresa en 3D en material ABS, ya que tiene mejores propiedades mecánicas en comparación al PLA u otros materiales, se utilizó la impresora Makerbot 2x.

Se acoplarán 4 rodamientos que permitirán deslizarse por los perfiles de acero al carbono con el accionar del motor, permitiendo la inclinación deseada según la programación del IOT 2040 de Siemens.

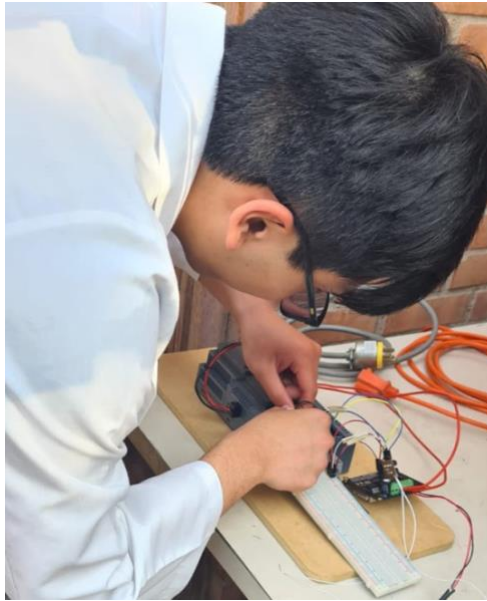
Con la implementación de los sensores LDR y programación de la IOT 2040 los paneles podrán rotar e inclinarse según la trayectoria del sol en el transcurso del día, maximizando la obtención de energía, los 2 paneles se conectaron en serie para aumentar el voltaje a 40V aproximadamente. También se utiliza un sistema de carga de baterías con el fin de almacenar la energía obtenida, también se dará lectura a sensores de voltaje, corriente, temperatura y humedad, con la finalidad de medir la eficiencia energética del sistema.



Para el sistema de aeroponía se utilizó el software Autodesk professional Inventor para diseñar un mecanismo que permite accionar las válvulas de bola mecánicas mediante servomotores. En total se imprimieron 7 mecanismos en material ABS. Uno de ellos se usará como válvula principal del sistema y los otros 6 irán distribuidos en el sistema de cultivo aeropónico.

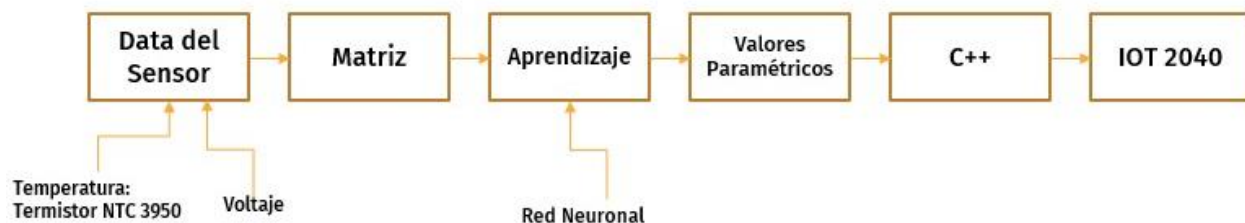


-Para efectuar el control se empleó una IOT 2040 de Siemens y un driver que irá conectado a los 7 servomotores.



En cuanto al sistema aeropónico se implementaron termistores NTC 3950 en los cultivos con el objetivo de establecer una correlación entre la temperatura de la planta y la cantidad de agua que tiene o le falta, se elaboró una matriz teniendo como datos temperatura y voltaje de salida, y en el entorno *spyder* mediante programación en Python se aplicó inteligencia artificial mediante el desarrollo de una red neuronal. Para el procesamiento se utilizó una GPU externa y se obtuvieron como resultados valores paramétricos que se llevaron a otra interfaz y en lenguaje C++ se programó la IOT 2040 de Siemens para controlar las bombas con modulación por ancho de pulsos (PWM), de esta manera, a mayor temperatura del a planta se proporcionará un mayor caudal de manera automática.

Desarrollo del algoritmo de control de bombas por IA

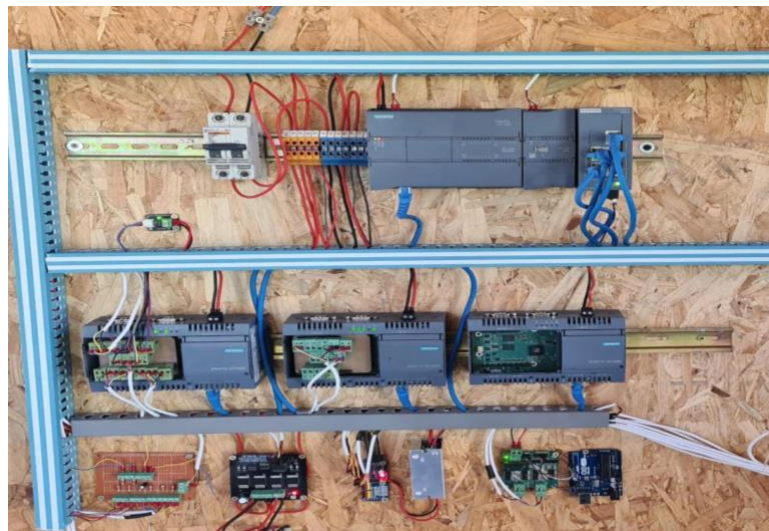


En las figuras adjuntas se puede apreciar el cambio el cambio del ciclo de trabajo de la señal PWM que se conectó al driver de las bombas DC, las capturas se obtuvieron del osciloscopio y se observa que a mayor temperatura aumentará el ciclo de trabajo. El principal beneficio que se obtuvo con la implementación de inteligencia artificial en el sistema de control es que, ante valores desconocidos de temperatura, por el aprendizaje que tuvo el sistema puede

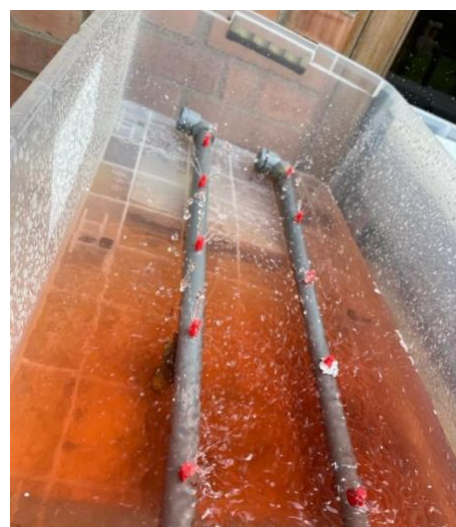
hallar un valor óptimo por su capacidad de adaptarse.



Se realizaron las conexiones de las 3 IOT 2040 como esclavas y la del PLC S7 1200 que será el maestro que se encargará de recopilar los datos de todas las IOTs y enviarlos a la nube para que puedan ser supervisados a través de un dashboard,



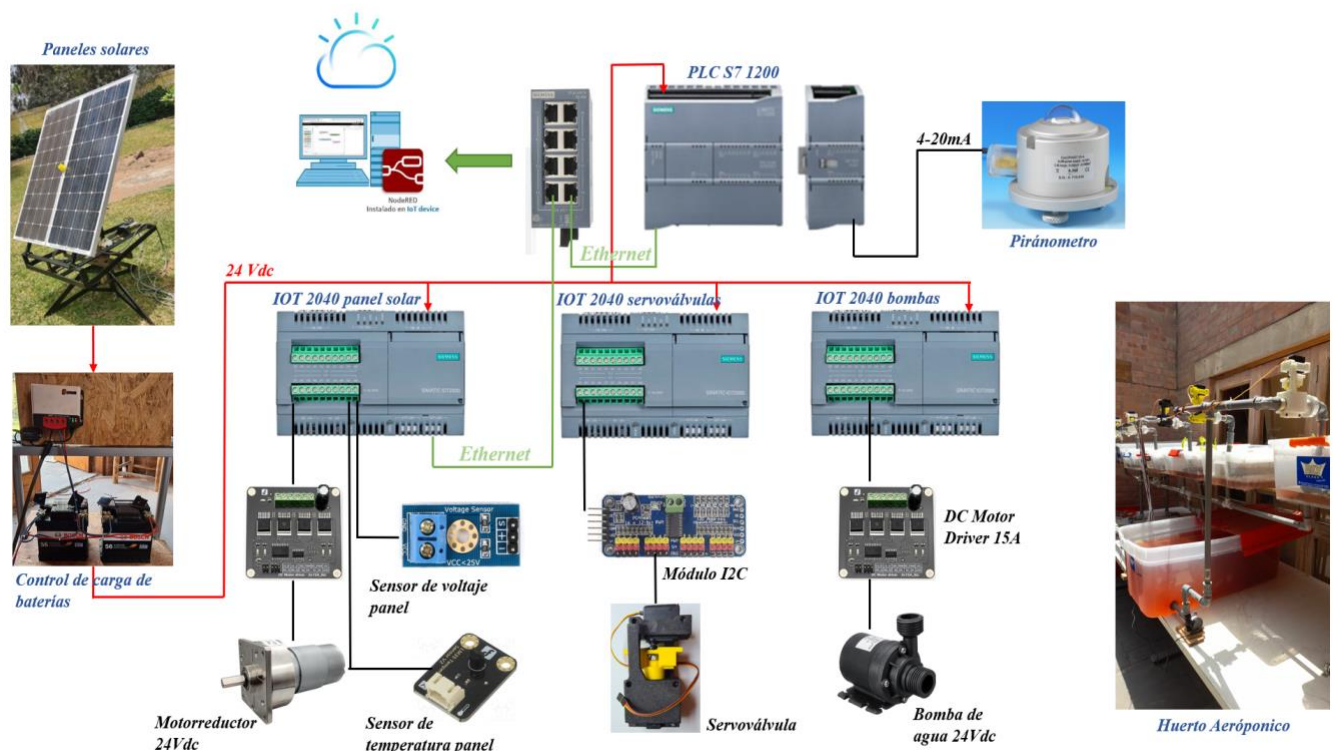
A continuación, se muestran las bombas DC empleadas junto al sistema de aspersores.



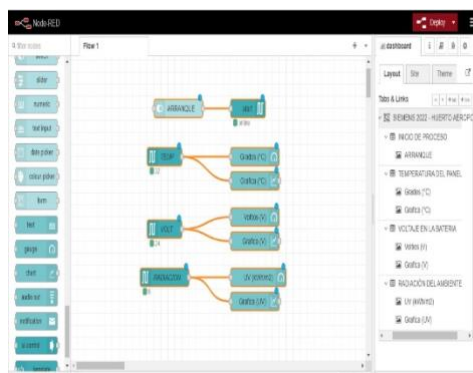
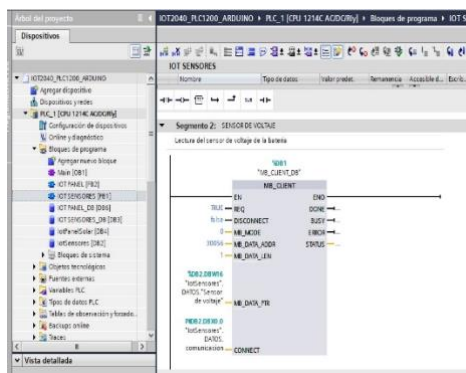
Finalmente, se decidió que los primeros cultivos de nuestro sistema de aeroponía serían lechugas.



Comunicación de PLC e IOTs.



Se enlazaron las variables TiaPortal con NodeRED , utilizaremos la aplicación NodeRED para realizar la configuración de los Dashboards.



4. BENEFICIOS OBTENIDOS

Estos resultados se obtuvieron de las pruebas realizadas con la primera versión del proyecto que utilizaba una bomba periférica monofásica, teniendo en cuenta que el sistema aeropónico tendrá 1 minuto de encendido por cada 5 minutos de apagado.

Bomba periférica monofásica									
Tensión (Voltios)	Corriente Trabajo (Amperios)	Potencia (HP)	Tiempo encendido al año (horas)	Potencia por hora (Watts)	Potencia total (Watts)	Potencia total (KiloWatts)	Costo de KW/h	Costo diario	Costo anual
220	2.70	0.80	1,095.00	590.00	646,050.00	646.05	\$0.18	\$113.06	\$41,266.44

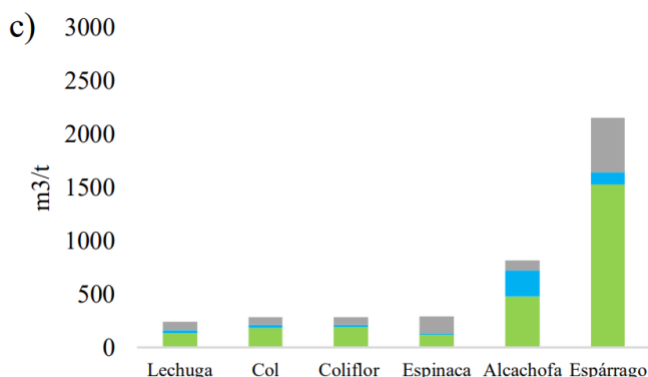
Al cambiar la alimentación de energía eléctrica del sistema por el nuevo mecanismo compuesto por paneles solares, baterías y bombas DC, el costo anual por energía eléctrica llegaría a ser S/ 0.00, ya que el sistema genera su propia energía sin tener que recurrir a otra fuente de energía.

Igualmente, al dejar de utilizar la corriente alterna se obtiene una reducción de la huella de carbono. Para medir esta reducción se utilizó “Greenhouse Gas Equivalencies CALCULATOR”, herramienta de EPA, United States Environmental Protection Agency, en dicha herramienta obtuvimos que los 646 KW al año que se evitaron tienen las siguientes equivalencias:

0.099	gasoline powered passenger vehicles driven for one year
1136.00	miles driven by an average gasoline powered passenger vehicle
51.5	gallons of gasoline consumed
507	pounds of coal burned
45	gallons of diesel consumed
0.006	tanker trucks's worth gasoline

Según el estudio realizado y publicado en la Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencia, “La huella hídrica de

diferentes cultivos: un panorama global”, la huella hídrica total del cultivo de lechugas es de 278 m³/T, incluyendo agua verde, agua azul y agua gris, por lo que si realizamos una comparativa con los datos obtenidos en el proyecto se observa que debido al sistema de retroalimentación de la mezcla con nutrientes del sistema aeropónico se logra una disminución de la huella hídrica.



Asimismo, para medir la rentabilidad del proyecto se ha planteado un caso hipotético en la que la universidad alquile el proyecto en su segunda versión con la finalidad de tener un ingreso mensual de 225.00 USD, teniendo en cuenta costos fijos como podría ser el mantenimiento preventivo, entre otros y la inversión inicial por el desarrollo de todo el proyecto. Inversión 2,500.00 USD y costo fijo mensual 62.50 USD. De la misma manera, para fines prácticos se consideró un costo de oportunidad del capital (COK) del 16%. Bajo estas consideraciones, se puede apreciar la proyección de ingresos y costos del proyecto hasta dentro de 5 años en periodos anuales. Cabe resaltar que la vida útil de los paneles solares es de 20 años; sin embargo, se considerará un horizonte del proyecto de 5 años para efectos prácticos. Lo que nos permitirá evaluar el proyecto, el cual, puede retornar la inversión inicial a partir 1.28 años de ser implementado. Por otra parte, las proyecciones dan como resultado una tasa interna de retorno del 60% que, al ser mayor a 0% y al COK, es bastante recomendable. La relación beneficio/costo del proyecto obtenida es de 3.64, y como VAN se tendría un valor del proyecto de 6,591.46 USD. En el siguiente cuadro, los cálculos están expresados en USD.

PERIODO	0	1	2	3	4	5
INVERSIÓN	2,500.00					
INGRESOS		2,700.00	2,700.00	2,700.00	2,700.00	2,700.00
COSTOS		750.00	750.00	750.00	750.00	750.00
UTILIDAD		1,950.00	1,950.00	1,950.00	1,950.00	1,950.00
FLUJO DE CAJA ACUMULADO	2,500.00	550.00	1,400.00	3,350.00	5,300.00	7,250.00

COK	16%
TIR	60%
VAN	6,591.46
B/C	3.64
PERIODO RECUPERO	1.28

Adicionalmente a la obtención de obtener beneficios como la rentabilidad, la reducción de costos y de energía, se ha reducido tanto la huella de carbono como la huella hídrica, por lo que se concluye que se cumplieron los objetivos del proyecto.

ANEXOS

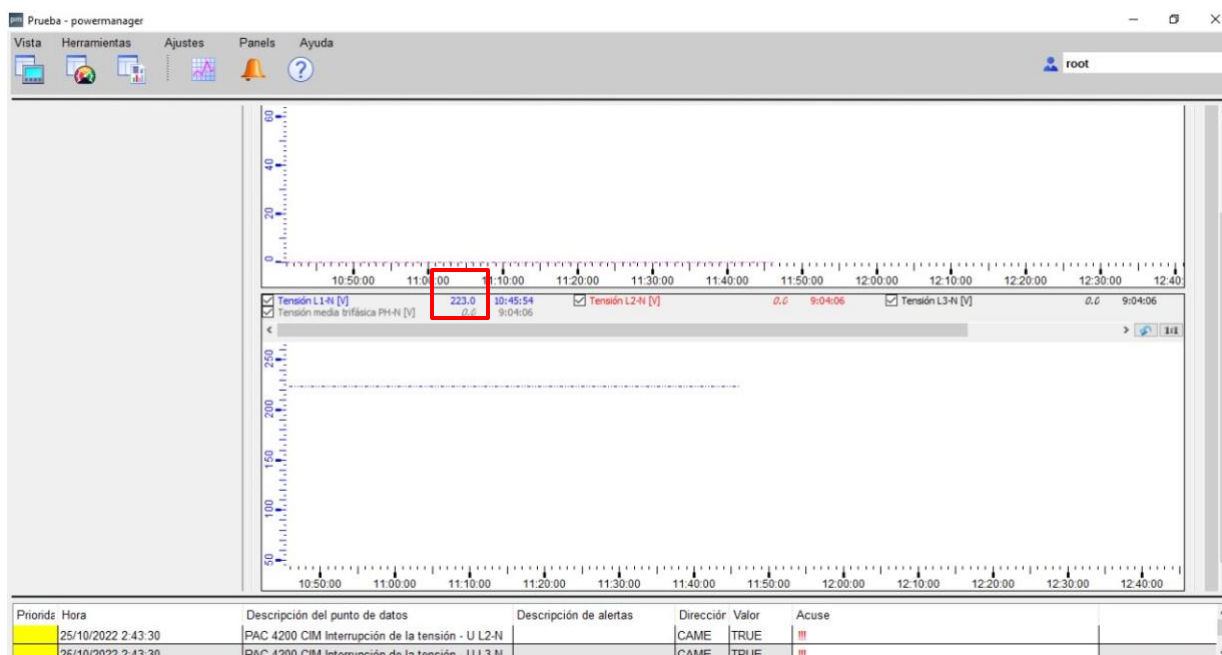
Tecnologías usadas:

- Impresión 3D en Makerbot 2X, material ABS
- Programación del PLC S7-1200 en TiaPortal
- NodeRED para dashboard
- Programación de IOT 2040, lenguaje C++
- Autodesk Eagle
- Fabricación de placas electrónicas (PCB) usando Router CNC
- Diseño CAD en Autodesk Inventor
- Soldadura TIG
- Paneles solares y sistema de carga de baterías
- SENTRON powermanager
- Protocolo de comunicación Modbus
- Entorno spyder para programación de red neuronal en Python
- Uso de GPU externa para procesamiento de IA, RTX 3060 Ti

Opciones de cultivos:

En el presente proyecto se decidió cultivar lechugas; sin embargo, hay diversas plantas en las que se puede aplicar aeroponía, como por ejemplo hortalizas de hoja como acelga, apio, perejil, espinaca, albahaca, fresas y plantas aromáticas, entre otros.

Datos obtenidos por el Powermanager:



Tensión de trabajo de la bomba periférica. PAC4200 Conexión pruebas de tensión y corriente.

