

Control del consumo de agua, energía y humedad en un invernadero

Control of water and humidity consumption in a greenhouse

Álvarez Pastuña Jorge Enrique¹, Mosquera Masabanda Bryan Stalin², Rojano Tituaña Alex Patricio³, Toapanta Ortega Wilson Alberto⁴, Secundino Marrero Ramírez⁵

RESUMEN:

La investigación realizada en el invernadero experimental de la Universidad Técnica de Cotopaxi en el Campus Salache, tuvo como objetivo el incorporar el control de humedad energía y consumo de agua, mediante un sistema de medición con un sensor ultrasónico, PLC S7 1200, una electroválvula, sensores de humedad del tipo FC 28 y un medidor de energía, los cuales ayudan a monitorear el comportamiento de la humedad para definir los momentos de riego y realizar el control de manera manual y automática de este recurso. Donde a través de la electroválvula se controla el llenado del tanque que está previamente programado con un nivel mínimo y otro máximo en función de la capacidad del tanque. Para el personal encargado del invernadero se realizó una interfaz gráfica (HMI), en donde se puede controlar y monitorear de forma remota el consumo de energía, gasto de agua y el comportamiento de la variable humedad, lo que permite conocer el consumo de agua diario, semanal y mensual. Además, se consideran los indicadores de la capacidad total del tanque en litros, el nivel del agua en el tanque y el indicador de los litros existentes en el interior del tanque. El sistema de control de humedad y consumo de agua, contribuyó a garantizar el régimen adecuado de humedad del agua en los cultivos del invernadero y facilitó el seguimiento del gasto de agua por plantas para lograr una correcta dosificación atendiendo al tipo de cultivo.

Palabras claves: Consumo de agua, control de humedad, invernadero.

ABSTRACT:

The objective of the research carried out in the experimental greenhouse of the Technical University of Cotopaxi on the Salache Campus was to incorporate the control of humidity, energy and water consumption, through a measurement system with an ultrasonic sensor, S7 1200 PLC, an electrovalve, humidity sensors type FC 28 and an energy meter which help to monitor the behavior of the humidity to define the irrigation times and carry out the manual and automatic control of this resource. Where through the solenoid valve the filling of the tank is controlled, which is previously programmed with a minimum and a maximum level depending on the capacity of the tank. For the personnel in charge of the greenhouse, a graphical interface (HMI) was created, where energy and water consumption and the behavior of the humidity variable can be controlled and monitored remotely, which allows knowing the daily, weekly and monthly water consumption. In addition, the indicators of the total capacity of the tank in liters, the water level in the tank and the indicator of the liters inside the tank are considered. The humidity and water consumption control system contributed to guaranteeing the adequate water humidity regime in the greenhouse crops and facilitated the monitoring of water consumption by plants to achieve a correct dosage according to the type of crop.

Keywords: Water consumption, humidity control, greenhouse.

Recibido 22 de diciembre de 2019; revision aceptada 14 de abril de 2020

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador, jorge.alvarezp9@utc.edu.ec

² Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador, bryan.mosquera9@utc.edu.ec

³ Ingeniero Eléctrico, Consultor Quito, Ecuador, wilson.toapanta2477@utc.edu.ec

⁴ Ingeniero Eléctrico, Empresa Railway 19 Bureau, Quito, Ecuador, alexpatricio93@gmail.com

⁵ Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador, secundino.marrero@utc.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

Las variables que por lo regular se controlan en un invernadero, son la temperatura del aire interior, humedad relativa, la concentración de CO₂ (anhídrido carbónico) y la radiación solar. Para lo cual se utilizan diferentes técnicas de control a través de la instalación de calefacción, ventilación, sistemas de humidificación, la dosificación de CO₂, instalaciones de pantallas térmicas y la iluminación artificial. Donde la ventilación también puede ser utilizada para prevenir la excesiva humedad ambiente, debido a la transpiración del cultivo. Este control puede prevenir enfermedades, ya que los excesos de humedad que tienen lugar en los periodos fríos se puede agudizar durante los cambios de la noche al día. Es por ello que, desde el punto de vista de control, existen al menos dos umbrales de humedad relativa, uno para la noche y otro para el día, en consonancia con los puntos de consigna establecidos para la temperatura asignando a cada uno una curva con déficits de humedad [1]. El trabajo se ha enfocado en la necesidad de tener un control preciso del consumo del agua, energía y el registro de humedad para que se incorpore al sistema existente de registro de estas variables y así lograr el ahorro del consumo de agua, energía y la dosificación adecuada de agua en los diferentes cultivos que se plantan en el invernadero [2].

Se pretende monitorear la variable del consumo de agua, a través de la programación de un sistema Scada que tiene interfaces gráficas, permitiendo de esta manera el monitoreo de todas las variables de operación en el invernadero. Esto también facilita la labor del operador, al poder este realizar un registro de datos del consumo y controlar el volumen de agua requerido por tipo de cultivo.

Con el proyecto se pretende beneficiar a productores, docentes y estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi en el Campus Salache, que están a cargo del invernadero, facilitándoles la incorporación de las variables más importantes para el control y operación del riego, con el monitoreo del consumo de agua.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Medidores de nivel del líquido

La medición de nivel de líquidos, suele realizarse en depósitos, silos o container móviles, donde una de las dificultades consiste en poder realizar una medición de nivel continua, la medición de densidad y la detección de nivel en reservorio. Para efectuar esta tarea existen diferentes tipos de sensores que utilizan características del líquido y se pueden clasificar en:

Medidor conductivo

Medidor capacitivo

Medidor ultrasónico

Medidor de radiación

Medidor láser

De este grupo de sensores se puede decir que las prestaciones del medidor ultrasónico permiten lograr precisión y control continuo de la variable nivel. El sensor ultrasónico emite un impulso ultrasónico a una superficie reflectante, la superficie libre, y la recepción del eco del mismo en el receptor. Donde el retardo en la lectura o captación del eco va a depender del nivel del tanque [3]. Estos medidores sirven para todo tipo de líquidos, son sensibles a la densidad del fluido donde se transportada la onda, por lo tanto, el método no es factible en procesos en donde las condiciones ambientales son cambiantes. También se pueden presentar problemas de reflexión si se forman espumas en la superficie del líquido o existen sólidos en suspensión. Este medidor puede lograr una precisión de medición entre 1% y 3 %

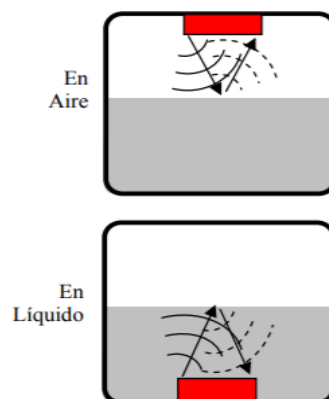


Figura 1. Principio de medición continua del medidor ultrasónico
Fuente: [3].

En la tabla 1 se muestran las especificaciones técnicas del sensor de la marca Hautu que presenta una señal de salida de 4 ~ 20 mA y será utilizado en el proyecto

Tabla 1. Especificaciones técnicas del sensor Hautu.

TRANSMISOR DE NIVEL ULTRASÓNICO SERIE -21204173	
Rango de medición	0-20m
Rango de precisión	±0.3%
Modo de salida	4 ~ 20 mA
Tensión de alimentación	Dc Dc12V / Dc24Vac ac 220 V
Tiempo de respuesta	1.5 segundos
Interfaz de instalación:	Agujero redondo M59X2 o C60mm (Con tuerca)

2.2. Medición de humedad

Para la medición de humedad se utiliza el sensor FC 28 de la figura 2 que presenta un ajuste de sensibilidad de un circuito acondicionador de señal con el comparador LM393.

[4]

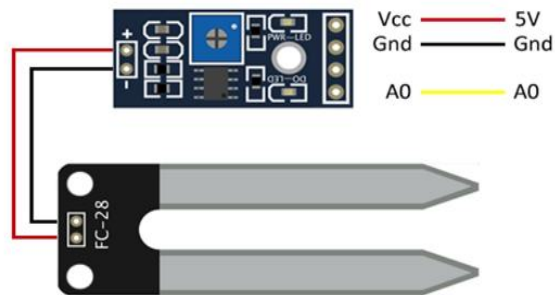


Figura 2 Higrómetro FC-28 .

En la figura 3 se observa el diseño de la placa desarrollado con el software Proteus para la conexión de los 8 sensores utilizados en las tres hileras de siembra, que requiere una alimentación de corriente continua.

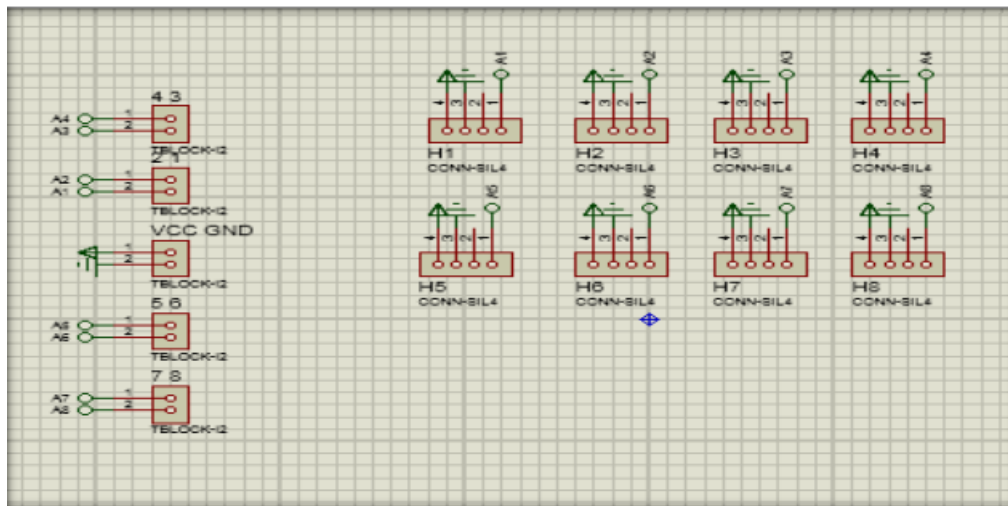


Figura 3. Diseño esquemático en el software Proteus.

2.3. Medidor de energía

Para el registro diario del consumo de energía se procede a realizar la instalación del analizador de energía en el tablero de control, acorde al diagrama de conexión de la figura 4 que se encuentra en el manual del Sentron PAC 3200, con un transformador de corriente de relación 30/5.

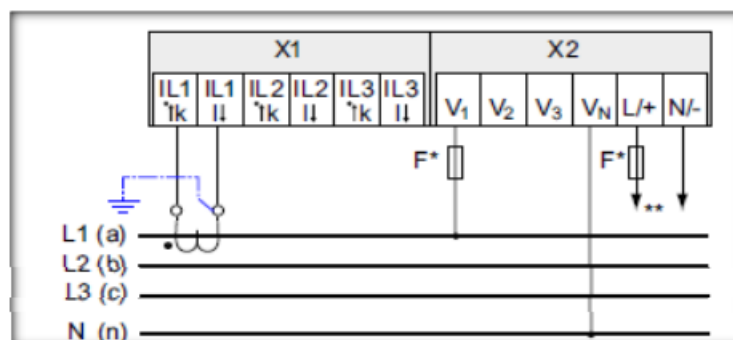


Figura 4. Conexión de TC y Sentron PAC3200 a la red eléctrica.

2.4. Sistema Scada

El sistema Scada permite la retroalimentación en tiempo real con los dispositivos de campo (sensores y actuadores), controla el proceso automáticamente y facilita la recolección de información y gestión de control [5], [6]. De esta manera se activan automáticamente alarmas cuando se presenta un estado crítico en el sistema.

Dentro de los sistemas Scadas más utilizados en la industria, se destacan el RSView32 de Allen Bradley, OASYS DNA, y el WinCC que es un sistema con HMI eficiente para la entrada bajo Microsoft Windows 2000 y Windows XP. Atendiendo a las características del equipamiento utilizado y considerando las propiedades de los sistemas Scadas antes mencionados, se va a seleccionar el WinCC como soporte del control. El uso del Scada

con el PLC S7 1200 de Siemens de la serie SIMATIC va a permitir el control sobre el proceso y la comunicación (ver figura 5) con el operador por medio de un canal de datos de 5Mbps de velocidad mediante las direcciones IP habilitadas, atendiendo a los requerimientos y el equipamiento existente en el sistema [7], [8].

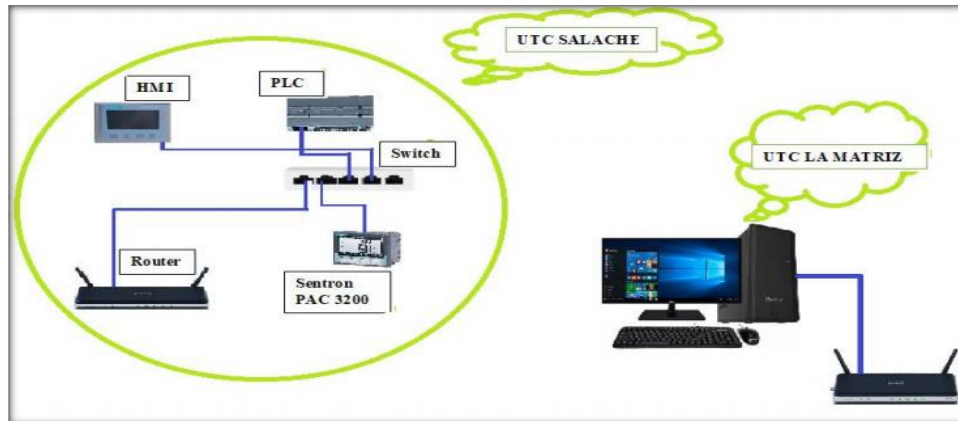


Figura 5. Esquema del canal de datos.

3. Desarrollo

El diagrama de control de humedad del sistema se muestra en la figura 6, donde se observa la posibilidad de realizar el control de manera manual o automática; en el control manual se visualiza el porcentaje de humedad relativa medida por los sensores FC-28 que se encuentran en las hileras 1 y 3.

De acuerdo al requerimiento de las semilla o plantas, el operador podrá encender las bombas para el riego independientemente para cada hilera, el tiempo necesario será introducido de manera manual. En el control automático también se puede observar la humedad relativa en las hileras 1 y 3, las cuales van a ser controladas automáticamente mediante la referencia, donde previamente se debe introducir el porcentaje de humedad en los rangos 40 % a 60 %, sí el porcentaje es menor al valor establecido se encenderán las bombas para el riego automático y si este es mayor al valor introducido, se mantendrán apagadas las mismas, además este sistema cuenta con un apagado de emergencia en caso que se necesario.

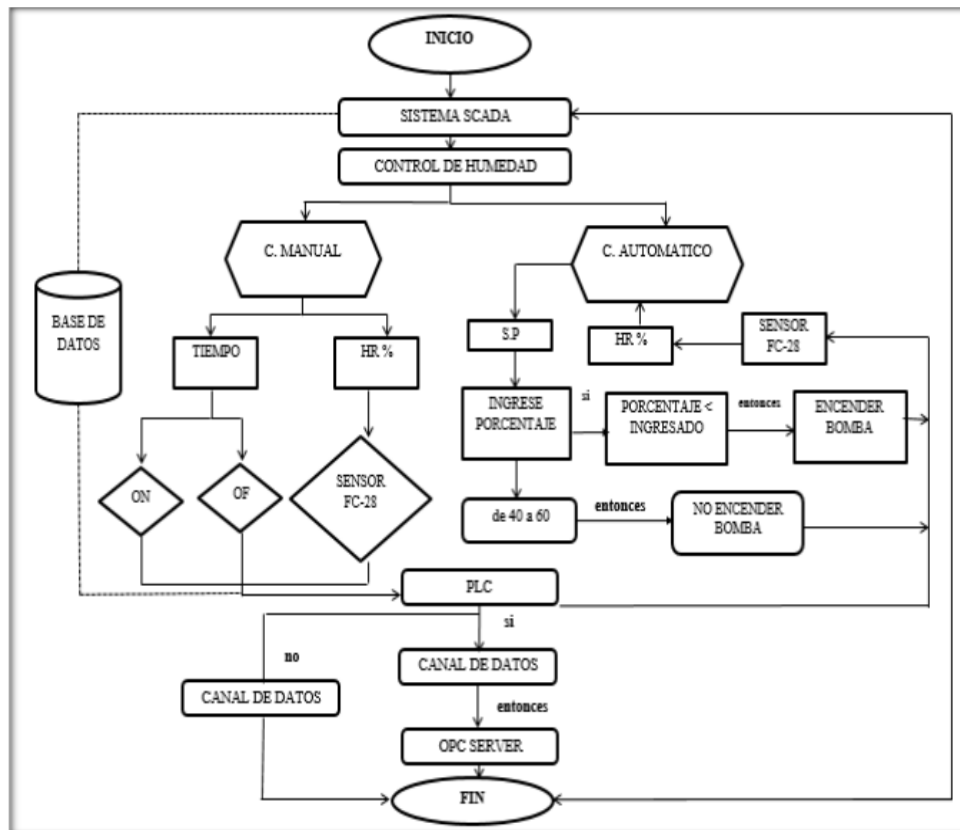


Figura 6. Diagrama de flujo del sistema de control de humedad.

En la figura 7 se muestra el diagrama que indica cómo se realiza la medición del consumo de energía del invernadero, para ello se utiliza el analizador de energía Sentron PAC 3200, que es el encargado de realizar las diferentes mediciones de las magnitudes eléctricas de voltaje, corriente, potencia y energía entre otras. Para obtener estos valores medidos en el sistema SCADA, se realizó el direccionamiento de tags en el servidor opc, para de allí posteriormente realizar una base de datos que se almacenará en una carpeta llamada base de datos, indicando la hora y fecha de registro en una hoja de Excel.

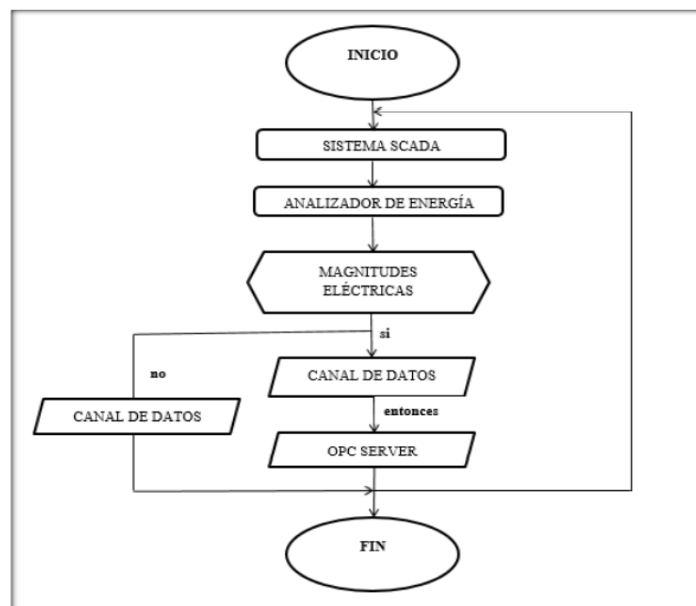


Figura 7. Diagrama de flujo de la medición del consumo de energía.

Para la actualización del sistema de monitoreo del invernadero que había sido desarrollado anteriormente en LabWiew se actualiza con el Win CC con el HMI acorde a las necesidades de medición para el registro diario y los reportes de operación establecidos. Es necesario hacer compatible el algoritmo de medición de consumo de agua con el algoritmo ya existente del sistema de control de humedad y temperatura del invernadero como se observa en la figura 8.

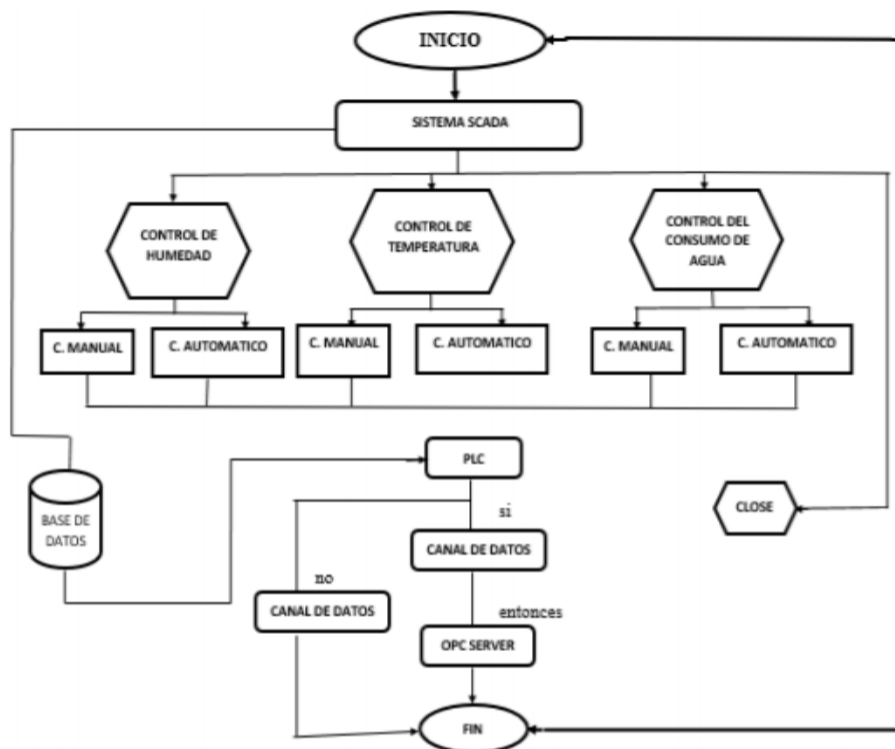


Figura 8. Algoritmo general del sistema de control del invernadero.

Para desarrollar el monitoreo del consumo de agua se propone el esquema de control que se muestra a continuación en la figura 9, donde será utilizada una electroválvula que debe garantizar el llenado del tanque, una vez que el sistema alcanza el mínimo y máximo preestablecido y en la figura 10 se puede observar las pruebas de montaje del sensor en un tablero de control.

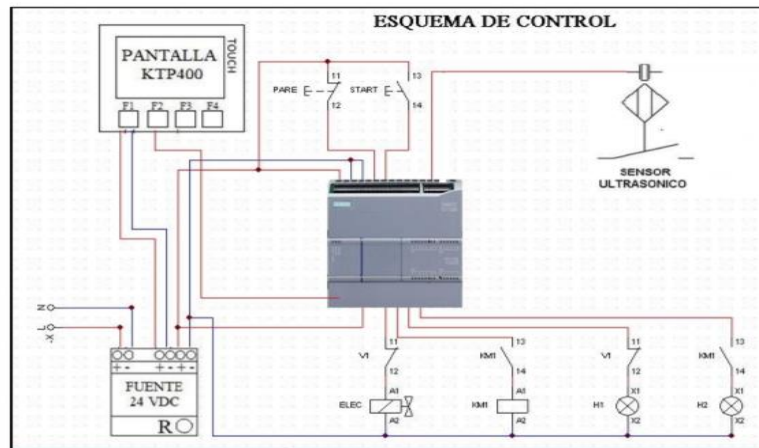


Figura 9. Configuración del sistema de control.



Figura 10. Montaje del sensor y tablero de pruebas.

Una vez realizada la programación se procede a realizar las diferentes pruebas de operación y representaciones gráficas de las variables climatológicas, obtenidas con la información almacenada en la base de datos.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para evaluar la relación de humedad y temperatura se tomó un valor promedio de la humedad de las hileras 1 y 3 y la temperatura de la base de datos en un tiempo de 20

minutos, durante 8 días en el horario que tiende a existir un mayor incremento de temperatura. Como se observa en la figura 11, en esta relación se verifica que, si la temperatura se eleva, es necesario el riego, por ello se aprecia que la humedad tiene un valor de 24 % en las horas de mayor exposición solar, mientras que la humedad y temperatura se mantiene con pocas variaciones en horas de noche y la madrugada, cuando la temperatura es de alrededor de 10 °C.

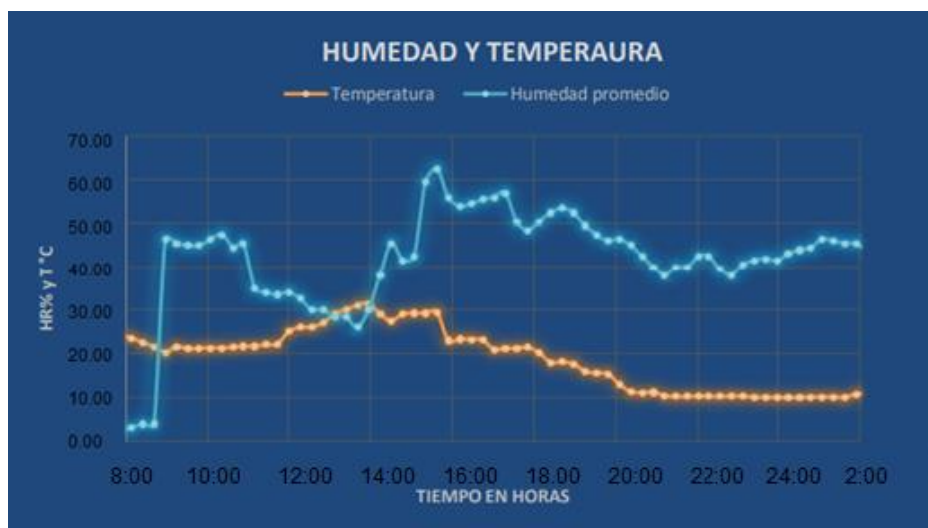


Figura 11. Gráfica de humedad promedio vs temperatura.

En la Figura 12, se muestran los botones que permite ingresar el tiempo de registro en minutos para posteriormente activar el registro de datos de las variables climatológicas y de los parámetros eléctricos. También se observa la posibilidad de pasar al control manual de las variables humedad y temperatura.

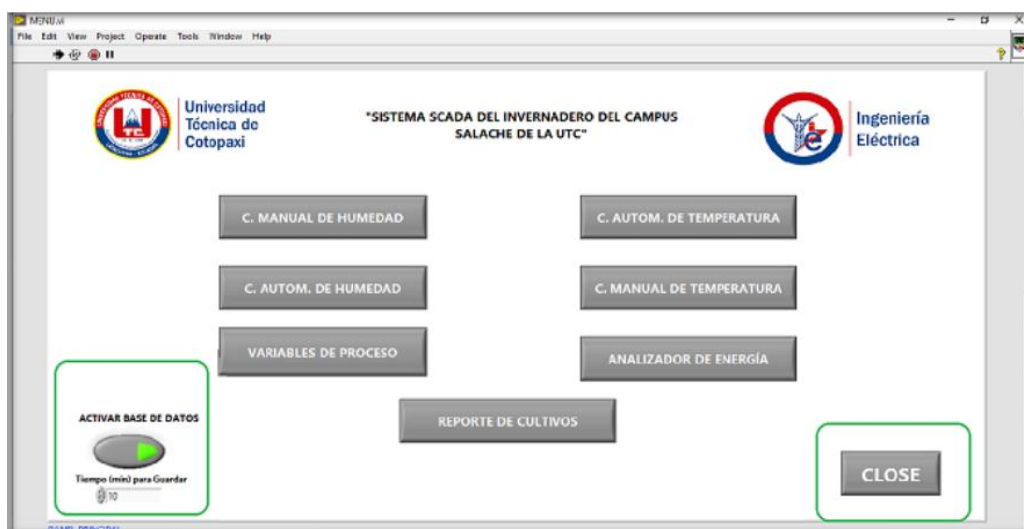


Figura 12. Pantalla principal del sistema SCADA.

Una vez implementado el sistema de control del consumo de agua, se procedió a medir el gasto y el nivel del agua a través del sensor que entrega una señal de corriente, esta señal

es leída y a partir de la fórmula de volumen del tanque se determina la cantidad de líquido, información esta que es almacenada en el servidor web. En figura 13 se muestra como se visualizan los datos relacionados con el consumo de agua y en la tabla 2 se da un conjunto de valores de la data que es almacenada en el servidor. Aquí se indica la capacidad del tanque de 444 litros, los 318 litros consumidos, el nivel en el tanque de 20,7 cm y el volumen existente de 126 litros. Con los datos del nivel del agua medido y la expresión de cálculo de volumen para el tanque, se verificó la cifra registra. Este ensayo se realizó 5 veces para diferentes niveles y se pudo comprobar que el error tenía un valor promedio de 0.2 %.



Figura 13. HMI del consumo de agua para un ensayo.

Tabla 2. Datos del registro del sistema durante un ensayo.

N°-	FECHA	HORA	NIVEL (cm)	VOLUMEN TOTAL (L)	LITROS DISPONIBLES	CONSUMO (L)
1	03/08/2020	13:13:56	5.1	444	31	413
2	03/08/2020	13:14:56	5.8	444	35	409
3	03/08/2020	13:15:56	6.4	444	39	405
4	03/08/2020	13:16:56	6.9	444	42	402
5	03/08/2020	13:41:56	7.2	444	44	400
6	03/08/2020	13:42:56	7.6	444	46	398
7	03/08/2020	13:43:56	8.1	444	49	395

En la figura 14 se muestra la gráfica del nivel del agua proporcionando un valor de 40,3 cm. Para las mediciones reales del sistema se precedió a comparar los valores dados por el sistema de medición implementado y los valores obtenidos mediante la medición de nivel con otro instrumento y se pudo comprobar que el sistema funciona de manera adecuada.

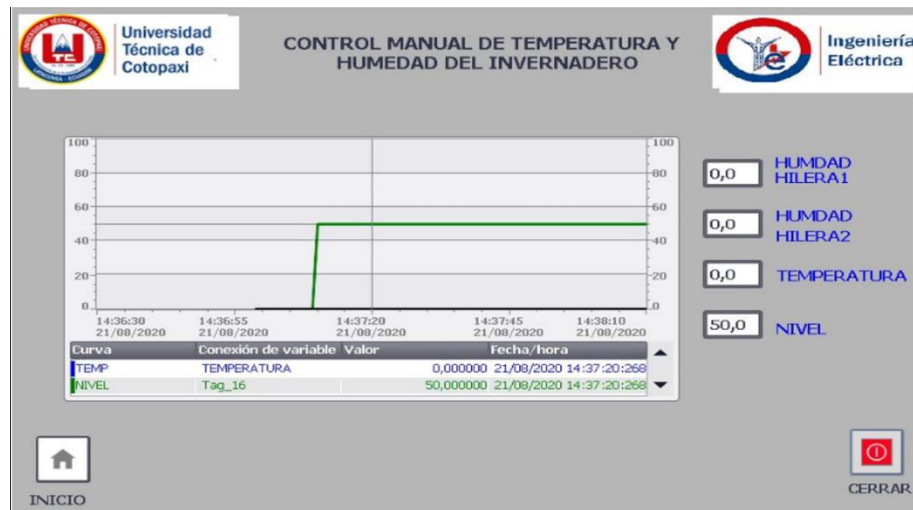


Figura 14. Gráfica del reporte del consumo de agua.

En el HMI del control de energía se pueden observar los diferentes parámetros eléctricos como la tensión, corriente, potencia, factor de potencia y energía, estos datos se los muestra en tiempo real por medio de una red Modbus que fue creada en el servidor y que mostró un consumo de energía diario promedio del invernadero de 1kWh, además estos parámetros eléctricos al igual que el resto, son exportados y almacenados en una base de datos en un archivo de Excel.

En resumen, con la implementación del sistema de control se logran estabilizar las variables climatológicas de humedad, temperatura para garantizar un buen desarrollo de los cultivos, se humaniza la operación de invernadero y se incrementa la producción y calidad en las cosechas al igual que en [9] y [10].

4. CONCLUSIONES

- El trabajo del monitoreo de humedad y consumo de agua se utilizaron el higrómetro FC 28 de Arduino y un sensor ultrasónico de la marca Huatu, el cual puede medir en un rango de 0-20 m, este es un medidor sin contacto que permite la medición continua y el error de la medición que se obtuvo es inferior al 1 %.
- El Scada fue programado en el WinCC que resultado ser amigable y más compatible con la instrumentación de SIEMENS existente el en invernadero y el sistema diseñado permite visualizar la humedad, nivel del tanque y el consumo de agua en el HMI, así como definir el trabajo manual o automático del sistema de control.
- Se logró garantizar niveles adecuados de humedad relativa que varían de 40 % a 60 % y el consumo de energía es de alrededor de 1 kWh diario, obteniéndose como resultado una mayor productividad y mejor la calidad del cultivo.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Reyes R. A. et al. Evaluación de un modelo para estimar la temperatura y humedad relativa en el interior e invernadero con ventilación natural. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18(1): 125-140, 2012
- [2] Alarcón L. A., Arias V. G., Días, O. C., Sotto V. J. Sistema de control automático de variables climáticas para optimizar el rendimiento de cultivos bajo cubierta. *Rev. Ingeniería Solidaria* 14(24)
- [3] Creus, S. A. *Instrumentación Industrial*, Octava Edición. Barcelona– España, Marcombo S.A. 2010
- [4] Arcos G. C. Diseño e implementación de un sistema electrónico para el monitoreo, control de la helada y riego, en huertos de fresas por medio de redes de sensores inalámbricos con hardware. Tesis de grado. ESPOCH. Riobamba. Ecuador. 2017
- [5] Chaguaro D. S. y Lema A. M., “Desarrollo de aplicación Multiplataforma para supervisión y control eléctrico en Industria 4.0 con equipos PLC Siemens S7-1200”, 2020
- [6] Ayala S. A. A. y Reyes S. R. Desarrollo De Un Sistema Scada Aplicado A Un Invernadero, Tesis de grado. Méxicó. 2013.
- [7] Tecno plc, “TIA PORTAL : UTILIDADES DEL SOFTWARE.,” *Tecno PLC*, 2015. <http://www.tecnopl.com/tia-portal-utilidades-del-software/>
- [8] M. E. Flores Morán and G. A. Rodríguez Vera, “Diseño del sistema de control y monitoreo para la distribución del producto terminado hacia las líneas de envasado dentro de una fabrica de detergente, utilizando las plataformas WinCC y STEP 7 con el PLC S7-400 de Siemens, a través de una red PROFIBUS D,” 2007.
- [9] Rodríguez R. F., et al. Análisis, diseño e implementación de un invernadero automatizado para la producción de fresa en Tehuacán. *Rev. Desarrollo Tecnológico*. Vol.1 No.3, pp 8-17. 2017
- [10] Méndez C. N. Invernaderos automatizados para el desarrollo de la agricultura familiar en el Marco de la Seguridad Alimentaria. *Rev. Vol. 6. N° 6*. 2014