

PROTOTIPO DE DOSIFICADOR DE RIEGO AUTOMATIZADO CON SISTEMA DE CONTROL Y MEDICIÓN EN INVERNADEROS DE PEQUEÑA PRODUCCIÓN

Emilia Itzel Soto Morales¹; Cristofer Alexis Muñoz Flores¹; Edith Alejandra Gamiño Ramírez²; Israel Enrique Herrera Díaz^{1*}

¹Universidad de Guanajuato, CIS, División de Ciencias de la Vida, DIA, Irapuato Gto., C.P. 36824. México.

eherrera@ugto.mx – 55-2338-3808 (*Autor de correspondencia)

²Universidad de Guanajuato, CCS, División de Ciencias de la Salud e Ingenierías, DEC, Celaya Gto., C.P. 38140. México.

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo principal el desarrollar un prototipo de dosificador de riego automatizado con sistema de control en tiempo real accesible para invernaderos de pequeña producción ubicados en el Estado de Guanajuato; cuya meta es aumentar la producción, hacer un uso óptimo del sistema de riego presurizado y manejo eficiente del agua. Para ello se diseñó y construyó un prototipo de sistema de riego de invernadero con la inclusión de sensores de temperatura, humedad relativa ambiental, caudalímetros, electroválvulas solenoide y sensores de humedad de suelo, estos valores son comparados con un modelo numérico para corroborar las magnitudes obtenidas y valorar la entrega de caudal y tiempo de riego en cada sección del invernadero del laboratorio. Se destaca el desarrollo de una interfaz gráfica en LabVIEW para el control y operación de sensores y del sistema completo de riego, siendo este bastante intuitivo y de fácil manejo para un agricultor.

Los resultados obtenidos del trabajo arrojan diferencias entre lo medido y modelado de las variables hidrodinámicas en un rango del 15 al 18%, donde se concluye en una mejora en el desarrollo del código en Arduino para su optimización en tiempo de respuesta y migración a plataformas móviles con envío-recepción de datos por medio de protocolos bluetooth o radio frecuencia.

Palabras claves: Medición, Control, Dosificador-Riego.

Introducción

Los invernaderos inteligentes son estructuras diseñadas para proporcionar un ambiente controlado para el cultivo de plantas (Díaz *et. al.*, 2019). Estos invernaderos utilizan tecnología avanzada para monitorear y controlar factores como la temperatura, la humedad, la luz y la composición del aire.

Estos invernaderos suelen estar equipados con sensores y sistemas de automatización que permiten a los agricultores supervisar y controlar el ambiente de cultivo de manera remota (Xia *et. al.*, 2020). Por ejemplo, los sensores pueden medir la temperatura y la humedad en tiempo real y ajustar automáticamente los sistemas de calefacción, ventilación y riego para mantener un ambiente óptimo para el crecimiento de las plantas (García *et. al.*, 2020).

La principal diferencia entre un invernadero tradicional y uno inteligente radica en el grado de automatización y control que se puede lograr mediante el uso de tecnología avanzada (Wang *et. al.*, 2018).

En un invernadero tradicional, los agricultores dependen principalmente de su experiencia y conocimientos para regular las condiciones ambientales, como la temperatura, la humedad y la iluminación. Esto puede implicar ajustes manuales en la apertura y cierre de ventanas, el riego manual de las plantas y la supervisión constante de las condiciones dentro del invernadero (Li, *et. al.*, 2018) (Li *et. al.*, 2020).

Por otro lado, un invernadero inteligente incorpora tecnología para automatizar y optimizar estos procesos. Los sensores monitorean continuamente las condiciones ambientales, recopilando datos precisos sobre la temperatura, la humedad, la calidad del suelo, entre otros. Estos datos son utilizados por sistemas de control automatizados para ajustar y mantener los parámetros ideales para el crecimiento de las plantas.

Algunas de las diferencias específicas entre un invernadero tradicional y uno inteligente son (Liu *et. al.*, 2019):

1. Control preciso de las condiciones: En un invernadero tradicional, los agricultores deben realizar ajustes manuales basados en su experiencia y observación. En cambio, un invernadero inteligente utiliza sensores y sistemas automatizados para monitorear y ajustar las condiciones ambientales de manera precisa y constante.
2. Optimización de recursos: Los invernaderos inteligentes están diseñados para maximizar la eficiencia en el uso de recursos como agua, energía y nutrientes. Los sistemas de riego y fertilización pueden ajustarse según las necesidades específicas de las plantas, evitando desperdicios y optimizando el crecimiento.

3. Programación y automatización: Los invernaderos inteligentes pueden programarse para imitar ciclos naturales de luz y temperatura, simular estaciones del año y adaptarse a diferentes etapas de crecimiento de las plantas. Además, muchas tareas pueden automatizarse, como la regulación de la iluminación, la ventilación y el riego, lo que reduce la intervención manual requerida.

4. Monitoreo y control remoto: Los invernaderos inteligentes permiten a los agricultores monitorear y controlar las condiciones del invernadero de forma remota. Esto significa que pueden recibir notificaciones en sus dispositivos móviles sobre cualquier cambio en las condiciones, así como ajustar los parámetros desde cualquier lugar con conexión a Internet.

Por lo tanto, un invernadero inteligente utiliza tecnología avanzada, sensores y sistemas automatizados para brindar un control preciso y optimizado de las condiciones de crecimiento de las plantas (Li *et. al.*, 2020). Esto permite una mayor eficiencia, un uso más racional de los recursos y una optimización de los procesos agrícolas, en comparación con un invernadero tradicional que depende en gran medida de la experiencia y la intervención manual del agricultor (Martínez, *et. al.*, 2019) (Rallo *et. al.*, 2019).

El presente trabajo de investigación presenta desarrollo de medición y control para optimizar no solo las líneas de distribución de agua para el riego al buscar hacer más efectivo el uso del agua, sino también el monitoreo de variables ambientales (humedad del aire, temperatura, etc.) así como de un monitoreo de las condiciones del invernadero para la toma de decisiones.

Cabe mencionar que el desarrollo del control y monitoreo a bajo costo, permite que pequeños productores de invernaderos tanto de cultivos como plantas ornamentales tenga al alcance un sistema que les ayude a controlar los tiempos de riego.

Por otro lado, el desarrollo de esta propuesta de control e instrumentación permitirá que futuros proyectos e investigaciones tengan una base confiable que puedan analizar, incrementando su baraja de opciones y decidiendo si les es útil o no sin tener que realizar una investigación por ellos mismos para averiguarlo. Por último, una vez alcanzado el objetivo general de esta investigación, será un aporte benéfico no solo para el rubro económico e hidráulico, sino que significará un avance para aquellos productores que necesiten controlar y monitorear sus producciones.

Materiales y Métodos

Ecuaciones gobernantes

Para el análisis de flujo a presión en tuberías, se emplean las ecuaciones de energía, asociadas con la de continuidad y las formulaciones de pérdidas por fricción y accesorios

(figura 1). Las variables involucradas en problemas de tuberías simples son las siguientes:

VARIABLES RELACIONADAS CON LA TUBERÍA EN SÍ: Diámetro de la tubería (d), longitud de la tubería (l) y rugosidad absoluta de la tubería (k_s).

VARIABLES RELACIONADAS CON EL FLUIDO: Densidad del fluido (ρ) y viscosidad dinámica del fluido (μ).

VARIABLES RELACIONADAS CON EL ESQUEMA DEL SISTEMA: Coeficientes de pérdidas menores (h_m) en todos los accesorios necesarios, incluyendo válvulas, así como las pérdidas por fricción (h_f) (Potter *et al.*, 2002).

VARIABLES RELACIONADAS CON LA ENERGÍA IMPULSORA DEL FLUIDO: Cabezal entre el embalse de entrada y la salida (H) o potencia de la bomba (P).

Otras variables: Aceleración de la gravedad (g) y caudal o velocidad media en la tubería (Q o v).

Mediante el uso de las ecuaciones de Bernoulli (ec.1), Colebrook-White (ec. 2) conjuntamente con la ecuación de Darcy-Weisbach (ec. 3) se tiene:

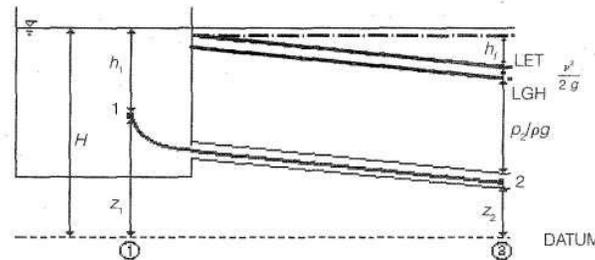


Figura 1. Esquema representativo de una tubería. El punto 1 se localiza bastante dentro del tanque de tal manera que su velocidad sea aproximadamente 0. El punto 2 se localiza aguas abajo en el flujo dentro de la tubería (Saldarriaga, 1998)

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = H_p + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + H_f \quad (1)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{e}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (2)$$

$$H_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (3)$$

Una ecuación (4) en términos de velocidad que combina las ecuaciones (1 a 3) y que puede ser aplicable para sistemas de tuberías de riego en invernaderos:

$$V = \frac{-2\sqrt{2gDH_f}}{\sqrt{L}} \log_{10} \left(\frac{e}{3.7D} + \frac{2.51v\sqrt{L}}{D\sqrt{2gDH_f}} \right) \quad (4)$$

Esta última ecuación es la base para la solución del sistema de tuberías simple que forma el invernadero.

Modelo físico de Invernadero

La construcción del sistema de tuberías para riego en un invernadero fue un prototipo en el laboratorio de mecánica aplicada de la División de Ciencias de la Vida del Campus Irapuato-Salamanca; en él, se colocaron seis bajadas a mesas de suministro de riego con dosificadores como se muestra en la figura (2).



Figura 2. Sistema de riego a base de seis bajadas con un dosificador.

Cada bajada tiene incorporada una electroválvula solenoide de DC-12V, un caudalímetro y un sensor HL69 de humedad de suelo, esta distribución se observa en la figura (3).



Figura 3. Detalle de instalación de dosificador en mesa de riego.

Así mismo, se tiene en cada esquina del sistema de circulación sensores DHT que permiten obtener los parámetros de temperatura y humedad ambiental, como se aprecia en la figura (4).



Figura 4. Ubicación del sensor DHT en una esquina del sistema de riego.

El modelo físico tiene una alimentación con un tanque de 90 litros y una bomba de 0.5 HP de potencia, así mismo, cuenta con válvulas de bola para seccionamiento de tubería.

En un extremo de la instalación, se tiene las bajadas de cables para el control de la instalación, en la figura (5), se muestra la conexión del sistema a una computadora.

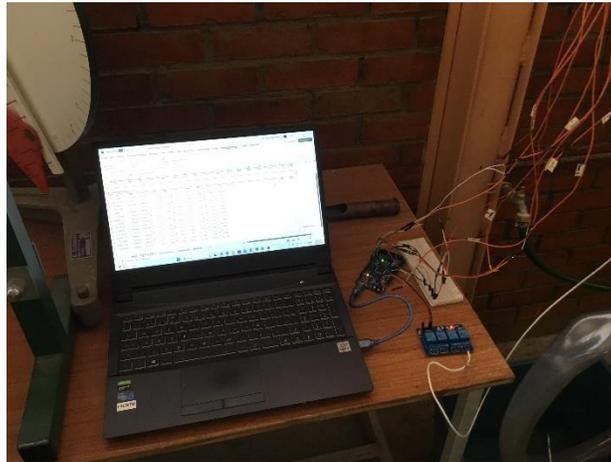


Figura 5. Conexión de cables a Arduino y monitoreo de valores y control de sensores.

El modelo físico de instalaciones de sistema de riego, se modela numéricamente para obtener previamente el diseño y características de diámetros, presiones, caudales y velocidades en todas las tuberías.

Modelo numérico

El modelo numérico utilizado para calcular las variables hidrodinámicas del fluido en la tubería fue el PIPE FLOW Expert, el software determina el caudal, velocidades y presiones en los nodos o puntos de interés. En la figura (6) se muestra el diseño del sistema de tuberías del invernadero y se puede apreciar el color de las tuberías en función del caudal que transita según la barra de colores.

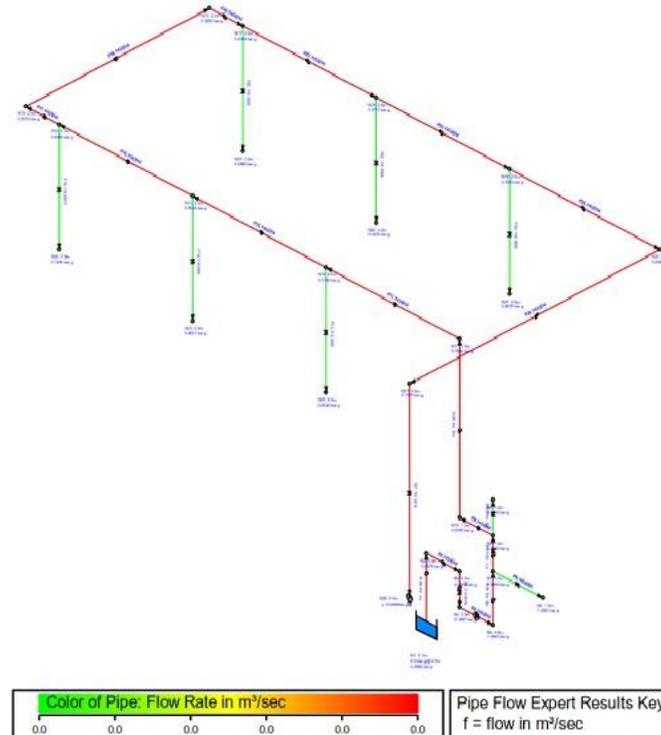


Figura 6. Sistema de tuberías del prototipo de dosificadores y resultados de flujo en el sistema.

Los valores iniciales de la modelación numérica en el software PIPE FLOW se muestran a continuación:

<p>Pump Data</p> <p>Name: Pump</p> <p>Catalog: 27019</p> <p>Manufacturer: Pretul</p> <p>Type: Centrífuga</p> <p>Size:</p> <p>Stages: 0</p> <p>Speed: 3450 Rpm</p> <p>Impeller Diam: 75.000 mm</p> <p>Min Speed: Not Specified</p> <p>Max Speed: Not Specified</p> <p>Min Diam: Not Specified</p> <p>Max Diam: Not Specified</p>	<p>Fluid Data</p> <p>Fluid: Water</p> <p>Density: 998.000 kg/m³</p> <p>Viscosity: 1.0020 cP</p> <p>Temperature: 20.000 °C</p> <p>Vapor Pressure: 0.0240 bar.a</p> <p>Atm Pressure: 1.0132 bar.a</p> <p>Design Curve</p> <p>Shutoff Head: 20.000 m.hd Fluid</p> <p>Shutoff dP: 1.9574 bar.g</p> <p>BEP: 0.0% @ 0.0000 m³/sec</p> <p>Power at BEP:</p>
--	---

Así mismo en el cuadro (1), se muestran las tuberías empleadas que son de PVC Hidráulico Ced. 40, con diámetros de 1 pulgadas (25 mm) y 0.5 pulgadas (15 mm), donde

al final se observa los valores del flujo, velocidad y presiones de entrada y salida en cada tubería respectivamente.

Cuadro 1. Datos de las tuberías y resultados del software PIPE FLOW.

Num. Tubo	Nombre tubo	Material	Diámetro interno	Flujo masico	Flujo vol.	Velocidad	Presión entrada	Presión salida
	Notas		mm	kg/sec	m ³ /sec	m/sec	bar.g	bar.g
1	P1	PVC (ANSI) Ced. 40	26.645	1.414	0.001	2.540	0.069	-0.058
2	P2	PVC (ANSI) Ced. 40	26.645	1.414	0.001	2.540	-0.058	-0.087
3	P3	PVC (ANSI) Ced. 40	26.645	1.414	0.001	2.540	-0.087	-0.350
4	P4	PVC (ANSI) Ced. 40	26.645	1.414	0.001	2.540	-0.350	1.325
5	P5	PVC (ANSI) Ced. 40	26.645	1.414	0.001	2.540	1.325	1.286
6	P6	PVC (ANSI) Ced. 40	26.645	0.000	0.000	0.000	1.286	1.286
7	P7	PVC (ANSI) Ced. 40	26.645	1.414	0.001	2.540	1.286	0.998
8	P8	PVC (ANSI) Ced. 40	26.645	0.000	0.000	0.000	0.998	0.980
9	P9	PVC (ANSI) Ced. 40	26.645	1.414	0.001	2.540	0.998	0.971
10	P10	PVC (ANSI) Ced. 40	26.645	1.414	0.001	2.540	0.971	0.783
11	P11	PVC (ANSI) Ced. 40	26.645	1.414	0.001	2.540	0.783	0.719
12	P12	PVC (ANSI) Ced. 40	15.799	0.000	0.000	0.000	0.719	0.875
13	P13	PVC (ANSI) Ced. 40	26.645	1.414	0.001	2.540	0.719	0.654
14	P14	PVC (ANSI) Ced. 40	15.799	0.000	0.000	0.000	0.654	0.809
15	P15	PVC (ANSI) Ced. 40	26.645	1.414	0.001	2.540	0.654	0.590
16	P16	PVC (ANSI) Ced. 40	15.799	0.000	0.000	0.000	0.590	0.744
17	P17	PVC (ANSI) Ced. 40	26.645	1.414	0.001	2.540	0.590	0.558
18	P18	PVC (ANSI) Ced. 40	26.645	1.414	0.001	2.540	0.558	0.461
19	P19	PVC (ANSI) Ced. 40	26.645	1.414	0.001	2.540	0.461	0.436
20	P20	PVC (ANSI) Ced. 40	15.799	0.000	0.000	0.000	0.436	0.589
21	P21	PVC (ANSI) Ced. 40	26.645	1.414	0.001	2.540	0.436	0.371
22	P22	PVC (ANSI) Ced. 40	15.799	0.000	0.000	0.000	0.371	0.523
23	P23	PVC (ANSI) Ced. 40	26.645	1.414	0.001	2.540	0.371	0.307

Num. Tubo	Nombre tubo	Material	Diámetro interno	Flujo masico	Flujo vol.	Velocidad	Presión entrada	Presión salida
	Notas		mm	kg/sec	m ³ /sec	m/sec	bar.g	bar.g
24	P24	PVC (ANSI) Ced. 40	15.799	0.000	0.000	0.000	0.307	0.458
25	P25	PVC (ANSI) Ced. 40	26.645	1.414	0.001	2.540	0.307	0.235
26	P26	PVC (ANSI) Ced. 40	26.645	1.414	0.001	2.540	0.235	0.138
27	P27	PVC (ANSI) Ced. 40	26.645	1.414	0.001	2.540	0.138	0.000

Los resultados del modelo numérico se compararon con los medidos en el modelo físico por medio de los sensores medidores de flujo.

Resultados y Discusión

Como resultados de la operación, control e instrumentación del dosificador de riego en invernadero, se diseñó una interfaz gráfica en LabVIEW, la cual permite la integración del código Arduino y el control virtual de los sensores del invernadero que activan la operación y puesta en marcha del sistema de riego bajo las siguientes condiciones iniciales:

Cuadro 2. Condiciones iniciales y de operación en el prototipo de invernadero.

Variable	Valor inicial	Valor final	Valor de operación
Temperatura	24 °C	18 °C	20 °C
Humedad relativa	70 %	80 %	75 %
Humedad del suelo	35 %	55 %	42 %

En la interfaz de usuario (figura 7), se muestra la condición del sistema apagado antes de iniciar operaciones.

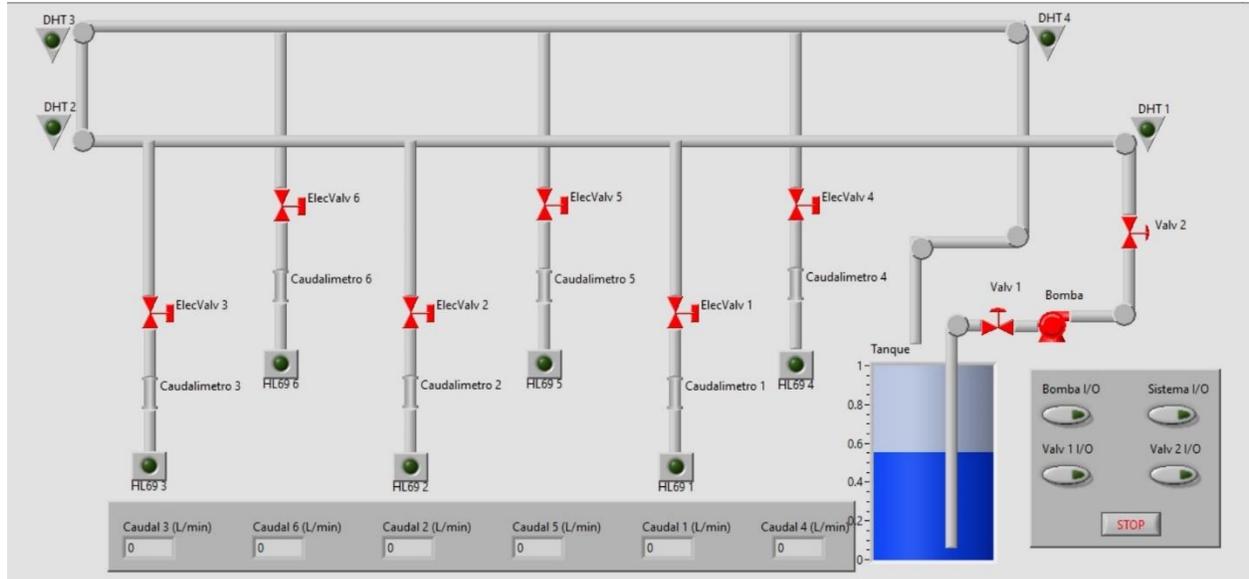


Figura 7. Interface de control desarrollado en LabVIEW (sistema apagado).

Posteriormente, se enciende el sistema (figura 8), obteniendo valores iniciales de temperatura, humedad relativa del ambiente y humedad del suelo para comparar con los valores que dan inicio al sistema de riego abriendo las electroválvulas y midiendo el caudal suministrado a cada sección o mesa dependiendo del cultivo y condiciones de humedad del suelo.

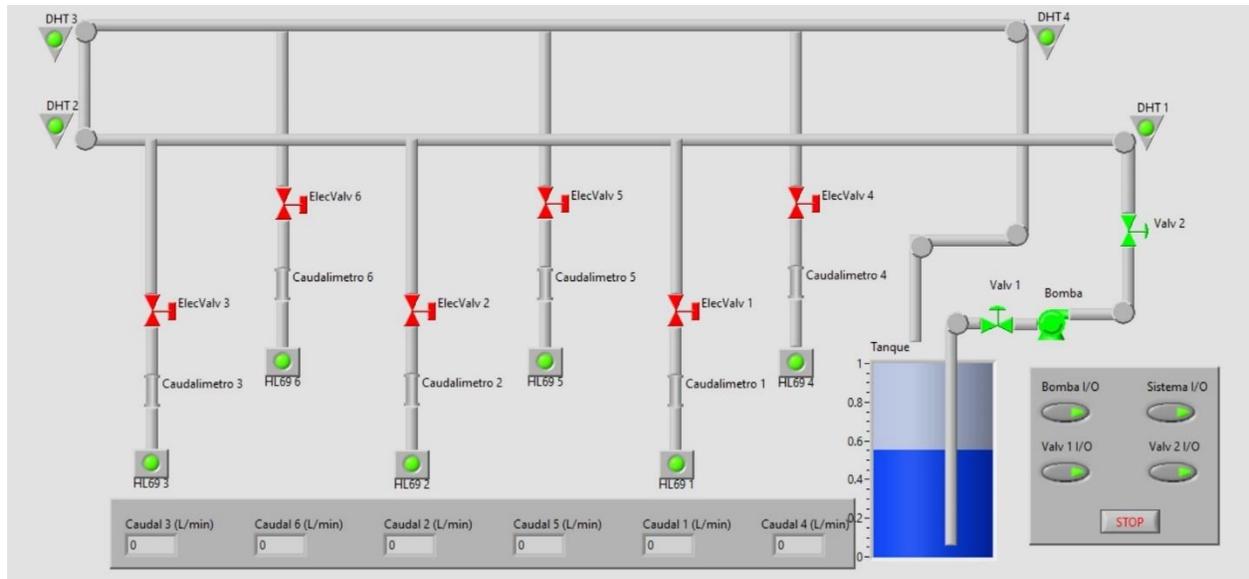


Figura 8. Inicio del sistema y encendido del prototipo de dosificador.

Esta humedad del suelo al indicar un valor por debajo del valor mínimo de operación permite activar la apertura de la electroválvula para regar la sección y cuantificar el caudal que es suministrado, así como el tiempo de rocío (figura 9); una vez alcanzado el valor

máximo de paro de sistema en humedad del suelo, se cierra la electroválvula, dando fin al suministro de agua en esa sección según necesidades del cultivo.

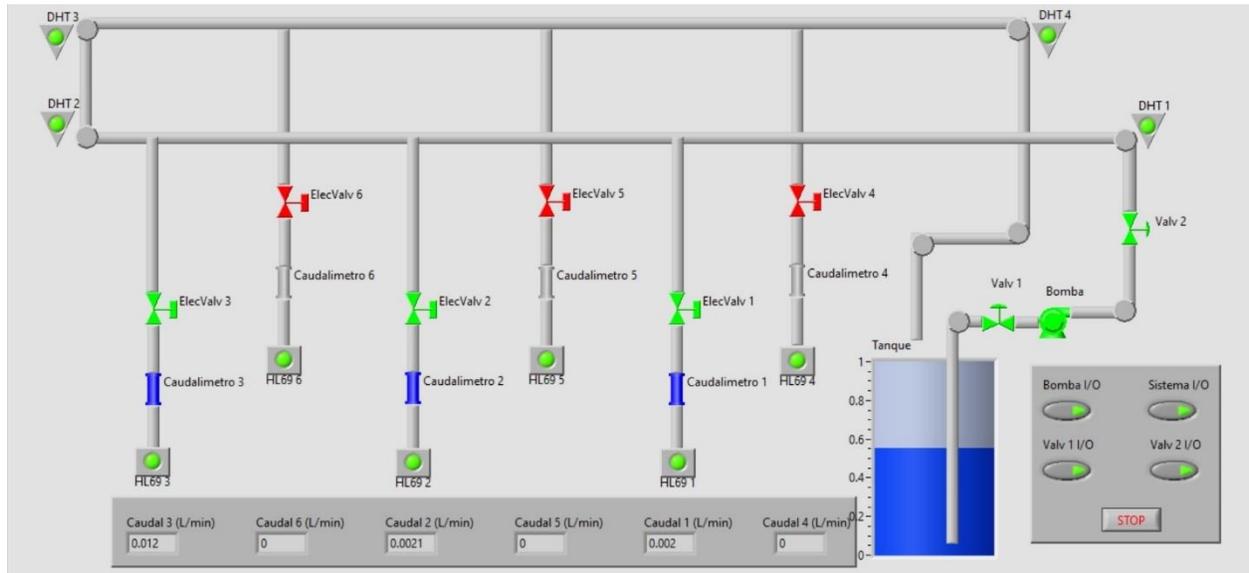


Figura 9. Inicio de dosificación en las secciones 1 a 3 del invernadero.

Los valores de los caudales y velocidades en tuberías para las secciones 1 a 3 se muestran en el cuadro (3).

Cuadro 3. Valores de caudal suministrado a secciones 1 a 3.

Tiempo	Caudal (1) (L/min)	Velocidad (1) (m/s)	Caudal (2) (L/min)	Velocidad (2) (m/s)	Caudal (3) (L/min)	Velocidad (3) (m/s)
07:00:00 a. m.	0.13	0.02	0.13	0.02	2.53	0.33
07:00:10 a. m.	0.80	0.11	0.67	0.09	2.00	0.26
07:00:21 a. m.	0.80	0.11	0.27	0.04	2.93	0.39
07:00:31 a. m.	0.53	0.07	0.40	0.05	2.80	0.37
07:00:42 a. m.	0.93	0.12	1.07	0.14	6.53	0.86
07:00:52 a. m.	0.27	0.04	0.40	0.05	3.33	0.44
07:01:03 a. m.	0.40	0.05	0.27	0.04	2.80	0.37
07:01:24 a. m.	0.93	0.12	0.67	0.09	7.87	1.04
07:01:34 a. m.	0.67	0.09	0.13	0.02	3.47	0.46
07:01:45 a. m.	0.40	0.05	0.27	0.04	5.73	0.75
07:01:55 a. m.	0.40	0.05	0.40	0.05	6.13	0.81
07:02:06 a. m.	1.20	0.16	1.07	0.14	8.13	1.07
07:02:27 a. m.	0.40	0.05	0.40	0.05	3.20	0.42
07:02:37 a. m.	0.67	0.09	1.07	0.14	3.20	0.42
07:02:47 a. m.	0.13	0.02	0.40	0.05	2.93	0.39
07:02:58 a. m.	2.00	0.26	1.20	0.16	8.80	1.16
07:03:08 a. m.	1.07	0.14	1.20	0.16	8.53	1.12
07:03:19 a. m.	0.27	0.04	0.13	0.02	2.40	0.32



Tiempo	Caudal (1) (L/min)	Velocidad (1) (m/s)	Caudal (2) (L/min)	Velocidad (2) (m/s)	Caudal (3) (L/min)	Velocidad (3) (m/s)
07:03:50 a. m.	0.27	0.04	0.67	0.09	3.20	0.42
07:04:01 a. m.	0.80	0.11	0.67	0.09	4.13	0.54
07:04:11 a. m.	4.67	0.61	3.73	0.49	26.93	3.54
07:04:32 a. m.	0.00	0.00	0.13	0.02	0.27	0.04
07:04:43 a. m.	0.80	0.11	0.80	0.11	5.47	0.72
07:05:14 a. m.	4.40	0.58	4.13	0.54	24.53	3.23
07:05:24 a. m.	2.67	0.35	2.00	0.26	10.93	1.44
07:05:35 a. m.	3.60	0.47	2.93	0.39	33.73	4.44
07:05:45 a. m.	1.07	0.14	0.93	0.12	6.80	0.89
07:06:06 a. m.	0.67	0.09	0.67	0.09	3.47	0.46
07:06:38 a. m.	0.53	0.07	0.53	0.07	3.33	0.44
07:06:48 a. m.	1.87	0.25	1.60	0.21	15.20	2.00
07:07:09 a. m.	0.53	0.07	0.40	0.05	6.00	0.79
07:07:30 a. m.	1.20	0.16	1.07	0.14	7.60	1.00
07:07:40 a. m.	1.07	0.14	0.67	0.09	12.53	1.65
07:08:01 a. m.	0.53	0.07	0.40	0.05	2.67	0.35
07:08:12 a. m.	2.27	0.30	1.47	0.19	14.00	1.84
07:08:22 a. m.	4.00	0.53	3.47	0.46	28.67	3.77
07:08:43 a. m.	11.87	1.56	11.33	1.49	63.87	8.40
07:08:54 a. m.	5.20	0.68	4.27	0.56	34.27	4.51
07:09:04 a. m.	0.80	0.11	0.67	0.09	8.00	1.05
07:09:25 a. m.	5.20	0.68	5.47	0.72	37.20	4.89
07:09:36 a. m.	0.40	0.05	0.27	0.04	2.40	0.32
07:09:46 a. m.	0.93	0.12	0.80	0.11	4.53	0.60
07:09:57 a. m.	4.00	0.53	2.53	0.33	17.33	2.28
07:10:28 a. m.	3.20	0.42	2.13	0.28	12.67	1.67
07:10:38 a. m.	2.00	0.26	1.73	0.23	10.80	1.42
07:10:49 a. m.	1.07	0.14	1.07	0.14	10.40	1.37
07:10:59 a. m.	2.93	0.39	2.80	0.37	15.07	1.98
07:11:10 a. m.	3.47	0.46	3.87	0.51	25.07	3.30
07:11:20 a. m.	2.00	0.26	1.47	0.19	12.80	1.68
07:11:31 a. m.	2.00	0.26	1.33	0.18	15.60	2.05
07:11:41 a. m.	0.93	0.12	0.93	0.12	6.13	0.81
07:11:52 a. m.	1.73	0.23	1.33	0.18	10.67	1.40
07:12:02 a. m.	0.80	0.11	0.67	0.09	6.13	0.81
07:12:13 a. m.	0.80	0.11	0.67	0.09	7.60	1.00
07:12:33 a. m.	0.13	0.02	0.40	0.05	3.73	0.49
07:12:44 a. m.	0.93	0.12	0.53	0.07	9.20	1.21
07:12:54 a. m.	1.20	0.16	1.33	0.18	14.80	1.95
07:13:05 a. m.	0.40	0.05	0.40	0.05	6.80	0.89

Tiempo	Caudal (1) (L/min)	Velocidad (1) (m/s)	Caudal (2) (L/min)	Velocidad (2) (m/s)	Caudal (3) (L/min)	Velocidad (3) (m/s)
07:13:15 a. m.	6.40	0.84	5.20	0.68	56.53	7.44
07:13:26 a. m.	2.80	0.37	2.13	0.28	19.20	2.53
07:13:36 a. m.	0.93	0.12	1.07	0.14	6.53	0.86
07:13:47 a. m.	4.00	0.53	1.73	0.23	10.53	1.39
07:13:57 a. m.	2.93	0.39	2.27	0.30	22.53	2.96
07:14:08 a. m.	1.73	0.23	0.40	0.05	3.07	0.40
07:14:18 a. m.	2.40	0.32	0.27	0.04	8.80	1.16
07:14:29 a. m.	2.67	0.35	0.67	0.09	10.27	1.35
07:15:00 a. m.	1.47	0.19	1.47	0.19	14.27	1.88

Cabe mencionar que el tiempo de respuesta se ve reducido en 100 ms aproximadamente, actualmente se están haciendo ajustes para reducir el tiempo de respuesta del sistema y hacer óptimo el código (figura 10).

```

3Humedad_2TempHum_3cauda_3electro_excel.ino
~
33 void setup() {
34
35   Serial.begin(9600);
36
37   dht0.begin(); // Inicializar el sensor DHT
38   dht1.begin();
39
40   attachInterrupt(0, count1_ISR, RISING); //pin2 (Atmega328)
41   attachInterrupt(1, count2_ISR, RISING); //pin3 (Atmega328)
42   attachInterrupt(5, count3_ISR, RISING); //pin18 (Atmega328)
43
44   pinMode(valvepin1, OUTPUT); //configurar como salida
45   pinMode(valvepin2, OUTPUT);
46   pinMode(valvepin3, OUTPUT);
47
48   digitalWrite(valvepin1, LOW); // inicial, es cerrada
49   digitalWrite(valvepin2, LOW);
50   digitalWrite(valvepin3, LOW);
51 }
52
53 void loop() {
54   static unsigned long lastSecond;
55   if (micros() - lastSecond >= 2000L)
56   {
57     lastSecond += 2000;
58     getCount();
59     float Caudal_1 = Obtener_caudal(copyCount1);
60     Serial.print(Caudal_1);

```

Figura 10. Segmento del código Arduino para el control de sensores y medidores

Los valores de velocidad y caudal obtenidos de la medición se grafican con respecto al tiempo y en función de las necesidades de cada cultivo, para este caso, se emplean dos necesidades de riego de 0.0014 L/min (caudalímetros 1 y 2) y un tercero de 0.015 L/min (caudalímetro 3), obteniendo tal como se muestra en la figura (11).

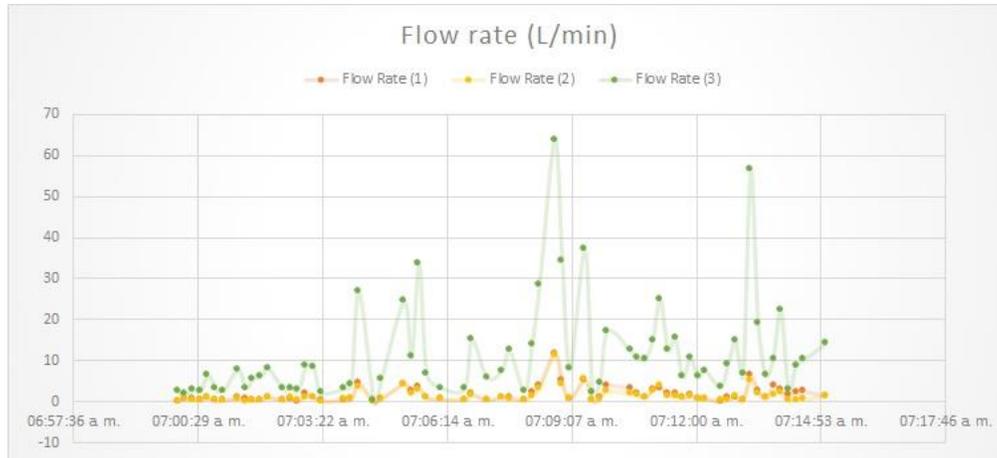


Figura 11. Caudales en dosificadores 1 a 3.

Aplicando la ecuación de continuidad en tuberías, se obtiene la velocidad del flujo en la tubería tal como se muestra en la figura (12).

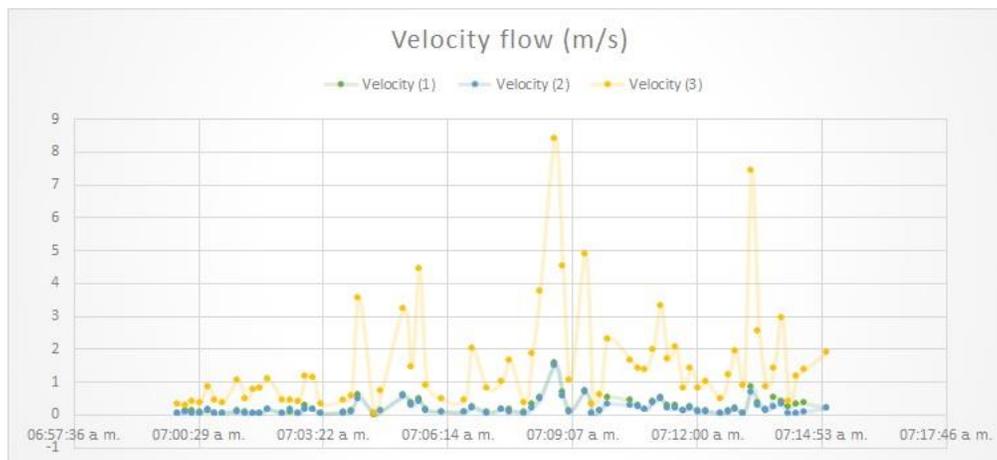


Figura 12. Velocidades de salida en dosificadores 1 a 3.

Conclusiones

El desarrollo y construcción del prototipo de instrumentación y control, ha permitido obtener, operar y controlar diferentes zonas de riego (bajadas o tuberías) que tengan diferentes necesidades de riego, tomando en consideración los parámetros ambientales como la humedad relativa y la temperatura, así como el empleo de valores mínimos de humedad del suelo o sustrato, la necesidad de proporcionar un cierto caudal por tiempo determinado de riego.

La comparación de los resultados de caudal obtenidos por la modelación numérica y los medidos por el sistema de caudalímetros tiene una diferencia entre el 20% y 33% en magnitud, donde se estima que esta diferencia es ocasionada por la curva de eficiencia de la bomba y posibles diferencias en condiciones de construcción; sin embargo, los

resultados de operación con el empleo de la interface de LabVIEW permite tener control del sistema en su totalidad y proporcionar un caudal necesario a cada sección en función de los requerimientos del cultivo, como son lamina de riego, tiempo de riego y control de humedad del sustrato.

La relevancia del diseño y construcción de este prototipo permite tener un bajo costo de instalación en instrumentación y control, donde el desarrollo de la interfaz gráfica y el código Arduino se pueden proporcionar al ejidatario para su uso, o con los ajustes necesarios en escalamiento de número de sensores para satisfacer las necesidades de cada cultivo dentro de un invernadero.

Referencias Bibliográficas

- Díaz-Pérez, M., & Gómez-Montoya, D. (2019). A review of IoT-based monitoring and control systems for smart greenhouses. *Computers and Electronics in Agriculture*, 165, 104955.
- García-Medina, S., Álvarez, S., Alesanco, Á., & Montero, F. (2020). An IoT Architecture for Intelligent Greenhouses with Context-Aware Decision Support. *Sensors*, 20(19), 5479.
- Li, J., Jin, X., Zhu, G., & Chen, Y. (2018). An IoT-based intelligent control architecture for greenhouse environment. *Future Generation Computer Systems*, 81, 430-441.
- Li, X., Jia, Z., & Jiang, S. (2020). Research on greenhouse environmental control system based on internet of things. In *2020 5th International Conference on Energy, Environment and Sustainable Development (ICEESD)* (pp. 335-339). IEEE.
- Liu, X., Huang, H., & Chen, G. (2019). Intelligent greenhouse control system based on wireless sensor network and Internet of Things. *Journal of Physics: Conference Series*, 1396(3), 032063.
- Li, Y., Cao, Q., & Zhang, Q. (2020). Greenhouse environment monitoring and control system based on the internet of things. In *2020 IEEE 4th Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC)* (pp. 911-915). IEEE.
- Martínez, R., & Molina, A. (2019). IoT Architecture for Greenhouse Environment Monitoring and Control. *Sensors*, 19(13), 2984.
- Potter, M. C. (2002). *Mecánica de Fluidos* (3a. ed.). México: Thomson.
- Rallo, P., & Camacho, E. (2019). Smart Greenhouse Agriculture: A Comprehensive Review. *Journal of Clean Energy Technologies*, 7(5), 387-391.

- Saldarriaga V., J. G. (2004). Hidráulica de Tuberías (1a. Ed., 1a. Reimp.). Bogota: McGraw-Hill Interamericana.
- Wang, Z., Wu, J., & Jia, H. (2018). Design and implementation of intelligent control system for greenhouse environment based on internet of things. In 2018 4th International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR) (pp. 512-516). IEEE.
- Xiao, H., Li, J., & Zhang, Y. (2020). A smart greenhouse control system based on the internet of things and wireless sensor networks. IEEE Access, 8, 42042-42051.