

## AUTOMATIZACIÓN DE UN CULTIVO HIDROPÓNICO

### AUTOMATION OF A HYDROPONIC GROWING

**David Mateus Contreras, Cristian Camilo Montenegro Gutiérrez  
LinaMaria Romero Moreno y Baldomero Méndez Pallares**

**Universidad Piloto de Colombia**, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Mecatrónica.  
Cl. 45 #8-14, Bogotá D.C, Colombia.

David-mateus@upc.edu.co; cristian-montenegro1@upc.edu.co;  
linamaria-romero@upc.edu.co; baldomero-mendez@upc.edu.co

**Resumen:** La hidroponía es una técnica de cultivo que debe desarrollarse como una medida para evitar el desgaste del suelo agrícola, por otro lado, dicha técnica permite que familias colombianas puedan cultivar algunas de las hortalizas que se consumen a diario. Por eso es fundamental diseñar un prototipo desde el campo de estudio de la automatización en mecatrónica de un cultivo hidropónico inteligente, capaz de auto sustentarse. El proceso de investigación y el desarrollo del proyecto se puede observar en el siguiente artículo.

**Palabras clave:** Hidroponía, Cultivos, Automatización, Control, Variables Ambientales.

**Abstract:** Hydroponics is a cultivation technique that should be developed as a measure to avoid the wear of agricultural soil, on the other hand, this technique allows Colombian families to grow some of the vegetables that are consumed daily. That is why it is essential to design a prototype from the field of study of automation in mechatronics of an intelligent hydroponic crop, capable of self-sustaining. The research process and the development of the project can be seen in the following article.

**Keywords:** Hydroponics, Crops, Automation, Control, Environmental Variables.

### 1. INTRODUCCIÓN

Por muchos años la agricultura ha sido una de las actividades económicas más importantes en Colombia, por lo que años atrás, no era común pensar en un cultivo sin que dependiera del suelo, hasta que en 1992 se implementó una técnica llamada hidroponía, la cual empleaba el agua como sustrato para reemplazar la tierra. Por lo cual el objetivo de este proyecto es diseñar un sistema automatizado para cultivos hidropónicos que se pueda implementar en los hogares de cualquier persona. Los antecedentes mencionados más adelante permitirán la implementación de diversas tecnologías con el fin de controlar la medición, el monitoreo y el control de las variables físicas del

sustrato nutritivo para sostener las condiciones idóneas del cultivo.

En el mercado actual existen dispositivos capaces de medir conductividad eléctrica, pH, tener alarmas, control a través de móviles, fertilización y monitoreo por medio de bluetooth para almacenar los datos obtenidos.

El objetivo de este artículo es mostrar los avances obtenidos durante el periodo de investigación y posible diseño de un prototipo de cultivos hidropónicos inteligentes, en donde encontrará los cálculos realizados y planos junto a los diseños en 3D realizados.

## 2. MARCO TEÓRICO

### Antecedentes

En el proyecto diseño y simulación de un invernadero automático para lechugas empleando energías renovables como suministro energético, de la universidad piloto de Colombia se hizo un invernadero con un cultivo de lechugas, en el proyecto se plantea utilizar energía renovables como solución al agotamiento de aquellos recursos de energía que más empleamos en la actualidad como lo son el petróleo y el carbón, consiste en dos paneles solares los cuales pueden generar 250 voltios cada uno, lo suficiente para regar 2.500 metros cuadrados de camas de fresas, se llegó a que la inversión para el proyecto es de entre 12 y 15 millones de pesos, pero se expone los beneficios de los paneles solares. Se habla de igual forma de los requisitos para el diseño dentro de los cuales se menciona la inclinación y el diámetro de los tubos de PVC (Contreras, 2018).



Figura (1.) Lechuga alojada en canastillas que descansan en la tubería.

Fuente: (Pilkey, Walter. *Peterson's Stress Concentration Factors.*)

Otro sistema son los cultivos aeropónicos. En el proyecto, diseño de un prototipo de un sistema de producción tipo aeropónico, de la universidad EAN, implementaron un prototipo de diseño de columnas de un sistema de producción agroindustrial tipo aeropónico, en el que no existe ningún tipo de sustrato, sino que las raíces de la planta crecen al vacío en un tubo de PVC y en completa oscuridad. Estas son alimentadas por medio de una solución nutritiva que es administrada por medio de aspersores (Hernández y Piñeros, 2013).

Colombia se ha caracterizado por ser un país exportador de flores y frutas, en donde la mayoría de son producidos en invernaderos. Estos generan un microclima ideal para el desarrollo y crecimiento de los cultivos, con el propósito de aumentar su rendimiento y mejorar la calidad del producto final.

Cuentan con sistemas que permitan el control de variables ambientales como temperatura, humedad, luminosidad y nivel de CO<sub>2</sub>. A nivel global existe una extensión estimada de 949000 hectáreas de cultivo bajo invernadero. La mayor porción está en Japón con 700000 ha, lo cual corresponde al 73% del área global. En Europa se encuentran 170000 ha, en donde España e Italia son los países con mayor fracción cubierta, con el 31% y 17% respectivamente. En Estados Unidos existe un área de 5000 ha (0.52%), y en Latinoamérica las mayores áreas se encuentran en México y Colombia con 15000 (1,58%) y 7000 ha (0,73%) respectivamente (S.D.I y comercio, 2014).

En el artículo “Prototipo de techo ecológico a través de hidroponía con materiales reciclados de productos plásticos elaborados con tereftalato de polietileno (PET)”, se realizó un cultivo hidropónico a través de materiales reciclables como botellas pet, en el artículo se presentó un sistema de riego el cual resulta como base para el diseño de nuestro propio sistema de riego (Hernández, 2021).

## 3. TIPO DE PLANTA Y CALCULOS

Lo primero en lo que se pensó para comenzar el diseño del prototipo fue decidir el tipo de planta que debería tener el prototipo, para esto tomamos en cuenta la tabla 1, que se presenta en el proyecto *Sistemas de telemetría para el monitoreo y registro de las variables ambientales de un cultivo hidropónico* (Acevedo, 2013)

DISTANCIA Y TIEMPO DE TRASPLANTE DE ESPECIES CRIADAS EN SEMILLEROS						
ESPECIE	CLIMA	DISTANCIA ENTRE SURCOS EN CM	DISTANCIA ENTRE PLANTAS EN CM	TIEMPO GERMINACIÓN DÍAS	TIEMPO TRASPLANTE DÍAS	TIEMPO COSECHA DÍAS
<b>TRASPLANTE (SEMILLEROS)</b>						
Acelga*	Frio	20	20	12	21	70
Apio*	Frio	20	20	20	33	90
Biócili	Frio	30	25	7	21	75
Colbolla	Frio	12	10	10	33	80
Cabollín	Frio	10	8	10	33	55
Chile peniento	Cálido	35	30	12	27	80
Espinaca	Frio	17	17	8	20	75
Lechuga*	Templado	17	17	5	21	50
Nabo blanco	Frio	10	8	15	17	75
Puerri	Frio	15	12	15	23	70
Ruano	Templado	10	10	10	37	80
Ranslacha	Templado	15	10	10	23	85
Repollo	Frio	30	25	7	33	90
Tomate	Cálido	35	30	6	20	45

Tabla 1: Fuente: Acevedo, L. Gonzales, M. (2013). *Sistemas de telemetría para el monitoreo y registro de las variables ambientales de un cultivo hidropónico*

Con respecto a la tabla anterior, de las plantas idóneas para un cultivo hidropónico, el proyecto se enfocará a la siembra de lechuga, pero también se pretende implementar diferentes tipos de plantas como las plantas ornamentarias y aromáticas.

### 3.1 Dimensiones

La técnica hidropónica NFT, aplicada a el cultivo de lechugas, se caracteriza por emplear tubos PVC de diámetro de 4 pulgadas, un diámetro de agujeros de  $1\frac{7}{8}$  pulgadas es decir  $4.7625 \times 10^{-2} \text{m}$ , con una distancia entre agujeros de 6 pulgadas  $= 0.1524 \text{m}$  y una altura de agua, o tirante de agua, de  $5 \text{mm} = 5 \times 10^{-3} \text{m}$  (INTAGRI, 2017). A partir de dichas especificaciones se definió que el prototipo constara de:

- **Tubería Principal:**  
Se manejará un tubo PVC de 4 pulgadas de diámetro, espacio suficiente para un adecuado crecimiento de las raíces, la longitud será de 1m y contará con 8 secciones en forma de escalera.
- **Orificios de la tubería:**  
El diámetro de cada uno de los hoyos es de 4.7625 centímetros, separados uno de otro 15 centímetros y con una altura de agua de  $5 \times 10^{-3} \text{m}$ , de esta manera cada sección contará con 4 plantas.
- **Recubrimiento:**  
El tubo principal de 4 pulgadas estará por dentro de una caja de madera, además de que dentro de esta se pondrá todo el circuito eléctrico.
- **Tubería el cual repartirá los nutrientes:**  
Es de 1 pulgada de diámetro y los nutrientes en una estimación recorrerá aproximadamente 3 metros formando así un camino cerrado en donde el agua sale del tanque para recorrer esta distancia y retornar nuevamente a este.
- **Tanque y Bomba:**

Se procedió a determinar si la tubería de PVC establecida anteriormente era la adecuada por medio del método usado por Walter en su libro Peterson's Stress Concentration Factors (Forero, 2011). En el que relaciona el diámetro del agujero para la canastilla (Donde va la lechuga) y el diámetro exterior del tubo PVC, así como de la relación entre el diámetro interior y el diámetro exterior del tubo PVC de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Diámetro canastilla lechuga } (dc)}{\text{Diámetro exterior } (D)} \leq 0.4$$

$$\frac{\text{Diámetro interior } (d_i)}{\text{Diámetro exterior } (D)} \leq 0.9$$

El tubo principal es de 4 pulgadas como es establecido en las normas NFT, y teniendo en cuenta el tubo de 4 pulgadas que ofrece PAVCO en su línea de Tubo sistemas PVC Presión PAVCO diseñadas para transportar agua para consumo humano, se establece que:

$$\begin{aligned} Dn_{\text{Tubo RDE 21PVC}} &= 4 \text{ in} \\ Dext_{\text{Tubo RDE 21PVC}} &= 0.1143 \text{ m} \\ Dint_{\text{Tubo RDE 21PVC}} &= 0.10342 \text{ m} \end{aligned}$$

Donde (Dn) es el diámetro nominal, (Dext) diámetro exterior y (Dint) el diámetro interior. Se evalúa las condiciones anteriores y se tiene:

$$\frac{0.047625 \text{ m}}{0.1143 \text{ m}} \approx 0.42$$

$$\frac{0.10342 \text{ m}}{0.1143 \text{ m}} \approx 0.9$$

### 3.2 Caudal

Para calcular el caudal de la tubería, primero se debe calcular la capacidad del tanque que alimenta el sistema. Para calcular correctamente la capacidad del tanque, se tiene en cuenta el procedimiento que Gilda Carrasco y Juan Izquierdo explican en su manual técnico llamado La Empresa Hidropónica De Mediana Escala (Carrasco e Izquierdo, 1996), en donde se considera el volumen aproximado de solución consumida por planta y su capacidad aproximada del tanque; el cual para la lechuga es 0.3 litros/día y 9 litros/ $\text{m}^2$  respectivamente, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

Cuadro 1:  
Cálculo de la capacidad del estanque según la especie cultivada

Especie	Volumen aproximado de solución consumida (l planta/día) <sup>(1)</sup>	Densidad de plantación (planta/ $\text{m}^2$ )	Capacidad aproximada del estanque <sup>(2)</sup> ( $\text{l/m}^2$ )
Lechuga	0,3	24	9
Tomate	2,5	5	16
Pepino	3,0	5	19

<sup>(1)</sup> Para una planta en su máximo estado de desarrollo

<sup>(2)</sup> Este valor al multiplicarse por la superficie real de cultivo estima el tamaño del estanque. Se considera un 25 % más del volumen consumido como volumen remanente

Fuente: Gilda carrasco y Juan izquierdo. (1996). La Empresa Hidropónica De Mediana Escala.

Ahora, se desea cultivar 32 lechugas en  $1.445m^2$ , entonces multiplicando la capacidad aproximada del tanque por el área en el que se desea cultivar:

$$9 \text{ litros}/m^2 \times 1.445 m^2 = 13 \text{ Litros}$$

De esta manera arrojaría una capacidad mínima del tanque de 13 litros y, considerando un 60% más del volumen consumido como volumen remanente, se opta por un tanque de 20 litros de capacidad.

Se procede a calcular el caudal que hace referencia a la cantidad de flujo con relación al tiempo, dicha fórmula está dada por:

$$Q = A * v \quad (1)$$

Donde A hace referencia al área de la sección transversal de la tubería y v a la velocidad medida en metros por segundo.

- Para hallar el área de la sección transversal de la tubería se usa la fórmula del área de la sección circular mencionada en el libro hidráulica de canales (Cadavid y Juan, 2006).

$$A_{Circular}: (\Phi - \text{sen}\Phi) \frac{d_o^2}{8} \quad (2)$$

$$\Phi = 2\cos^{-1}\left(1 - \frac{2y}{d_o}\right) \quad (3)$$

Como se estableció anteriormente la altura del agua es de  $y = 5 \times 10^{-3}m$  y el diámetro interior de la tubería de 4 pulgadas es de  $d_o = 0.10342m$  por lo que:

$$\Phi = 2\cos^{-1}\left(1 - \frac{2(0.005m)}{0.10342m}\right)$$

$$\Phi = 0.88676 \text{ radianes}$$

$$A_{Circular}: (0.88676 - \text{sen}0.88676) \frac{(0.10342 m)^2}{8}$$

$$A_{Circular} = 0.00015 m^2$$

- Para determinar la velocidad del agua en tuberías circulares llenas, o conductos cerrados, es decir, que trabajan a presión, se calculó mediante la ecuación de Hazen Williams.

$$v = 0.85 * C_h * R^{0.63} * S^{0.54} \quad (4)$$

el coeficiente de Hazen William para tuberías PVC es  $C_h = 140$  (6).

- Para calcular el radio hidráulico del conducto de flujo (R) se usa el método usado por

Leonardo Arturo contreras, en su trabajo de grado, diseño y simulación de un invernadero automático para un cultivo de lechugas empleando energías renovables como suministro energético (Contreras, 2018). En el que describe:

$$R = \frac{A}{P} = \frac{A_{Circular}}{\text{Perímetro}_{\text{mojado sección circular}}} \quad (5)$$

$$P_{\text{mojado secc circular}} = \Phi \frac{d_o}{2} = 0.88676 \frac{0.10342 m}{2} \quad (6)$$

$$P_{\text{mojado sección circular}} = 0.0458 m$$

$$R = \frac{0.00015m^2}{0.0458m} = 0.00327m$$

Por último, se calcula la pendiente:

$$s = \frac{h}{L} = \frac{0.02 m}{1m} = 0.02 \quad (7)$$

Ahora se calcula la velocidad del flujo que es:

$$V = 0.85 * 140 * 0.00327^{0.63} * 0.02^{0.54}$$

$$V = 0.39 \frac{m}{s}$$

Con todos los datos hallados se puede calcular el caudal que sería:

$$Q = A * V = 0.00015 m^2 \times 0.39 \frac{m}{s} \quad (7)$$

$$Q = 58.5 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

$$Q = 3.51 \frac{L}{min} = 210.6 \frac{L}{hr}$$

### 3.3 Potencia de la bomba

Ya teniendo el caudal, se procedió a calcular la potencia de la bomba, que está dada por:

$$PB = r \times Q \times H \quad (8)$$

Siendo:

r: Peso específico

Q: Caudal

H: Altura

r = densidad del agua  $\times$  Gravedad

entonces se tiene que el caudal calculado anteriormente es de  $Q = 58.5 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}$ , el

peso específico, teniendo en cuenta que la densidad del agua es de  $1000 \frac{Kg}{m^3}$  y el valor de la gravedad de  $9.8 \frac{m}{s^2}$ , es:

$$r = 1000 \frac{Kg}{m^3} \times 9.8 \frac{m}{s^2} \rightarrow r = 9.8 \times 10^3 \frac{N}{m^3}$$

La altura H es la distancia desde el tanque hasta la parte superior del sistema que es de aproximadamente 1.7 m. entonces:

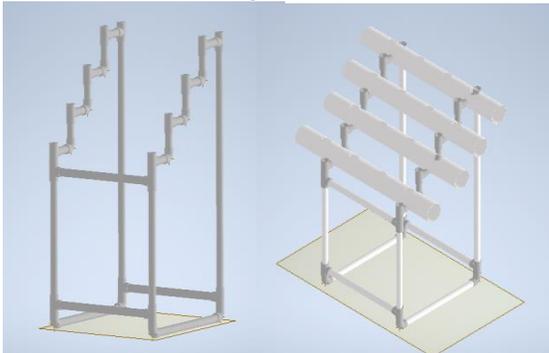
$$PB = 9.8 \times 10^3 \frac{N}{m^3} \times 58.5 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s} \times 1.7m$$

$$PB = 0.975 W$$

#### 4 planos y dimensiones

La base del prototipo tiene forma de escalera, y tiene una altura de 1.7m, los tubos de PVC irán sobre la plataforma, como se muestra en la figura 2.

Figura (2)



- Los hoyos están separados uno de otro 15 centímetros, como se muestra en la figura (3).

Figura 3



#### 4. CONCLUSIONES

- Con respecto a los resultados obtenidos, se puede concluir, que ya se tiene unas buenas bases de la parte mecánica, para poder empezar a construir un primer prototipo.

- De acuerdo con la investigación realizada se creó una base para comenzar con el desarrollo del sistema de control
- Es importante señalar, que este es un proyecto enfocado a la producción de ciertas hortalizas, en lugares cerrados, como patios o pequeños balcones, por lo tanto, los planos mostrados, son diseñados de tal manera que aproveche dichos espacios, es decir, con la forma que tiene la base, se logra que la solución nutritiva pase por cada una de las plantas y retorne al tanque, sin necesidad de alguna motobomba, sino por efecto de la gravedad, además de que garantiza, que a cada una de las plantas le llegue la cantidad de luz solar adecuada.
- La agricultura a lo largo de los años ha sufrido cambios drásticos, lo que nos impulsa a esforzarnos por mejorar la producción de ciertas hortalizas, usando sistemas como lo son los cultivos hidropónicos de una manera automatizada, que permita el control de variables como temperatura y PH sin la supervisión permanente del usuario, además de que genera muy buenos beneficios, como lo es la producción de cualquier hortaliza de buena calidad, sin depender de la época del año o de factores climáticos.

#### RECONOCIMIENTO

Un agradecimiento especial al ingeniero Baldomero Méndez por su colaboración y apoyo como guía del semillero de automatización y domótica en la parte investigativa y teórica del proyecto.

#### REFERENCIAS

- Cadavid R., Juan H.(2006).Hidraulica de Canales: Fundamentos. s.l. : U. EAFUT.Pag 29 y 30.
- Carrasco, Gilda y Izquierdo, Juan.(1996). La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante (NFT). Chile : TALCA, pág. 29.
- Contreras.(2018).DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN INVERNADERO AUTOMÁTICO PARA UN CULTIVO DE LECHUGAS EMPLEANDO ENERGÍAS RENOVABLES COMO SUMINISTRO ENERGÉTICO, Bogotá: Universidad piloto de Colombia.
- F. R. H. G. P. R. A. L. C. E. R. R. C. Ricardo A.(2011).«Agricultura urbana: Sistemas de implementación de cultivos hidropónicos.» Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

- Hernández.C y Piñeros.(2013). Diseño de un prototipo de un sistema de producción tipo aeropónico, Colombia: Universidad EAN.
- Hernández. H.(2021). “*Prototipo de techo ecológico a través de hidroponía con materiales reciclados de productos plásticos elaborados con tereftalato de polietileno (PET)*”.
- INTAGRI.(2017) «La Hidroponía: Cultivos sin Suelo. Serie Horticultura Protegida. Núm. 29. Artículos Técnicos de INTAGRI,» INTAGRI, p. 5.
- L. G. M. Acevedo.(2013). «Sistemas de telemetría para el monitoreo y registro de las variables ambientales de un cultivo hidropónico,» Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.
- P. Urbano.(2013). Paisajismo Urbano: jardín vertical del Centro comercial, Armenia.
- S. D. I. Y. COMERCIO.(2014). Tecnologías relacionadas con invernaderos para flores.