

Aplicación de la mecánica de fluidos en el diseño de un sistema hidropónico

Francisco Alejandro Martínez Marín, Gabriel Garciabada Silva, Aldo Aarón Hernández Cervantes

Academia de electromecánica, Instituto Tecnológico José Mario Molina, Puerto Vallarta Jal. México
francisco.martinez@vallarta.tecmm.edu.mx, gabriel.garciabada@vallarta.tecmm.edu.mx,
aldo.hernandez@vallarta.tecmm.edu.mx

Resumen— Tomando como referencia que la hidroponía es un sistema de cultivo que permite el crecimiento de plantas en una solución enriquecida con nutrientes, los cuales son provistos a través de un flujo de agua, donde la principal característica del sistema es prescindir de tierra, el presente trabajo tiene como finalidad mostrar los cálculos necesarios de las velocidades de flujo del agua enriquecida en nutrientes utilizada en un cultivo hidropónico. Para ello se hizo uso de la técnica de lámina nutritiva (NTF por sus siglas en inglés). Con esta técnica se debió de integrar una delgada lámina de solución nutritiva de aproximadamente un centímetro que circule por un tubo con perforaciones en su parte superior de tal magnitud que las plantas puedan ser insertadas. El movimiento del fluido nutritivo va a lo largo del interior de los tubos y hacia el tanque de fertilización, que se debe al efecto de la gravedad, gracias a la inclinación propiciada por la colocación de los tubos que se encuentra inclinados de entre el 4 y 5 %. Y para llevar la solución nutritiva desde el tanque hasta el inicio de los tubos se utiliza una bomba hidráulica de suministro, la cual también se debe de calcular en función de la demanda. Como resultado de este trabajo se tiene que el diseño del sistema de suministro debe contar con una circulación de nutrientes mínima propuesta de $1 \text{ l}/\text{min}$ y una circulación máxima de nutrientes de $4 \text{ l}/\text{min}$, alimentando a una tubería de 4 pulgadas (etapa de cultivo) a través de un acoplamiento tipo campana de 2 pulgadas (lámina nutritiva), siendo capaz de evitar el estancamiento de agua que provocaría la falta de oxigenación terminando con la muerte de la raíz, y también evadir un arrastre excesivo de las raíces.

Palabras Clave— mecánica de fluidos, lámina nutritiva, sección transversal

Recibido: 5 de septiembre de 2022. Revisado: 2 de noviembre de 2022.
Aceptado: 31 de mayo de 2023.

Application of fluid mechanics in the design of a hydroponic system

Abstract— If the hydroponics is a cultivation system that allows the growth of plants in a solution enriched with nutrients, which are provided through a flow of water, where the main characteristic of the system is to dispense with land. The objective of this work is to show the necessary calculations of the flow rates of the nutrient-enriched water used in a hydroponic culture. For this, the nutritive film technique (NTF) was used. With this technique, a thin sheet of nutrient solution of approximately one centimeter must have been integrated, circulating through a tube with perforations in its upper part of such

magnitude that the plants could be inserted. The movement of the nutritive fluid along the interior of the tubes and towards the fertilization tank is due to the effect of gravity thanks to the inclination caused by the placement of the tubes, which is between 4 and 5%. And to bring the nutrient solution from the tank to the beginning of the tubes, a hydraulic supply pump is used, which must also be calculated based on demand. As a result of this work, the design of the supply system must have a proposed minimum nutrient circulation of $1 \text{ l}/\text{min}$ and a maximum nutrient circulation of $4 \text{ l}/\text{min}$, feeding a 4-inch pipe (flow stage) through a 2-inch bell-type coupling (nutritive foil), being able to avoid water stagnation that would cause lack of oxygenation ending with root death, and also avoid excessive dragging of the roots.

Keywords— fluid mechanics, nutrient film, cross section.

1 Introducción

1.1 Antecedentes

Los sistemas hidropónicos son un tipo de cultivos basados en mantener las raíces de las plantas mojadas a través de un fluido rico en nutrientes permitiendo el crecimiento del producto y evitando el uso de un cultivo tradicional a base de tierra [1]-[6]. Este tipo de sistemas son cada vez más utilizados ya no solo por profesionales sino por aficionados en jardines urbanos y cultivos en interior, por lo que es necesario determinar las correctas velocidades del agua para la posterior selección de una bomba hidráulica correcta.

Los nutrientes se aportan constantemente mediante el agua de riego, que puede estar en constante circulación, desechada o estancada para riegos por inmersión. Este aporte constante de nutrientes permite una disponibilidad total y al no tener que gastar energía en su búsqueda se obtienen los mejores resultados en cuanto a tiempo de cultivo y producción.

Es importante mencionar que en este tipo de cultivos es imprescindible un correcto nivel de pH y EC en el agua de riego. Un desajuste en el pH impediría la correcta absorción de ciertos nutrientes dando lugar a carencias. Mientras que una EC demasiado baja también daría como resultado carencias en los

nutrientes más importantes (nitrógeno, fósforo y potasio) una EC demasiado alta podría sobre fertilizar las plantas, paralizando completamente su desarrollo. Las ventajas de los sistemas hidropónicos son los siguientes:

- Menor espacio
- Mayor rapidez de cultivo
- Mayor producción
- Menos plagas
- Cultivo más limpio
- Económicos
- Respeto por el medio ambiente
- Respetuosa con el medio ambiente
- Mínima cantidad de agua

Durante las últimas décadas los avances técnicos en el sector agrícola han ido en aumento así como el uso de los cultivos hidropónicos en la agricultura intensiva. No solo por el auge en la protección de los cultivos si no por el avance de las técnicas de producción como el desarrollo del riego localizado, programadores para el control del riego, la incorporación de los ordenadores al manejo de las instalaciones así como el desarrollo de distintos tipos de sustratos para poder cultivar de forma segura los cultivos hidropónicos.

1.2 Fundamento teórico

De acuerdo a la definición de un sistema hidropónico, se tiene que el sistema de riego es de suma importancia y por ello la mecánica de fluidos tiene su rol definido en estos sistemas. Es decir al identificar que la mecánica de fluidos radica en la transportación o movimiento de un fluido y como el presente caso de estudio utiliza una solución líquida rica en nutrientes como fluido. Entonces es importante mencionar el aporte de la mecánica de fluidos en el sistema de riego, ya que nos permite seleccionar las velocidades de la solución con nutrientes requeridas para los diferentes cultivos.

Sistemas hidropónicos. Hay diferentes sistemas de hidroponía en el mercado como:

Sistema DWC (Deep Water Culture). Se basa en sumergir las raíces de las plantas en un depósito de agua con nutrientes a la que se instala una bomba de aire para mantener la solución nutritiva oxigenada.

Sistemas EBB. También llamados por Inundación. Se componen de 2 depósitos. Uno en el que estarán instaladas las plantas y que se inundará cada cierto tiempo con el agua que contiene la solución de nutrientes. El otro depósito será el que contendrá el agua una vez se vacíe el primer depósito. Su funcionamiento permite que mediante una bomba de agua conectada a un temporizador se inundará el depósito superior durante unos minutos para que las plantas puedan absorber agua y nutrientes.

Sistema NFT por sus siglas en inglés Nutrient Film Technique utiliza un sistema de canales en los que se hace circular el agua. Estos canales tienen aberturas donde se colocan las plantas y en los que sus raíces están en contacto con la solución de nutrientes que recorre estos canales. Estos sistemas son muy económicos y sencillos de instalar, tan solo se

necesitan los tubos o canales y una bomba de agua. Son utilizados principalmente en grandes cultivos de hortalizas como la lechuga en los que se busca la mayor producción optimizando al máximo el espacio de cultivo.

Sistemas hidropónicos por goteo. Conocidos como Drip System o riego por goteo este sistema de hidroponía va regando las plantas gota a gota. Para ello se suelen utilizar aros con microgoteros conectados a una bomba de agua que recogerá el agua con nutrientes de un depósito inferior. La planta se sujeta en una maceta llena normalmente de sustrato inerte que no retenga la humedad ni ningún tipo de nutriente. Las raíces se expandirán a través de este sustrato consiguiendo una buena sujeción.

Sistemas de riego. Existen diferentes tipos de sistemas de riego los cuales son:

- Riego por superficie. La energía que distribuye el agua por la parcela es la derivada de su propio peso, al circular libremente por el terreno a favor de pendiente. Con este método de riego se suele mojar la totalidad del terreno y requiere el reparto del agua mediante surcos, para controlar su distribución. En el caso de un cultivo hidropónico este riego de superficie o superficial ocurre a través de tuberías y el efecto de la gravedad, mojando las raíces del producto.
- Riego por aspersión. El agua es conducida a presión, al llegar a los emisores (aspersores) produce gotas que mojan todo el terreno de forma similar a como lo haría la lluvia.
- Riego localizado. Se moja sólo la parte del suelo próxima a las plantas. El agua a baja presión llega mediante tuberías hasta las plantas.
- Riego por goteo. Este método de riego consiste en llevar el agua directamente a las raíces a través de tuberías y goteros permitiendo la utilización óptima de fertilizantes.
- Riego por subirrigación. Consiste en inundar una estructura almacenadora hasta alcanzar el nivel requerido para la distribución de agua. Una vez alcanzado el nivel, el agua asciende por medio de la acción capilar.

2 Diseño del sistema hidropónico

Tradicionalmente la irrigación en un sistema hidropónico puede llegar a contener altas cantidades de fertilizantes y productos químicos, los cuales, originan un uso inadecuado del agua; inclusive afectaría los mantos acuíferos. Una alternativa práctica para reducir las desventajas del sistema de riego convencional abiertos, es utilizar un sistema de riego recirculatorio.

Dicho sistema de riego recirculatorio tiene la finalidad de utilizar un depósito de solución líquida nutritiva, donde esta sustancia debe ser llevada a lo largo del cultivo hidropónico y posteriormente ser recolectada en el depósito para volver a ser utilizada.

Para la realización del diseño y futura construcción del sistema, tomamos como base tubería de PVC sanitaria de 4" y 2" que formaran la estructura y sistema de circulación del agua con nutrientes.



Figura 1. Esquema de propuesta
Fuente: Los autores

La tubería que se utilizara en la etapa de cultivo es de 4", siendo esta, donde se formara la lámina nutritiva. Tomando como se indica en la Fig. 2, la reducción campana de 4" a 2" pulgadas para determinar las dimensiones de la lámina nutritiva.

La tubería de 2" formara la estructura para el soporte de la tubería de 4", como se muestra en la Fig. 3.

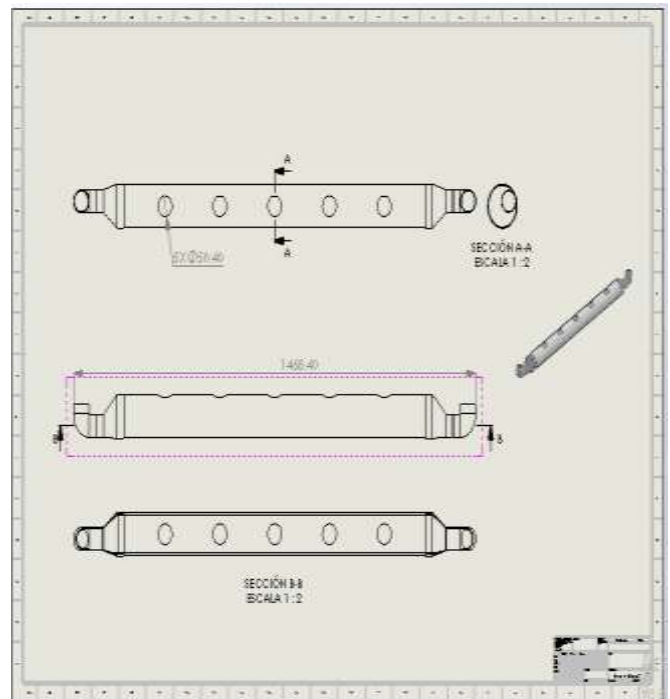


Figura 3. Tubería de cultivo
Fuente: Los autores

Una vez dimensionados los componentes del sistema se realizó un modelo tridimensional para comprobar medidas y formas y posiciones de las piezas que lo constituyen, obteniendo lo que se muestra en la Fig. 4.

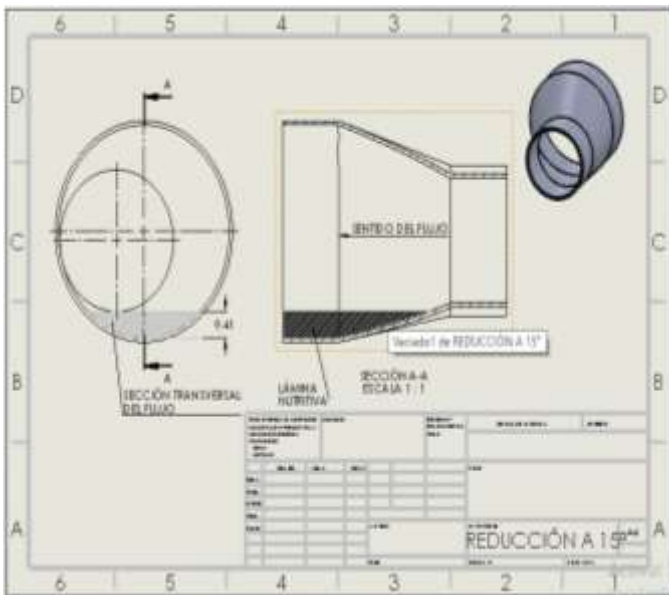


Figura 2. Formación de lámina nutritiva
Fuente: Los autores

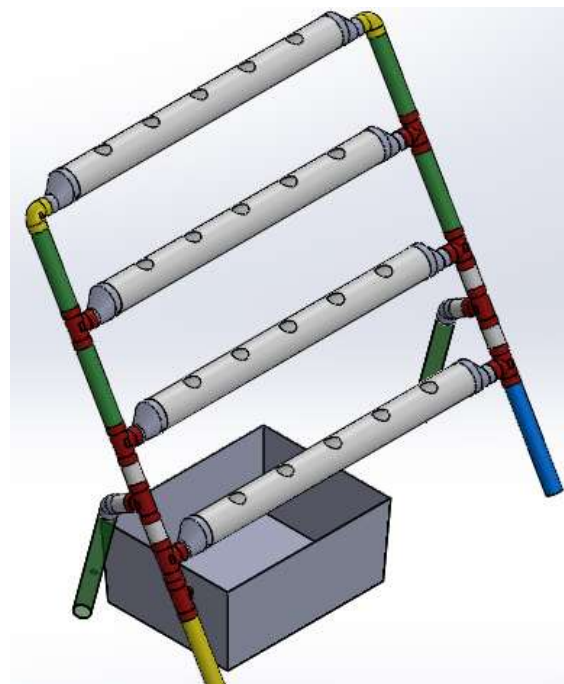


Figura 4. Modelo de sistema hidropónico
Fuente: Los autores

Con el resultado obtenido en el modelado, Fig. 4 se construyó un prototipo, que se muestra en la Fig. 5, que nos permitirá la realización de pruebas de su funcionalidad.



Figura 5. Prototipo del sistema hidropónico
Fuente: Los autores

3 Cálculo de velocidades de flujo

Para que este sistema de cultivo proporcione los nutrientes requeridos para hacer crecer las plantas, hay que hacer circular el agua con dichos nutrientes por tal motivo uno de los sistemas para este tipo de cultivo es Sistema NFT, el cual hemos seleccionado para nuestro proyecto.

En esta técnica se debe de formar una delgada lámina de solución nutritiva (de 0,5 a 1,0 cm) que circula por un tubo con perforaciones en su parte superior, en las cuales se insertan las plantas. El movimiento de la solución nutritiva dentro de los tubos, y hacia el tanque de fertilización, se produce por gravedad, gracias a la inclinación estos que debe de estar entre el 4 y 5 %. Para llevar la solución nutritiva desde el tanque hasta el inicio de los tubos se utiliza una bomba hidráulica. El caudal recomendado para la circulación de agua con nutrientes es de 1 a 4 litros/minuto, esto depende del cultivo que se vaya desarrollar. Con esta información procedemos al cálculo de las velocidades a las que debe de moverse el agua con nutrientes por la tubería para evitar, por un lado, el estancamiento de agua que provocaría la falta de oxigenación y la muerte de la raíz y por otro lado, el arrastre excesivo de las raíces.

Siendo el caudal necesario de 1 a 4 litros/minuto para los diferentes cultivos, estimaremos las velocidades mínima, media y máxima. Para calcular las velocidades apropiadas despejamos v (velocidad) de la fórmula del caudal volumétrico Q (m^3/s)

(Sistema internacional), mismo que se determina a partir de la ecuación (1)

$$Q = Av \quad (1)$$

Dónde:

A = área de la sección transversal del flujo

v = velocidad del flujo

De esta ecuación se despeja la variable v (velocidad) y se obtiene la siguiente formula:

$$v = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

Se determinan los datos necesarios y tenemos:

Para un caudal de 1 litro/minuto que convertido a m^3/s es:

$$Q = 1 \text{ l/min} = 0.0167 \text{ l/s} = 1.67 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Área total del tubo de 4" (105.6 mm) de diámetro será:

$$A_t = \pi d^2/4 = \pi 105.6^2/4 = 8,758.28 \text{ mm}^2$$

$$A_t = 0.00876 \text{ m}^2$$

De acuerdo al análisis realizado con el apoyo del software de diseño, se determinó que para obtener la altura de la lámina nutritiva que aproxima a los 10 mm, se estableció que el área de sección transversal del flujo representa el 12.35 % del área total de la tubería de 4", esto, representado y estimado de acuerdo a la Fig. 2, siendo:

Área del flujo de la lámina nutritiva

$$A_f = 0.00108 \text{ m}^2$$

La velocidad mínima será:

$$v = 1.67 \times 10^{-5} / 0.00108 = 0.0154 \text{ m/s}$$

Así mismo para un caudal de 4 litro/minuto que convertidos a m^3/s tenemos:

$$Q = 4 \text{ l/min} = 0.067 \text{ l/s} = 6.67 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

El área de sección transversal del flujo sigue siendo el 12.35 % del área transversal total disponible del tubo de 4":

$$A_f = 0.00108 \text{ m}^2$$

La velocidad máxima será:

$$v = 6.67 \times 10^{-5} / 0.00108 = 0.062 \text{ m/s}$$

Para un caudal promedio que es 2.5 litro/minuto convertido a m^3/s tenemos:

$$Q = 2.5 \text{ l/min} = 0.0467 \text{ l/s} = 4.167 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A_f = 0.00108 \text{ m}^2$$

Donde la velocidad media será:

$$v = 4.167 \times 10^{-5} / 0.00108 = 0.0386 \text{ m/s}$$

4 Conclusiones

Con este trabajo se lograron obtener los parámetros adecuados para llevar a cabo un diseño y construcción de prototipo apropiado para el cultivo hidropónico, donde se obtuvieron las velocidades requeridas para diferentes tipos de vegetales, mismas que sirvieron para determinar la bomba hidráulica sugerida. Aunado a esto, se conjuntaron diferentes disciplinas de la ingeniería abonando a la formación del ingeniero en el manejo interdisciplinario de su conocimiento. Además de que nos da la pauta para la construcción del sistema a una escala en el desarrollo del mismo que podrá ser automatizado y sustentable a través de energía alternativa.

Dentro de uno de los principales objetivos que se tiene como humanidad, es la de buscar la sustentabilidad de los recursos que se tienen. Por ello el presente trabajo aborda un área de oportunidad como lo es el desarrollo de sistemas hidropónicos. Además de buscar la conjunción de diferentes disciplinas de la ingeniería con la finalidad de solventar una problemática en específico.

Por otro lado este trabajo pretende ser solo una escala en el desarrollo de un sistema hidropónico automatizado y sustentable a través de energía alternativa.

Referencias

- [1] INTAGRI. (2017). "La Hidroponía: cultivos sin Suelo", *Serie Horticultura Protegida*. Núm. 29. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p. [Internet]. En: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/la-hidroponia-cultivos-sin-suelo>
- [2] Tienda Husqvarna. (s.f.). ¿Conoces la hidroponía, el método de cultivo de moda? [Internet]. En: <https://tiendahusqvarna.com/blog/hidroponia/>
- [3] Asociación Hidropónica Mexicana. (s.f.). ¿Cómo funciona la hidroponía? [Internet]. En: <https://hidroponia.org.mx/index.php/preguntas-sobre-la-hidroponia/46-como-funciona-la-hidroponia>
- [4] Growshop. (s.f.). Qué son y cómo funcionan los sistemas hidropónicos [Internet]. En: <https://www.growshop.es/>

- [5] J. Beltrano y D. O. Giménez, *Cultivo en hidroponía*, Editorial de la Universidad de La Plata, Buenos Aires, Argentina, 2015. En: <http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/>
- [6] Hydroponicsystems blog. (s.f.). Origen de los cultivos hidropónicos. [Internet]. En: <https://hydroponicsystems.eu/es/origen-de-los-cultivos-hidroponicos/>
- [7] M. A. Alveal, *Estudio comparativo de sistemas de riego hidropónico y por goteo*, Chile: Universidad del Bío Bío, 2014.
- [8] E. Castro, *Diseño conceptual de un sistema de bajo costo, de riego por goteo para proyecto experimental de cultivo hidropónico en invernadero*, Bogotá: Universidad Cooperativa de Colombia, 2020.
- [9] A. Cepeda-Guzmán, "Respuestas de lechuga a la conductividad eléctrica", *Revista Mexicana de Ciencias Agrícola*, 1233-1245, 2014.
- [10] L. Zúñiga-Estrada, "Producción de chile pimienta en dos sistemas de riego bajo condiciones hidropónicas", *Agrociencias*, 207-218, 2004.

F.A. Martínez Marín, en 2004 recibe el título de Ingeniero Industrial Mecánico del Instituto Tecnológico de Querétaro, México, en 2015 el título de M.C. en Ingeniería Mecatrónica del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, en la ciudad de Cuernavaca Morelos, México. Ha trabajado en el departamento de diseño de la empresa Black & Decker y desde 2005 trabaja en ITJMMPyH, Unidad Académica Puerto Vallarta como profesor de tiempo completo.
ORCID: 0000-0002-3713-5182

G. Garciabada Silva, en 2007 recibe el título de Ingeniero Mecánico de la Universidad de Guadalajara, en 2014 el título de Maestría en Valuación en de la Universidad del Valle de Atemajac, Plantel Vallarta. Ha trabajado en los departamentos ingeniería de producto y nuevos productos, aseguramiento de calidad y gerencia de planta en diversas industrias de la transformación metal-mecánica y desde el 2002 trabaja en el ITJMMPyH, Unidad Académica Puerto Vallarta como profesor de tiempo completo.
ORCID: 0000-0002-7083-871x

A. A. Hernández Cervantes, recibe el título de ingeniería en sistemas computacionales en 2007 en el Instituto Tecnológico Superior de Puerto Vallarta en la ciudad de Puerto Vallarta Jalisco. Por otro lado en 2014 recibe el título de la Maestría en Ingeniería Mecatrónica en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico en la ciudad de Cuernavaca Morelos. Perteneciente a la plantilla docente del ITJMMPyH unidad académica Puerto Vallarta (antes Instituto Tecnológico Superior de Puerto Vallarta) desde el año 2002 como profesor de tiempo completo.
ORCID: 0000-0001-8060-5509