

Inyección de fertilizante con bombas de paletas y control por conductividad eléctrica en soluciones madre para fertirriego

Fertilizer injection with rotary vane pumps and electrical conductivity control in mixed solutions for fertirrigation

Miguel Ángel Peña Peralta¹; Federico Hahn Schlam² y José Antonio Yam Tzec¹

RESUMEN. La inyección de fertilizantes en el fertirriego se realiza comúnmente a través de tubos Venturi y se controla con ayuda de sensores de conductividad y pH colocados en la salida del riego. Los tubos Venturi presentan problemas de caídas de presión durante la inyección. De este modo se innova con el diseño de un equipo de fertirriego controlando las pérdidas de presión usando un sistema de inyección de fertilizantes por bombas de paletas rotatorias que suministran un caudal continuo. El control de la inyección lo hace un PLC Millennium II XT- 20 con un programa basado en las relaciones de conductividad eléctrica que existen entre las soluciones madre al ser mezcladas entre si y al diluirlas en agua en pruebas de laboratorio utilizando soluciones concentradas para jitomate saladet. Las relaciones permiten predecir el comportamiento de la conductividad eléctrica al variar el porcentaje de cada uno de los elementos que la componen. Las ecuaciones indican que debe suministrarse una relación 3:100, 3 de fertilizante por 100 de agua para obtener la conductividad en el rango de 2 a 3 mS/cm, valor donde la planta tiene un mejor aprovechamiento de los nutrientes. Al comparar la caída de presión en la salida de la inyección el sistema Venturi pierde 40 kPa y el equipo con bombas de paletas no presenta pérdidas de presión.

Palabras clave: fertirriego, conductividad eléctrica, PLC, bomba de paleta rotatoria.

ABSTRACT. The injection of fertilizers in fertirrigation is commonly undertaken through Venturi pipes and controlled with the help of conductivity and pH sensors placed at the irrigation outlet point. The Venturi pipes suffer from pressure drops during injection. The fertirrigation equipment was, therefore, redesigned so that pressure drops are controlled by means of a fertilizer injection system powered by rotary vane pumps that provide a continuous volume. A PLC Millennium II XT-20 controls the injection using a program based on the electrical conductivity relationships that exist between the mixed solutions when mixed amongst themselves and when diluted in water in laboratory tests using concentrated solutions for Saladet tomatoes. These relationships allow one to predict the behaviour of the electrical conductivity when varying the percentage of each one of the elements that make it up. According to the equations, a ratio of 3:100 3--3 of fertilizer per 100 of water--must be provided in order to obtain conductivity in the 2 to 3 mS/cm value range, in which the plant has a better opportunity to take advantage of the nutrients. Comparing the pressure drops in the injection outlet point, the Venturi system loses 40 kPa while the system powered by rotary vane pumps does not lose pressure.

Keywords: Fertirrigation, Electrical conductivity, PLC, Rotary vane pump

INTRODUCCIÓN

El sector agrícola se ve obligado a producir en espacios cada vez más reducidos, desarrollar nuevos genotipos y optimizar el recurso agua. En los últimos años se han desarrollado tecnologías de riego que buscan optimizar el recurso del agua para su uso en la producción agrícola (Castañón, 2000; Darwich,

2006). Entre estas tecnologías innovadoras de riego se tienen a los sistemas de riego presurizado y los sistemas de fertirriego los cuales agregan nutrientes a través del flujo del agua a las plantas (Avidán y Nathan, 2004; Imas, 2002; Moya, 2002).

Los sistemas de fertirriego están marcando una nueva era en las técnicas de producción agrícola, ya que permiten optimizar el uso de fertilizantes y el ahorro de agua evitando la contamina-

Recibido 12/02/09, aprobado 12/05/10, trabajo 38/10, investigación.

¹ M.I. doctorante, Universidad Autónoma Chapingo, Postgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, Chapingo, Texcoco, México, E-✉: plallades@hotmail.com

² Dr.C., Prof., Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Irrigación, Chapingo, Texcoco, México.

ción de los acuíferos (Cadahia, 1998; Nelson, 1998). El mercado ofrece equipos de control en fertirriego pero el costo elevado de adquisición es la principal desventaja para agricultores de pequeñas producciones. Las técnicas actuales que usan tubos Venturi para la inyección de fertilizantes ocasionan las pérdidas de presión en el sistema de riego presurizado por lo cual estos dispositivos no son los ideales (Peña y Montiel, 1998). Otra de las variables que debe considerarse es el efecto de la aplicación de fertilizantes en el sustrato lo cual define la exactitud que debe tener el controlador de conductividad eléctrica.

Este trabajo presenta un sistema de fertirriego innovador en cuanto a la forma de inyectar los fertilizantes al utilizar bombas de paletas rotatorias que ofrecen altas presiones y caudales continuos. En la dosificación de fertilizantes se propone un sistema de control a través del monitoreo constante de la conductividad eléctrica en las soluciones madre que son las soluciones concentradas de fertilizante soluble. Al mezclar y diluir en agua las soluciones fertilizantes la conductividad eléctrica tiende a aumentar o disminuir por lo tanto si se conocen las relaciones entre las soluciones madre y su conductividad puede controlarse la conductividad eléctrica de salida al riego según lo requieran los cultivos variando la cantidad y tiempo de inyección del fertilizante.

El diseño de este equipo se basa en un PLC (programador lógico controlable) para automatizar el sistema. Las bombas y los componentes electrónicos, son productos de costos relativamente bajos y accesibles. Este equipo resulta económico, robusto, fácil de utilizar y con un control particular por tinaco lo cual permite una mejor distribución de fertilizantes a lo largo del crecimiento de las plantas (Ramos, 2001). El prototipo desarrollado fue aplicado en un invernadero donde se producen plantas de jitomate saladet.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área donde se realizó el proyecto fue el Laboratorio de Ingeniería de Riego del Departamento de Irrigación (Figura 1), campo Tlapeaxco del Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo, el cual está ubicado en el km. 38 de la carretera México-Texcoco, con las siguientes coordenadas 19° 29' Latitud Norte, 98° 54' de longitud Oeste y a una altura de 2,250 m.s.n.m. Los tinacos se colocaron a un lado de la caseta de control del sistema que actualmente utilizan los invernaderos de este campo.



FIGURA 1. Vista satelital del campo experimental Tlapeaxco. Google Earth 2008®.

El equipo de fertirriego diseñado para un invernadero (Figura 2) se compone de diferentes elementos mecánicos y electrónicos para la medición, control y accionamiento de motores y bombas. Los sistemas que forman parte del equipo final son:

- Sistema de soporte y distribución (tinacos, cisterna, estructura, bombas)
- Sistema de Accionamiento (bombeo, inyección de fertilizantes y agitación).
- Sistema de control (Medición y accionamiento de servomandos)

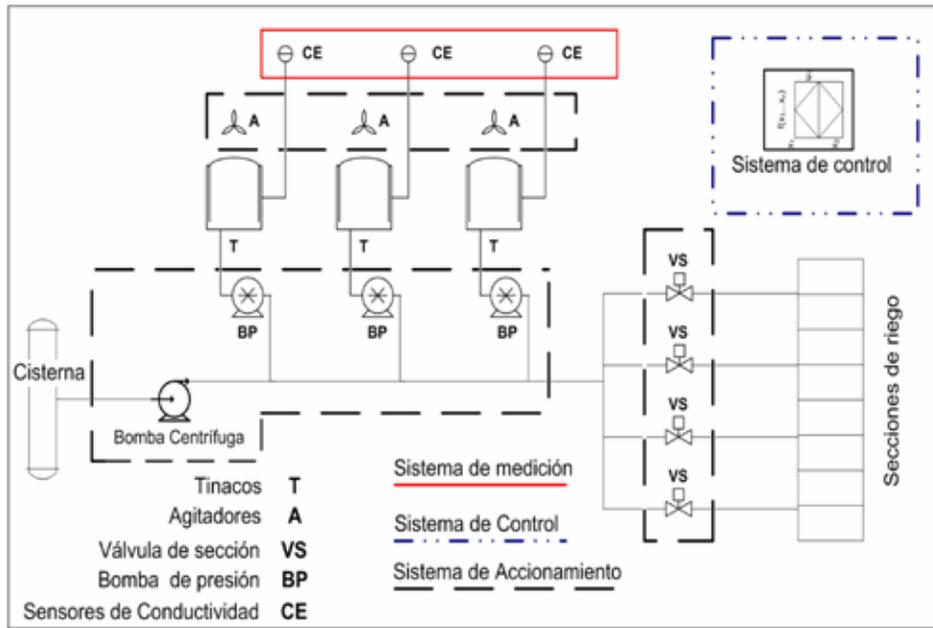


FIGURA 2. Esquema del sistema de fertirriego.

Descarga de la bomba inyectora

Para encontrar el tamaño adecuado de la bomba es necesario saber la cantidad de solución fertilizante a inyectar por día, así como el tiempo de riego.

Los datos utilizados fueron:

- Dosis de fertilizante a inyectar por día, 550 L;
- Siete riegos espaciados en una hora y media;
- Nueve minutos durante cada riego.

El caudal (q) de fertilizante por día es la suma de la mezcla de los tres recipientes.

$$q = \frac{Df}{cB} \quad 1$$

donde:

Df - dosis de fertilizantes;

cB- cantidad de bombas inyectoras.

Considerando una dosis de 550 L/día, con tres bombas de inyección el caudal proporcionado es de 183,3 L/día. Con siete

riegos por día, el gasto por riego es de 26,2 L/riego. El caudal suministrado por bomba es $26,2/9 = 2,99$ L/min

Capacidad del tanque

Para un abastecimiento y preparación adecuada de las soluciones fertilizantes se propone una duración de una semana en cada recarga. Con este dato se calcula el tamaño de los tinacos. El consumo es de 550 L/día y 3300 L a la semana, dividido en tres tinacos se obtiene 1100 L por recipiente. Los tinacos comerciales, que se ajustan son de 1200 L de capacidad, por lo que la recarga deberá hacerse cada seis días, pudiéndose aumentar o disminuir el tiempo de recarga de acuerdo a la concentración de la solución fertilizante determinada por el usuario.

La instalación del equipo propuesto durante el diseño se muestra en las Figura 3, en ésta figura se muestra la ubicación de los tinacos, los invernaderos y el cuarto de control. En la Figura 4, se muestra el esquema del sistema hidráulico para la aplicación de fertilizantes en el riego utilizando bombas de alta presión.

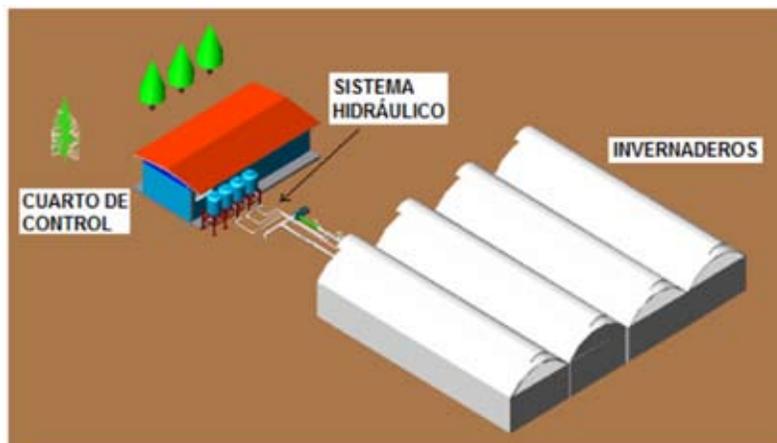


FIGURA 3. Propuesta del diseño de la instalación de fertirriego en el campo Tlapeaxco.



FIGURA 4. Sistema hidráulico.

Sistema de inyección de fertilizantes y agitación

El esquema de inyección de fertilizantes propuesto (Figura 5) consiste en conectar una bomba de presión para cada tinaco de las soluciones madre y conectarlas a la red de riego donde se inyectan los fertilizantes a presión. Se propone la inyección por medio de bombas de presión con la finalidad de evitar las caídas de presión en la red de tuberías que generan otros dispositivos de inyección como los tubos de Venturi

La bomba centrífuga inicia su funcionamiento generando presión en la red de tuberías. Las bombas 1,2 y 3 ubicadas en los tinacos inician su funcionamiento y crean un flujo de fertilizante que pasa por un filtro llegando a la tubería principal donde se encuentra el inyector el cual empuja el fertilizante a una presión de 250 kPa. Esta presión es suficiente para forzar la inyección de fertilizante a la tubería de riego. Sensores instalados en los recipientes de solución madre miden la C.E. y envían la señal a un PLC el cual controlará el tiempo de inyección del fertilizante líquido.

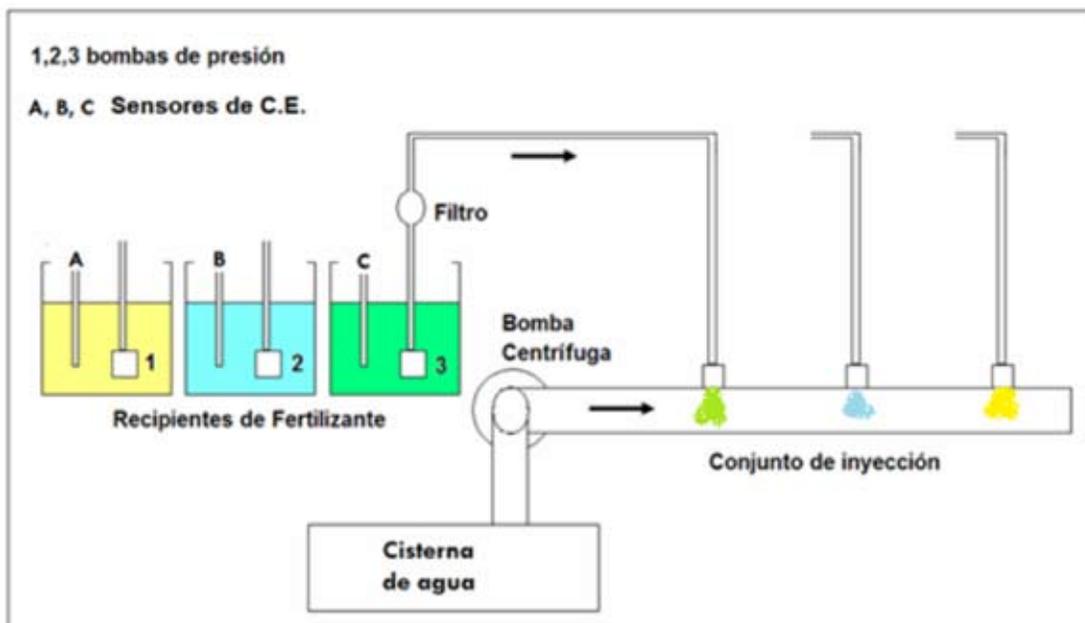


FIGURA 5. Diagrama de inyección de fertilizantes líquidos concentrados.

Para el sistema de inyección de fertilizantes se probaron dos diferentes tipos de bombas, la bomba de paletas rotatorias y la bomba peristáltica, porque tienen la capacidad de generar altas presiones de bombeo y caudales uniformes libres de pulsos permitiendo el control sobre el volumen que desalojan. La bomba para alimentar la red principal de riego fue la misma utilizada en el campo experimental Tlapeaxco, una centrífuga Franklin Electric de 3 hp con un caudal de 300 L/min.

Las pruebas que se realizaron a la bomba fueron las siguientes:

- Caudal desalojado en vacío;
- Presión de trabajo max/min;
- Relación, caudal desalojado / tiempo / presión.

Para realizarlas se desarrolló un prototipo (Figura 6), que consta de una válvula de paso de alta presión, un manómetro y una boquilla inyectora. Para llevar a cabo la prueba de vacío simplemente se procedió a accionar la bomba y dejar que suministrara agua para determinar la relación caudal-tiempo,

utilizando probetas y un cronómetro.

Se estudió la diferencia de caudal desalojado restringiendo la salida de la bomba, con el objetivo de conocer la relación existente entre el caudal, el tiempo y la presión. La restricción del flujo se hizo con una válvula y el inyector diseñado, en ambas situaciones se tomó como referencia el desalojo de un litro de agua.

Inyección por medio de bomba peristáltica

Se usó una bomba peristáltica (Figura 7) para realizar pruebas de dosificación y evaluar la bomba. Se alimentó con 24 V y se midió la velocidad de giro con un tacómetro digital. Para medir el flujo se utilizaron probetas graduadas con capacidades de 1000, 500 y 100 mL y un cronómetro para medir el tiempo. Se hicieron pruebas con cuatro tipos de manguera comercial: Látex, manguera cristal PVC para hidrocarburos, manguera cristal PVC para agua, manguera cristal PVC capa sencilla.



FIGURA 6. Instalación para la prueba de la bomba de paletas rotatorias.



FIGURA 7. Bomba peristáltica prototipo.

Los parámetros que se requieren conocer son:

- frecuencia de rotación de la bomba;
- efecto de la duración de vida de las mangueras;
- variación del caudal, por deterioro de la manguera al trabajar en la bomba;
- retorno del líquido al parar la bomba.

Se midió la frecuencia de rotación de la bomba en dos fases. La primera fue con la bomba en vacío es decir sin carga de trabajo. La segunda fase fue medir las revoluciones de la bomba con carga de trabajo (bombeando agua). Para medir la velocidad

se utilizó un tacómetro digital EXTECH de manufactura alemana, este equipo permite medir por contacto físico y por luz estroboscópica. Para el caso de la bomba se utilizó la medición por contacto y las unidades de medida fueron min^{-1} .

El caudal se mide activando la bomba y midiendo el desalojo de agua en un minuto. Para observar las fugas en la manguera de la bomba peristáltica se hizo circular agua con la bomba de paletas, restringiendo la salida del líquido con una válvula de paso para generar presión (Figura 8). La presión se monitoreó con un manómetro que indicaba la presión de trabajo.



FIGURA 8. Sistema para suministrar y controlar la presión del agua en la tubería de la bomba peristáltica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

inyector

Al probar el inyector diseñado se obtuvo una inyección de forma cónica como se muestra en la Figura 9. La presión necesaria para lograr un chorro uniforme debe estar comprendida entre 170 kPa y 414 kPa.



FIGURA 9. Diseño y prueba del inyector.

Bomba de paletas

Prueba de caudal desalojado en vacío

En la prueba en vacío se determinó que la bomba suministra 3 L/min

Relación, caudal desalojado /presión de restricción

La presión de trabajo para los equipos de fertirriego se encuentra en el rango de 207 a 276 kPa. Al probar la bomba

de paletas rotatorias sin inyector se obtuvo el gráfico de la Figura 10, que muestra la variación del caudal con el aumento de presión. La bomba no presenta variaciones en la cantidad de agua bombeada (un litro) en 20 s, hasta que la presión llega a los 414 kPa, después de esta presión el tiempo para bombear un litro de agua comienza a aumentar hasta 40 s, a 690 kPa. La Figura 11 muestra la relación presión-tiempo al inyectar un litro de fertilizante, como se observa, a 207 kPa el tiempo aumenta un segundo y se conserva hasta las 483 kPa, al sobrepasar este valor el tiempo comienza a elevarse.

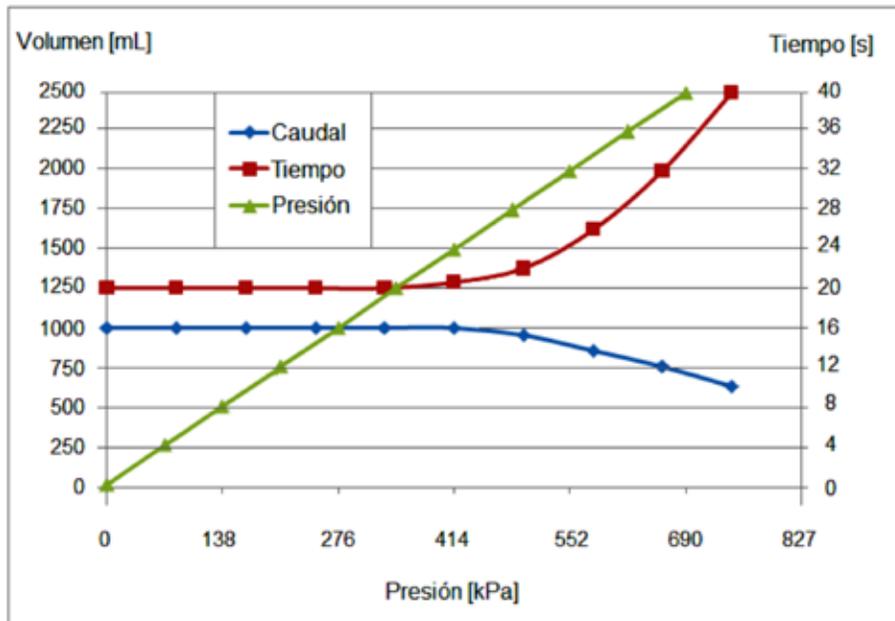


FIGURA 10. Comportamiento del tiempo en la bomba de paletas al desalojar un litro de agua a diferentes presiones.

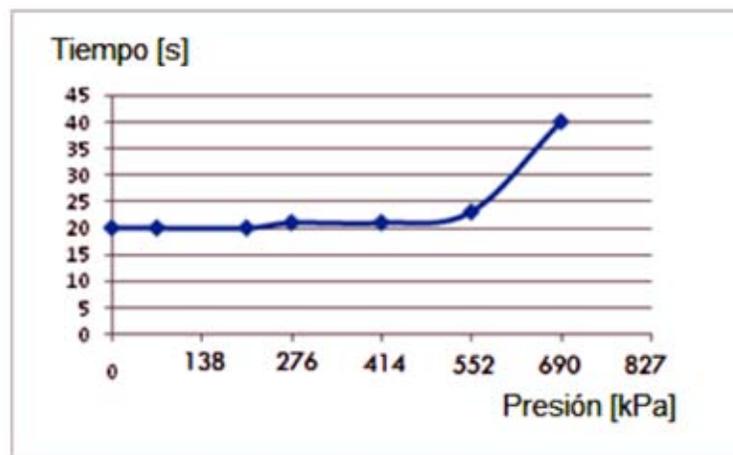


FIGURA 11. Relación entre tiempo y presión en la inyección de un litro de agua.

Cuando se utiliza el inyector el tiempo para suministrar un litro de fertilizante se mantiene en 21 s, de 70 kPa hasta llegar a 414 kPa. Con este resultado se tiene la confianza que el inyector puede utilizarse en la inyección de fertilizantes dentro del rango de trabajo de los sistemas de fertirriego sin afectar el caudal inyectado en el tiempo. Por lo tanto en una hora pueden inyectarse 180 L de fertilizante. Esta bomba de paletas presentó un desempeño adecuado manteniendo la entrega del caudal constante de 3 L/min a las presiones manejadas en las pruebas que oscilaron entre 170 a 280 kPa.

Al realizar la inyección de fertilizantes con la bomba de paletas rotatorias no se observaron caídas de presión en la red de tuberías como sucede en los sistemas Venturi, esto se corroboró al comparar el equipo diseñado con el sistema Venturi del campo Tlapeaxco. Observándose una diferencia de 41 kPa a la salida de la inyección.

Bomba peristáltica

Los resultados al medir la velocidad de la bomba se muestran en el Cuadro 1.

El valor promedio de la velocidad de la bomba sin carga fue de 246 min⁻¹. Con carga de trabajo 211 min⁻¹, hay una pérdida de velocidad de 35 min⁻¹ aproximadamente un 15%, ocasionada por el esfuerzo que realiza la bomba al comprimir la manguera. El Tramo de manguera útil entre la carcasa y los rodillos de la bomba es de 82 mm y alberga un volumen de 3 mL. El desplazamiento de este volumen se realiza en media vuelta del rotor, es decir 6 mL/vuelta, lo cual debe desplazar un caudal de 1266 mL/min. En esta evaluación la bomba peristáltica presentó problemas de operación por el tipo de mangueras utilizadas, principalmente caídas de presión en la inyección y fugas por retorno ocasionados por el maltrato de la manguera, por consecuencia el uso de esta bomba para la inyección de fertilizantes fue descartado.

CUADRO 1. Datos obtenidos en las mediciones de velocidad de la bomba sin carga y con carga

	Frecuencia de rotación de la bomba sin carga, min ⁻¹	Frecuencia de rotación de la bomba con carga, min ⁻¹
Muestras	248	207
	246	215
	244	215
	244	209
	244	209
	248	211
	244	211
	248	211
	245	213
	249	211
Promedio	246	211

CONCLUSIONES

- Se diseñó, construyó y evaluó un sistema de fertirriego con inyección de fertilizantes controlado por PLC. El equipo consta de tres bombas de paletas rotatorias con inyectores en cada salida y un PLC Millenium II con sensores de conductividad eléctrica instalados en los tanques de fertilizantes. Se evaluaron dos tipos de bombas de presión para su aplicación en la inyección de fertilizante, una de tipo paletas rotatorias y otra tipo peristáltica, en esta evaluación la bomba peristáltica presentó problemas de operación por el tipo de mangueras utilizadas, principalmente caídas de presión en la inyección y fugas por retorno ocasionados por

el maltrato de la manguera, por consecuencia el uso de esta bomba para la inyección de fertilizantes fue descartado. La bomba de paletas presentó un desempeño adecuado manteniendo la entrega del caudal constante de 3 L/min a las presiones manejadas en las pruebas que oscilaron entre 170 a 280 kPa.

- Al realizar la inyección de fertilizantes con la bomba de paletas rotatorias no se observaron caídas de presión en la red de tuberías como sucede en los sistemas Venturi, esto se corroboró al comparar el equipo diseñado con el sistema Venturi del campo Tlapeaxco. Observándose una diferencia de 41 kPa a la salida de la inyección.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AVIDÁN, A. Y NATHAN, R.: Fertirrigación y Quimigación. In: **memorias del X Curso Internacional de Sistemas de Riego**, pp. 12-45, Volumen III, Fertirrigación y Nutrición Vegetal. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Irrigación, Chapingo, México, 2004.
- CADAHIA L. C.: *Fertirrigación: Cultivos Hortícolas y Ornamentales*, pp. 34-45, Mundiprensa. Madrid, España, 1998.
- CASTAÑÓN, G.: *Ingeniería del Riego, Utilización Racional del Agua*, pp. 50 – 61, ITES Paraninfo, Magallanes, Madrid, España, 2000.
- DARWICH N.: *Manual de Fertilidad de Suelos y Uso de Fertilizantes*, pp. 24-52 3ra Ed., Buenos Aires, Argentina, 2006.
- IMAS, P.: Manejo de Nutrientes por Fertirriego en Sistemas Frutihortícolas, En: **XXII Congreso Argentino de Horticultura**, pp. 6-12, International Potash Institute, Coordination India, Buenos Aires, Argentina, 2002
- MOYA TALENS, J.A.: *Riego Localizado y Fertirrigación*, pp. 7-65, 3ª. Edición, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España, 2002.
- PEÑA, P. E., Y M. MONTIEL: *Manual Práctico de Fertirriego*, 19pp., 2ª. Edición, Colección Manuales, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Jiutepec, Morelos, México, 1998.
- RAMOS, L. C.: *Fertirrigación Nitrogenada y Aplicaciones de Estiércol Bovino en Tomate de Cáscara (Physalis ixocarpa Brot.) en Invernadero*, pp. 20-21, **Tesis (en opción al título de Master en Irrigación)**, Instituto de Recursos Naturales, Montecillo, Texcoco, México, 2001.
- NELSON P., V.: *Greenhouses operation and management*, 637pp., USA, 1998.