

Diseño de un sistema automático de irrigación utilizando una plataforma basada en un sistema mínimo con interfaz hombre-máquina

E. M. Sánchez Coronado, J. P. Rodríguez Jarquin, D. Villanueva Vázquez, M. A. Herrera Arellano, F. Malagón González y J. M. López Trujillo

Abstracto—El presente artículo describe el diseño de un sistema automático de irrigación por goteo para la siembra de una hortaliza. El sistema utiliza una plataforma basada en un sistema computacional mínimo para controlar y monitorear la humedad del suelo de la plantación. Los resultados mostrados del sistema propuesto son comparados con la operación de un sistema automático de irrigación por goteo convencional.

Índice de términos—Automatización, Instrumentación, Monitoreo, Irrigación, Agricultura, Conservación de agua, Productos agrícolas, Microcontrolador.

I. INTRODUCCIÓN

LA agricultura en México y en la mayoría de los países alrededor del mundo es considerada de gran importancia para el desarrollo y crecimiento económico [1]-[2], uno de los aspectos más importantes a considerar son los insumos requeridos para la producción de los alimentos en la industria agrícola, debido a que determinan los costos de comercialización de los mismos. Uno de los insumos indispensables en el rubro agrícola es el agua, en cada región geográfica agrícola existen diferentes retos, procedimientos y tecnologías para satisfacer la demanda de agua con el fin de alcanzar la meta de producción [3]. La cantidad requerida de consumo de agua para satisfacer la demanda agrícola depende de la producción comercial proyectada de productos, dicha demanda está determinada por el tamaño poblacional, la distribución nacional y la exportación de los productos hacia el extranjero. Un aspecto importante a considerar es que los

recursos hidrológicos con los que se cuenta para uso agrícola pueden no permanecer constantes, factores como el clima [4] y el incremento poblacional tienen la capacidad de reducir la disposición de agua en una determinada zona geográfica, con ello la repercusión en la producción agrícola puede traer problemas de abasto de alimentos que repercuten directamente a la población. De esta manera, el uso eficiente del agua en procesos de producción agrícola debe ser tomando en cuenta para asegurar el cumplimiento de la demanda productiva requerida en los campos agrícolas. De manera natural, la lluvia como parte del ciclo del agua provee el recurso del agua a las plantaciones para su cosecha, sin embargo en algunas zonas agrícolas la dependencia de la temporada de lluvias es una desventaja para el crecimiento de los productos plantados, además la alteración en las fechas de temporal de lluvias a causa de los diversos impactos ambientales pueden tener repercusión en la producción agrícola [5]. De esta manera la irrigación agrícola tiene la capacidad a través de medios y dispositivos no naturales proporcionar de manera controlada el caudal de agua necesaria a los plántíos, con ello se puede asegurar la producción y reducir la mano de obra requerida. La irrigación superficial alcanza un porcentaje de aplicación de un 95% en los cultivos a nivel mundial, una de las ventajas que presenta es que la distribución del agua por gravedad es que evita la utilización de sistemas complejos de aspersión de agua, la reducción en los elementos de irrigación ayuda a reducir el consumo eléctrico requerido para la irrigación de los campos agrícolas. Uno de los retos de la irrigación superficial a nivel de automatización es poder alcanzar el uso eficiente del agua, el monitoreo remoto y la autonomía del sistema [6], todo lo anterior acompañado de la utilización de sistemas y materiales tecnológicos de fácil acceso, en consecuencia, se pretende incentivar el uso de sistemas de irrigación agrícolas eficientes tanto de agua como de energía para operar de manera autónoma. Se han realizado diversos estudios en torno a irrigación agrícola desde el punto de vista sustentable y tecnológico, por ejemplo, en [7] se presenta un análisis a través de indicadores de sustentabilidad la viabilidad de la instalación de sistemas de irrigación agrícola desde el aspecto económico y uso eficiente de recursos, por otra parte en [8] se presenta la evaluación de un modelo “hidro-económico” basado en el modelo de Evaluación de agua y Sistema de planeación (WEAP, por sus siglas en inglés); para determinar las estrategias tecnológicas de adaptación poblacional y así determinar y reducir el impacto ambiental generado por la irrigación agrícola. Por otra parte en [9] se aborda el análisis de la innovación aplicada a sistemas de irrigación agrícolas, lo

E. M. Sánchez Coronado, Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, Departamento de Investigación de Mecatrónica Área Automatización, Cuitláhuac, México, eduardo.sanchez@utcv.edu.mx

J. P. Rodríguez Jarquin, Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, Departamento de Investigación de Mecatrónica Área Automatización, Cuitláhuac, México, jose.rodriguez@utcv.edu.mx

D. Villanueva Vázquez, Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, Departamento de Investigación de Mantenimiento Industrial, Cuitláhuac, México, investigacion@utcv.edu.mx

M. A. Herrera Arellano, Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, Departamento de Mecatrónica Área Automatización, Cuitláhuac, México, angeles.herrera@utcv.edu.mx

F. Malagón González, Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, Departamento de Mecatrónica Área Automatización, Cuitláhuac, México, meca.maut@utcv.edu.mx

J. M. López Trujillo, Técnico Superior Universitario en Mecatrónica Área Automatización, Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, Cuitláhuac, México, 9396@utcv.edu.mx

anterior es posible mediante la participación social, particularmente de los productores con el fin de superar las dificultades de innovación y motivar la adquisición tecnológica para el uso eficiente del agua. Así mismo, desde el punto de vista técnico-tecnológico, en [10] se presenta un sistema de irrigación con micro-aspersión en plantaciones de plátano (*Musa spp*), el trabajo somete a discusión la disposición espacial de los orificios de salida de agua del sistema de irrigación para evitar la saturación hídrica, los resultados muestran que se alcanza una eficiencia efectiva del 90% en utilización del agua. Así mismo en [11] se realiza un estudio acerca del impacto de la irrigación por goteo aplicado a plántulos de tomate (*Solanum lycopersicum*), en dicho trabajo se estima la eficiencia de agua utilizada y los costos económicos a considerarse para la puesta en marcha de este tipo de sistemas de riego. En [12] se presenta un sistema de monitoreo de irrigación llevado a cabo a través de una tarjeta de adquisición conectada a una computadora de escritorio, se determina que mediante tareas programadas de irrigación se obtiene uniformidad del proceso de riego asegurando la producción agrícola, en [13] se presentan sistemas automáticos de riego mediante el uso de diferentes sensores de medición directa, el monitoreo se lleva a cabo en línea lo que permite que el sistema ejecute la acción de irrigación solo cuando se requiere, con ello se evita el uso de rutinas programadas en donde puede no ser necesario el suministro de agua, con ello se puede alcanzar una alta eficiencia de uso de agua (mayor al 90%). El presente trabajo está organizado de la siguiente manera: en la sección II se encuentra la descripción de las características del campo de estudio y la hortaliza utilizada como producto agrícola final, posteriormente en la sección III puede ser consultada la metodología de diseño del sistema propuesto así como los equipos y materiales utilizados, después de ello, la sección IV presenta los resultados obtenidos del diseño del sistema automático de irrigación, posteriormente la sección V se presentan las conclusiones correspondiente al trabajo y finalmente en la sección VI se presentan las referencias bibliográficas utilizadas.

II. PREPARACIÓN DEL CULTIVO

Para el presente proyecto se utilizó como objeto de estudio un sembradío de rábano (*Raphanus sativus*) en condiciones ambientales, la descripción del objeto de estudio se detalla a continuación. El rábano es una hortaliza que forma parte de la familia de las crucíferas al igual que las coles y los berros, una de las ventajas de la siembra del rábano es que necesita de una superficie reducida para su producción. Existen seis especies de rábanos, de estas el *Raphanus sativus* es la que más se utiliza para siembra y comercialización. El proceso de siembra se realizó de la siguiente manera: mediante el uso de la técnica de siembra directa se colocaron semillas en dos contenedores con sustrato previamente humedecido, éstas se esparcieron de manera uniforme para luego ser recubiertas con otra capa de sustrato. Es importante destacar que la semilla de rábano generalmente se esparce a voleo a razón de 12 kg de semilla por hectárea. Para este estudio se utilizaron ambientes superficiales de 2m² (Fig.1), por lo cual se utilizaron 2,4 g de semillas esparcidas en línea con una separación de 0.1m entre

ellas.



Fig. 1 Contenedores para el sembradío de rábano (*Raphanus sativus*).

Puesto que es necesaria una cantidad considerable de agua para su riego de agua, también es requerido distribuir el agua uniformemente en lapsos de riego estrictos. Por otra parte la humedad del suelo debe encontrarse entre un intervalo del 60% al 65% de la capacidad de campo durante el ciclo vegetativo, de esta manera en el presente trabajo se lleva a cabo la irrigación mediante la técnica por goteo localizado. Así mismo la cosecha se debe realizar considerando la variedad sembrada, al igual debe arrancarse con todo y follaje antes que la raíz comience a ablandarse, de otro modo se pierde su sabor característico. La cosecha se realiza aproximadamente después de entre 20 y 30 días desde la siembra, para ello generalmente se recolectan a mano para después lavarse y ser atarlos entre sí formando mazos o manojos de aproximadamente 6 ó 10 unidades. Para este tipo de siembra se realiza un riego constante por goteo, el cual la mayoría de las veces el agricultor solo considera los intervalos de tiempo basado en conocimiento empírico acerca de la cantidad de agua requerida por el sembradío, por lo tanto es común no considerar una medición de la humedad del suelo, de esta manera no siempre se puede asegurar que la humedad sea la adecuada para el crecimiento óptimo del rábano. De esta manera en el presente trabajo se propone el desarrollo de un sistema automatizado de riego el cual considera como variable controlada la humedad del suelo, teniendo como objetivo establecer el valor de consigna en un rango de 60% de humedad. Se pretende analizar el tiempo de germinado así como el gasto de agua en comparación con la irrigación por goteo programada.

III. SISTEMA AUTOMATIZADO PARA RIEGO BASADO EN LA MEDICIÓN DE HUMEDAD EN EL SUELO DE CULTIVO

Se realizaron dos preparaciones de cultivo (Fig. 2) de acuerdo a las condiciones presentadas en el punto anterior, ésto con la finalidad de realizar comparaciones entre el proceso de irrigación por goteo a través de horarios programados y el propuesto en el presente documento.



Fig. 2. Preparación inicial del cultivo.

A continuación se presenta la metodología utilizada mediante un diagrama de flujo (Fig. 3) para llevar a cabo el control de humedad en el suelo de cultivo.

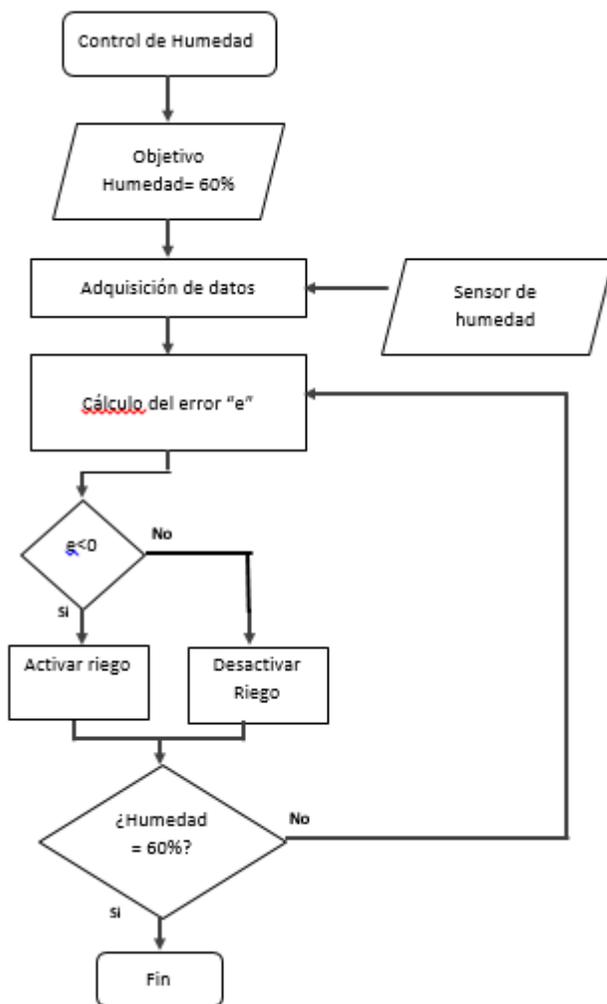


Fig. 3. Diagrama de flujo sistema de control.

A. Instrumentación

Primeramente se procedió a realizar el sistema de riego controlado mediante el uso de conductos de "Pvc" (Policloruro de vinilo), los agujeros por donde sale el agua de los mismos se realizaron a una distancia constante de 0.08m, de esta manera se alcanza una irrigación por goteo controlado

por una electroválvula que regula la circulación de agua proveniente de un contenedor de almacenamiento. El proceso de inserción del sistema de goteo puede ser observado en la Fig. 4.



Fig. 4. Sistema de riego por goteo.

En lo correspondiente al sensor de humedad se utilizó el EC-5 (Fig. 5).



Fig. 5. Sensor de humedad en suelo.

El sensor EC-5 determina el contenido volumétrico de agua (CVA) a través de la medición de la constante dieléctrica de del medio utilizando la capacitancia y la tecnología de dominio de la frecuencia. La frecuencia de operación es de 70 MHz, además tiene la ventaja de minimiza efectos de textura y salinidad; otorgando una precisión de medición al sensor efectiva en casi cualquier suelo o medio de cultivo sin suelo. Para la adquisición de datos se consideró el uso de una tarjeta "Arduino Uno R3" haciendo uso de las entradas analógicas. Por otra parte, para el diseño del sistema de control de interfaz hombre-máquina se utilizó el microcontrolador "Raspberry Pi 3", con ello se establece un sistema mínimo el cual no requiere el uso de un sistema de cómputo complejo para el desarrollo del sistema de control. La conexión entre el sensor y la tarjeta "Arduino Uno R3" se realiza utilizando como acoplador un acondicionador de señal basado en amplificadores operaciones tal como se muestra en las imágenes de las figuras Fig. 6 y Fig. 7.

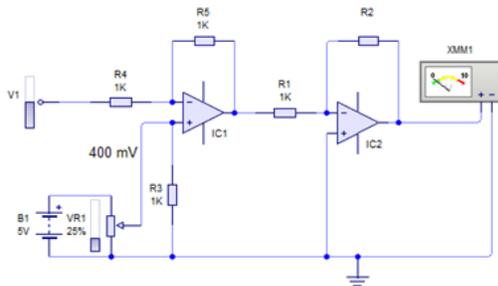


Fig. 6. Sistema de Acondicionamiento de señal.

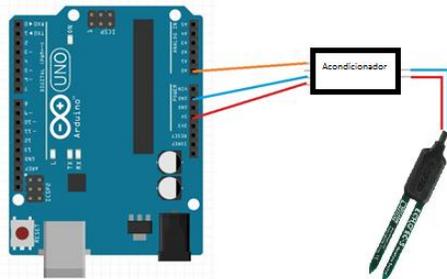


Fig. 7. Acoplamiento sensor /arduino.

Posteriormente, se procedió a realizar la instalación del sistema y se diseñó una interfaz para llevar a cabo el monitoreo, los resultados del monitoreo se programan sobre la plataforma “Raspbian” en el microcontrolador “Raspberri Pi 3”, lo anterior se muestra en la Fig. 8.

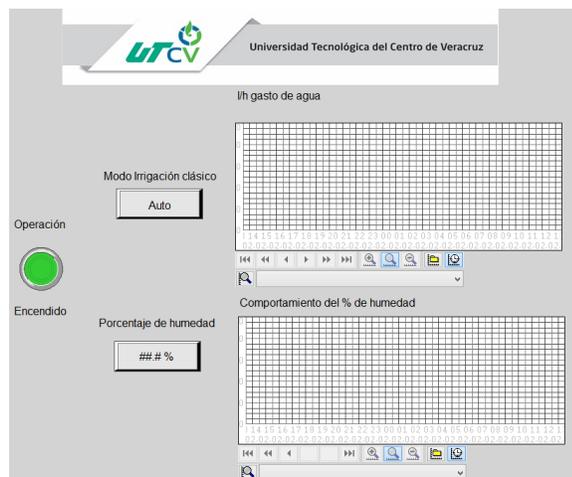


Fig. 8 Interfaz gráfica Hombre – Máquina (HMI).

IV. RESULTADOS

En la Tabla I. se muestran las comparaciones del gasto de agua en términos de l/d (litros por día) y el porcentaje de humedad promedio monitoreada en el sembradío sometida con irrigación por horarios programados y el sistema de irrigación propuesto.

TABLA I
COMPARACIÓN ENTRE SISTEMAS DE RIEGO

Días	Cantidad de agua utilizada (l/d)		Porcentaje de humedad promedio (%)	
	Clásico	Propuesto	Clásico	Propuesto
1	22	19.7	67	59
2	22	20.1	66	61
3	22	20.2	67	60
4	22	19.9	65	60
5	22	20.3	67	60
6	22	20.9	64	59
7	22	20.8	64	59
8	22	20.7	65	58
9	22	20.1	66	60
10	22	19.9	64	61

En la Fig. 9 se muestra una gráfica comparativa de la evolución de la humedad durante en el transcurso de 1 día en un sembradío de rábanos.

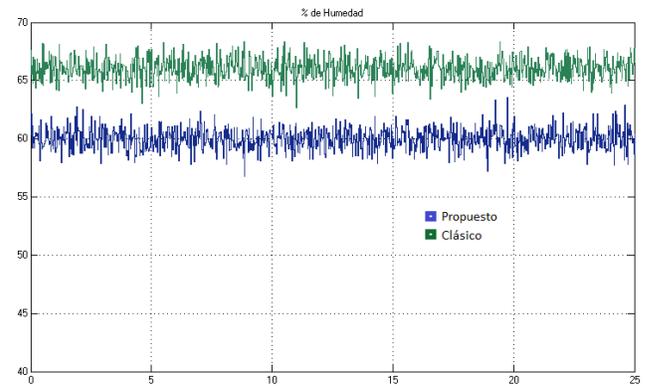


Fig. 9 .Evolución del nivel de humedad en los sembradíos.

V. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran que el uso de un sistema de control para la irrigación basado en control de humedad permite optimizar al uso de agua en un sembradío; en comparación con un sistema de irrigación automatizado por tiempo. Por otro lado cabe destacar que como trabajo futuro se propone considerar otros factores ambientales como la presión atmosférica, temperatura, etc., que se consideran pudieran afectar la evolución del sembradío.

VI. REFERENCIAS

- [1] M. Abdurrahman, G. Gebru, y T. Bezabih, "Sensor based automatic irrigation management," *International Journal of Computer and Information Technology*, vol. 4(3), pp. 532-535, may 2015.
- [2] Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), "Perspectiva de largo plazo del sector agropecuario de México 2011-2020," Tech Rep., jun 2011.
- [3] D. Molden, T. Oweis, P. Steduto, P. Bindraban, M. Hanjra y J. Kijne, "Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution," *Agricultural Water Management*, vol. 97, pp. 528-535, jun 2009.
- [4] C. Liu, y H. Zheng, "Changes in components of the hydrological cycle in the Yellow River basin during the second half of the 20th century," *Hydrological Processes*, vol. 18, pp. 2337-2345, 2004.
- [5] A. G. Pendergrass y D. L. Hartmann, "Changes in the Distribution of Rain Frequency and Intensity in Response to Global Warming", *Journal of Climate*, Vol. 27, pp. 8372-8383, July 2014.

- [6] S. Kulkarni, "Innovative Technologies for Water Saving in Irrigated Agriculture", *International Journal of Water Resources and Arid Environments*, vol. 3, pp. 226-231, 2011.
- [7] S. Mohan y G. Loganathan, "Strategic Decision-Making in Irrigated Agriculture Using Sustainability-Related Criteria", in Twelfth International Water Technology Conference, Alexandria Egypt, 2008.
- [8] P. Esteve, C. Varela, I. Blanco y T. Downing, "Analysis a Hydro-Economic model for the assessment of climate change impacts and adaptation in Irrigated Agriculture", *Ecological Economics*, vol. 120, pp 49-58, 2015.
- [9] L. Levidow, D. Zaccaria, R. Maia, E. Vivas, M. Todorovic, y A. Scardigno, "Improving water-efficient irrigation: Prospects and difficulties of innovative practices", *Agricultural Water Management*, vol. 146, pp. 84-94, 2014.
- [10] A. J. Pereira, E. Ferreira y J. Honório, "Efficiency of water application of irrigation systems based on microsprinkling in banana plantations", *Scientia Agricola*, vol. 70(3), pp 139-146, June 2013.
- [11] S. Biswas, A. Akanda, M. Rahman y M. Hossain, "Effect of drip irrigation and mulching on yield, water-use efficiency and economics of tomato", *Plant Soil Environ*, vol. 61(3), pp. 97-102, 2015.
- [12] M. Guerbaqui y Y. Afou, "PC- Based Automated Drip Irrigation System", *International Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 5(1), pp. 221-225, January 2013.
- [13] D. Chaware, M. Panse, A. Raut y A. Koparkar, "Sensor Based Automated Irrigation System", *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 4, pp. 33-37, May 2015.

VII. BIOGRAFÍAS



E. M. Sánchez Coronado es Doctor en Ciencias en Ingeniería Electrónica otorgado por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET). Actualmente se desempeña como Profesor-Investigador en el Departamento de Investigación del área de Mecatrónica área Automatización de la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz (UTCV).

Las líneas de investigación en las que se especializa son las de Control Automático de Procesos Industriales, Control Tolerante a Fallas de Sistemas Híbridos así como el Diagnóstico de fallas.



J. P. Rodríguez Jarquin es Doctor en Ciencias en Ingeniería Electrónica otorgado por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET). Actualmente se desempeña como Profesor-Investigador en el Departamento de Investigación del área de Mecatrónica área Automatización de la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz (UTCV).

Las líneas de investigación en las que se especializa son las de Detección y Diagnóstico de fallas, Automatización de Procesos Industriales y Control Tolerante a Fallas de Sistemas Híbridos.



D. Villanueva Vázquez es Doctor en Ciencia y Tecnología Informática otorgado por la Universidad Carlos III de Madrid España. Actualmente se desempeña como Profesor-Investigador en el Departamento de Investigación y pertenece al área de Mantenimiento Industrial de la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz (UTCV).

Las líneas de investigación en las que se especializa son las de Control Automático de Procesos Industriales, Control Tolerante a Fallas de sistemas Híbridos así como el Diagnóstico de fallas.



M. A. Herrera Arellano es Maestra en Ciencias en Instrumentación y Control otorgado por la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ). Actualmente se desempeña como Profesora del área de Mecatrónica área Automatización de la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz (UTCV).

Las líneas de investigación en las que se especializa son las de Procesos Industriales, Automatización, Instrumentación de Procesos y Termografía Infrarroja.



F. Malagón González es Maestro en Ingeniería Electrónica otorgado por el Instituto Tecnológico de Orizaba (ITO). Actualmente se desempeña como Jefe de Carrera y Profesor del área de Mecatrónica área Automatización y Mantenimiento Automotriz de la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz (UTCV).

Las líneas de investigación en las que se especializa son las de Instrumentación de Sistemas Industriales, Procesamiento digital de señales y Automatización.



J. M. López Trujillo es alumno del programa de Técnico Superior Universitario en Mecatrónica área Automatización y Mantenimiento Automotriz de la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz (UTCV). Los proyectos escolares en los cuales se desempeña están relacionados a Mecatrónica y en Automatización de procesos.