

## Sistema de riego y fumigación automático empleando control basado en PAC, monitoreo con HMI y detección de plaga mediante procesamiento de imágenes para el cultivo de frijol

### Automatic irrigation and fumigation system employing PAC-based control, monitoring via HMI, and pest detection through image processing for bean cultivation

E. Flores-García <sup>a</sup>, J.C. Quezada-Quezada <sup>b</sup>, M.A. Flores-Valdés <sup>c</sup>, D.E. Reyes-Sánchez <sup>d</sup>,  
M.N. Sánchez-Hernández <sup>e</sup>, J.G. Vargas-Quezada <sup>f</sup>

#### Abstract:

Automation has presented great advances in the various types of industries and their different sectors, and the agricultural sector is no exception; the inclusion of new technologies has facilitated and improved the realization of activities such as irrigation control, the ideal care for the harvest treatment, the collection of specific information for problem detection during the planting process, to name a few. The present work deals with the proposal of an automatic system for the control and monitoring of the irrigation and fumigation process in the bean crop, making use of automation technologies such as the PAC for the control execution through algorithms programmed in Ladder Diagram language with the software Proficy Machine Edition; an HMI for virtual remote monitoring and control developed with Cimplicity Workbench; level and humidity sensors, and actuator motors for pumping water for irrigation and pesticide for fumigation; likewise, a simple way of image processing using LabVIEW for pest detection based on the recognition of a predefined pattern is included. The implementation and integration of this technology is carried out through the development of a technological model whose purpose is to simulate and validate the operability and functionality of the proposed system. This work constitutes a terminal academic project of practical application, with a focus on the automation of industrial-type processes.

#### Keywords:

Automation, Bean, Control, Cultivation, Fumigation, HMI, Irrigation, LabVIEW, Monitoring, OPC server, PAC, Pest

#### Resumen:

La automatización ha presentado grandes avances en los diversos tipos de industrias y sus diferentes sectores, y el ramo agrícola no es la excepción; la inclusión de nuevas tecnologías ha facilitado y mejorado la realización de actividades como el control de riego, el cuidado idóneo para el tratamiento de la cosecha, la recopilación de información específica para la detección de problemas durante el proceso de siembra, por mencionar algunas. El presente trabajo aborda la propuesta de un sistema automático para el control y monitoreo del proceso de riego y fumigación en el cultivo de frijol, haciendo uso de tecnologías de automatización tales como el PAC para la ejecución del control a través de algoritmos programados en lenguaje Diagrama Escalera con el software *Proficy Machine Edition*; una HMI para el monitoreo y el control remoto virtual desarrollada con *Cimplicity Workbench*; sensores de nivel y de humedad, y motores actuadores para el bombeo de agua para el riego y de pesticida para la fumigación; asimismo, se incluye una manera simple de procesamiento de imágenes usando *LabVIEW* para la detección de plaga basada en el reconocimiento de un patrón predefinido. La implementación e integración de esta tecnología se lleva a cabo mediante la elaboración de un modelo tecnológico

<sup>a</sup> Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0002-4606-8217>, Email: [efloresg@uaeh.edu.mx](mailto:efloresg@uaeh.edu.mx)

<sup>b,c,d,e,f</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0003-3125-3708>, Email: [jcarlos@uaeh.edu.mx](mailto:jcarlos@uaeh.edu.mx); <https://orcid.org/0009-0001-8741-0170>, Email: [fl401447@uaeh.edu.mx](mailto:fl401447@uaeh.edu.mx); <https://orcid.org/0009-0007-1862-1963>, Email: [re402780@uaeh.edu.mx](mailto:re402780@uaeh.edu.mx); <https://orcid.org/0009-0001-1673-9139>, Email: [sa380999@uaeh.edu.mx](mailto:sa380999@uaeh.edu.mx); <https://orcid.org/0009-0009-9972-4191>, Email: [va400403@uaeh.edu.mx](mailto:va400403@uaeh.edu.mx)

cuyo propósito es simular y validar la operatividad y funcionalidad del sistema propuesto. Este trabajo constituye un proyecto académico terminal de aplicación práctica, con enfoque a la automatización de procesos de tipo industrial.

### Palabras Clave:

Automatización, Control, Cultivo, Frijol, Fumigación, HMI, LabVIEW, Monitoreo, OPC server, PAC, Plaga, Riego

## Introducción

La agricultura es una actividad primaria de las que tienen mayor impacto sobre la economía en México; específicamente, el frijol es una de las cosechas más importantes para el país, ubicándolo como el séptimo productor de esta leguminosa en el mundo [1].

En el presente trabajo se presenta una propuesta de un sistema para el control de riego y fumigación automático con aplicación orientada al cultivo de frijol; persiguiendo como beneficios principales la reducción de tiempo laboral que se emplea en estas actividades, un mejor control sobre las cantidades de pesticida utilizadas en la fumigación, favorecer la detección de plagas y aumentar la protección contra éstas, así como favorecer el crecimiento del cultivo para satisfacer la demanda del producto dentro del mercado agrícola.

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una leguminosa que presenta variaciones en cuanto a color, tamaño, flor, entre otras, que dependen de las condiciones del suelo, luz y humedad durante el cultivo. [2] Sus etapas de desarrollo se mencionan en el Diagrama 1.

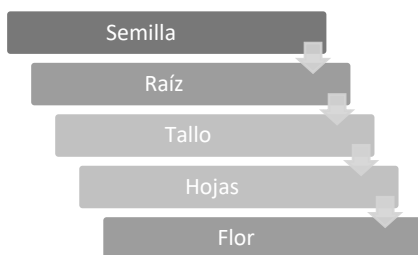


Diagrama 1. Etapas de desarrollo del frijol.

Como cualquier cosecha, sufre la presencia de diferentes tipos de plaga; cada una lo ataca en diferentes aspectos, por ejemplo, la *chicharrita* le provoca un descoloramiento en las hojas, mientras que el *gusano de terciopelo*, *pulgón* y *conchuela* lo dañan por alimentarse de la propia planta [3]; aunque no solo este tipo de fauna nociva lo perjudican, también las condiciones meteorológicas causan enfermedades en la cosecha, siendo una de las principales el *Tizón* común, que provoca que la planta presente manchas acuosas que van creciendo si se le deja; también el *chahuixtle*, que se presenta como una infección a la planta mostrando pústulas en el revés de las hojas, aumentando de tamaño hasta cubrir toda la hoja.

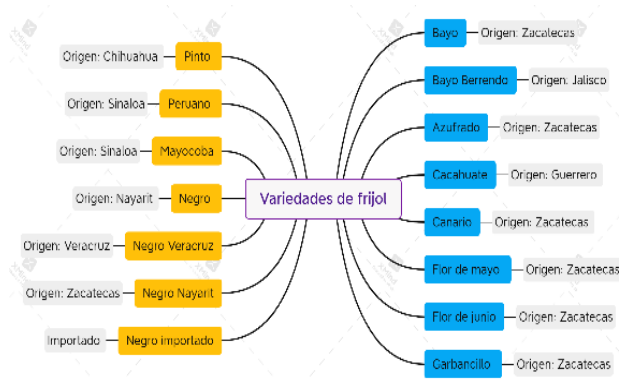


Diagrama 2. Variedades del frijol.

En México se cultivan cerca de 70 variedades de frijol que se distribuyen en quince grupos, como muestra el Diagrama 2. Para la preparación del suelo para la siembra de este cultivo se recomienda realizar prácticas según el tipo de suelo, para garantizar un cultivo de buena calidad. [4]

- Siembra en monocultivo
- Siembra de relevo
- Siembra en ladera



Diagrama 3. Proceso manual de fumigación para el cultivo de frijol.

Para efectos de la elaboración del modelo tecnológico de este proyecto, se ha tomado como base el análisis del proceso de siembra de frijol en el municipio de Tepojaco, estado de Hidalgo. Al observar el control del pesticida (*Flex*) utilizado en la siembra en dicho municipio, que es aplicado por los trabajadores, es un problema recurrente que comúnmente sobrepasan la cantidad necesaria, lo cual obviamente es perjudicial. Asimismo, otra área de oportunidad está en ayudar al personal a reducir tiempos y movimientos, y mejorar la calidad en el cultivo. [5]

En el desarrollo de la propuesta de automatización, se considera la integración de tecnologías de aplicación en procesos industriales, como las siguientes.

**PAC System RX3i.** Es una gama de PLC que, como sus siglas lo indican, se trata de un Controlador de Automatización Programable que constituye una plataforma de control individual y un entorno de programación universal, que proporciona mayor rendimiento y flexibilidad al sistema, con base en tecnología de memoria reflexiva. [6]

**Interfaz Humano-Máquina.** (Human-Machine Interfaz; HMI) Es considerada como un sistema visual que ofrece información en tiempo real sobre un proceso que se ejecuta en aplicaciones industriales o de automatización. Este dispositivo permite realizar la intercomunicación entre los procesos donde se incluye maquinaria y los operadores (humanos) que tienen un acceso directo a los diferentes procesos. [7]

**LabVIEW.** La instrumentación dentro del ambiente laboral es de suma importancia para poder observar, analizar e identificar las mediciones de las variables que están involucradas en el proceso o sistema de control; *LabVIEW* es una herramienta de programación gráfica orientada a aplicaciones de control en el desarrollo de sistemas de instrumentación. [8]

**OPC Server.** La importancia de la comunicación en la industria es primordial, ya que permite compartir información de un dispositivo de control a otro; por otro lado, no siempre se podrá disponer de los mismos elementos de control de una sola marca, y para esto es necesario utilizar ciertos protocolos. En el caso de OPC, si bien no es un protocolo, es un método de conectividad de datos basado en estándares internacionales empleado para la comunicación. [9]

**Procesamiento de imágenes.** Constituye un método de observación y análisis que con el paso del tiempo se ha ido modificando, volviéndose cada vez más sofisticado; proporcionando herramientas para reconocimiento de caracteres y recopilación de muestras en tiempo real.

Para ello, la visión artificial es la representación de la realidad que proporciona información en específico de figuras, brillo, color, matiz, entre otras. Con la tecnología actual y la digitalización se logra obtener información más precisa acerca del posicionamiento de los objetos, y reconocer patrones de objetos más complejos. [10]

El objetivo general de este trabajo es diseñar un sistema automatizado de riego y fumigación que permita eliminar la fauna nociva presente en la siembra del frijol, por medio de un sistema de control basado en PAC y HMI.

Entre los objetivos específicos está: estandarizar el consumo de pesticida dependiendo de la dosis necesaria con respecto al área de suelo; disminuir el desgaste físico debido a la realización manual de la fumigación; minimizar el tiempo empleado para la fumigación; implementar procesamiento de imágenes con *LabVIEW* para detectar la presencia de plaga.

Para el diseño de la propuesta del modelo tecnológico, se requiere tomar en cuenta tres variables controladas, a saber, nivel, presión, y caudal, que representan entradas y salidas del sistema.

ENTRADAS	Tipos de señal
Nivel de tanque de reserva	Analógica
Nivel de tanque de riego	Discreta
Nivel de tanque de pesticida	Discreta
Procesamiento de imagen	Discreta

Tabla 1. Variables de entrada del sistema de control.

SALIDAS	Tipos de señal
Aspersores	Discreta
Electroválvula de riego	Discreta
Electroválvula de pesticida	Discreta
Motor-bomba de reserva	Discreta
Motor-bomba de pesticida	Discreta
Motor-bomba de riego	Discreta

Tabla 2. Variables de salida del sistema de control.

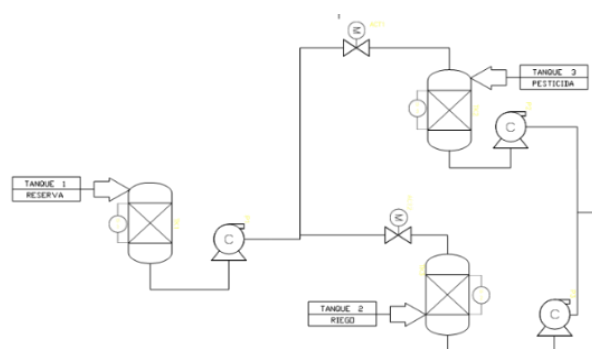


Figura 1. DTI de la propuesta del proceso.

Se creó un Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI), presentado en la Figura 1, que muestra las tuberías y los diferentes componentes del proceso, y ayuda a visualizar cómo se estructura el esquema de control para el sistema. Ahí se pueden observar los instrumentos indicadores de nivel (*Level Indicator*, LI) en los tanques, así como las servo-válvulas que permiten o restringen el paso del flujo hacia las tuberías, y los motores-bomba que suministran el agua y el pesticida hacia los aspersores.

## HMI

Para generar la Interfaz Humano Maquina, se utilizó el software *Cimplicity Workbench*, mediante el cual se diseñaron las distintas pantallas de control para el sistema. La primera o principal es la pantalla de menú o *home*, donde se presenta un diagrama general del sistema y se encuentra el selector de modo manual/ automático, así como el acceso a las ventanas o pantallas secundarias de operación del proceso, como la del tanque de reserva, de riego, y de pesticida; como muestra la Figura 2.

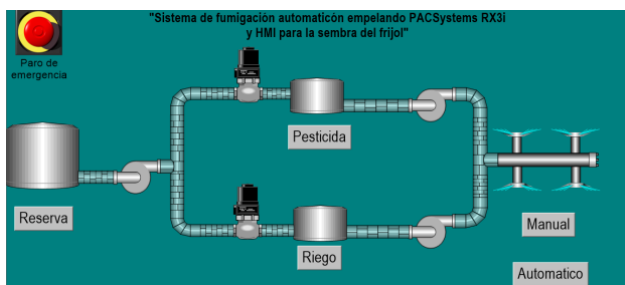


Figura 2. Pantalla principal de la HMI.

Dentro de cada ventana se muestran detalles más específicos del proceso, incluyendo un esquema de la etapa o sección de la que se trate. La Figura 3 presenta la ventana de riego, en la que se pueden visualizar las luces indicadoras de los sensores de nivel alto y nivel bajo de agua en el tanque, así como la lámpara indicadora del sensor de humedad y de paro de emergencia físico; además de los botones de control de arranque y de paro manual, y de paro de emergencia virtual para detener el proceso en caso necesario.

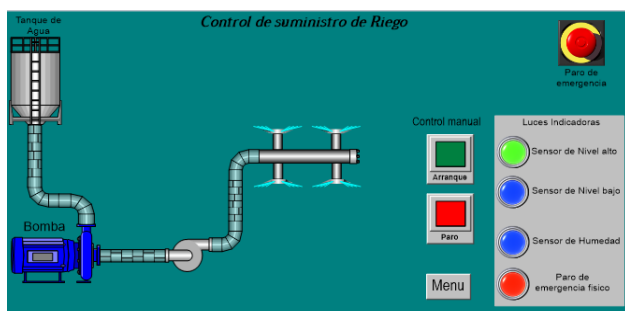


Figura 3. Control de suministro de agua para riego.

La ventana de pesticida, Figura 4, incluye las mismas características con las que cuenta la ventana de riego, ya que su diseño y operación es similar; la única diferencia es que la ventana de pesticida cuenta con una lámpara indicadora del sensor de plaga, en vez del sensor de humedad.

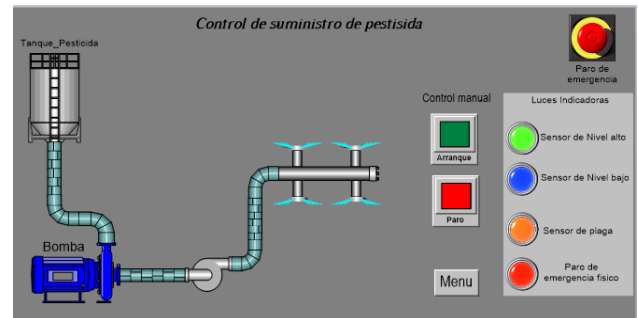


Figura 4. Control de suministro de pesticida.

La ventana de la interfaz para el tanque de reserva, Figura 5, es diferente a las anteriores, ya que cuenta con botones de texto que solo funcionan en el modo de operación manual para efectuar la selección de llenado de los tanques de pesticida y de riego. Ésta permite seleccionar la opción de llenar solo uno de los tanques o ambos simultáneamente; y aunque su funcionamiento es solo en modo manual, por seguridad los sensores de nivel no permiten el llenado de estos tanques si se encuentran en nivel alto, por lo que aun en modo manual no se podrá accionar la bomba respectiva si no se tiene un nivel adecuado para realizar su llenado.

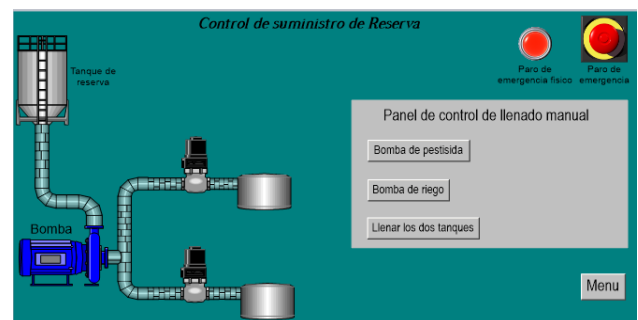


Figura 5. Control de suministro de reserva.

Todas las ventanas secundarias cuentan con un botón de *Menú* para poder regresar a la pantalla principal.

## Algoritmo de Control en Diagrama Escalera

Mediante el software *Proficy Machine Edition* se han programado los algoritmos de control en el lenguaje Diagrama Escalera (*Ladder Diagram*, LD), para realizar el control de los elementos físicos a través del PAC.

Para el control del sistema completo, primero se generaron las líneas de control para la selección del modo de operación Manual/Automático, incluyendo como medida de seguridad mantener presionado por 2s el botón respectivo para que se realice la conmutación entre ambos modos de control; esto se realizó utilizando un temporizador TMR SEC, en conjunto con dos comparadores GE INT (*mayor o igual que*), como se muestra en la Figura 6.

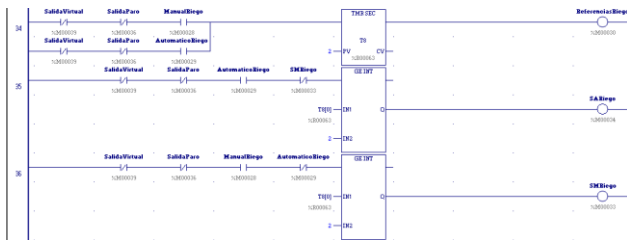


Figura 6. Líneas de código de programación del algoritmo de control: selección del modo de operación.

Los comparadores se encargan de comprar el tiempo transcurrido con respecto a un valor previamente fijado en el comparador; y cuando el tiempo es igual o mayor al valor fijado, se realiza el cambio de modo entre manual y automático, según corresponda.

Para el accionamiento automático de la bomba de pesticida, la programación (Figura 7) comienza recibiendo la señal discreta proveniente de los sensores de nivel y de plaga; con base en estas señales, si existe nivel en el tanque de pesticida y además se detecta plaga, se activa una vez el sistema; esto se logra a través de un contador que limita la activación a *una* vez para evitar múltiples activaciones, y con ello tener un mejor control de la cantidad de pesticida que se suministra sobre la cosecha; después de transcurrido el tiempo establecido en la programación, se reinicia el contador permitiendo nuevamente la activación para la distribución de otra dosis de pesticida.

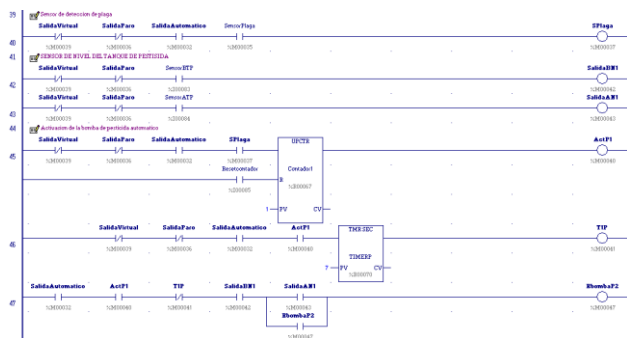


Figura 7. Líneas de código de programación del algoritmo de control: dosificación de pesticida.

Para el accionamiento automático de la bomba de riego la programación desarrollada es similar, como se puede observar en la Figura 8, solo que para limitar la activación de la bomba y evitar ahogar la cosecha con más agua de la necesaria, se emplea un sensor de humedad que envía una señal discreta que indica la cantidad de humedad en el terreno; si no detecta humedad suficiente y existe nivel adecuado en el tanque de agua, se activa la bomba de riego; cuando el sensor detecta humedad necesaria, se desactiva la bomba.

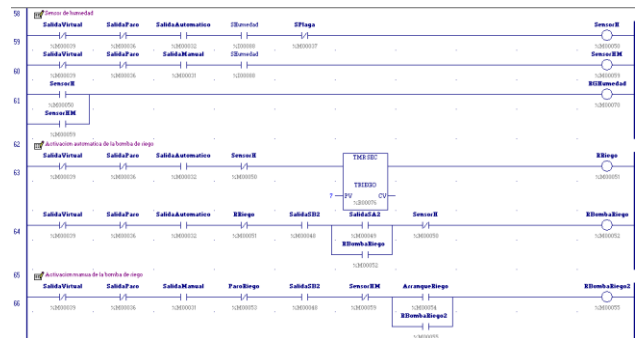


Figura 8. Líneas de código de programación del algoritmo de control: riego.

Por último, el accionamiento de la bomba de reserva depende de los sensores de nivel de los tanques de pesticida y riego (Figura 9); si el nivel de los tanques es bajo, se abre la válvula de paso del tanque correspondiente y se activa la bomba respectiva. En modo automático, se permite el flujo para el llenado de un solo tanque, el que lo necesite, y con ello evitar el desperdicio de agua; aunque si los dos tanques lo requieren, se abren ambas válvulas permitiendo el paso del líquido en ambas direcciones. Cuando se llena uno de los tanques, se cierra su válvula impidiendo el paso del líquido y evitando su derrame, para continuar con el llenado del otro tanque.

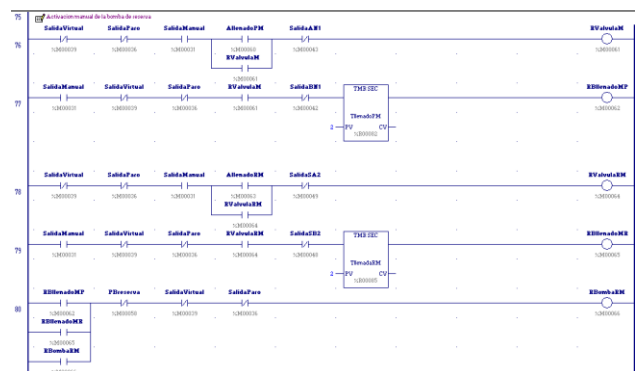


Figura 9. Líneas de código de programación del algoritmo de control: bomba del tanque de reserva.



## Detección de plaga mediante procesamiento de imágenes

Para la detección de las plagas se optó por la implementación del software *LabVIEW*, el cual permite realizar reconocimiento de objetos o formas con alta calidad de imagen, y su comunicación con el PAC por medio de *OPC Server*, así como con *Proficy Machine Edition*, lo que posibilita ver reflejada la señal de detección de plaga en la HMI.

En una ventana de la interfaz, como la presentada en la Figura 10, se dispone de dos recuadros para mostrar tanto la señal de video capturada en tiempo real, como la muestra que se le asigna al sistema para que con base en ésta se realice el reconocimiento del patrón y detecte la plaga automáticamente; de esta forma, se realiza la activación automática de la fumigación.

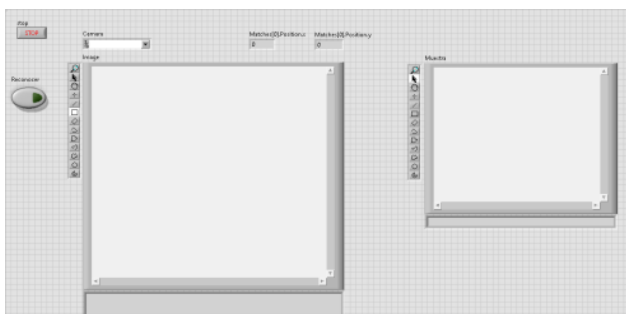


Figura 10. Procesamiento de imágenes con LabVIEW.

En el desarrollo de la programación para el procesamiento de imágenes, se empleó la librería *NI-IMAQdx*, la cual permite realizar la configuración de la cámara a utilizar; así como las herramientas para el reconocimiento de objetos mediante el bloque *IMAQ Find Pattern 3*, usado para realizar la identificación de la muestra dada al sistema, además de mostrar las coordenadas y de encerrar la imagen identificada en un recuadro rojo para su mejor visualización por el usuario.

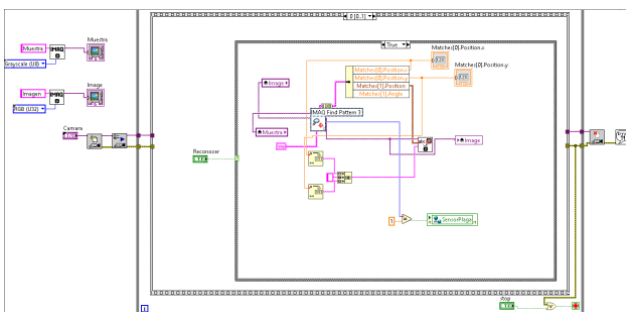


Figura 11. Bloque IMAQ Find Pattern 3 en LabVIEW.

Así, se puede realizar la detección automática de prácticamente cualquier plaga que se presenta en el cultivo del frijol; solo es necesario configurar el reconocimiento de la misma a través de su muestra.

## Conclusiones

La diversidad de innumerables aplicaciones en las que se encuentra inmersa la automatización, industrial particularmente, permite incrementar la eficiencia y seguridad de los procesos productivos en sus diferentes tipos, y los agrícolas no son la excepción, donde entre algunos de los retos importantes está el combate a las plagas que afectan el cultivo y consecuentemente la cosecha, y con ello la fumigación y el riego de amplias extensiones de tierra de siembra. Considerando que el presente trabajo constituye un proyecto académico terminal de aplicación práctica orientado a proponer alternativas de solución a las problemáticas sobre automatización de procesos de tipo industrial, en éste se ha planteado una propuesta de un sistema automático de riego y fumigación enfocado al cultivo de frijol, integrando tecnología de automatización de gama industrial para control, monitoreo, instrumentación y comunicación. Específicamente, la detección de plaga, que forma parte del monitoreo y la supervisión del proceso, se efectuó realizando una forma simple de procesamiento de imágenes empleando *LabVIEW* para el reconocimiento de la forma o patrón asociado a la plaga que se desea detectar, y que se predefine como la muestra que ha de tomar como referencia tal procesamiento.

## Referencias

- [1] CEDRSSA, «Mercado del frijol, situación y prospectiva,» 20 Marzo 2020. [En línea]. Available: [http://www.cedrssa.gob.mx/post\\_mercado-n-\\_del\\_-n-frijol-n-\\_\\_situacinin\\_y\\_prospectiva.htm](http://www.cedrssa.gob.mx/post_mercado-n-_del_-n-frijol-n-__situacinin_y_prospectiva.htm). [Último acceso: 28 Marzo 2022].
- [2] M. L. Flores, «El cultivo de frijol en México,» *Revista Digital Universitaria*, vol. 12, n° 16, pp. 3 - 6, 2015.
- [3] CESAVEG, «Manual de plagas y enfermedades en frijol,» *Campaña Manejo Fitosanitario del Frijol*, vol. 1, n° 1, pp. 15-16, 2021.
- [4] N. Ing. Danilo Escoto, *EL cultivo del frijol*, III ed., Tegucigalpa: Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG) Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA), 2013, pp. 1 - 2.
- [5] J. Á. Cid Ríos, M. Reveles Hernández, R. Velásquez Valle y J. Mena Covarrubias, *Producción de semilla de frijo*, Coyoacán, CDMX: CIRNOC-INIFAP, 2014.
- [6] PACSystems RX3i CPUs, *PACSystems™ RX3i CPUs*, EMERSON, 2021.
- [7] IEC 61131-3. Lenguajes de programación, *Estandarización en la programación del control industrial*, 2013.
- [8] J. Pelegrí Sebastián y J. R. Lajara Vizacaíno, *LabVIEW Entorno gráfico de programación*, segunda ed., Barcelona: Marcombo, 2011.
- [9] D. Kominek y P. E. Alberta, *OPC: ¿De qué se trata, y como funciona?*, Matrikon OPC, 2009.
- [10] J. A. Á. G. C. R. C. G. J. G. A. T. Córdova Fraga, «Proceamiento digital de imágenes con LabVIEW: Aplicaciones en sistemas biológicos y nanomateriales,» *Research in Computing Sciense*, n° 131, pp. 125 - 130, 2017.