

Controlador Difuso para un Sistema de Riego Automático

1st Natalia Sánchez Patiño

Licenciatura en Tecnología

FES Cuautitlán, UNAM

Estado de México, México

nataliasanchezpat@comunidad.unam.mx

2nd Mario Rosas Otero

Licenciatura en Tecnología

FES Cuautitlán, UNAM

Estado de México, México

maltz15@comunidad.unam.mx

Abstract—Se presenta una propuesta de sistema para la implementación de un controlador difuso como método automático de regulación y control para el cuidado de una planta ornamental. Este puede ser fácilmente modificado o utilizado para diversos tipos de planta ornamental que mantengan características de cuidado similares, como referencia en este trabajo se utilizó una planta endémica de México, popularmente conocida como Nochebuena. Para el diseño del sistema se tomaron en cuenta las magnitudes que influyen directamente en su desarrollo y preservación, tanto a nivel de producción, como en situaciones donde se usa como ornamentación. Este sistema es capaz de obtener datos de entrada de los factores ambientales de la planta, tal como temperatura y humedad, así como medir las condiciones de humedad de la tierra alrededor. Con estos datos se establece comunicación entre un microcontrolador accesible (Arduino), con un programa en Matlab, que facilita la elaboración de sistemas difusos para control. La utilidad que brinda el manejo de esquemas difusos es amplia, permitiendo la toma de decisión de salida, o salidas sobre las que se requiera el control, liberando situaciones de ambigüedad, y brindando exactitud a las respuestas, no acotándose sólo a valores discretos. Todo el sistema trabaja en conjunto para poder llevar a cabo el suministro de agua a la planta de forma controlada de acuerdo a sus necesidades según lo consultado en la literatura, preservando así en todo momento su cuidado, y realizando una correcta gestión de los recursos utilizados. Es posible obtener el código total del proyecto en: <https://github.com/NM-Labs/FuzzyPlant>

Index Terms—Lógica difusa, Control difuso, Riego automático, Jardín inteligente, Plantas ornamentales

I. INTRODUCCIÓN

El proyecto desarrollado plantea la construcción de un controlador difuso capaz de medir las condiciones ambientales de una planta para decidir si necesita ser regada o no y en qué cantidad o potencia de la bomba se necesita. El sistema recibe datos de la humedad y temperatura ambiental, así como de la humedad del suelo a través de dos sensores y proporciona una respuesta acorde a esos valores variando la potencia de una bomba de agua que se encargará de regar diariamente a la planta. La gestión de potencia que se manda a la bomba es llevada a cabo mediante un esquema de control difuso implementado en Matlab.

A. Motivación

Es común que al momento de mantener la producción de plantas, o simplemente tener alguna como ornamentación, no siempre se cuente con el tiempo, la disponibilidad, la atención,

o el conocimiento necesario para preservar dichas plantas. Esto ocasiona que dichos seres vivos sufran afectaciones si no se encuentran en las condiciones necesarias, llegando incluso en los casos más severos a ocasionar la muerte de dichas plantas, este hecho además de la afectación del ser vivo en cuestión, puede representar una pérdida monetaria, de tiempo y esfuerzo, o inclusive una pérdida sentimental, que dependiendo de la cantidad de plantas que se vean afectadas, va a resultar el tamaño del daño económico y afectivo generado. Otro tipo de problemática común, es el exceso de suministro de componentes esenciales para las plantas, como lo es el agua. Este hecho puede presentarse por causas de desconocimiento, olvido, o falta de disponibilidad de tiempo. Esto se refleja como daños al estado óptimo de una planta, y pérdida de los recursos invertidos; es por eso que en el presente trabajo, se realiza una propuesta a pequeña escala de un sistema que pueda mitigar estos este tipo de situaciones. Con este proyecto se busca automatizar ciertas tareas dentro de los jardines mexicanos, y de otras regiones donde se produce y utilizan plantas para ornamentación, así como en macetas, u otro tipo de contenedores donde puedan ubicarse dichas plantas. El sistema de control utilizado, se realiza mediante esquemas de control de lógica difusa, ya que dichos esquemas le permiten a los sistemas tener una buena capacidad de adaptación a distintos valores de entrada y variar su respuesta de salida. Siendo esto favorable para la monitorización continua de un jardín manteniendo un cuidado adecuado y constante, sin necesidad de que un humano esté al pendiente de él. Al aplicar lógica difusa a este problema se combinan las variables de entrada, y sea cual sea el valor que tomen, por medio de reglas definidas lógicamente pero sin tener conjuntos discretamente definidos, se logra producir valores de salida que son igualmente variables. Se espera con este sistema dar una alternativa de control, con una amplia variedad de grados de libertad, el cual facilite el cuidado, o la producción de este tipo de plantas para ornamentación. Considerando al mismo tiempo el uso regulado de recursos, optimizando el gasto de los mismos conforme a las condiciones presentadas en el ambiente.

B. Objetivos

Construir un sistema de control difuso para el riego automático de una planta ornamental. Se requiere que el sistema

sea capaz de obtener la información del ambiente que afecta de forma positiva o negativamente la condición de vida de la planta, y con esto tomar acción para contrarrestar una situación con condiciones inadecuadas. Con el uso de actuadores se brindan condiciones favorecedoras para la subsistencia de la planta. Obtener dos esquemas con diferente grado de complejidad a nivel de software, un sistema sencillo y otro sistema con más posibilidades de modificar el entorno en favor de la planta ornamental. Construir físicamente con los recursos al alcance, uno de los esquemas diseñados mediante Matlab, y C++ desde la interfaz de Arduino, priorizando el uso de herramientas de fácil acceso. Se busca probar la aplicabilidad de los esquemas de control difuso como sistemas de manejo y control de recursos con alto grado de precisión.

C. Solución Propuesta

De acuerdo a lo anterior, se han realizado dos propuestas. La primera de ellas fue realizada tomando en cuenta materiales accesibles al momento de creación de este proyecto. La segunda propuesta fue construida únicamente a nivel conceptual y desarrollando el funcionamiento del esquema de control difuso en software. Esta propuesta contempla la suposición de contar con más sensores de diferentes tipos, así como mayor diversidad de actuadores. Esto permite un diseño de sistema de cuidado más profundo, y mejor capacidad de control, brindando mejores condiciones de vida a la o las plantas en cuestión.

La planta utilizada es la **Euphorbia pulcherrima**, conocida comúnmente como **flor de Nochebuena**, **flor de Navidad**, **flor de pascua**.

Para la primera solución se tomaron en cuenta 3 variables de entrada, que contemplan condiciones del medio en el que vive la planta. Las magnitudes físicas tomadas son: humedad del suelo (tierra), humedad y temperatura ambiental. Estas magnitudes son medidas con sensores conectados a un microcontrolador, en este caso un Arduino Uno, dicha información es enviada al controlador difuso en Matlab, que fue diseñado tomando en cuenta los datos encontrados en la literatura sobre los rangos necesarios para tener las condiciones de vida óptima del tipo de planta utilizada. La salida del controlador difuso, controla la cantidad de voltaje enviada al actuador (bomba de agua). La bomba suministrará a la planta diferentes intensidades de flujo de agua, según sus condiciones, o estado actual.

La segunda solución propuesta, contempla más variables tanto de entrada y de salida. A raíz de la investigación en la literatura [2]–[4] acerca de condiciones adicionales que favorecen a la conservación de la planta en un estado ideal, se identificaron otro tipo de sensores y actuadores. Al ser más difíciles de conseguir, se realizó únicamente el diseño en software del control difuso. Tomando en cuenta estas consideraciones, este sistema propuesto contempla 4 variables de entrada. Las primeras tres son las mismas que

el primer sistema propuesto, y adicionalmente se considera la iluminación ambiental. Por su parte las tres variables de salida son 3: una bomba de agua, con el mismo fin que en la primera propuesta; un clima, con aspersor de agua para controlar un poco la temperatura y la humedad ambiental; y una lámpara, para regular la luminosidad dependiendo de la condición de dicha planta.

II. MARCO TEÓRICO

A. Lógica Difusa

La lógica difusa o en algunos casos también nombrada como lógica borrosa refiere a los principios formales de razonamiento aproximado, donde los posibles estados adquieren un mayor grado de precisión en su análisis, y su determinación. Esto bajo la consideración de la lógica clásica como el proceso de razonamiento preciso. Teniendo esto en cuenta, es posible afirmar que, las características más atractivas de la lógica difusa son su flexibilidad, su tolerancia con la imprecisión, su capacidad para modelar problemas no-lineales, y su base en el lenguaje natural para la descripción de los problemas planteados.

Dentro del planteamiento de soluciones mediante lógica difusa, es común utilizar expresiones que no son ni totalmente ciertas, ni completamente falsas, es decir, mediante este tipo de lógica se aplican conceptos que pueden tomar un valor cualquiera de veracidad dentro de un conjunto de valores que oscilan entre dos extremos, dichos extremos los podemos considerar como la verdad absoluta y la falsedad total, totalmente prendido, o totalmente apagado, uno o cero. Es conveniente hacer énfasis que el concepto de difuso, o borroso no es el objeto principal de estudio, si no la falta de definición de puntos de valor intermedios o bloques únicos, definidos e inamovibles, donde no puede haber valores intermedios a dichos puntos, y que a su vez dan una salida previamente definida, que recae sobre un extremo o un punto medio bien definido, pero que puede llegar a ser ambiguo, y no ajustar bien a la magnitud que presenta la situación a controlar [5]. La lógica difusa nos permite tratar con información imprecisa, bajo definiciones como estatura media o temperatura baja, así como manejar de mejor forma los puntos difíciles de tratar que viven en la intersección de los conjuntos en lo que se selecciona una variable de entrada o salida. La información es tratada en términos de conjuntos borrosos que se combinan en reglas para definir acciones: si tenemos un caso por ejemplo donde, la temperatura es alta, entonces enfriar mucho. Una decisión exacta acorde a este tipo de casos donde comienzan a intervenir más variables puede complicarse aún más, la lógica difusa nos ayuda a manejar de mejor manera el aumento de variables y medir su influencia en la respuesta que producen distintas variables de entrada.

La lógica difusa permite representar el conocimiento común, que es mayoritariamente del tipo lingüístico cualitativo y no necesariamente cuantitativo, en un lenguaje matemático

a través de la teoría de conjuntos difusos y funciones características asociadas a ellos [7]. Permite trabajar a la vez con datos numéricos y términos lingüísticos; los términos lingüísticos son inherentemente menos precisos que los datos numéricos pero en muchas ocasiones aportan una información más útil para el razonamiento humano.

1) *Controladores Difusos*: Una de las áreas donde ampliamente los sistemas de control difuso han tenido un alto impacto, y han demostrado capacidad para ayudar a plantear soluciones, es en el área de control automático de procesos. El control difuso ha sido aplicado de forma exitosa en muy diversas ramas tecnológicas, algunas de las industrias donde este tipo de tecnología se ha implementado son: la metalurgia, el diseño de robots para la fabricación, sistemas de control y asistencia en maniobras de aviones, sensores de imagen y sonido para sistemas de estabilización, también han sido utilizados en electrodomésticos como lavadoras capaces de autorregular la cantidad de jabón que requiere un lavado dependiendo del grado de suciedad de la ropa, aire acondicionado en el que el sistema difuso ayuda a evitar las oscilaciones entre el exceso y la falta de temperatura, utensilios para cocina como cocineros de arroz capaces de elaborar diversas variedades de arroz regulando la cantidad de agua y la temperatura en cada caso para que el grano quede cocido y suelto, en automoción, en áreas de preservación de la seguridad como los sistemas de frenado ABS que han desarrollado diversas marcas, o sistemas de cambio de velocidades automático, incluso se ha propuesto soluciones utilizando estos conceptos para control automático de velocidad que controla la intensidad de frenado en situaciones peligrosas entre muchas otras aplicaciones [17]. Estos sistemas entran dentro del campo de los llamados sistemas expertos y utilizan información esencialmente imprecisa con el fin de lograr sus cometidos.

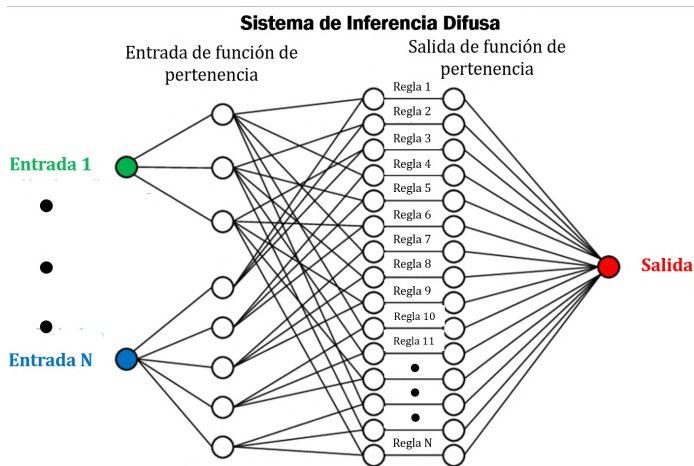


Fig. 1. Sistema de control difuso general

B. Jardines automáticos

Mucha de la gente que acostumbra tener plantas, tiene un gusto por la mismas, y establecen vínculos afectivos hacia ellas, por lo cual dedican parte de su tiempo y esfuerzo en mantenerlas en buen estado. Sin embargo, en ocasiones puede que no se cuente con el tiempo, o la atención necesaria para atenderlas. En otros casos se poseen campos de producción de alguna especie de planta, como la noche buena, y no es posible cuidar de todas las plantas a tiempo. Es por ello que la idea de implementar jardines automáticos, es decir, jardines de auto cuidado a tomado popularidad [9], [10] tanto en sectores de producción, como en algunos hogares. Anteriormente ya se ha extendido el uso de sistemas de riego automático para espacios grandes o abiertos, pero aun queda emergente un mercado, donde los sistema de riego automático pueden tener un gran aporte como en jardines pequeños, terrazas y plantas en el exterior e interior de una casa.

Algunas de las ventajas de estos sistemas son:

- **Ahorro de agua:** Un riego bien regulado nos permite ahorrar más agua que un riego manual, sin mojar hojas ni flores de forma excesiva, además contribuye a disminuir las pérdidas por evaporación ya que el agua cae directamente en la base de la planta.
- **Conservar la estructura del suelo y los nutrientes:** Que caiga demasiada agua en el suelo provoca que los nutrientes sean arrasados por el agua, dejando a las plantas con menos nutrientes disponibles. El regado automático ayuda a preservar los nutrientes y a reducir la compactación del suelo.
- **Prevenir enfermedades:** Puesto que el agua no moja las hojas ni las flores, hay menor posibilidad de que aparezcan enfermedades causadas por hongos en la estructura externa de la planta.

C. Nochebuena

La mayormente conocida como nochebuena, es la especie nombrada científicamente como *Euphorbia pulcherrima*. Es originaria de México, conocida en náhuatl como Cuetlaxóchtli, que significa “flor que se marchita”, aunque también se encuentra traducciones como “flor de pétalos resistentes como el cuero”. Fue de gran significado para culturas como la azteca, donde simbolizaba la sangre de los sacrificios que los indígenas ofrendaban al sol para renovar sus fuerzas. En México, las poblaciones silvestres más grandes de esta planta se encuentran en los estados de Guerrero, Oaxaca, Michoacán y Chiapas, mientras que en su forma cultivada se localiza en todo el país [2].

Es una planta que responde al fotoperiodo, ya que requiere de días cortos y noches largas para inducir la coloración de las brácteas. Se requiere de buena iluminación para que estas no se decoloren o caigan. Con relación a la temperatura, no soporta el frío ni el exceso de temperatura, requiere en promedio de 20-22 °C. por el día y 16 °C por la noche. Aunque puede tolerar los 40 °C no soporta las corrientes



Fig. 2. Sistema de control difuso general

de aire y los cambios bruscos de temperatura. Exige buena humedad ambiental para evitar la caída de las hojas pero es muy sensible a la humedad del suelo, ya que el exceso de agua puede pudrir la raíz. Después de la floración, cuando las hojas han caído y pierde sus brácteas, se recomienda la poda de la planta dejando tallos de entre 5 y 10 cm [3].

D. Requerimientos Agroecológicos

1) *Temperatura:* Durante el crecimiento y desarrollo vegetativo, lo ideal son temperaturas diurnas de 20 a 23°C y nocturnas de 20°C; sin embargo, no deben de bajar los 18°C ni rebasar los 30°C. En floración, las temperaturas de 18°C son ideales para cultivares de hoja verde medio y 17°C para hoja oscura, aunque los límites de 16 a 30°C, dan buenos resultados [3].

2) *Iluminación:* La intensidad lumínica recomendada para zonas templadas es de 5,500 pies-candela y en zonas calientes 4,500, la cual debe de mantenerse hasta octubre (que se consigue al usar una cubierta de plástico blanco lechoso al 50 %) para después bajar a 4,000 y 3,000, respectivamente hasta tres semanas antes de la venta. Las dos últimas semanas es recomendable una intensidad de 2,000 a 2,500 que, en México, casi nadie lo hace.

3) *Humedad relativa:* La humedad relativa es de especial importancia: la planta puede sufrir alargamientos o ataques de hongos (cenicilla o Botrytis) y bacterias (Erwinia). Es por eso que se debe de mantener la humedad por debajo de 75% y si hay clima lluvioso generar una buena circulación de aire. También se debe dar un buen espaciamiento entre plantas [4].

III. MATERIALES

Para la creación del proyecto se utilizó un conjunto de componentes tanto de software como de hardware, los cuales se enlistan a continuación:

A. Hardware

- Sensor DHT11
- Sensor de Humedad FC-28
- Mosfet IRF520 o Módulo Relevador 2PH63091a
- Bomba de agua
- Manguera
- Recipiente con Agua
- Placa de desarrollo Arduino.
- Cables de conexión
- Resistencias de 1 KΩ
- Opcional:
 - LDR
 - Lámpara UV
 - Termostato-Aspersor

B. Software

- Matlab
- IDE de Arduino

IV. METODOLOGÍA DE FUNCIONAMIENTO

Nuestro sistema emplea el material recién descrito para recibir la información del medio ambiente. El primer sensor a considerar es el (DHT11) el cual es capaz de medir dos magnitudes físicas, que son la temperatura del ambiente y su humedad. Su capacidad de medición de temperatura oscila desde los 0°C hasta los 50°C, mientras que la humedad del ambiente la da en porcentaje, de 0% a 100%. El segundo sensor utilizado es el FC-28, que mide el grado de humedad en el suelo utilizando un rango de 0 a 1023, donde 1023 es el estado más seco y 0 el más mojado que puede medir dicho sensor.

El código total del sistema esta estructurado en dos partes, una en C++, desde el entorno de desarrollo de Arduino, y otra parte desde Matlab. El código en C++ ayuda a leer los datos desde los sensores y escribirlos en el canal de comunicación serial que será consultado por Matlab, así como a leer en ese mismo canal la respuesta del procesamiento de control difuso escrita por Matlab, y realizar con dicho resultado el control de la bomba de agua para suministrar a la planta. Para poder utilizar el sensor DHT11 se necesita tener la librería DHT.h instalada, la cual nos va a permitir inicializar un objeto con el que podremos trabajar cómodamente con este sensor, obtener los datos de temperatura y humedad ambiental, para posteriormente escribirlos en el canal de comunicación serial. Para el caso del sensor que nos ayuda a medir humedad del suelo (FC-28), dado que se conecta a un pin analógico, este se lee mediante la función *analogRead()*, y la información es publicada en el serial. Se utiliza un *delay* para la sincronización de comunicación entre Matlab y el Arduino. Posteriormente, se procede a leer con el arduino la información en el canal serial para identificar la respuesta que Matlab emite, ello determinara la activación o no de la bomba de agua utilizando la función *analogWrite()* según la respuesta obtenida. Debido a que la conexión a la bomba está en un pin que puede ser utilizado como salida analógica y permite realizar modulación

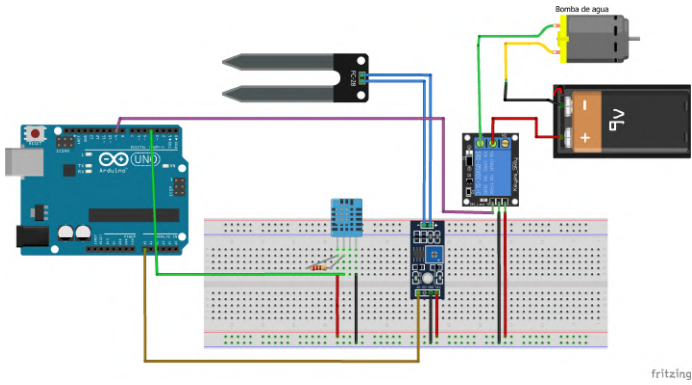


Fig. 3. Esquema de conexiones.

por ancho de pulsos (pwm), es posible variar la intensidad de funcionamiento de la bomba. El código de este proceso, puede revisarse en el (Anexo B). El esquema de conexiones del Arduino, esta visualmente descrito en la figura 3.

Por su parte, el script de Matlab se encargará de obtener los datos de los sensores mediante el canal de comunicación serial, dichos datos serán evaluados mediante el esquema previamente configurado y almacenado en el archivo *RealFuzzyPlanSom.fis* y emitirá su respuesta al Arduino escribiéndola en el mismo canal de comunicación. Cabe resaltar que dicha salida puede variar entre 0 y 255, que son los grados de intensidad de activación que se le pueden dar a la bomba mediante la modulación por ancho de pulsos. Todo esto se hace tomando en cuenta los valor de entrada de los sensores así como sus rangos y las condiciones óptimas que una *Nochebuena* debe de tener.

En el script de Matlab, también se construyen gráficas en el tiempo, que muestran visualmente el comportamiento de las variables que influyen en el sistema, como se puede observar en la figura 4, donde se muestra el comportamiento de la temperatura ambiente (verde), la intensidad (magenta), la humedad del suelo (azul), y la respuesta emitida por el control difuso (rojo). Este código en Matlab puede consultarse en el (Anexo A).

El esquema de control fue creado mediante una interfaz gráfica para diseño de sistemas de control difuso que provee Matlab. En la figura 5 se encuentra el esquema general de nuestro sistema construido. La definición de las variables de entrada y salida se realizó siguiendo los datos de cuidado encontrados en la literatura para la planta *Nochebuena*. Las variables se determinaron también en relación también al manejo e interpretación de datos con el que trabajan los sensores, para tener el control necesario sobre la bomba de agua.

En el segundo esquema diseñado se hace la suposición de poder contar con más sensores y actuadores, lo cual permitiría tener datos acerca de la iluminación ambiental alrededor de

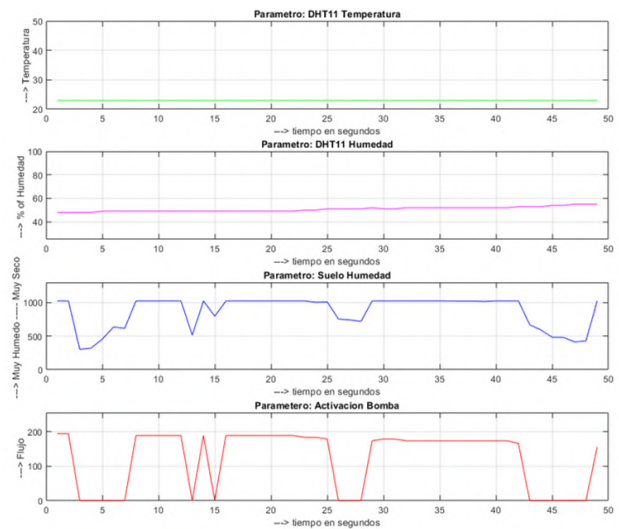


Fig. 4. Medición de los sensores y Activación de bomba.

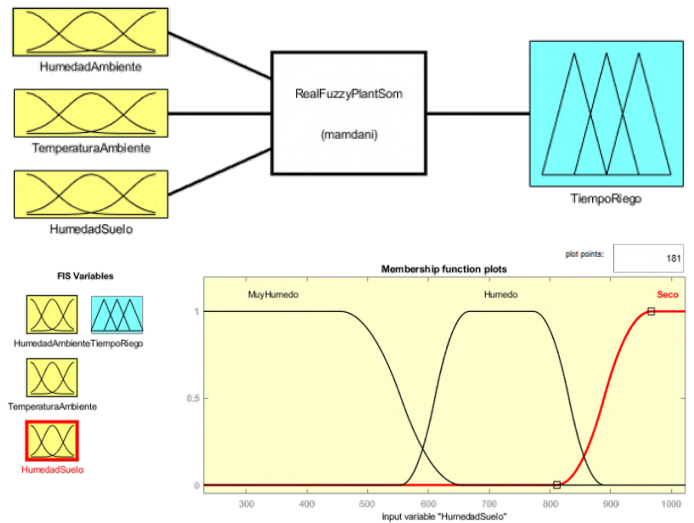


Fig. 5. Controlador difuso y variables involucradas



Fig. 6. Lógica del controlador difuso

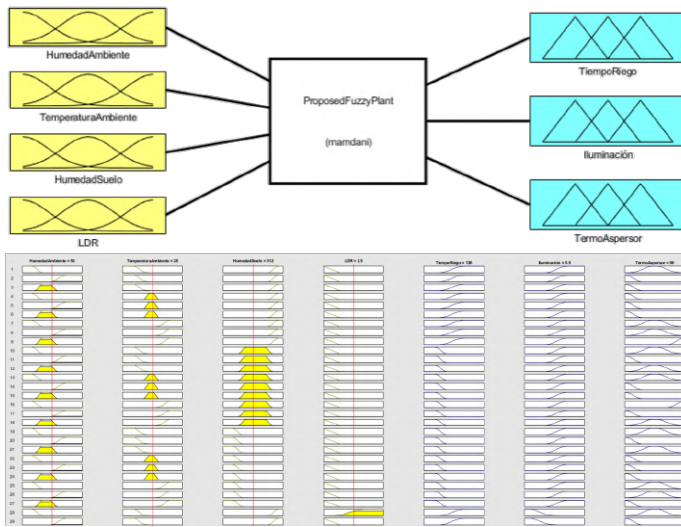


Fig. 7. Controlador difuso y variables involucradas en el sistema 2

la planta. Se introducen también más variables de salida, tal como un sistema para modificar la temperatura y humedad ambiental con un aspersor de agua emitiendo rocío sobre hojas y tallo. Esto en función de que para el caso específico de la Nochebuena, la literatura registra que una buena humedad ambiental ayuda mucho a mantener este tipo de planta en su estado óptimo. De igual forma una lámpara de cuidado de plantas, ayuda a proveer el ciclo de iluminación y oscuridad que la planta requiere, sobre todo en etapa de desarrollo. Este esquema establece mayor número de reglas lo cual permite un control más eficiente de las condiciones generales bajo las que la planta vive. Las variables y diseño del sistema, así como la parte lógica del esquema pueden verse en la figura 7.

V. RESULTADOS

A. Lecturas de los sensores

Se experimentaron ciertas variaciones e inexactitudes con los sensores debido a interrupciones de la señal ocasionadas por movimientos en las piezas electrónicas, esto en algunas ocasiones significó únicamente una lectura errónea, para lo cual se ajustaron dichas conexiones. En otras ocasiones, este tipo de fallos sí logró interrumpir la ejecución del programa. Algo interesante a notar, es que las lecturas del sensor de humedad del suelo tienen un rango poco común y podría llegar a deducirse que la lectura de datos es inversa a como realmente es, siendo el valor cero el punto donde detectaba mayor humedad y 1,023 la lectura con el suelo más seco. Esto a la hora de diseñar, analizar y ver el esquema del controlador difuso puede resultar algo confuso en su interpretación visual de funcionamiento, ya que pareciera que está haciendo algo contrario a lo que se consideraría el funcionamiento adecuado, pero al ponerlo en funcionamiento sí se comporta como debería.

Para este proyecto también es importante tener en cuenta la manera en que se hace la recepción y envío de datos. Debido a que las librerías necesarias no están directamente disponibles en Matlab, se realizó toda la comunicación a través de un programa previamente cargado dentro de la placa de Arduino que envía y lee la información desde el canal de comunicación serial. Esto dificulta un poco la ejecución con la lectura y envío de datos de control de cambio continuo en tiempo real del programa, que sería más fácil ejecutar si se pudiese llevar todo el control desde Matlab, ya que con el esquema de funcionamiento actual los tiempos de lectura y escritura deben estar bien coordinados, y no es tan rápida y eficiente la comunicación.

B. Conjuntos difusos

Los conjuntos difusos están definidos en base a las necesidades ambientales de una Nochebuena y durante los experimentos realizados se pudo observar una gran variabilidad en las respuestas. Debido a que únicamente el sensor de humedad del suelo se podía variar libremente, solo se pudieron hacer unas cuantas pruebas físicas significativas. Para los parámetros de humedad y temperatura ambiente, no se contó con forma de regularlos libremente, por lo cual son variables que no se movieron mucho durante la experimentación. La variable de la temperatura por ejemplo, solo se pudo modificar dos o tres grados arriba o abajo, que no era un gran cambio para el sistema, mientras que la humedad ambiental solo se pudo aumentar en un 10%, que aunque representó un cambio más visible tampoco fue muy significativo.

Sin embargo, se pudo experimentar más ampliamente con variaciones al sensor de humedad del suelo, así como modificando los valores dentro de la ventana de reglas definidas del controlador difuso (figura 6). Dentro de esta ventana se pudieron observar los distintos comportamientos de las variables de entrada, y debido a ello se decidió modificar el método de defusificación, que de manera predeterminada era “Centroides”. Para este sistema lo que se requería era un método que pudiera dar valores de cero con el fin de que la bomba sí pudiera estar totalmente apagada en el punto en que las condiciones de humedad del suelo fueran óptimas. Se encontró que el método de defusificación que lograba cumplir este requisito era el método “SOM” o el método del máximo más chico, donde la salida es el mínimo valor de todos aquellos que generan el valor más alto de la función de membresía.

C. Desempeño del programa

El programa actúa de manera bastante rápida, también por ello se agregaron algunas pausas a ambos códigos para que las lecturas se hagan espaciadas a cierto tiempo y la activación de la bomba tampoco se detenga de manera tan abrupta a la hora de volver a hacer la lectura de los sensores. Esto dado que no puede hacerse un mapeo y cambio continuo al funcionamiento de la bomba por la necesidad de enviar la comunicación por el

canal serial, y no poder ejercer el control directo desde Matlab.

La cantidad de agua arrojada puede variar dependiendo de la bomba utilizada. En nuestro caso la bomba utilizada arroja aproximadamente 20 mL por segundo a su máxima intensidad y acepta de 3v a 9v como entrada para su funcionamiento; pero existen otras bombas de agua de tamaño similar o más grandes que tienen una potencia mayor, lo que afectará la cantidad de agua que bombeen.

D. Caso Hipotético

En el caso donde tenemos más variables a tomar en cuenta, podemos jugar con su comportamiento también dentro de la ventana de reglas, como se muestra en la figura 7. Aquí la matriz de reglas ya se ha vuelto bastante más compleja que la anterior, tanto que ya no sería una matriz. Si tomamos todas las reglas en su conjunto mas bien seria un hipercubo y aumenta el número de combinaciones posibles, en este caso se han definido 54 reglas, esto debido a que existen 4 variables de entrada con tres conjuntos cada una de ellas. Las reglas más fáciles de seguir son aquellas que se encuentran en los extremos, por ejemplo, muy seco, o muy caliente y muy seco con luz, mientras que otras son un poco más difíciles de decidir, como con poca luz, temperatura fría, ambiente muy húmedo y suelo seco. En fin, la disponibilidad de sensores y actuadores, fortalecen el sistema pudiendo generar un control más preciso de todas las variables que influyen en el ambiente de desarrollo de una planta en general, y en específico de la Nochebuena.

Dentro de este sistema los valores que toma la activación de la bomba de agua se vuelven un poco más variables. Además, se pueden observar los cambios en las otras salidas. Se tiene un sistema con más combinaciones que dan respuestas tomando en cuenta todos los factores de entrada que se incluyeron, con lo que se demuestra como el diseño y propuesta de controladores difusos ayuda mucho cuando aumentan las variables de entrada y salida a tomar en cuenta. Esto contribuye a facilitar su manejo, y brinda acorde a las magnitudes medidas a la entrada, y las necesarias a la salida.

VI. CONCLUSIONES

En este proyecto se realizó la implementación de un controlador difuso como método de control automático para el cuidado de una planta (figura 8), tomando en cuenta magnitudes que influyen directamente en su desarrollo y preservación, tanto a nivel de producción, como en situaciones donde se usa para ornamentación. Para este trabajo en específico se tomó como referencia una planta endémica de México, y que adquiere popularidad cada invierno como símbolo de la temporada. Este sistema es capaz de obtener datos de entrada de los factores ambientales de la planta, tal como temperatura y humedad, así como medir las condiciones de humedad de la tierra alrededor de la planta. Se establece comunicación con un script que realiza la evaluación de los datos mediante un esquema de control

difuso y emite una respuesta que es posteriormente mandada al microcontrolador para regular el suministro de agua a la planta. Las indicaciones de control se manejan desde el Arduino y se establece un canal de comunicación entre este y el script de evaluación con el sistema difuso en Matlab.

El objetivo principal de este proyecto se cumplió al poder construir mediante software y hardware un controlador de riego automático, eficiente, y con materiales de fácil acceso, lo cual permite tener respuestas en situaciones de ambigüedad. Basándonos en lo reportado en la literatura acerca del manejo y cuidado de la planta utilizada como referencia en este trabajo, es decir la Nochebuena. La realización de este proyecto nos permitió aplicar técnicas sobre lógica y control difuso para solventar una situación que podría representar diversas problemáticas en situaciones variadas, tal como el descuido, la falta de tiempo, olvido, o desconocimiento en el cuidado de plantas ornamentales. Esto deja en claro la capacidad de aplicación a soluciones prácticas que nos ofrecen este tipo de esquemas, el cómo ayudan a mejorar el rendimiento y a regular el uso o desuso de recursos, optimizando así el gasto y el funcionamiento de los mismos.

Durante el desarrollo se encontraron algunas limitaciones como la falta de herramientas disponibles para poder ejercer el control y la lectura de datos de forma más eficiente. Debido a esto la utilidad del sistema queda restringida a mantener el resultado de una lectura unos cuantos segundos, que podría ocasionar un ligero retraso en la reacción entre las condiciones de entrada y la salida del sistema. Se pudo obtener un diseño y construcción funcional del sistema acorde los recursos con lo que se contó al momento de realización de este proyecto. Al mismo tiempo se reafirmó la gran funcionalidad que brinda Matlab para el diseño de este tipo de sistemas.

Mediante el diseño del sistema para el caso hipotético se verificó la viabilidad de implementar este tipo de sistemas cuando los factores a tomar en cuenta aumentan, y el manejo se vuelve más complicado e inexacto. Esto se resume a que se obtuvo un desarrollo con gran accesibilidad, facilidad de uso y replicabilidad. Además, con una construcción técnica sencilla pero efectiva, tomando en cuenta las condiciones necesarias de cuidado para una planta ornamental.

A. Posibles extensiones del proyecto

Con la puesta en práctica de este proyecto se desarrolló una idea y se encontró un buen sector de aplicabilidad a los sistemas de control difuso, generando un proyecto con grandes posibilidades, y variados caminos de incremento en desarrollo de este proyecto. Algunas de las ideas sobre las que se podría continuar basándose en este trabajo, es mejorar el diseño y compactación de circuitos. Esto permitiría implementar el sistema en una maceta, como las que comúnmente se tienen en casa con las plantas ornamentales. Otro posible campo

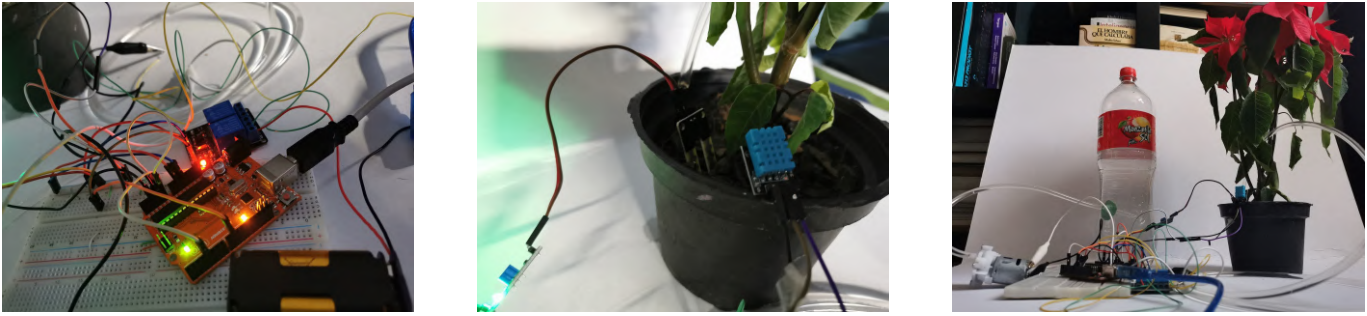


Fig. 8. Circuito físico para el riego de la planta.

de extensión de este tipo de sistemas vive en la industria de la producción masiva de plantas, donde se requiere controlar todas las variables que influyen en el estado óptimo de cada planta, y con base en ello utilizar mas actuadores para solventar las necesidades identificadas. Algunos factores que en este proyecto no se han considerado pero que son igualmente importantes son: el uso de nutrientes externos y protección contra plagas u hongos. Estos factores se podrían considerar en una implementación industrial de control difuso para el cuidado de grandes espacios donde se desarrollen estas plantas, ofreciendo también una mejor gestión de los recursos utilizados en la producción.

B. Comentarios Finales

Con la realización de este proyecto, quedamos satisfechos con los resultados obtenidos dadas las condiciones y herramientas utilizadas, con la experimentación realizada, el cumplimiento de todos los objetivos. Debido a los sensores incluidos en este proyecto se utilizaron bibliotecas y métodos distintos a los habituales como:

- DHT.h
- Matlab y comunicación Serial
- Interacción Arduino-Matlab
- FC-28

REFERENCES

- [1] MATLAB, Users Guide. (1999). Fuzzy Logic Toolbox. The Mathworks Inc, Nantick, MA
- [2] Espinosa F, A., Mejía M, J., & Rodriguez E, M. A. (2013). Manual de producción de plantas de nochebuena y ornato.
- [3] Damas, Brianda. (2014). La Nochebuena y sus características para su reproducción vegetativa. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- [4] Pineda-Pineda, J., Castillo-González, A. M., Morales-Cárdenas, J. A., Colinas-León, M. T., Valdez-Aguilar, L. A., & Avitia-García, E. (2008). Efluentes y sustratos en el desarrollo de nochebuena. Revista Chapingo. Serie horticultura, 14(2), 131-137.
- [5] Pérez Pueyo, R. (2005). Procesado y optimización de espectros Raman mediante técnicas de lógica difusa: aplicación a la identificación de materiales pictóricos. Universitat Politècnica de Catalunya.
- [6] Kurniawan, A. (2013). Getting Started with Matlab Simulink and Arduino. PE Press.
- [7] Lee, C. C. (1990). Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. I. IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics, 20(2), 404-418.
- [8] Flores Gallegos, E. (2017). Sistema de control difuso para el monitoreo de la temperatura, la humedad, el PH y la conductividad eléctrica en invernaderos de plantas ornamentales (Doctoral dissertation, Instituto Tecnológico de Colima).
- [9] Goap, A., Sharma, D., Shukla, A. K., & Krishna, C. R. (2018). An IoT based smart irrigation management system using Machine learning and open source technologies. Computers and electronics in agriculture, 155, 41-49.
- [10] Nawandar, N. K., & Satpute, V. R. (2019). IoT based low cost and intelligent module for smart irrigation system. Computers and electronics in agriculture, 162, 979-990.
- [11] Hamouda, Y. E. (2017, October). Smart irrigation decision support based on fuzzy logic using wireless sensor network. In 2017 international conference on promising electronic technologies (ICPET) (pp. 109-113). IEEE.
- [12] Alomar, B., & Alazzam, A. (2018, November). A smart irrigation system using IoT and fuzzy logic controller. In 2018 Fifth HCT Information Technology Trends (ITT) (pp. 175-179). IEEE.
- [13] Izzuddin, T. A., Johari, M. A., Rashid, M. Z. A., & Jali, M. H. (2018). Smart irrigation using fuzzy logic method. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 13(2), 1819-6608.
- [14] Sudharshan, N., Karthik, A. K., Kiran, J. S., & Geetha, S. (2019). Renewable Energy Based Smart Irrigation System. Procedia Computer Science, 165, 615-623.
- [15] Krishnan, R. S., Julie, E. G., Robinson, Y. H., Raja, S., Kumar, R., & Thong, P. H. (2020). Fuzzy logic based smart irrigation system using internet of things. Journal of Cleaner Production, 252, 119902.
- [16] Guijarro Mata-García, M., Tortajada Agudo, E., & González Rivas, F. (2007). Sistema de riego inteligente borroso.
- [17] Guzmán, D., & Castaño, V. M. (2006). La lógica difusa en ingeniería: principios, aplicaciones y futuro. Revista de Ciencia y Tecnología, 24(2).

APPENDIX A
CÓDIGO MATLAB

```

1  s = serial('COM3');
2  time=6;
3  i=1;
4  P = readfis('RealFuzzyPlantSom');
5
6  while(i<time)
7
8  fopen(s)
9  % fprintf(s, 'Datos del serial:')
10
11 out = fscanf(s)
12
13 Temp(i)=str2num(out(1:2));
14 subplot(411);
15 plot(Temp,'g');
16 axis([0,time,20,50]);
17 title('Parametro: DHT11 Temperatura');
18 xlabel('----> tiempo en segundos');
19 ylabel('----> Temperatura');
20 grid
21
22 Humi(i)=str2num(out(3:4));
23 subplot(412);
24 plot(Humi,'m');
25 axis([0,time,25,100]);
26 title('Parametro: DHT11 Humedad');
27 xlabel('----> tiempo en segundos');
28 ylabel('----> % of Humedad ');
29 grid
30
31 Suelo(i)=str2num(out(5:8));
32 subplot(413);
33 plot(Suelo,'b');
34 axis([0,time,0,1300]);
35 title('Parametro: Suelo Humedad');
36 xlabel('----> tiempo en segundos');
37 ylabel('----> Muy Humedo ----- Muy Seco ');
38 grid
39
40 E = evalfis(P, [Humi(i),Temp(i),Suelo(i)])
41 Eplot(i)=E;
42 subplot(414);
43 plot(Eplot,'r');
44 axis([0,time,0,255]);
45 title('Parametro: Activacion Bomba');
46 xlabel('----> tiempo en segundos');
47 ylabel('----> Flujo ');
48 grid
49
50
51
52 fwrite(s, round(E), 'int');
53 % pause(10);
54
55
56 incbyte = fscanf(s)
57
58 ii(i)= str2num(incbyte);
59 pause(1);
60
61 fclose(s)
62 i=i+1;
63 drawnow;
64 end
65 delete(s)
66 clear s

```

APPENDIX B
CÓDIGO ARDUINO

```

1  #include <DHT.h>
2
3  #define DHTPIN 4
4  #define DHTTYPE DHT11
5  DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
6  int incomingByte = 0;
7
8  void setup() {
9    Serial.begin(9600);
10   pinMode(9, OUTPUT);
11   dht.begin();
12 }
13
14 void loop() {
15   int temp = dht.readTemperature();
16   int humi = dht.readHumidity();
17   int suelo = analogRead(A0);
18
19   Serial.print(temp);
20   Serial.print(humi);
21   Serial.print(suelo);
22   Serial.println(' ');
23   delay(1000);
24   if (Serial.available() > 0){
25     incomingByte = Serial.read();
26     analogWrite(9, incomingByte);
27     delay(9000);
28     Serial.println(incomingByte);
29   }
30 }

```

APPENDIX C
EVIDENCIA FOTOGRÁFICA

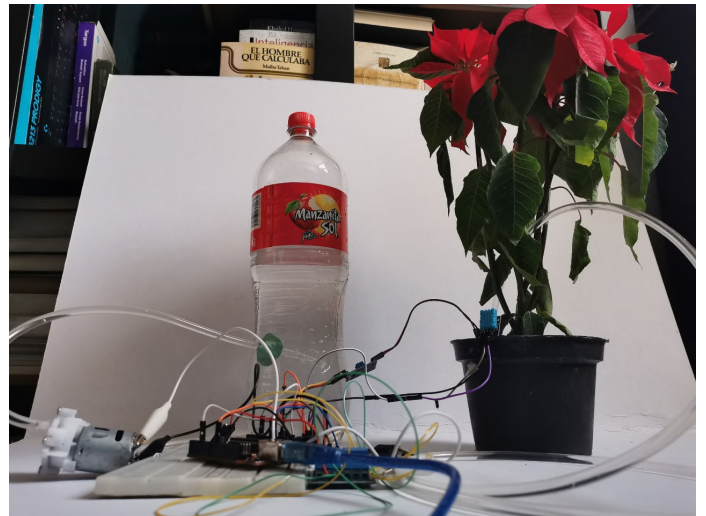


Fig. 9.

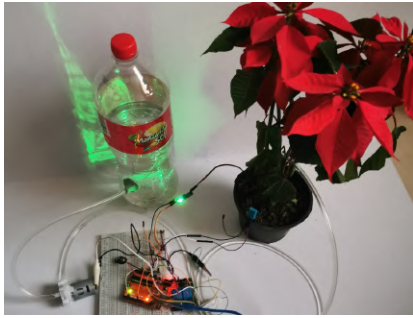


Fig. 10.

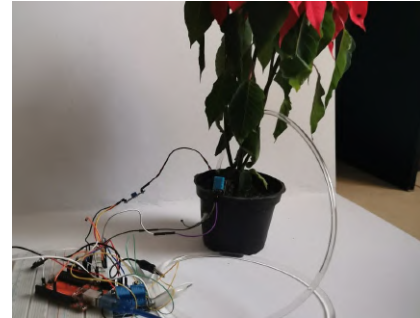


Fig. 14.

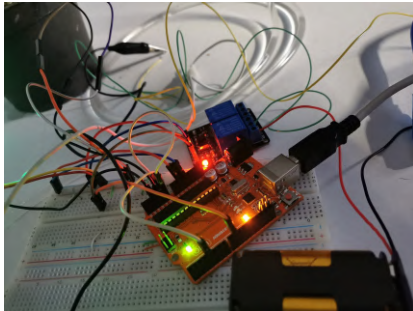


Fig. 11.

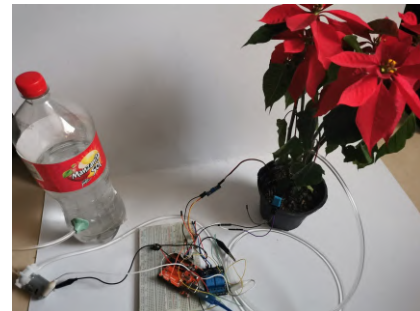


Fig. 15.

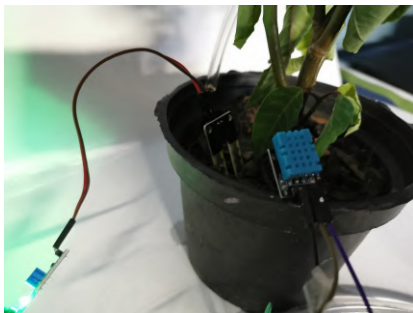


Fig. 12.

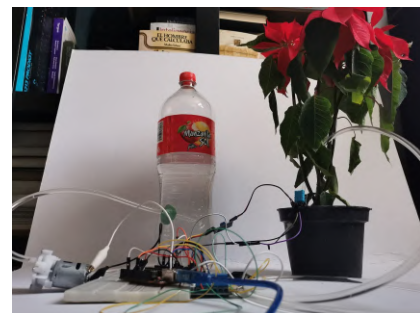


Fig. 16.

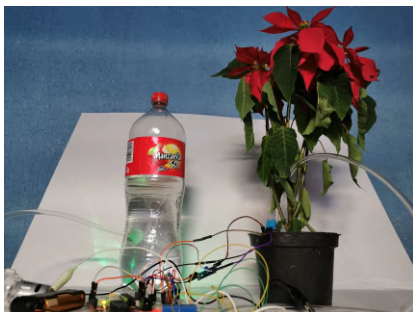


Fig. 13.

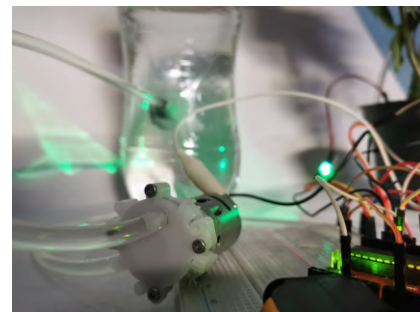


Fig. 17.