

Control difuso de un sistema de iluminación operado por medio de la asistente virtual Alexa, para su posterior implementación en un sistema domótico

Jorge Esteban Farfan
Quevedo
Ingeniería Mecánica Eléctrica
FES-C, UNAM
Cuautitlán Inzcalli, Estado de México, México
esteban.farfan.quevedo@gmail.com

Abstract— Hoy en día el concepto de edificios y casas inteligentes es bien conocido por la población en general, estos edificios tienen la característica de tomar sus decisiones en función de las características del entorno. Principalmente dotados de un conjunto de sensores y actuadores, así como de un conjunto de algoritmos inteligentes.

Se espera que en un futuro cercano, estos edificios puedan ser la norma dentro de un entorno urbano, por lo que el estudio y diseño de tales edificios se presenta como un reto tecnológico moderno.

En este artículo se presenta el prototipo de un sistema de iluminación controlado por el usuario mediante Alexa, que posteriormente será implementado dentro de un entorno domótico. Para este proyecto, se utilizaron componentes electrónicos de bajo coste económico y amplia facilidad de acceso.

Keywords— Alexa, Lógica difusa, Domótica.

I. OBJETIVO

El objetivo es el diseñar un sistema de control difuso que pueda ser controlado por medio del asistente virtual “Alexa”, sistema que se espera sea la primera parte de un proyecto domótico que englobe el control de diferentes actuadores dentro de este tipo de entornos.

II. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a Domínguez y Vacas [1], la Domótica consiste en introducir *infotecnología* en los hogares para mejorar la calidad de vida de sus habitantes y ampliar sus posibilidades de comunicación, automatizando procesos domésticos e intercomunicando tanto estos procesos como los residentes del hogar entre sí y con el exterior.

Uno de los grandes objetivos de los edificios domóticos es garantizar el confort de los habitantes, gestionando la iluminación, la temperatura, la humedad, e incluso la ventilación de los interiores. Lo que puede permitir que en algún momento, no muy lejano, estos esquemas se encuentren como una tendencia general de las personas, dejando de lado el concepto actual de vivienda o edificio.

Para el funcionamiento y diseño de estos esquemas, es necesaria la interconexión entre sensores y actuadores, así como la estructura algorítmica que se encargue de gestionar

tales conexiones e interacciones, actualmente, estos algoritmos permanecen principalmente al área de inteligencia artificial. Existen muchos y muy variados algoritmos inteligentes, entre redes neuronales [2], algoritmos genéticos [3], lógica difusa [4], entre otros. Este último concepto, de gran relevancia para este proyecto.

Como ya se mencionó, no es de extrañar que el diseño y construcción de ciudades inteligentes [5], así como de edificios y casas inteligentes, sea un reto para los ingenieros en los próximos años y una necesidad para la población en general, por lo que es de gran relevancia el generar propuestas y esquemas de funcionalidad de estos entornos.

Este proyecto, presenta el prototipo de un sistema de control inteligente que puede ser utilizado en una vivienda inteligente, utilizando como centro de operaciones la tarjeta ESP8266; como control de los actuadores, la lógica difusa; y como intermediario con el usuario, Alexa.

III. CONOCIMIENTOS PREVIOS

En esta sección se explicaran a grandes rasgos, algunos de los elementos utilizados en el desarrollo de este proyecto.

A. ESP8266

Como se indica en el trabajo Módulo ESP8266 y sus aplicaciones en el internet de las cosas [6], el ESP8266 es un microcontrolador diseñado por la compañía *Espressif Systems*. Su producción en masa inicio hasta principios del año 2014, donde se anunció que este chip sería una excelente solución automática de redes wifi que se ofrece como puente entre los microcontroladores que hasta ahora existen o tiene la capacidad de ejecutar aplicaciones independientes”, el chip puede verse en la figura 1.

B. ESP-12F WiFi module

Según el *datashet* [7] provisto por *ai-thinker*, el módulo ESP-12F fue desarrollado por *Ai-Thinker Technology*. El núcleo del procesador ESP8266 integra el microcontrolador líder en la industria *Tensilica L106 ultra-low-power* de 32 bits en un encapsulado pequeño con modo ligero de 16-bits, soportando frecuencias de 80MHz y 160MHz, soporte de TROS, e integración de Wi-Fi MAC/BB/RF/PA/LNA. El esquemático de este dispositivo puede verse en la figura 2.

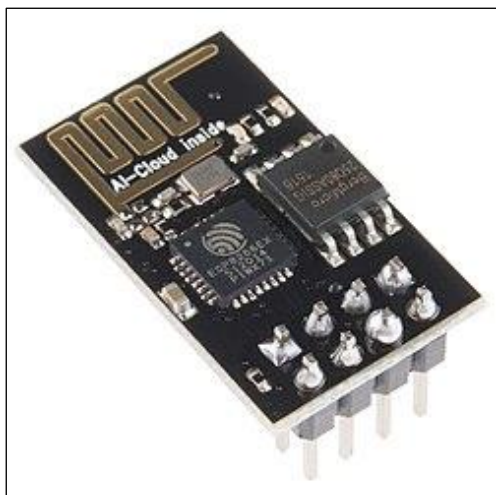


Figura 1. Módulo ESP8266. Imagen extraída de <https://es.wikipedia.org/wiki/ESP8266>.

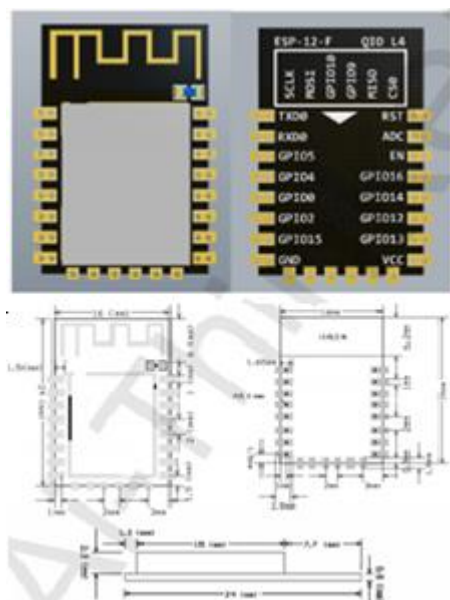


Figura 2. Módulo ESP12F. Imagen extraída de https://docs.aitinker.com/_media/esp8266/docs/esp-12f_product_specification_en.pdf

C. Arduino

Según Herger y Bodaky [8], Arduino es una placa microcontroladora compuesta por una plataforma de hardware libre y un software IDE (Entorno integrado de desarrollo por sus siglas en inglés), que puede ser usado para escribir código y manipular el hardware. Existen distintos tipos de hardware Arduino en el mercado que tienen la capacidad de adaptarse tanto al precio como a las necesidades propias del proyecto que se quiera realizar. Esta placa, es el centro de muchos proyectos y prototipos de domótica [9, 10] e internet de las cosas [11, 12]. Se puede observar en la figura 3 la placa Arduino.

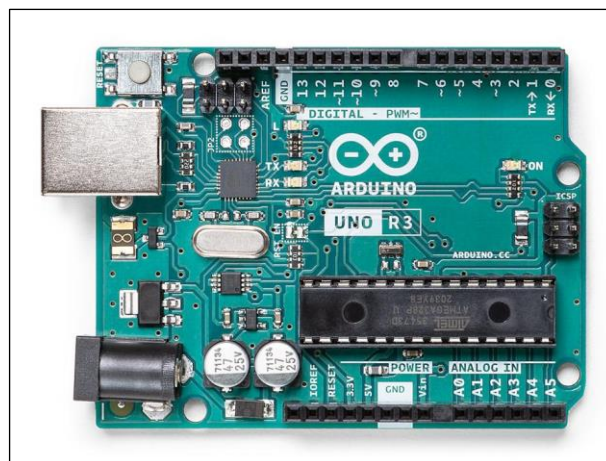


Figura 3. Tarjeta de desarrollo ARDUINO UNO. Imagen extraída de: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3/>

D. Controladores difusos

Lofti A Zadeh [13] propuso el concepto de lógica difusa. Por medio de esta lógica, es posible simular los mecanismos de razonamiento humano, estos sistemas se dicen que son basados en la experiencia, y con ellos podemos evaluar la incertidumbre de los procesos cognitivos humanos.

La lógica difusa es una forma de representar matemáticamente la incertidumbre y la vaguedad de un problema.

La lógica difusa emplea valores de números reales comprendidos entre 0 y 1 para indicar si un hecho es totalmente falso (0) o totalmente cierto (1), esto es el grado de pertenencia de un valor de entrada en un conjunto difuso, al ser multivaluada, una entrada puede pertenecer a más de un conjunto difuso al mismo tiempo, con un distinto valor de pertenencia para cada uno. Los conjuntos difusos, de este modo proporcionan una transición suave entre una característica y otra.

Este concepto matemático ha generado una herramienta altamente utilizada y utilizable en sistemas tecnológicos: los Controladores difusos. Un sistema de control estándar basado en lógica difusa se puede representar de acuerdo a la figura 4.

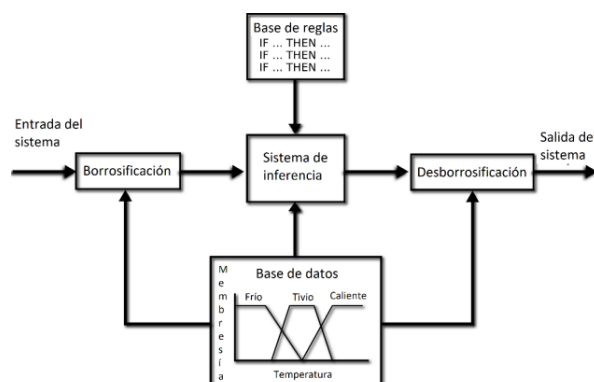


Fig. 4. Esquema básico de un sistema de control difuso.

Estos sistemas que han sido eje principal de desarrollo de una de aplicaciones e interfaces, tales como el control de señales PWM y el funcionamiento de los motores de inducción [14]; el control de la estabilización de un sistema

de silla de ruedas [15]; control de sistemas de robots con llantas [16]; para el control de sistemas domóticos [17] y el proceso de cambio de la transmisión manual de un automóvil de forma automática [18].

IV. ESTADO DEL ARTE

En la literatura científica, existen muchos y muy variados modelos de sistemas domóticos, muchos de ellos gestionados por diferentes tarjetas de desarrollo, tales como Arduino [19, 20], Raspberry [21, 22], entre otras.

Uno de los principales sistemas que componen a las casas inteligentes, son los sistemas de comunicación, ya que este será el encargado de transmitir las ordenes o datos adquiridos por medio de sensores, entre cada uno de los actuadores y sistemas de control. Podemos encontrar diferentes esquemas de comunicación, tales como Wi-Fi [23, 24], Bluetooth [25,26], comunicación celular [27,28], entre otras.

Como es posible notar, en la era moderna, existe una gran cantidad de tecnologías y dispositivos, con los cuales es posible desarrollar diferentes proyectos tecnológicos, esto nos dota de la capacidad de poder experimentar con diferentes herramientas y así escoger entre las mejores de ellas para poder desarrollar una idea. Una de estas tecnologías novedosas es Alexa. Alexa es un Sistema de interacción inteligente desarrollado por Amazon, independientemente de su uso comercial, este sistema ha sido utilizado en diferentes proyectos que implican la interacción con el IoT [29, 30].

En este proyecto se presenta un esquema de control domótico que es controlado por comandos de voz mediante Alexa y que regula el comportamiento de los actuadores por medio de controladores difusos, para este fin, se utiliza el módulo ESP8266.

V. DESARROLLO

En este trabajo se utiliza a la interfaz de reconocimiento de voz Alexa para mandar instrucciones a la tarjeta de desarrollo que contiene al módulo ESP-12F Wi-Fi y por medio de esta tarjeta se envían instrucciones a una computadora a través del puerto serial para así, recoger las instrucciones por medio de un script escrito en Matlab para que este ejecute los controladores difusos, y posteriormente enviar señales de control a una tarjeta Arduino UNO para que por medio de sus pines de salida se pueda enviar señales para comandar actuadores. El esquema general puede verse en la figura 5.

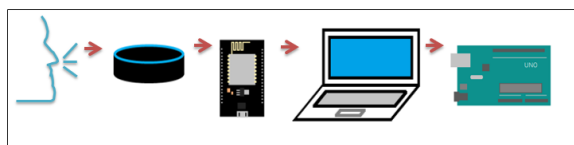


Figura 5. Mecanismo de envío de la información del sistema domótica.

El prototipo general, consta de los siguientes elementos, sin embargo, en este proyecto sólo se presenta el sistema de iluminación, ya que los demás elementos funcionan bajo la misma base conceptual y de implementación:

1. Un sistema de iluminación de potencia regulable de acuerdo a la iluminación ambiental con el uso de un controlador difuso, comandado por Alexa y por

interruptor manual para evitar pérdida de control a causa de fallas de conexión a internet.

2. Un sistema de iluminación interior con encendido y apagado suave, con potencia regulable de acuerdo a la iluminación ambiental con el uso de un controlador difuso, comandado por Alexa y por un interruptor manual incluyendo también apagado automático con el uso de un sensor PIR.
3. Un sistema de control de aire acondicionado con modo refrigerador y bomba de calor con ajuste de temperatura manual con el uso de un controlador difuso y comandado por Alexa.

Los materiales que se utilizaron son: Echo Dot, tarjeta de desarrollo NODE MCU con el módulo esp-12f Wi-Fi, una tarjeta de desarrollo Arduino UNO y una computadora con MATLAB y el IDE de Arduino instalados.

Para realizar la comunicación desde la tarjeta NODE MCU a través del puerto serial hacia la computadora, cuando Alexa enciende o apaga alguno de los dispositivos definidos, para cada dispositivo habrá instrucciones para escribir por el puerto serial tal como se muestra en el siguiente fragmento del código:

```
void Iluminacion(uint8_t brightness){
    if(brightness){
        String myString = String(brightness);
        cadena = "01" "00" "1" + myString;
        Serial.println(cadena);
    }
    else{
        String myString = String(brightness);
        cadena = "01" "00" "0";
        Serial.println(cadena);
        brightness=255;
    }
}
```

En dicho fragmento puede verse que cuando se solicita encender el dispositivo “Iluminación”, la tarjeta NODE MCU envía por el puerto serial una cadena de caracteres de la forma “01 00 1 255” o bien una cadena de la forma “01 00 0” cuando se ordene apagar dicho dispositivo. Estas cadenas de caracteres contienen la acción a realizar, el dispositivo sobre la que se realiza y la intensidad con la que se realiza. El significado de las cadenas de caracteres enviadas por el puerto serial hacia la computadora puede verse en la figura 6.

El dispositivo encargado de recibir las órdenes del usuario es el “Echo Dot”

Una vez que se han definido las acciones a realizar, buscamos por medio del asistente virtual “Alexa” todos los dispositivos compatibles con “Amazon Alexa” como se puede visualizar en la figura 7.

Una vez agregados los dispositivos, podemos dar órdenes al asistente virtual para activarlos o desactivarlos. Al visualizar el puerto serial correspondiente a la tarjeta NODE MCU después de indicar al asistente virtual “Alexa” que encienda y apague los diferentes dispositivos, se pueden ver los valores mostrados en la figura 8. Donde indica que se están

ejecutando las instrucciones programadas en la tarjeta por medio de comandos en Alexa.

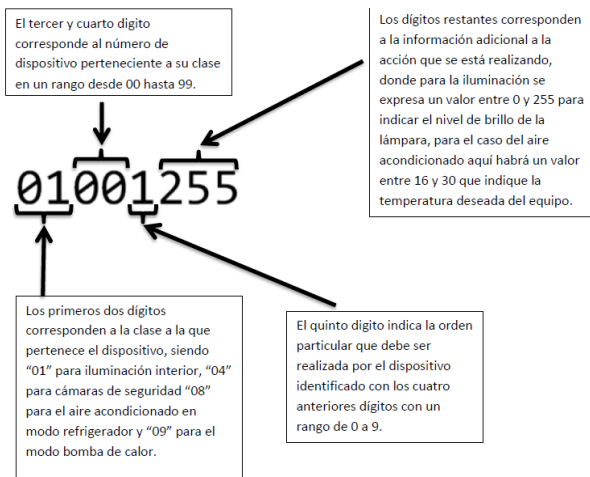


Figura 6. Forma de las cadenas de caracteres enviadas desde la tarjeta NODEMCU hacia la computadora.



Figura 7. Dispositivos encontrados por el asistente virtual "Alexa".

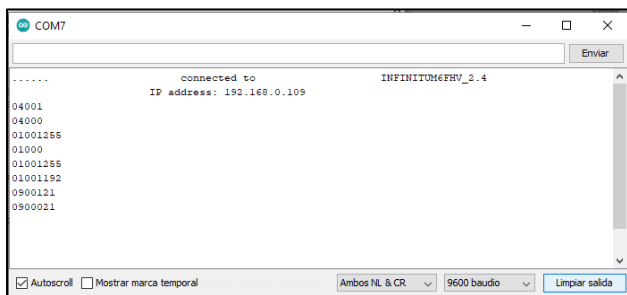


Figura 8. Lectura del puerto serial correspondiente a la tarjeta NODEMCU.

Para leer estas instrucciones desde la computadora, se escribió un script en "Matlab" usando las siguientes instrucciones:

```
%-----Lectura del código
contenido en el puerto serial y
%obteniendo la información de
control

received = readline(sObject);
try
    A = char(recived)
    clase= string(A(1)) +
string(A(2))
    numDisp=string(A(3)) +
string(A(4))
    operacionDisp=string(A(5))

    claseDisp=str2double(clase)
    numDisp=str2double(numDisp)

operacionDisp=str2double(operacionDisp)

    if claseDisp==1
        potenciaIluminacion=
string(A(6:end));
        potenciaIluminacion=
str2double(potenciaIluminacion)
    end

    if claseDisp==8 ||
claseDisp==9
        temperatura=
string(A(6:end));
        temperatura=
str2double(temperatura)
    end
catch
    claseDisp=0
end
%-----Lectura del código
contenido en el puerto serial y
%obteniendo la información de
control
```

Posteriormente para poder ejecutar conjuntos de instrucciones distintos para el encendido y el apagado de los dispositivos y que en cada bucle se pueda continuar con la ejecución de los bloques de instrucciones necesarios, se crearon tres variables ("X", "Y" y "Z") una para cada dispositivo donde los valores de la operación se guardaran en dichas variables únicamente cuando la instrucción entra por el puerto serial.

Una vez descrito el sistema de comunicación e intercambio de información, vamos a describir el control de iluminación realizado.

Para reducir el consumo eléctrico dentro de nuestra propuesta se tiene el interés de lograr un sistema con potencia regulable a partir de la cantidad de iluminación del ambiente

de modo que si la iluminación del ambiente es alta, entonces no es necesario que las luces enciendan a su máxima potencia. Esto con el fin de lograr una mejor integración de sistema de iluminación a los cambios en la iluminación natural. Para lograr lo mencionado, se realizó un pequeño sistema que consiste en convertir la cantidad de iluminación en un voltaje con el uso de un LDR conectado en un divisor de tensión, después introducir dicho voltaje en el convertor analógico digital de la tarjeta “Arduino” para posteriormente introducir el valor del voltaje como entrada de un controlador difuso. Una vez obtenida la salida del controlador difuso, dicha salida se utiliza como ciclo de trabajo para generar una señal PWM la cual se aplicara a la base de un transistor conectado en emisor común. Esto se puede visualizar más fácilmente con el diagrama de la figura 9.



Figura 9. Diagrama general de funcionamiento del regulador de potencia de la iluminación.

El circuito con el cual se obtiene la señal de voltaje con el uso del LDR para poder aplicarla en el pin A0 del Arduino y hacer uso del convertidor A/D se puede ver en la figura 10.

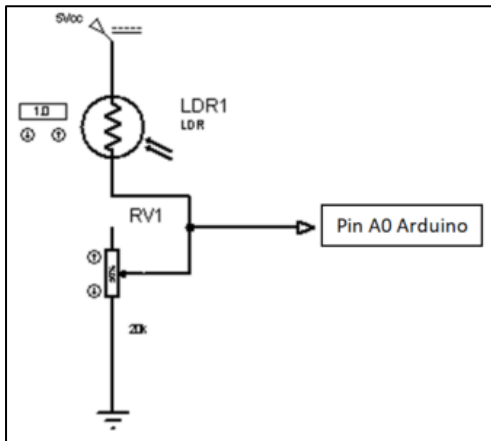


Figura 10. Circuito para obtener una señal de voltaje proporcional a la cantidad de iluminación de un espacio, en un rango de 0-5 volts.

Para hacer el controlador difuso, se ha utilizado la herramienta “Fuzzy logic designer” de “Matlab” para diseñar las funciones de membresía y modificar los parámetros como el universo discurso y las reglas de control. En la figura 11 puede verse la herramienta junto con las funciones de membresía para la entrada y para la salida.

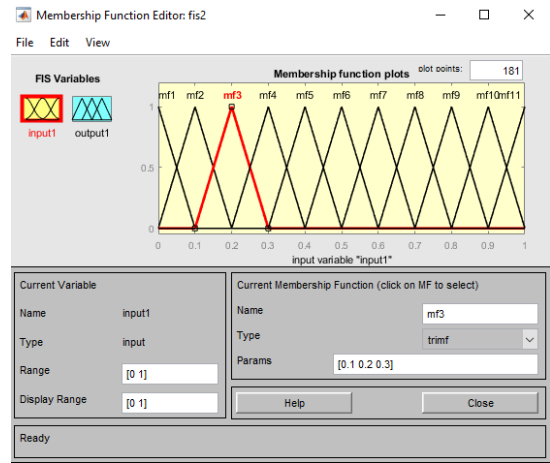
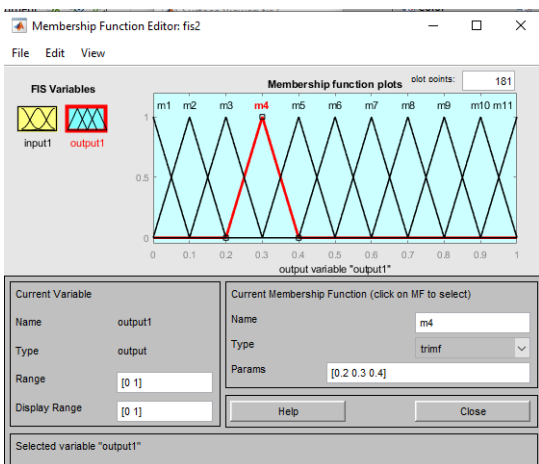


Figura 10. Captura de la herramienta “Fuzzy logic designer” con las funciones de membresía de entrada y salida

Una vez guardado el controlador difuso en el espacio de trabajo de “Matlab” se ha utilizado el siguiente conjunto de instrucciones para poder leer el voltaje del pin “A0” de “Arduino” y evaluar ese valor como entrada del controlador difuso para obtener la señal de control.

```

%-----Obteniendo la
salida del controlador difuso

voltageLDR =
    readVoltage(a, 'A0') %Leyendo
voltage del LDR en un rango de 0-5
EntradaFuzzy=voltageLDR/5
%Acondicionando el voltaje para que
este en un rango de 0-1 para poder
introducirlo al C fuzzy

SalidasControladorDif=evalfis(fis2,
EntradaFuzzy) %Evaluando la entrada
en el controlador Fuzzy y guardando
la salida en SalidasControladorDif
vControl=SalidasControladorDif

%-----Obteniendo la
salida del controlador difuso
    
```

Nótese que el rango del valor leído por el puerto “A0” va de 0-5 volts, pero el universo del discurso del controlador difuso va de 0-1. Lo anterior hace necesario dividir el voltaje obtenido en el pin “A0” entre cinco para poder ingresar el valor como entrada.

Con lo anterior es posible generar una señal con un ciclo de trabajo igual a la salida del controlador difuso haciendo uso de la siguiente instrucción:

```

writePWMDutyCycle(a, 'D3',
vControl)
    
```

Nótese que la salida del tren de pulsos será por el puerto “D3” del “Arduino”.

Para poder encender la luz es necesario construir un circuito para alimentar la carga a partir de la señal del pin “D3”

con el uso de un transistor BC547 conectado en emisor común, este circuito se puede ver a continuación en la figura 12.

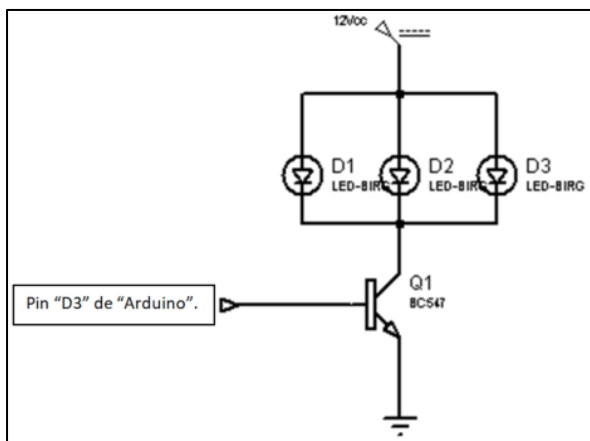


Figura 12. Circuito de alimentación de la iluminación usando la señal del tren de pulsos proveniente del pin “D3” del “Arduino”.

Este circuito básico ha permitido controlar la intensidad lumínica de un emisor luminoso por medio de un sistema difuso, a su vez, este sistema difuso se ha controlado por medio de la asistente virtual Alexa, logrando la conexión y control vía internet por medio de una orden vocal del usuario.

Como se mencionó anteriormente, la idea general es poder controlar un sistema domótico completo por medio de voz, y que las intensidades y reacciones de cada actuador de salida sea dosificado por medio de elementos difusos.

El sistema funciono en su primera fase, lo que nos llevará al desarrollo de las siguientes de fases de integración.

VI. CONCLUSIONES

En este proyecto se logró el control de un sistema de iluminación, utilizando un controlador difuso para regular la cantidad de iluminación, sistema difuso que es controlado por medio de órdenes dictadas a la asistente virtual Alexa. El sistema propuesto es la primera parte de un proyecto que engloba el control inteligente de un sistema VAC, apertura inteligente de persianas y calentadores de agua. El proceso realizado, ha permitido generar una conexión y control exitoso de al menos una magnitud física dentro de un sistema domótico, por lo que consideramos que el escalamiento a mas sensores y actuadores puede ser realizado eficientemente. Esta última parte quedará como trabajo a futuro, en el cual se mostrará un prototipo funcional y completo de una casa.

REFERENCES

[1] Domínguez, H. M., & Vacas, F. S. Domótica: Un enfoque sociotécnico. Fundación Rogelio Segovia para el desarrollo de las Telecomunicaciones, 2006.

[2] GUEZ, Allon; EILBERT, James L.; KAM, Moshe. Neural network architecture for control. IEEE control systems Magazine, 1988, vol. 8, no 2, p. 22-25.

[3] KRAMER, Oliver. Genetic algorithms. En Genetic algorithm essentials. Springer, Cham, 2017. p. 11-19.

[4] ZADEH, Lotfi A. Fuzzy logic. Computer, 1988, vol. 21, no 4, p. 83-93.

[5] TELEFÓNICA, Fundación. Smart Cities: un primer paso hacia la internet de las cosas. Fundación Telefónica, 2011

[6] Ceja, José, et al. "Módulo ESP8266 y sus aplicaciones en el internet de las cosas." Revista de Ingeniería Eléctrica 1.2 (2017): 24-36.

[7] https://docs.ai-thinker.com/_media/esp8266/docs/esp-12f_product_specification_en.pdf

[8] Herger, L. M., & Bodarky, M. (2015, March). Engaging students with open source technologies and Arduino. In Integrated STEM Education Conference (ISEC), 2015 IEEE (pp. 27-32). IEEE. doi: 10.1109/ISECon.2015.7119938.

[9] David, Nathan, et al. "Design of a home automation system using arduino." International Journal of Scientific & Engineering Research 6.6 (2015): 795-801.

[10] Chandramohan, J., Nagarajan, R., Satheeshkumar, K., Ajithkumar, N., Gopinath, P. A., & Ranjithkumar, S. (2017). Intelligent smart home automation and security system using Arduino and Wi-fi. International Journal of Engineering And Computer Science (IJECS), 6(3), 20694-20698.

[11] Kumar, N. S., Vuayalakshmi, B., Prarthana, R. J., & Shankar, A. (2016, November). IOT based smart garbage alert system using Arduino UNO. In 2016 IEEE region 10 conference (TENCON) (pp. 1028-1034). IEEE.

[12] Bento, A. C. (2018). IoT: NodeMCU 12e X Arduino Uno, Results of an experimental and comparative survey. International Journal, 6(1).

[13] Zadeh L. A. (1965). Fuzzy Sets-Information and Control-1965, Inf. Control.

[14] Sharma S., Agrawal, & Bandopadhaya, S. Springer (2019), Fuzzy Logic Controlled Variable Frequency Drives, Harmon. Search Nat. Inspired Optim. Algorithms, pp. 1153-1164.

[15] Jamin N. F., Ghani N. M. A., Ibrahim Z., Masrom M. F., Razali N. A. A., and Almeshal A. M. (2018), Two-wheeled wheelchair stabilization using interval type-2 fuzzy logic controller, Int. J. Simul. Syst. Sci. Technol.

[16] Castillo L. T. & Aguilar (2019), Fuzzy Control for Wheeled Mobile Robots, in Type-2 Fuzzy Logic in Control of Nonsmooth Systems, pp. 85-96.

[17] Pau V. M., G., & Salerno (2019), Wireless Sensor Networks for Smart Homes: A Fuzzy-Based Solution for an Energy-Effective Duty Cycle, Electronics., vol. 8, no. 2, p. 131.

[18] Ramadhan R. M., Sudiarmo A., and Mahardika M. (2019), Design and Simulation of Auto-Shifting System in Manual Transmission Gearbox for Electric Race Car with Fuzzy Logic Controller on Matlab-Simulink, J. Phys. Conf. Ser.

[19] Lledó Sánchez, Emilio. Diseño de un sistema de control domótico basado en la plataforma Arduino. Diss. Universitat Politècnica de València, 2012.

[20] David, Nathan, et al. "Design of a home automation system using arduino." International Journal of Scientific & Engineering Research 6.6 (2015): 795-801.

[21] Jamil, M. Mahadi Abdul, and M. Shukri Ahmad. "A pilot study: Development of home automation system via raspberry Pi." 2015 2nd International Conference on Biomedical Engineering (ICoBE). IEEE, 2015

[22] Kulkarni, B. P., et al. "IoT based home automation using Raspberry PI." International Journal of Innovative Studies in Sciences and Engineering Technology (IJISET) 3.4 (2017).

[23] ElShafee, Ahmed, and Karim Alaa Hamed. "Design and implementation of a WIFI based home automation system." World academy of science, engineering and technology 68.2012 (2012): 2177-2183.

[24] Chandramohan, J., et al. "Intelligent smart home automation and security system using Arduino and Wi-fi." International Journal of Engineering And Computer Science (IJECS) 6.3 (2017): 20694-20698.

[25] Sriskanthan, Nadarajah, F. Tan, and Advait Karande. "Bluetooth based home automation system." Microprocessors and microsystems 26.6 (2002): 281-289.

[26] Asadullah, Muhammad, and Khalil Ullah. "Smart home automation system using Bluetooth technology." 2017 International Conference on Innovations in Electrical Engineering and Computational Technologies (ICIEECT). IEEE, 2017.

[27] Teymourzadeh, Rozita, et al. "Smart GSM based home automation system." 2013 IEEE conference on systems, process & control (ICSPC). IEEE, 2013.

[28] shaker Nasr, Mahmoud, and Fahtha HA salem Azwai. "Friendly home automation system using cell phone and J2ME with feedback instant voice messages." 2009 IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications. IEEE, 2009.

- [29] Rajalakshmi, Anoja, and Hamid Shahnasser. "Internet of Things using Node-Red and alexa." 2017 17th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT). IEEE, 2017.
- [30] Panwar, Ayush, et al. "Eyrie smart home automation using Internet of Things." 2017 Computing Conference. IEEE, 2017-