

Diseño e implementación de reconocimiento facial en un sistema domótico utilizando Arduino y Visual Studio

Alberto Martínez, Fernando Gudiño

Universidad Nacional Autónoma de México,
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán,
México

phama_contra26@hotmail.com,
fernando.gudino@comunidad.unam.mx

Resumen. La Domótica y el estudio de los edificios inteligentes han crecido de forma exponencial en los últimos años y se prevé que dicho crecimiento aumente de manera considerable en el futuro cercano. Conformado por diferentes sistemas que convergen en una entidad de control, un Sistema domótico pretende facilitar la forma en que nos relacionamos con nuestro hogar y las actividades que en el realizamos. El presente trabajo describe la implementación de un sistema domótico que puede ser instalado en un hogar tradicional para la automatización y modernización de este sin necesidad de hacer una inversión económica grande. El sistema consta de varios módulos o partes: control de iluminación, control de calefacción (temperatura y humedad) el cual emplea un controlador difuso tipo Mamdani para determinar la temperatura adecuada, sistema de seguridad para acceder a la casa y a las habitaciones de esta. Adicionalmente se integra un Sistema de reconocimiento facial por redes neuronales, para aumentar la seguridad integral del Sistema.

Palabras clave: sistema domótico, automatización, control, iluminación, lógica difusa, HVAC, seguridad, reconocimiento facial.

Design and Implementation of Facial Recognition in a Home Automation System using Arduino and Visual Studio

Abstract. Domotics systems and the study of intelligent buildings has grown exponentially in recent years and it is expected that this growth will increase considerably in the near future. Conformed by different systems that converge in a control entity, a Home Automation System aims to facilitate the way we relate to our home and the activities we carry out in it. The present work describes the implementation of a domotic system that can be installed in a traditional home for the automation and modernization of this without the need to make a large economic investment. The system consists of several modules or parts: lighting control, heating control (temperature and humidity) which uses a Mamdani Fuzzy controller to determine the appropriate temperature, security system to access the

house and the rooms this. Additionally, a Facial Recognition System is integrated by neural networks, to increase the integral security of the System.

Keywords: home automation system, lighting control, HVAC, facial recognition, security system.

1. Introducción

La domótica es el conjunto de tecnologías aplicadas al control y la automatización inteligente de la vivienda, que permite una gestión eficiente del uso de la energía, que aporta seguridad y confort, además de comunicación entre el usuario y el Sistema [1,2,4,5].

La domótica permite el confort en los hogares, aportando seguridad y comodidad mediante la comunicación entre el usuario y el sistema. La automatización inteligente permite al usuario establecer parámetros en el sistema que le generen un bienestar en su vivienda [5,10,13].

Los principales problemas que un sistema domótico tradicionalmente ha tratado de resolver tienen que ver con el acondicionamiento y mejora de la calidad de vida, partiendo de este punto se puede intuir porque la mayoría de estos sistemas están relacionados con el control de iluminación [15] lo cual se refiere a la capacidad de poder tener total control sobre los aparatos de iluminación e incluso en algunos casos sobre la intensidad con que funcionan estos, otro de los puntos que es común encontrar en los sistemas de automatización es la calefacción la cual contrario al sistema tradicional se busca que siempre se tenga una temperatura adecuada de manera automática [3-6].

Aunado a lo anterior es común que todo se controle desde una interfaz gráfica que suele tener un sistema de seguridad para evitar que todos accedan allá, esto se puede realizar de diferente manera que puede ir desde una contraseña hasta un sistema de reconocimiento facial como en este caso.

El reconocimiento facial y la visión por computadora que está emergiendo y cada vez se hace presente en más aplicaciones cotidianas, es por esto que los métodos de reconocimiento facial son cada vez más comunes [7,12] y deben ser implementadas en los sistemas domóticos de hoy en día para brindar nuevas tecnologías, posibilidades y las ventajas que esta tecnología nos puede ofrecer.

2. Desarrollo de sistemas domóticos

La implementación de un sistema domótico es una tarea multidisciplinaria pues se requiere de tener conceptos de programación, electrónica digital, electrónica analógica, computación entre otros, ya que un sistema de esta naturaleza requiere de estas áreas del conocimiento en los distintos niveles en que se desarrolla, donde cada uno tiene el mismo peso e importancia para el correcto funcionamiento de todo el Sistema.

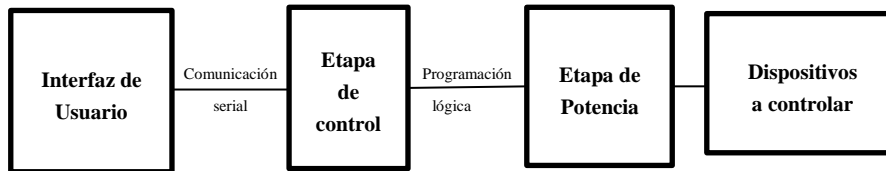


Fig. 1. Diagrama de un Sistema Domótico Básico, El Sistema se conforma de cuatro elementos básicos: Interfaz, Sistema de control, Sistema de Potencia y Actuadores.

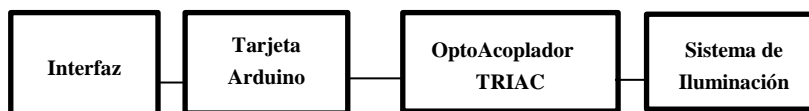


Fig. 2. Diagrama básico de conexiones para iluminación.

Todo el sistema suele controlarse desde una interfaz gráfica fácil de usar la cual se conecta con la etapa de control que suele estar conformada por un microcontrolador, en este caso la tarjeta Arduino UNO, que lee el valor de sensores para procesarlos y a su vez enviar esa información a la interfaz o dependiendo de la programación poner a funcionar un actuador, no obstante, para esta situación es necesario adaptar una etapa de potencia (Figura 1).

2.1. Sistema de iluminación

Debido a que los dispositivos a controlar en esta sección suelen ser equipos que se conectan a la red eléctrica, no es posible activar o encender estos mediante las salidas de la tarjeta de Arduino [2, 11] pues estas solo proporcionan unos pocos miliamperios, es por esto que se necesita una etapa de potencia pues mediante ella se puede acoplar tanto la etapa de control y el dispositivo a controlar sin necesidad de que estén conectadas físicamente lo cual también brinda protección para la tarjeta de control. Básicamente el funcionamiento es que la tarjeta de Arduino activa o pone en alto algunos de sus puertos en función del carácter que leyó del puerto serial, a estos puertos se conectó un módulo de relés que cuando recibían la señal en alto se polarizaban y cerraban un circuito que hacía que el dispositivo se conectara a la red eléctrica, mientras que cuando recibía una señal en bajo realizaba el proceso contrario. El diagrama del circuito para esta sección es el mostrado en la Figura 2.

El tener varios puertos en la tarjeta de Arduino y varios relés en el módulo, se prestaba para encender más de un foco, estos podrían tener distintas ubicaciones, es decir podrían estar en diferentes habitaciones y siempre que estuvieran conectados a la etapa de control se podría controlar su encendido y apagado.

La función principal del sistema es proporcionar un control de la calefacción que permita conocer la temperatura y humedad del recinto, pudiendo establecer una nueva temperatura determinada por el usuario mediante un ventilador que genere este cambio funcionando hasta lograr conseguir la temperatura y humedad deseadas.

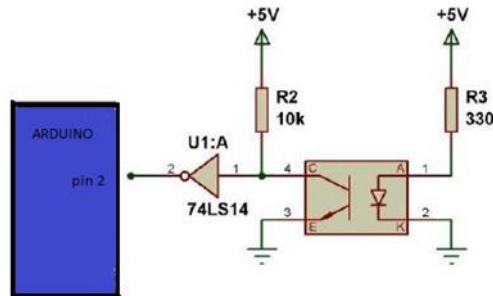


Fig. 3. Diagrama de un Sistema de caracterización de velocidades para el Sistema de Aire acondicionado.

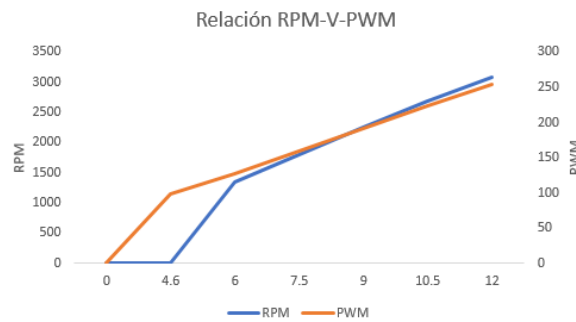


Fig. 4. Curva de caracterización el Sistema de aire acondicionado. Se relaciona la velocidad angular con el voltaje de alimentación del Sistema y el PWM del Sistema de control.

La implementación del sistema de control fue mediante el giro de un motor de CD. Por medio de un sistema que mide el rpm en un motor se estableció una relación entre el voltaje con que opera el motor del ventilador usado y el número de rpm que genera con este voltaje.

El circuito de la Figura 3 fue usado para contar las RPM del motor, usando las interrupciones del Arduino y visualizadas en el puerto serial.

Los resultados obtenidos se visualizan mediante la generación de una curva de relación entre las RPM y el Voltaje suministrado, como se observa en la Figura 4.

Los sensores que son utilizados para la recolección de datos de Temperatura y Humedad pueden medir temperaturas entre los -55°C y 125°C y 100% de Humedad con una resolución de 9 bits a 12 bits.

Se creó un código para la tarjeta Arduino, en donde se envían y recogen los datos que la interfaz a su vez envía y recibe para que Arduino los interprete y realice las acciones correspondientes de acuerdo a las disposiciones requeridas.

Mediante un controlador difuso [9,14] se relacionan las dos entradas (Temperatura y Humedad) con una salida (RPM) del Sistema de aire acondicionado. Sin embargo, la tarjeta de control, solo puede regular el ancho de los pulsos PWM, los cuales mediante la etapa de potencia se traducen en señales continuas de control.

2.2. Intensidad luminosa

El control de iluminación es un parámetro importante y común dentro de la automatización de un hogar además de que influye mucho en el confort y ambiente que se genera para las personas que se encuentran dentro por lo que el control domótico de la iluminación suele llevarse más allá del encendido y apagado de lámparas o focos llegando a al punto de controlar la intensidad lumínica con que se encienden estos ya que, por ejemplo una iluminación inadecuada en el trabajo puede originar fatiga ocular, cansancio, dolor de cabeza, estrés y accidentes.

El trabajo con poca luz daña la vista. También cambios bruscos de luz pueden ser peligrosos, pues ciegan temporalmente, mientras el ojo se adapta a la nueva iluminación. El grado de seguridad y confort con el que se ejecuta el trabajo o tarea depende de la capacidad visual y ésta depende, a su vez, de la cantidad y calidad de la iluminación. Un ambiente bien iluminado no es solamente aquel que tiene suficiente cantidad de luz, sino aquel que tiene la cantidad de luz adecuada a la actividad que allí se realiza.

Hay niveles de iluminación recomendados para cada habitación, estancia o espacio que guarda relación con las actividades que desarrollamos. Estos parámetros se denominan “nivel luminoso” y su unidad de medida es el “lux”.

Para una residencia común se tienen valores ideales para las distintas estancias que se tienen [1, 5]. No obstante, existen condicionantes más importantes que hay que tener en cuenta a la hora de escoger un tipo de iluminación como puede ser el color de las paredes, el tamaño del espacio, el tiempo que permanecerá encendido y el efecto de iluminación que se quiera obtener.

La implementación del sistema de control se realizó utilizando sensores que proporcionaba un voltaje proporcional a la cantidad de luz que incidía sobre ellos. El voltaje de salida de los sensores se procesaban con la tarjeta Arduino el cual lee de manera constante el valor de salida de cada sensor a partir del cual envía datos al puerto serial conectado al ordenador y por lo tanto a la interfaz.

Dentro de la interfaz un controlador tipo Mamdani [15] con n entradas (depende del número de sensores) determinaba la salida única en un rango de valores óptimos según lo expresado en la Tabla 1. Dicho valor es enviado a la tarjeta Arduino y convertida a PWM que regula la intensidad del Sistema de iluminación.

Tabla 1. Valores comunes de intensidad lumínica en un hogar.

Áreas	Mínimo (LUX)	Óptimo (LUX)	Máximo (LUX)
Dormitorios	100	150	200
Cuartos de aseo	100	150	200
Cuartos de estar	200	300	500
Cocinas	100	150	200
Cuartos de trabajo o estudio	300	500	750

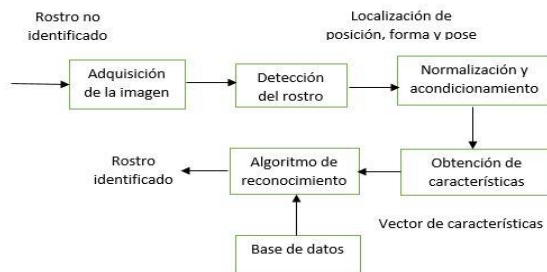


Fig. 5. Sistema de Reconocimiento de Caras mediante Red Neuronal y Backpropagation.

2.3. Seguridad y acceso

La seguridad es otro ámbito que se trata dentro del sistema implementado ya que en el hogar esto es fundamental para los usuarios, por lo que también se tiene una forma de dar o denegar acceso mediante tarjetas que se hayan registrado previamente en el listado de usuarios reconocidos dentro del sistema. De esta manera remplazamos a las llaves comunes, innovando el acceso y aumentando la seguridad ya que, al intentar acceder con una tarjeta no registrada, se activará una alarma visual y una sonora que indicarán que hay un intento fallido alertando así a los habitantes que se encuentren dentro o a los mismos vecinos además de que se cuenta con una segunda medida de seguridad de reconocimiento facial.

El módulo de RF-ID hace uso del protocolo SPI y las tarjetas o tags pueden ser leídos o escritos mediante el controlador, por lo que es posible tener un mejor control de la serie de acceso para cada tarjeta. El número de serie para cada tarjeta es de ocho caracteres hexadecimales, ya que es el espacio contenido dentro de los bloques de memoria que contienen estos dispositivos, siendo así como se escribe y se guarda esta “contraseña” por así llamarlo, dentro de la base de datos del sistema doméstico.

Cuando todo esté en orden y la serie de una tarjeta coincida con una del listado de acceso, se activará una luz verde y la puerta se abrirá automáticamente mediante motores que automaticen esta función. Las características de estos módulos de RF-ID son muy compatibles con el microcontrolador Arduino y la frecuencia a la que trabajan (13.56Mhz) es muy adecuada para su manejo en la tarjeta del microcontrolador.

2.4. Reconocimiento facial

El reconocimiento facial es una solución que emplea un algoritmo automático para verificar o reconocer la identidad de una persona en base a sus características fisiológicas [14] y comparar estas con una base de datos con el fin de realizar acciones una vez identificada la identidad del individuo.

Haciendo uso de EmguCV [12] la cual es una librería que proporciona funciones para el procesamiento de imágenes y en conjunto con Visual Studio se realizó la implementación del reconocimiento facial.

Este sistema utiliza una cámara web (podría utilizar otra cámara) la cual manda datos serials a través de la tarjeta Arduino hacia la interfaz, la primera función que realiza es activar la identificación y enseguida hace la petición de cargar la cámara, en la cual se

Tabla 2. Caracteres de Control.

Carácter	Acción
'A'	Encender en comedor y cocina
'B'	Apagar en comedor y cocina
'C'	Encender en comedor
'D'	Apagar en cocina
'E'	Encender en comedor
'F'	Apagar en comedor

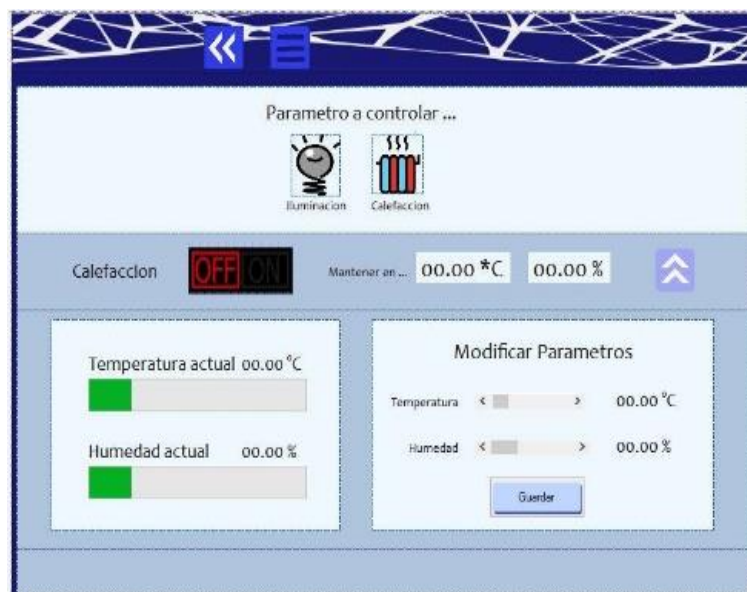


Fig. 6. Ventana de control y visualización de la temperatura y humedad.

visualiza el individuo, mediante el algoritmo de Backpropagation [8], el cual funciona con vectores de imágenes, se realizan diversos cálculos utilizando las imágenes en la base de datos, una vez realizados los cálculos, el Sistema comprueba que la imagen este dentro de los patrones de entrenamiento de la red neuronal ya que esta será considerada como el rostro de la imagen de entrada, tal como se muestra en la Figura 5.

De esta manera se brinda el acceso al sistema, además del nombre, de la persona que identifico, en caso contrario, es decir, que no haya sido identificado ya que ningún usuario en la base de datos concuerda con las características obtenidas niega el acceso, también existe la posibilidad de añadir nuevos usuarios al sistema.

En general este sistema junto con el que utiliza el módulo RF proporciona dos métodos de acceso lo cual aumenta la seguridad global de todo el sistema además de que el reconocimiento facial no solo podría ser utilizado para dar acceso a la casa, sino que también puede ser usado para regular las acciones dentro de esta, o para dar acceso a ciertas funciones a solo algunos usuarios.



Fig. 7. Ventana de control y visualización de la temperatura y humedad.

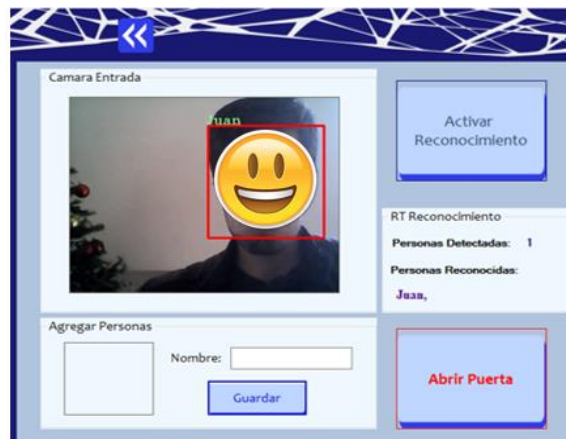


Fig. 8. Ventana de control de ingreso mediante reconocimiento facial.

3. Diseño e implementación

Haciendo uso del programa Visual Studio 2012 se creó un proyecto para crear la interfaz de usuario que serviría para controlar el sistema, esta constaba de partes principales como son la ventana de acceso, selección de inmueble, y la elección del parámetro a controlar, también se mostraba mediante gráficos las mediciones en tiempo real de variables físicas reales como la temperatura, la humedad, la intensidad lumínica, etc.

Toda esta información se leía del puerto serial del ordenador el cual estaba conectado con la tarjeta de Arduino UNO, dicha tarjeta realizaba principalmente dos tareas: el procesamiento de los datos que leían los sensores y la lectura de comandos que enviaba la interfaz en función de los valores mencionados para activar algún actuador o etapa de potencias de las distintas secciones del sistema. Por ejemplo, para el sistema de iluminación se establecieron caracteres de control mostrados en la Tabla 2.

Tabla 3. Reconocimiento facial mediante redes neuronales para diferentes niveles de iluminación ambiental.

Iluminación LUX	Personas reconocidas exitosamente	Personas reconocidas erróneamente	Personas no reconocidas	Máximo número de personas reconocidas simultáneamente
900	90	10	0	5
500	100	0	0	5
200	80	15	5	5
50	40	30	30	3

La interface gráfica permite observar los niveles de humedad y temperatura por medio de dos barras verdes, Figura 6. Los valores se pueden establecer y modificar mediante las barras del lado derecho en la interface, basta con dar clic en el botón de guardar para establecer esos valores como los deseados. También se cuenta con la opción de encender o apagar la calefacción.

En la parte de la medición de la intensidad lumínica, la interfaz muestra el número de luxes que se tienen de acuerdo a la luz que incide en el sensor en una barra, Figura 7. A partir de dicho valor de luxes, se realiza una comparación con los valores de referencia que se obtuvieron en el punto uno de la práctica, y en base a esto la interfaz envía mediante el puerto serial una determinada instrucción a la tarjeta Arduino.

Cuando la tarjeta Arduino recibe la instrucción, mediante uno de sus puertos PWM activa la fuente de luz conectada que encenderá a una cierta intensidad en función de los valores que lee el sensor y de los resultados obtenidos al procesar esos datos, pues como se mencionó anteriormente, cada espacio suele tener una iluminación específica.

Dentro de la interfaz se incluye un apartado para el reconocimiento facial, el cual otorga mayor seguridad para el acceso al hogar, ya que además del módulo de RF-ID se tiene una segunda base de datos en la que se guardan imágenes, con los rostros de las personas reconocidas por el sistema, al estar frente a esta ventana, la cámara será activada mostrando a la persona o personas que intentan acceder. Los datos que se obtendrán son cuantos rostros son reconocidos en la cámara y los nombres de quienes son, esto mejorando el flujo de personas que entran y salen, y si alguien va acompañado de una persona autorizada.

Cuando una persona conocida se sitúa frente a la cámara y presiona el timbre, el sistema abrirá la entrada en caso de reconocer a la persona y la bloqueará en caso de no hacerlo, en ambas situaciones se notificará del acceso (Figura 8).

4. Resultados

Una vez que el sistema estaba conectado y programado, procedimos a hacer pruebas para verificar su correcto funcionamiento, todos los sistemas fueron probados de manera individual y también cuando todos funcionaban a la vez.

Iluminación. Este sistema ha funcionado correctamente, para fines de prueba se utilizaron tres luminarias conectadas y controladas individualmente, pero teóricamente no existe un número máximo de luminarias que podamos controlar con este algoritmo,

únicamente deberán hacerse las conexiones físicas pertinentes y especificar en el software cuantas lámparas queremos y en que pines del Arduino estarán conectados.

Para controlar la intensidad luminosa se deberá utilizar un sensor (fotorresistencia) por cada punto que queramos tener controlado, podemos vincular varios focos a la misma fotorresistencia, este sistema presenta un tiempo de respuesta de 1 segundo en promedio desde el momento en que hay un cambio en la intensidad luminosa ambiental hasta el momento de verlo reflejado en la intensidad luminosa de las lámparas controladas.

Calefacción. El algoritmo utilizado para controlar la temperatura no presento problemas en su funcionamiento, dándonos datos fiables y con un tiempo de respuesta de .3 segundos, desde el momento en que se cambia la temperatura hasta que vemos el cambio reflejado en nuestra computadora.

Seguridad y acceso. La interfaz de la tarjeta lectora de RF no dio ninguna clase de problemas inclusive si se solicita el acceso muchas veces continuas, cada vez que el acceso es autorizado o denegado se genera un reporte en el programa del computador con la hora del acceso y si fue denegado o aceptado.

Reconocimiento facial. Esta es probablemente la parte más problemática pues no es fácil tener un algoritmo de reconocimiento facial que sea infalible y funciona bajo todas las circunstancias, con fines de prueba se pidió la colaboración de 10 personas de ambos sexos y con rasgos diferentes para someter a prueba el sistema, se utilizaron cuatro ambientes diferentes de iluminación y se realizaron diez pruebas con cada combinación, los resultados se muestran en la Tabla 3.

La mayor variación se presenta cuando es un ambiente con poca luz, esto en parte es ocasionado por la calidad y resolución de la cámara, pero también por el tipo de algoritmo y la falta de un pre-procesado de imágenes más adecuado.

5. Conclusiones

En este trabajo, se diseñó una interfaz en la que se podía controlar y visualizar datos relacionados con la mayoría de aspectos que cubren los sistemas domóticos como el encendido y apagado de aparatos eléctricos como focos o lámparas, el control de la iluminación de estos, el control de la temperatura y humedad en el entorno, un sistema de radiofrecuencia para acceder a la vivienda y un sistema de reconocimiento facial como elemento de acceso para asegurar la seguridad del sistema, entre otras cosas, una de las principales características del proyecto es que en la interfaz se podía observar de manera gráfica los valores medidos, a partir de los cuales se podían activar ciertas funciones que ponían a trabajar a actuadores para llevar a ciertos niveles dichos valores de acuerdo a las necesidades del usuario, aunque esto era opcional ya que el sistema por si solo siempre trata de regular de manera automática las variables que puede controlar.

Para armar el sistema fue necesario conjuntar la parte programada de la interfaz con la parte lógica del microcontrolador que a la vez controlaba actuadores y procesaba información de los sensores, aun cuando cada tarea pudiera parecer ser independiente,

todas deben estar interconectadas y actuar en manera conjunta para el correcto funcionamiento.

Después de armar y configurar todo, se realizaron pruebas donde se verificó que la interfaz tenía una buena respuesta a los valores medidos por los sensores, valores que tomaba como referencia para activar o no los dispositivos que tenía conectados, todo en función de la magnitud de las variables censadas las cuales se trató de modelar en función de los valores adecuados o más comunes que debido a que pueden ser subjetivos y variar, se agregó la opción de poder ser establecer estos valores se acuerdo a los gustos de cada usuario.

El sistema implementado y diseñado contaba con la característica de tener una interfaz que tenía el control centralizado pues desde ella podrían controlarse todos los módulos entre los distintos subsistemas de manera independiente, no obstante, como la comunicación que se estableció fue serial, sería necesario cablear todo para que se conectara a la etapa de control que a su vez se conectaría al ordenador que contendría la interfaz por lo que el centro de mando debería estar en una ubicación fija. Dicho inconveniente podría solucionarse si la comunicación se realizara de manera inalámbrica que, si bien ocuparía otro tipo de protocolo de transmisión, el fundamento sería el mismo de enviar un determinado carácter o comando para cada acción que se quiera realizar o para cuando se lean ciertos datos o variables con los sensores.

El reconocimiento facial funciona exitosamente aunque tiene sus limitaciones, como son la calidad de la cámara que usamos, en este caso se utilizó una cámara web de baja definición, por lo que a veces el algoritmo tenía problemas para identificar los rostros de las personas si las condiciones de iluminación no son las adecuadas, pues si las imágenes están muy oscurecidas es más fácil confundir las personas y deriva en una identificación errónea.

Aunque es novedoso esta parte del sistema debe pasar por diversas pruebas y mejoras antes de poder considerarse completamente seguro y sea fiable implementarlo en un ambiente real donde la seguridad del recinto dependa completamente de este sistema.

También existen diversas mejoras que podrían realizarse sustancialmente tomando como base el diseño implementado conforme surjan las necesidades como el crear ambientes adecuados o aún más personalizados para hacer aún más autónoma a la aplicación pues una de las ventajas que tiene el sistema es que la lógica que usa puede reutilizarse para poder controlar más actuadores, para leer otros sensores o para procesar información y realizar acciones en función de está realizando mínimos cambios y reciclando gran parte de código lo cual es importante ya que cada vez es más común escuchar sobre los sistemas domóticos los cuales son algo inherente a término de casa inteligente el cual es un avance natural en el proceso de la automatización y modernización por lo que el sistema diseñado puede ser la base para realizar para poder realizar una interfaz de control cada vez más compleja que se vaya adaptando a las necesidades sin tener que rediseñarla desde cero cada que se quiera implementar una nueva función.

Referencias

1. Acampora, G., Cook, D. J., Rashidi, P., Vasilakos, A.: A survey on ambient intelligence in healthcare. In: Proceedings of the IEEE 101(12), pp. 2470–2494 (2013)

2. Baraka, K., Ghobril, M., Malek, S., Kanj, S., Kayssi, A.: Low cost Arduino/android based energy-efficient home automation system with smart task scheduling. In: Computational Intelligence, Communication Systems and Networks (CICSyN), Fifth International Conference on, IEEE, pp. 296–301 (2013)
3. Cook, D.J., et al.: Ambient intelligence: technologies, applications, and opportunities. *Pervasive and Mobile Computing* 5, pp. 277–298(2009)
4. De Silva, L.C., et al.: State of the art of smart homes. *Eng. Appl. Artif. Intel.* 25(7), pp. 1313–1321 (2012)
5. González, A., Gudiño, F., Méndez, E., Reséndiz, G.: Integración de técnicas de inteligencia artificial en ambiente doméstico. In: Congreso Mexicano de Inteligencia Artificial. COMIA (2017)
6. Henríquez, M., Palma, P.: Control automático de condiciones ambientales en domótica usando redes neuronales artificiales. *Información tecnológica* 22(3), pp. 125–139 (2011)
7. Hjeltnæs, E., Low, B.: Face detection: A survey. *Computer vision and image understanding* 83(3), pp. 236–274 (2001)
8. Kashem, M., Akhter, M., Ahmed, S., Alam, M.: Face recognition system based on principal component analysis (PCA) with back propagation neural networks (BPNN). *Canadian Journal on Image Processing and Computer Vision* 2(4), pp. 36–45 (2011)
9. Kickert, W.J., Mamdani, E.H.: Analysis of a fuzzy logic controller. *Fuzzy sets and Systems* 1(1), pp. 29–44 (1978)
10. Li, R. et al.: Sustainable Smart Home and Home Automation: Big Data Analytics Approach. *International Journal of Smart Home* 10 (8), pp. 177–198 (2016)
11. Monk, S.: 30 Arduino Projects for the evil genius. McGraw-Hill (2010)
12. Pulli, K., Baksheev, A., Korniyakov, K., Eruhimov, V.: Real-time computer vision with OpenCV. *Communications of the ACM* 55(6), pp. 61–69 (2012)
13. Gerhart, J.: Home Automation & Wiring. McGraw-Hill/TAB Electronics (2009)
14. Youssif, A., Asker, W.: Automatic facial expression recognition system based on geometric and appearance features. *Computer and Information Science* 4(2), pp. 115 (2011)
15. Zhang, J., Ou, J., Sun, D.: Study on fuzzy control for HVAC systems-Part one: FFSI and development of single-chip fuzzy controller. In: ASHRAE Transactions 109(27) (2003)