

## Propuesta de sistema pasivo automatizado para el acondicionamiento del aire en casa habitación

### Proposal of an automated passive system for air conditioning in the home

HERNÁNDEZ-GÓMEZ, Víctor Hugo<sup>1</sup>, OLVERA-GARCÍA, Omar<sup>1</sup>, RINCÓN-MALTOS, Gerardo<sup>2</sup> y SANDOVAL-CURMINA, Víctor<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional Autónoma de México-Laboratorio de Investigación en energías renovables de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

<sup>2</sup> Universidad Tecnológica del Norte de Coahuila

<sup>3</sup> Instituto Tecnológico de Mérida -Tecnológico Nacional de México

ID 1<sup>er</sup> Autor: Víctor Hugo, Hernández-Gómez / ORC ID: 0000-0001-9315-5869, Researcher ID Thomson: S-6575-2018, CVU CONACYT ID: 122247

ID 1<sup>er</sup> Coautor: Omar, Olvera-García / ORC ID: 0000-0001-6386-9772 - Researcher ID Thomson: S-6644-2018, CVU CONACYT ID: 706478

ID 2<sup>do</sup> Coautor: Gerardo, Rincón-Maltos / ORC ID: 0000-0003-4712-4302 - Researcher ID Thomson: X-2306-2018, CVU CONACYT ID: 362678

ID 3<sup>er</sup> Coautor: Víctor, Sandoval-Curmina / ORC ID: 0000-0002-6511-7344 - Researcher ID Thomson: T-3408-2018, CVU CONACYT ID: 70654

Recibido 19 de Febrero, 2018; Aceptado 31 de Marzo, 2018

#### Resumen

Los sistemas pasivos son elementos que se integran a la envolvente de la edificación y permiten generar flujos de aire para calefacción y enfriamiento, mediante pequeñas compuertas operadas por las personas que habitan el lugar, canalizando ese aire hacia el interior de una habitación. En este documento, se presenta la propuesta de un sistema pasivo (muro Trombe) automatizado para el acondicionamiento del aire en una casa habitación, en donde el sistema monitorea la temperatura y humedad de la habitación y envía la señal para la operación de las compuertas que permitan el flujo de aire al contenedor de desecante y operación de humidificadores, esto con la finalidad de que en forma automatizada se modifique la temperatura y humedad del aire del interior de la habitación a lo largo del año. Se describe cuales son los parámetros de diseño y variables que intervienen en el sistema pasivo para acondicionamiento del aire mediante el uso del muro Trombe aplicado a una casa habitación. Además, se propone la forma de operación del sistema de automatización basado en una tarjeta de desarrollo Arduino que es energizado a través de un sistema fotovoltaico y mediante una red inalámbrica de sensores se efectúa el monitoreo de las condiciones de temperatura y humedad en la habitación.

**Aire acondicionado, Sistemas pasivos, Muro Trombe, Automatización, Red inalámbrica de sensores**

#### Abstract

Passive systems are elements that are integrated into the envelope of the building and allow generating air flows for heating and cooling, through small gates operated by the people who inhabit the place, channeling that air into the interior of a room. In this document, we present the proposal of a passive system (wall Trombe) automated for the air conditioning in a house, where the system monitors the temperature and humidity of the room and sends the signal for the operation of the gates that allow the flow of air to the desiccant container and operation of humidifiers, this with the purpose of automatically changing the temperature and humidity of the air inside the room throughout the year. Describes which are the design parameters and variables that intervene in the passive system for air conditioning through the use of the Trombe wall applied to a dwelling. In addition, we propose the operation method of the automation system based on an Arduino development card that is energized through a photovoltaic system and through a wireless sensor network, the temperature and humidity conditions in the room are monitored.

**Air conditioning, Passive systems, Wall Trombe, Automation, Wireless sensor network**

**Citación:** HERNÁNDEZ-GÓMEZ, Víctor Hugo, OLVERA-GARCÍA, Omar, RINCÓN-MALTOS, Gerardo y SANDOVAL-CURMINA, Víctor. Propuesta de sistema pasivo automatizado para el acondicionamiento del aire en casa habitación. Revista de Ingeniería Innovativa. 2018, 2-5: 9-17.

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: vichugo@unam.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

El ser humano debe de mantener una temperatura interna cercana a los 36 °C o 37 °C para evitar problemas en el organismo. Cuando el organismo detecta temperaturas menores, éste empieza a temblar para generar calor, si la temperatura interna sigue disminuyendo el organismo tiende a proteger los órganos vitales, como parte del flujo de calor lo lleva la sangre, para evitar pérdidas de calor, el organismo deja de enviar sangre a los órganos que considera no vitales, tal es el caso de la pérdida de dedos u orejas por el frío en alpinistas, si la temperatura sigue disminuyendo, la mayoría de los órganos dejan de funcionar y se termina la vida del organismo con la hipotermia.

En caso contrario, si la temperatura interna empieza a incrementarse, el organismo comienza a sudar, es decir, genera gotas de agua que le van a servir para disipar el calor al medio ambiente, si la temperatura ambiental siguiera incrementando correría el riesgo de la deshidratación y el organismo perecería. Por tal motivo, es necesario apoyar al organismo con otro tipo de protecciones, como es el vestido y el medio ambiente del espacio donde habita. Cuando la temperatura y humedad del medio ambiente no ha sido suficiente para mantener la temperatura interna del ser humano cercana a los 36 °C o 37 °C, ha sido necesario apoyarlo con equipos acondicionadores del aire que emplean energía eléctrica, con la consecuente emisión de gases de efecto invernadero por el origen de la energía eléctrica que se requiere para su funcionamiento.

Para evitar el consumo de energía por el empleo de sistemas de aire acondicionado, se ha retomado las técnicas de nuestros antepasados para modificar la temperatura y humedad del aire, las cuales se conocen como sistemas pasivos. Son sistemas que no requieren de energía eléctrica, normalmente operan con sol y viento, y se aplican en la envolvente de las edificaciones. Dentro de estos sistemas se encuentra el muro Trombe, el cual puede ser utilizado todo el año debido a que las personas pueden modificar manualmente su operación para calefacción o enfriamiento, Morillón (1993).

El propósito de este documento es presentar una propuesta de sistema pasivo automatizado para el acondicionamiento del aire en casa habitación, es decir, que se cuente con un sistema de monitoreo de la temperatura interna de la habitación y en función de los valores programados, abra o cierre las compuertas del sistema. Como otra aportación, se pretende monitorear también a la humedad interna, con la finalidad de que el sistema accione un humidificador o canalice el flujo de aire a un contenedor con material desecante, antes de que el aire entre a la habitación. Con esto se tendría el esquema completo de calentamiento, enfriamiento, humidificación y deshumidificación del aire, para aplicarlo en cualquier estado de la república, durante todo el año.

El trabajo se desarrolla en varias secciones; primeramente, se propone el uso del muro Trombe y se establecen cuáles son sus componentes para implementar el sistema de acondicionador pasivo. En la siguiente sección se describe el funcionamiento y operación del sistema de acondicionamiento del aire empleando el muro Trombe. Posteriormente, se dedica una sección a describir el sistema automatizado para el monitoreo y control del acondicionador pasivo, desde la selección de los sensores de temperatura y humedad, su comunicación inalámbrica con la etapa de control y la comunicación final entre la etapa de control y los actuadores. Para finalizar, se presentan los resultados principales alcanzados con el sistema propuesto y las conclusiones importantes obtenidas.

## Muro Trombe

Los sistemas pasivos son aquellos elementos que se integran a la envolvente de las edificaciones y permiten captar el flujo de calor del Sol que recibiría la envolvente, para descargarlo al medio ambiente o emplearlo para calefacción de la edificación, Morillón (1993). Estos sistemas pueden diseñarse para enfriar, calentar, humidificar o deshumidificar el aire del interior de una edificación. Dentro de estos sistemas se encuentra el muro Trombe, el cual puede utilizarse para calentamiento y enfriamiento de un espacio.

El muro Trombe está formado por dos placas paralelas, una de ellas es transparente (vidrio, acrílico, etc) permitiendo el paso de los rayos del sol y además protege a la otra placa llamada elemento almacenador (por ejemplo, aluminio) que está montada sobre un muro, formando un canal por donde circula aire, Ken Butti and John Perlin, (1980). Los rayos del Sol al incidir sobre el elemento almacenador modifican su temperatura y por su capacidad calorífica se convierte en un acumulador de calor. Este calor almacenado se transmite al aire que se introduce al sistema por el canal ocasionando convección natural. Este aire se desecha al medio ambiente logrando generar ventilación en el interior de la edificación, o se ingresa nuevamente para calentamiento del espacio. El muro Trombe puede construirse con materiales de construcción ordinarios, por lo que no es cara su inversión y mantenimiento.

El proyecto tiene la finalidad de que el sistema sea empleado en cualquier casa habitación, por lo cual, no se establece un diseño fijo del muro, sino recomendaciones para su diseño y automatización que deberán ajustarse lo más posible en función de la casa habitación a climatizar. Tomando como base los resultados de Hernández et al (2010), se propone un muro Trombe cercano a un metro de ancho por dos metros de altura, el cual puede estar construido por vidrio o acrílico (4 mm de espesor) como primera placa y como segunda placa una lámina de aluminio (calibre 12), se debe dejar un espacio entre placas de 5 cm y estar protegido con un bastidor de madera, la lámina de aluminio debe estar aislada con unicel y montada a la pared sur de la edificación. Tanto en la pared como en la lámina de aluminio es necesario dejar el espacio para las rendijas por donde pasará el flujo de aire del sistema. En la parte superior del muro, debe de instalarse una compuerta para permitir la salida del aire caliente en el caso de enfriamiento de la habitación.

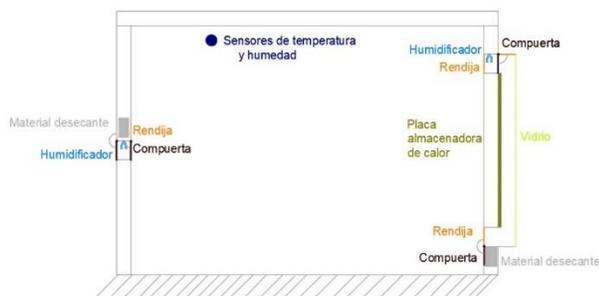
En la parte de abajo de la placa de aluminio, debe instalarse un contenedor con material desecante con su respectiva compuerta para la etapa de calentamiento con deshumidificación. En el ducto superior del muro Trombe, en la sección que da hacia la habitación a climatizar, debe instalarse un humidificador o un aspersor de agua junto con un sistema de recolección del agua sobrante, para la etapa de calentamiento con humidificación.

También debe considerarse una compuerta para permitir que el flujo de aire salga del muro al medio ambiente o pase al humidificador antes de ser descargado al interior de la habitación.

Para el material desecante, se tomó en cuenta los trabajos presentados por Olvera y Hernández (2015) quienes utilizaron un promedio de 200 g de sílice para reducir la humedad del aire que pasaba a través de un prototipo de muro de descarga de calor, (que trabaja bajo el principio del muro Trombe) la reducción promedio conseguida fue de 17.7%. Un año después, Olvera, Morillón y Hernández (2016) publican resultados de deshumidificación del aire que ingresa a una vivienda, a través de una ventana de 1.0 m<sup>2</sup> utilizando condiciones ambientales (velocidad promedio del viento, humedad relativa y presión atmosférica de la zona) de acuerdo con Fuentes (2004), concluyen que se requieren grandes cantidades de sílice para retirar la humedad del aire que ingresa a la vivienda, sin embargo estos datos sirven como base para estimar la cantidad de sílice que se requieren por día, para deshumidificar el aire que recircula a través de las rejillas de aire del sistema. La cantidad aproximada de sílice para deshumidificar el aire un 18% en un espacio cerrado de 30 m<sup>3</sup> es de 20 Kg/día, con un volumen aproximado de 30,000 cm<sup>3</sup>.

Para la etapa de enfriamiento de la habitación, debe considerarse que en la pared contraria al muro Trombe, debe de instalarse un ducto de aire con dos compuertas que permitan, una cerrar el ducto para el caso de calentamiento y la otra que permita canalizar el flujo de aire del medio ambiente exterior al humidificador para la etapa de enfriamiento con humidificación, o al contenedor con material desecante, para la etapa de enfriamiento con deshumidificación. Para conseguir esto, en el ducto debe instalarse un humidificador y un contenedor con material desecante. De ser necesario puede emplearse en los ductos un pequeño ventilador de apoyo, el cual puede ser alimentado con una foto celda.

En la figura 1, se presenta un esquema del sistema de acondicionamiento del aire, en donde se muestra el muro Trombe, las compuertas que lo operan, los contenedores de material desecante, los humidificadores y la pared por donde será remplazado el aire.



**Figura 1** Esquema del sistema de acondicionamiento del aire

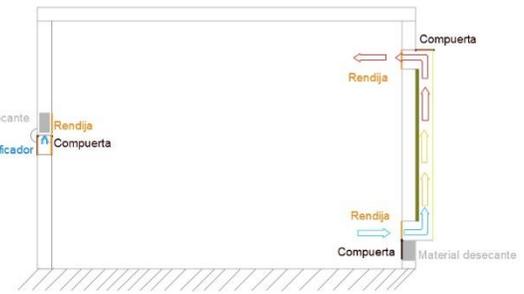
*Fuente de consulta: Propia*

## Funcionamiento del sistema de acondicionamiento del aire

En esta sección se describe la operación del sistema de acondicionamiento del aire con base en cada una de las funciones importantes que debe realizar. Las funciones principales que un sistema de acondicionamiento del aire implementa son la calefacción y el enfriamiento. A su vez, en cada una de estas funciones es posible desarrollarlas con Humidificación o Deshumidificación dependiendo de las necesidades del ambiente que se desee tener en la habitación.

A continuación, se presenta la operación del sistema de acondicionamiento del aire para cada una de las funciones que realiza:

**Calefacción.** Cuando los sensores de temperatura del sistema de monitoreo detecten que la temperatura del aire del interior de la habitación es menor a la temperatura de confort térmico, enviarán la señal a las compuertas inferior y superior del muro, para permitir el paso del flujo de aire desde el interior de la habitación a climatizar al muro Trombe, el aire será calentado por la placa de aluminio y por la compuerta superior será introducido nuevamente a la habitación. El ducto de la pared que se emplea para el remplazo de aire se mantiene cerrado. El sistema seguirá operando hasta alcanzar la temperatura deseada. En la figura 2 se ilustra el proceso de operación del sistema para calentamiento de la habitación.



**Figura 2** Proceso de calentamiento

*Fuente de consulta: Propia*

**Enfriamiento.** Cuando los sensores de temperatura del sistema de monitoreo detecten que la temperatura del aire de la habitación es mayor a la temperatura de confort térmica, enviarán la señal a las compuertas inferior y exterior del muro, para permitir el paso del flujo de aire desde el interior de la habitación a climatizar al muro Trombe, el aire será calentado por la placa de aluminio y la compuerta externa permitirá que el flujo de aire caliente sea evacuado al medio ambiente, generando un flujo de ventilación. Por la parte de la casa donde no da el sol, el sistema enviará la señal para que se abra la compuerta para permitir el remplazo del aire caliente extraído por aire a la temperatura ambiental. El sistema seguirá funcionando hasta alcanzar la temperatura deseada. En la figura 3 se ilustra el proceso de operación del sistema para enfriamiento de la habitación.

## Calefacción con Humidificación:

Cuando el sistema de monitoreo detecte el aire de la habitación con una temperatura inferior a la de confort térmico y una humedad relativa inferior al 50 %, el sistema funcionará como se explicó en la parte de calefacción, pero antes de liberar el flujo de aire al interior de la habitación, el sistema enviará la señal para que el humidificador o los rociadores de agua que se instalen en el ducto superior del muro se activen, incrementando la humedad del aire. Cabe hacer mención que, si se utiliza un aspersor, el agua debe de pasar previamente por el muro para incrementar su temperatura y no enfríe el aire. El sistema estará en operación hasta alcanzar las condiciones de temperatura y humedad deseadas. En la figura 4 se ilustra el proceso de operación del sistema para calentamiento con humidificación de la habitación.

**Calefacción con Deshumidificación:**

Cuando el sistema de monitoreo detecte que la temperatura del aire del interior de la habitación es menor a la de confort térmico y una humedad relativa mayor al 50%, el sistema funcionará como se explicó en la parte de calefacción, pero el sistema enviará la señal para que la compuerta inferior del muro canalice el flujo de aire al contenedor de material desecante, con la finalidad de que el aire pierda humedad. El sistema funcionará hasta alcanzar las condiciones deseadas. En la figura 5 se ilustra el proceso de operación del sistema para calentamiento con deshumidificación de la habitación.

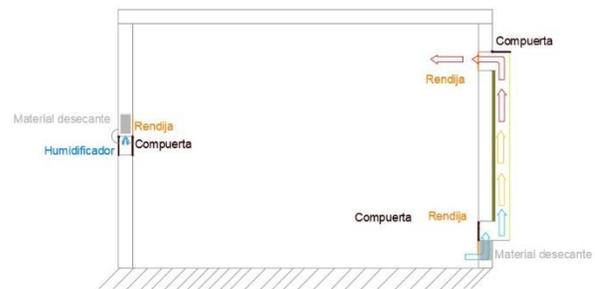


**Figura 3** Proceso de enfriamiento

Fuente de consulta: Propia

**Enfriamiento con Deshumidificación:**

Cuando el sistema de monitoreo detecte que el aire de la habitación tenga una temperatura superior a la de confort térmico y una humedad relativa superior al 50%, el sistema funcionará como se explicó en la parte de enfriamiento, pero en el ducto de aire de la pared empleada para remplazo del aire, el sistema enviará la señal a la compuerta para que canalice el flujo de aire del medio ambiente al contenedor de material desecante, para reducir la humedad del aire ambiental antes de ingresar a la habitación. El sistema funcionará hasta alcanzar las condiciones deseadas. En la figura 7 se ilustra el proceso de operación del sistema para enfriamiento con deshumidificación de la habitación.



**Figura 5** Proceso de calentamiento con deshumidificación

Fuente de consulta: Propia

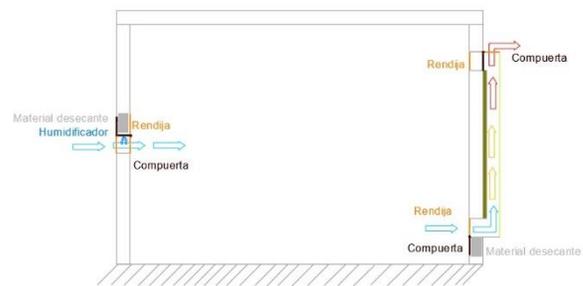


**Figura 4** Proceso de calentamiento con humidificación

Fuente de consulta: Propia

**Enfriamiento con Humidificación:**

Cuando el sistema de monitoreo detecte que la temperatura interna del aire es superior a la de confort térmico y la humedad relativa sea inferior al 50%, el sistema funcionará como se explicó en la parte de enfriamiento, pero en el ducto de aire de la pared empleada para remplazo del aire, el sistema activará el humidificador para incrementar la humedad del aire que proviene del medio ambiente. El sistema seguirá operando hasta alcanzar las condiciones deseadas. En la figura 6 se ilustra el proceso de operación del sistema para enfriamiento con humidificación de la habitación.



**Figura 6** Proceso de enfriamiento con humidificación

Fuente de consulta: Propia

**Sistema automatizado para el monitoreo y control del acondicionador pasivo**

Para el correcto funcionamiento del acondicionador pasivo propuesto, se requiere diseñar un sistema de monitoreo y control automatizado mediante el uso de una red de sensores inalámbricos (WSN, Wireless Sensor Network) que le permita monitorear los estados de temperatura ambiental y humedad relativa para luego enviar la información obtenida a la etapa de control, que estará implementada en una tarjeta de desarrollo basada en un Arduino, la cual mediante actuadores activarán los motores paso a paso para la apertura y cierre de las rendijas del acondicionador.

HERNÁNDEZ-GÓMEZ, Víctor Hugo, OLVERA-GARCÍA, Omar, RINCÓN-MALTOS, Gerardo y SANDOVAL-CURMINA, Víctor. Propuesta de sistema pasivo automatizado para el acondicionamiento del aire en casa habitación. Revista de Ingeniería Innovativa. 2018.

## Sensores

Una WSN consiste en una red de pequeños sistemas embebidos, autónomos y distribuidos físicamente llamados nodos sensoriales instalados alrededor de algún fenómeno que necesita ser monitoreado, los cuales tienen la capacidad de comunicar datos (y en algunos casos almacenar) en una forma inalámbrica y colaborando entre sí para realizar una tarea en común, Rehmani, M. y Pathan, A., (2016). Existen muchas aplicaciones para las WSN y es una tecnología muy utilizada para implementar el Internet de las cosas IoT, IEC. (2018) y Telefónica, F., (2011).



**Figura 7** Proceso de enfriamiento con deshumidificación  
Fuente de consulta: Propia

Para la operación del acondicionador pasivo, se requiere ubicar las WSN que midan la temperatura y humedad relativa en los siguientes puntos:

- En los ductos inferiores y superiores del muro Trombe.
- En el ducto de remplazo de aire, tanto a la entrada como a la salida.
- En diferentes partes de la habitación a climatizar.

Con base en un estudio realizado en Iraceburu J., Goicoechea J., (2014), se empleará el sensor de temperatura y humedad SHT25 de la familia Sensirion. Este tipo de sensor contiene un amplificador, un conversor A/D, memoria OTP y una unidad de procesamiento digital además del propio sensor. La gran ventaja de este chip es su compatibilidad con I2C, evitando el trabajo de indicar al microcontrolador cómo y cuándo va a recibir los datos mediante el envío de comandos. Consta de un sensor capacitivo para medir la humedad mientras que la temperatura se mide por un sensor “band-gap”.

En lo que respecta a la conexión inalámbrica, se propone utilizar módulos XBee-pro que están diseñados para cumplir con los estándares IEEE 802.15.4 relacionados con la comunicación ZigBee. Los sensores de temperatura y humedad que cuenten con los módulos XBee serán las terminales esclavas que enviarán su información de las condiciones ambientales de la habitación y ciertas partes del acondicionador pasivo al módulo maestro XBee que se encontrará conectado a la tarjeta de desarrollo Arduino que se encargará del proceso de automatización.

## Alimentación eléctrica

El proyecto será energizado por un sistema fotovoltaico autónomo, que consta de un panel solar, regulador de carga y batería, lo que permite aprovechar las energías renovables y no alejarnos del concepto de lo que representa un muro Trombe.

## Control

En un inicio fueron consideradas las opciones de control del sistema, el PLC (programador Lógico Controlable) y el Arduino, sin embargo, se busca que el proyecto sea accesible para toda persona, el Arduino es una opción económica de control, tal y como lo afirma, Murillo-Soto (2015) “las razones principales para utilizar Arduino en proyectos de automatización de pequeña escala se encuentran en las capacidades del hardware y sus costos”.

Además, existen evidencias de uso de placas Arduino como, por ejemplo, Herrera (2014), Azúa-Barrón (2017) y Jordão (2017) por mencionar algunos donde se realiza el monitoreo de variables, el mismo se podría ocupar de controlarlas mediante la activación de elementos finales que ayudan a mitigar las discrepancias entre los resultados requeridos y los posibles escenarios negativos al no actuar a tiempo.

Por lo que se propone el uso de una placa de desarrollo, con el fin de facilitar el manejo del sistema, por lo que se elige Arduino, placa muy conocida que cuenta con gran cantidad de aditamentos compatibles y librerías para utilizar.

**Actuadores**

Dentro de la lista de elementos a utilizar se sugieren el uso de 7 motores paso a paso NEMA 17 para la apertura y cierre de las compuertas, permitiendo el paso del flujo de aire al sistema. Estos serán clasificados por grupos, el grupo A, consta de 4 motores que se encargaran de la apertura y cierre de las compuertas que canalizarán el flujo de aire al contenedor de material desecante que se encuentra en la parte inferior del muro Trombe, el grupo B, un motor el cual se encargue del movimiento de la compuerta que permitirá el paso del flujo de aire caliente del muro al interior de la habitación o hacia el exterior del muro, para el grupo C, se propone dos motores que permitan la ventilación hacia el exterior, el grupo D, controlará la compuerta de remplazo que permite canalizar el flujo de aire del medio ambiente al interior de la habitación o al contenedor de material desecante. El uso de ventiladores de 200 milímetros podría ser considerado.

**Diagrama**

A continuación, en la figura 8 se muestra parte del esquemático, donde se puede apreciar cómo se llevará a cabo el control de motores y que se contará con un sistema maestro/esclavo de Arduino, con el fin de ampliar el número de entradas y salidas disponibles. La conexión maestro-esclavo entre las placas Arduino son posible gracias a las librerías WIRE [Arduino. C.C. (2018)].

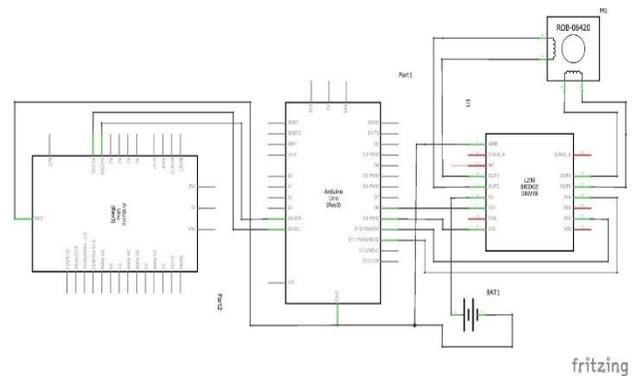
**Operación del sistema**

A continuación, en la figura 9 se muestra un diagrama de flujo que detalla la forma de funcionamiento del sistema, se consideran 24 grados Celsius para efectos demostrativos.

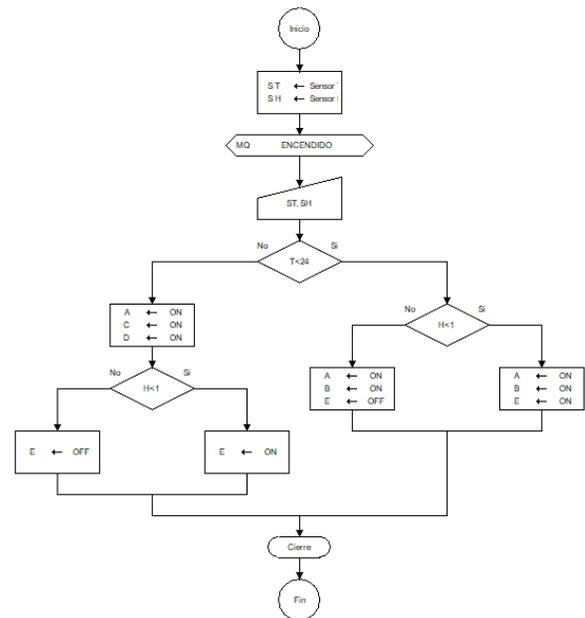
Primero se declaran las entradas utilizadas por los sensores, posteriormente se toman lecturas de estos, mientras se mantenga encendido el sistema, se estarán monitoreando las lecturas ofrecidas por los sensores, una vez que se conocen los parámetros, se procede a determinar que parte del sistema entrará en funciones.

**Calefacción**

En caso de obtener una lectura menor a la de confort térmico, lo siguiente a verificar será la humedad en el ambiente, en caso de ser menor al 50%, procederá a energizar la sección de motores A, B y el ventilador que sería representado por la sección E. En caso de que la humedad en el ambiente sea mayor al 50%, solo encenderá la sección A y B.



**Figura 8** Diagrama esquemático Arduino maestro-esclavo  
Fuente de consulta: Propia



**Figura 9** Diagrama de flujo de sistema pasivo automatizado  
Fuente de consulta: Propia

**Enfriamiento**

En caso de obtener una lectura mayor a la de confort térmico, la acción a realizar será energizar las secciones A, C y D, posteriormente dependiendo si la humedad en el ambiente sea menor al 50%, energizará la sección E, en caso de ser mayor dicha sección se mantendrá sin energía.

## Resultados

El empleo de sistemas pasivos permite reducir el consumo de energía eléctrica, manteniendo condiciones de temperatura y humedad cercanas a la de confort higrotérmico. Gracias al uso de una WSN es posible monitorear en tiempo real la temperatura y humedad en las habitaciones y en ciertas partes del sistema pasivo de acondicionamiento sin necesidad de estar conectado alámbricamente con la etapa de control implementada en una tarjeta de desarrollo Arduino. Para mantener la sustentabilidad, las WSN están alimentadas con pilas que pueden ser recargables. La etapa de control permite que el sistema pasivo automatizado pueda operar bajo cualquier clima, lo cual hace posible su funcionamiento en cualquier parte de la República Mexicana, sin que los habitantes de la vivienda tengan que manipular el sistema.

## Conclusiones

Gracias a los avances tecnológicos en el área de la electrónica, es posible tener en operación y de forma muy práctica un sistema pasivo de acondicionamiento del aire de un cuarto habitación mediante la automatización basada en una WSN y una etapa de control con una tarjeta de desarrollo Arduino. El siguiente paso es implementar un prototipo de esta propuesta para obtener resultados experimentales, validar su operación práctica y valorar sus costos de implementación, todo esto con la finalidad de mejorar sus condiciones de operación y hacer esta tecnología competitiva en comparación con un sistema activo de acondicionamiento del aire.

## Referencias

Arduino – MasterReader. (2018). Retrieved from <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/MasterReader>

Azúa-Barrón, M., & Vázquez-Peña, M., & Arteaga-Ramírez, R., & Hernández-Saucedo, R. (2017). Sistema de adquisición de datos de bajo costo con la plataforma arduino. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8 (1), 1-12.

Fuentes V. A., Rodríguez M., (2004). *Ventilación natural. Cálculos básicos para la arquitectura*. México: Universidad Autónoma Metropolitana. ISBN-970-31-0205-0

Hernández V. H., Morillón D., Fernández J. L. (2010), *Design recommendations for heat discharge systems in walls*. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 30, pp. 1616-1620, ISSN 1359-4311.

Herrera, J., & Barrios, M., & Pérez, S. (2014). Diseño e implementación de un sistema scada inalámbrico mediante la tecnología zigbee y arduino. *PROSPECTIVA*, 12 (2), 65-72.

IEC. (2018). *White paper Internet of Things: Wireless Sensor Networks*, recuperado en <https://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-internetofthings-LR-en.pdf>

Iraceburu J., Goicoechea J., (2014). *Desarrollo e implementación de una red inalámbrica de sensores de temperatura y humedad*, E.T.S. de Ingeniería Industrial, Informática y de Telecomunicación, Universidad Pública de Navarra, España.

Jordão, Marcelo D. L., Paiva, Kary de, Firmo, Heloisa T., Inácio, Caio T., Rotunno Filho, Otto C., & Lima, Tomé de A. e. (2017). Low-cost automatic station for compost temperature monitoring. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(11), 809-813. <https://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n11p809-813>

Ken Butti and John Perlin, (1980). *A Golden Thread, 2500 year of Solar Architecture and Technology*, E. U. 291 pp.

Morillón Gálvez David (1993), *Bioclimática, sistemas pasivos de climatización*. Colección biblioteca circular, serie universitaria. Universidad de Guadalajara.

Morillón, D. (1993). *Bioclimática. Sistemas pasivos de climatización*. *Universidad de Guadalajara*.

Murillo-Soto, Luis Diego. (2015). Automatización de pequeña escala con Open Hardware. *Revista Tecnología en Marcha*, 28(1), 15-23. Retrieved November 29, 2018, from [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0379-39822015000100015&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822015000100015&lng=en&tlng=es).

Olvera, O. Morillón D., Hernández V. H., (2016). *Deshumidificación del aire que ingresa a una vivienda a través de desecantes*. Memorias del Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, sistemas y electrónica. AÑO 2. No. 1. IE-06, pp.1-6 ISSN-2448-7236.

Olvera, O., Hernandez V. H., (2015). *Humidificación y deshumidificación solar pasiva*. Presentado en XXXIX Semana Nacional de Energía Solar del 2015.

Rehmani, M., Pathan,A., (2016). *Emerging communication technologies based on wireless sensor networks: Current research and future applications*, New York, USA: CRC Press.  
Telefónica, F., (2011). *Smart Cities: un primer paso hacia la Internet de las Cosas* (Informe 16). Madrid, España: Ariel y Fundación Telefónica.