

Automatización de una planta que realiza el análisis de propiedades térmicas en sistemas constructivos.

Automation of a plant that performs the analysis of thermal properties in construction systems.

Jesús Emmanuel Angulo Urbina (UNISON) angulo1323l@gmail.com.

Víctor Hugo Benítez Baltazar (UNISON) ybenitez@industrial.uson.mx.

Ana Cecilia Borbón Aldama (UNISON) acborbon@dicym.uson.mx.

Jesús Horacio Pacheco Ramírez (UNISON) jpacheco@industrial.uson.mx.

María Elena Anaya Pérez (UNISON) elena.anaya@industrial.uson.mx.

Resumen: *La presente investigación tiene como principal objetivo, utilizar herramientas de automatización en una planta que realiza el análisis de propiedades térmicas en sistemas constructivos. Los estudios térmicos en sistemas constructivos que lleva a cabo este tipo de tecnología, se han ido implementando en diferentes centros de investigación, con la finalidad de obtener mejores materiales en el área de la construcción, los cuales aseguren un confort térmico al interior de las edificaciones. Las variables comúnmente a obtener en el estudio son el flujo de calor, la conductividad térmica y la resistencia térmica. El objetivo principal del artículo, es proporcionar una metodología de solución, la cual servirán para mejorar el sistema actual. Las actividades a mejorar son la compactación del sistema constructivo por medio de un mecanismo neumático, paso que es importante para la realización de la medición, y en la programación de una interfaz que recolecte, almacene e intérprete la información obtenida por un grupo de sensores de temperatura. Estos cambios facilitarán el análisis de los sistemas constructivos provocando que se realice de la manera más eficiente.*

Palabras-claves: *automatización; propiedades térmicas; interfaz hombre máquina.*

Abstract: *The present research has as main objective, Summary. The present research has as main objective, to use automation tools in a plant that performs the analysis of thermal properties in construction systems. The thermal studies in constructive systems that carry out this type of technology, have been implemented in different research centers, with the purpose of obtaining better materials in the construction area, which assure a thermal comfort to the interior of the buildings. The variables commonly obtained in the study are heat flux, thermal conductivity and thermal resistance. The main objective of the article is to provide a solution methodology, which will serve to improve the current system. The activities to be improved are the compaction of the construction system by means of a pneumatic mechanism, a step that is important for the measurement, and in the programming of an interface that collects, stores and interprets the information obtained by a group of sensors temperature. These changes will facilitate the analysis of the constructive systems causing it to be carried out in the most efficient way.*

Keywords: *automation; Thermal properties; Interface.*

1. Introducción

La presente investigación tiene como principal objetivo, utilizar herramientas de automatización en una planta que realiza análisis de propiedades térmicas en sistemas constructivos. El interés que existe para hacer uso de la planta es, por las condiciones climáticas extremas que se presentan tanto en invierno como en verano en las ciudades del noroeste de México y específicamente en la ciudad de Hermosillo, donde las construcciones no siempre son adecuadas para la región, esto ocasiona problemas de falta de confort térmico al interior de las edificaciones y un mayor consumo de energía eléctrica por la climatización artificial. Por tales razones es necesario conocer cuáles sistemas constructivos son los más adecuados para la región.

Debido a las oportunidades de mejora que presenta la planta, se propone en este estudio la implementación de un sistema automatizado y de una interfaz que intérprete y almacene los valores obtenidos, estas aplicaciones tienen como finalidad disminuir el consumo de tiempo para la obtención de las propiedades térmicas.

El proyecto se realizará dentro de los laboratorios de investigación del Departamento de Ingeniería Civil y Minas de la Universidad de Sonora, donde se desarrollan diferentes investigaciones acerca de las propiedades térmicas de sistemas constructivos.

El artículo presenta una metodología, que será clave para llevar a cabo las mejoras en una planta que realiza mediciones de térmicos en materiales para la construcción.

A continuación, se mostrarán las secciones que proporciona el documento, iniciando por el marco teórico del artículo, donde se presentará la teoría en relación a la temática de la investigación; los antecedentes y descripción del problema, presentando la problemática que se desea abordar; la metodología, en la cual se definirán los pasos a seguir para la resolución de la problemática; y la propuesta.

2. Marco teórico

Se le conoce como sistema constructivo al conjunto de elementos y unidades de un edificio que forman una organización funcional con una misión constructiva común, sea ésta de sostén (estructura) de definición y protección de espacios habitables (cerramientos) de obtención de confort (acondicionamiento) o de expresión de imagen y aspecto (decoración). Es decir, el sistema como conjunto articulado, más que el sistema como método. En este sentido, cabe destacar que los sistemas suelen estar constituidos por unidades, éstas por elementos, y éstos a su vez se construyen a partir de determinados materiales (Monjo, 2005).

Los estudios térmicos en sistemas constructivos no son recientes, durante años diferentes centros de investigación han desarrollado métodos para hacer más eficientes los resultados y de esta manera obtener mejores materiales con respecto a los sistemas de construcción (Alamea, 2014). El procedimiento estándar para obtener las propiedades térmicas se describe en la norma ASTM C 177-4, como "Método estándar de prueba para las mediciones del flujo de calor en estado estable por medio del aparato de placa caliente protegida". Este método requiere que la temperatura en estado estacionario (la temperatura deje de variar en el tiempo), en una pared vertical plana, con un flujo de calor controlado, arreglado de tal forma que suministre un flujo unidireccional y uniforme, creando un diferencial de temperaturas en la pared para diferentes temperaturas de operación y condiciones de frontera adecuadas (Borbón, 2010).

Los 3 valores comúnmente a estudiar son:

- el flujo de calor. Se considera como la transferencia de calor por unidad de tiempo y por unidad de área o la potencia, rapidez de transferencia de calor por unidad de área.

- la conductividad térmica. Se describe como una medida de la capacidad de transferir energía térmica, al imponerle un gradiente de temperatura.
- la resistencia térmica. es la capacidad de los materiales de oponerse al flujo de calor, es la razón entre el espesor y la conductividad térmica (Yunus,2011).

2.1. Sistemas de control

El termino sistema se emplea para describir un conjunto de componentes que interactúan, alrededor de los cuales se dibuja una frontera imaginaria de modo que solo es de interés la interacción entre la entrada o entradas y sus salida o salidas, sin necesidad de detallar las interacciones entre los componentes que lo forman (Bolton, 2016).

Los sistemas de lazo abierto y de lazo cerrado, son los dos tipos de sistemas de control existentes. Los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto (Bolton, 2016), estos proporcionan un mejor sistema de gestión cuando no existe información proveniente de la salida del sistema (Kogan, 2009). Dentro de este tipo de sistemas, la información fluye unidireccionalmente y la salida del sistema no influye en la entrada (Sun et al., 2013)

La diferencia entre un sistema de lazo cerrado a un sistema de control en lazo abierto, es que el sistema de lazo cerrado para que sea más exacto y más adaptable, es le hace una conexión o retroalimentación desde la salida hacia la entrada del sistema. Para obtener un control más exacto, la señal controlada se debe enviar una señal actuante proporcional a la diferencia de la entrada y la salida a través del sistema para corregir el error que se esté generando (Kuo, 2010).

2.2. Elementos de control

Los elementos de sistemas control que generalmente se utilizan son PLC y microcontroladores. Antes de la aparición del controlador lógico programable (PLC), los sistemas de automatización se controlaban por una combinación de relés, temporizadores, secuenciadores y controladores de lazo cerrado o por una computadora personalizada para controlar el sistema de automatización (Sakakura, 2016). Los PLC son sistemas de control que se utilizan principalmente en la automatización de fábricas o industrias con procesos electromecánicos. Estos sistemas son programados con lenguajes específicos llamado IEC 61131-3[11], Y se han convertido en los principales equipos de control en las industrias. El éxito de los sistemas PLC ha dado lugar a la presencia en el mercado de una amplia gama de marcas y modelos, cada uno con sus propias características (Banó et al, 2014).

2.2.1. Monitoreo de temperatura

Para poder llevar a cabo un control de temperatura es necesario contar con un sensor de temperatura, en la actualidad hay muchas formas de medir la temperatura con todo tipo de sensores de diversas naturalezas. La ingeniería de control de procesos ha inventado, perfeccionado e innovado a la hora de disponer de sensores que ayuden a controlar los cambios de temperatura en procesos industriales, siendo los sensores de tipo eléctrico los que más extensión tienen hasta hoy (Fraden, 1996).

2.2.2. Adquisición de datos

El propósito de la adquisición de datos es medir un fenómeno físico como voltaje, corriente, temperatura, entre otros. Para que los datos sean correctos, estos deberán ser obtenidos en condiciones idóneas, para la correcta interpretación (González et al, 2011). Entre los adquirentes de datos, el data logging se considera un caso especial, ya que en su uso común el data logging es un dispositivo autónomo de adquisición de datos que no requiere conexión o interacción en tiempo real con un PC para realizar su función (Judd, 2013). El data logger

ha sido utilizado en varios experimentos para obtener registros, y de esa manera crear los bancos de datos necesarios para los estudios, esto con la finalidad de obtener diferentes propiedades de la muestra en estudio (Lin et al, 2001).

La adquisición de datos es el primer paso esencial para poder llevar el análisis de un fenómeno, y se requieren de varios pasos para la adquisición de apropiada de datos, como lo son:

- Determinación de la finalidad de la medición.
- Selección del parámetro o parámetros de medición: desplazamiento, velocidad, aceleración, temperatura, entre otros.
- Selección de los instrumentos de medición.
- Selección de los transductores para la medición.
- Determinación del tipo específico de datos requeridos.

Toma de mediciones: hay que determinar el orden más eficiente para la toma de mediciones, vigilar la aparición de resultados inesperados, estar preparado para tomar mediciones adicionales, revisar los datos obtenidos para asegurar su validez (Avendaño et al., 2011)

La interfaz gráfica del usuario (GUI, por sus siglas en inglés) es aquella parte que a base de imágenes y graficas permite al usuario tener interacción con el proceso de manera visual y sencilla. Las GUI-s pueden ser programadas en diferentes lenguajes de programación. Un programa utilizado es MATLAB mediante el uso de la herramienta GUIDE, la cual permite desarrollar interfaz de manera amigable (Fernández, 2007).

2.3. Sistemas neumáticos

La neumática es la tecnología que emplea el aire comprimido como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos. El aire es un material elástico y, por tanto, al aplicarle una fuerza, se comprime, mantiene esta compresión y devolverá la energía acumulada cuando se le permita expandirse, según los gases ideales.

Al comprimirse el aire también comprime todas las impurezas que contiene, tales como polvo, hollín, suciedad, hidrocarburos, gérmenes y vapor de agua. Es vital eliminarlas en los procesos de producción de aire comprimido, en los compresores y en el de preparación para la alimentación directa de los dispositivos neumáticos (Guillén, 1993).

3. Justificación

El proyecto se desarrollará en el Laboratorio de Investigación 2 ubicado en las instalaciones experimentales del Departamento de Ingeniería Civil y Minas de la Universidad de Sonora. El laboratorio realiza mediciones para las empresas del ramo de la construcción, que está interesada en realizar análisis de propiedades térmicas en sus sistemas constructivos.

La planta que realiza el análisis de propiedades térmicas de sistemas constructivos conocida como TR-01, fue diseñada para que se realicen las mediciones mediante el método de Sistema de Medición de Placa Caliente, el cual está basado en un modelo físico en el que se considera un flujo unidireccional, para ello se cuenta con dos placas una caliente y otra fría que presionarán con fuerza constante y uniforme al sistema constructivo que se coloque entre ellas para sus análisis. Se sabe que, por especificaciones de diseño, la placa fría se mantiene fija y la placa caliente deberá tener un movimiento horizontal dirigido hacia la placa fría, y entre medio la muestra. Posteriormente, un grupo de sensores miden la temperatura del sistema durante un periodo de tiempo determinado, con la finalidad de adquirir información necesaria para describir el índice de resistencia y conductividad térmica del sistema en estudio.

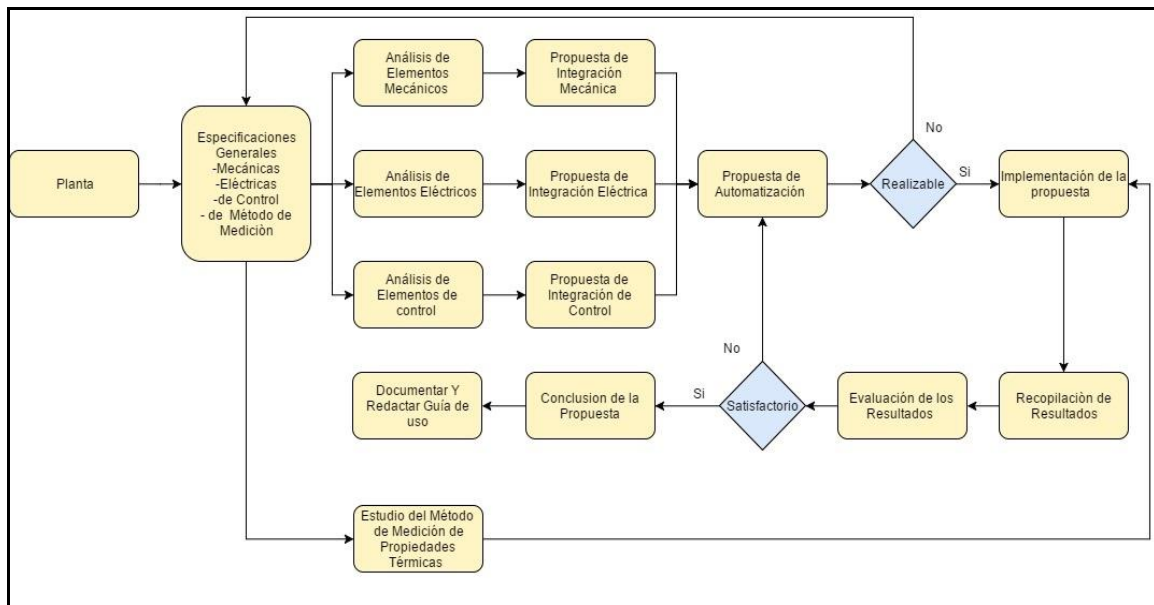
El TR-01 presenta una compactación del sistema de manera manual. La cual atrasa la colocación correcta del sistema constructivo, por el alto consumo tiempo de elaboración. Además, el sistema actual no cuenta con una interfaz que recolecte, almacene e intérprete la información obtenida por el grupo de sensores de temperatura colocados en las placas. Estas oportunidades de mejora se deberán realizar. Lo anterior dificulta el proceso de análisis de los sistemas constructivos provocando que no se realice de la manera más eficiente.

4. Metodología

En este apartado se mostrará la metodología a implementar para la resolución de las mejoras planteadas. Debido a la naturaleza de la situación tratada, el objetivo, variables y entorno se optará por un análisis de tipo cuantitativo por medio de un diseño experimental.

El modelo de solución que se utilizará dentro de este documento se ilustra en la figura 1, la cual estará compuesta por 4 fases: análisis del sistema general de la planta, propuesta de integración y propuesta de automatización, implementación y evaluación de la propuesta, y conclusión y desarrollo de la documentación.

Figura 1- Metodología.



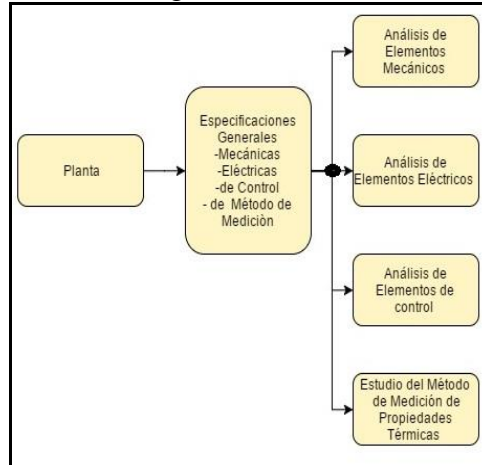
Fuente: Elaboración propia (2017)

4.1. Fase 1

La fase uno o especificaciones y análisis técnico (Figura 2), es la etapa de lectura e investigación, con la finalidad de tener conocimiento de cuáles son las especificaciones necesarias para el funcionamiento adecuado de la planta, se contemplarán todos los componentes, dispositivos, software y hardware que componen. En la investigación será necesario: el estudio técnico en relación planta de medición de propiedades térmicas, factores que afectan el funcionamiento, pruebas de evaluación; además de manuales, formatos, códigos y entre otros elementos que vaya relacionado con la operación de la planta.

En esta fase también se hará distinción entre los diferentes tipos de elementos en la que está compuesta; elementos mecánicos, eléctricos y de control, para facilitar el estudio.

Figura 2 - Fase 1

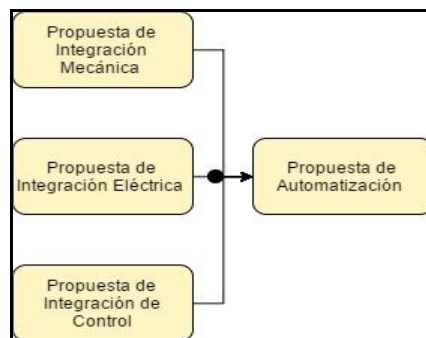


Fuente: Elaboración propia (2017)

4.2. Fase 2

Se compone de la propuesta de integración para cada uno de los elementos que conforman la planta, para la formación de una propuesta de automatización, se contemplaran todos los componentes, dispositivos, software y hardware utilizados (Figura 3). La toma de selección se debe realizar bajo el criterio si es factible su implementación (diseño, costo-beneficio, tiempo) y si cumplen especificaciones generales que se estudiarán en la fase 1.

Figura 3. Fase 2.



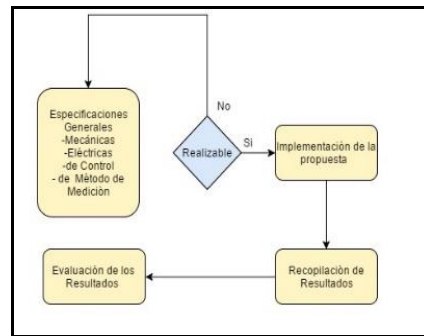
Fuente: Elaboración propia (2017)

4.3. Fase 3

Fase de implementación, recopilación y evaluación de pruebas (Figura 4). Se debe evaluar la planta en base a las operaciones que desempeña, por lo que el diseño de las pruebas se hace en base a criterios como: procesamiento de señales, transmisión de datos, entradas y salidas, conversión analógico-digital, criterios de sistemas de control, entre otros. Los sistemas van expuestos a perturbaciones o factores no controlables que minimizan el desempeño del controlador.

Se recopilan los datos obtenidos y se someten a evaluación, aplicando criterios de confiabilidad y robustez. Debido al número de pruebas, basándose en los estados de operación y los factores de perturbación, cada una de ellas se debe de concluir de manera individual, donde se proporcione un análisis detallado de la evaluación, terminando si se alcanza el nivel de satisfacción esperada.

Figura 4 - Fase 3



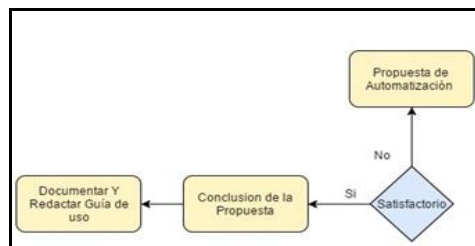
Fuente: Elaboración propia (2017)

4.4. Fase 4

En esta fase del modelo y una vez obtenido resultados que sean satisfactorios tras la evaluación y que la planta esté en funcionamiento, se deberán realizar conclusión sobre la eficiencia de la propuesta planteada y presentar la documentación correspondiente, de lo contrario se deberá regresar a la etapa de propuesta de automatización, para los cambios correspondientes (figura 5).

Las conclusiones se harán en base a los resultados obtenidos en la evaluación, el objetivo es demostrar el nivel de mejora que se obtuvo con respecto al estado esta inicial de la planta, de esa manera se podrá justificar la implementación de la propuesta de automatización.

Figura 5 - Fase 4



Fuente: Elaboración propia (2017)

5. Resultados

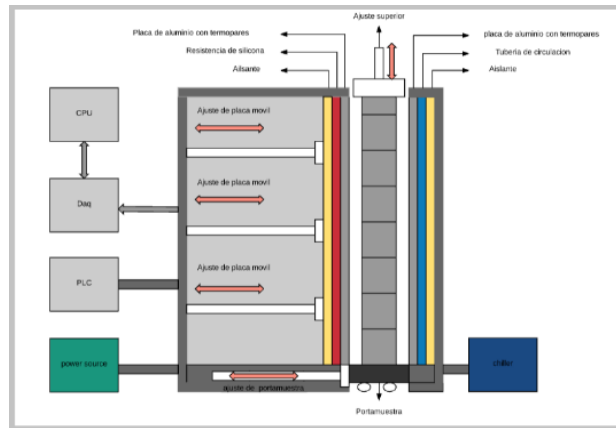
El estudio se inició con la realización de diseño del diagrama del funcionamiento de la planta (Figura 6) para que de esta manera se pueda visualizar cada uno de los componentes significativos dentro de la planta, principalmente aquellos que corresponde a la parte mecánica, eléctrica, y de control.

Una vez que se ha obtenido la información del estado actual de la planta y el comportamiento de cada una de su área, y en base a eso se procederá a hacer las propuestas de mejora, para que sean evaluadas por los encargados de la planta.

Las propuestas de mejora aprobadas para la realización son:

- Mejoramiento en la alimentación neumática.
- Implementación de un control a lazo abierto, para la colocación de las placas.
- Diseño de una interfaz para manejo de datos.

Figura 6 - Diagrama de la planta

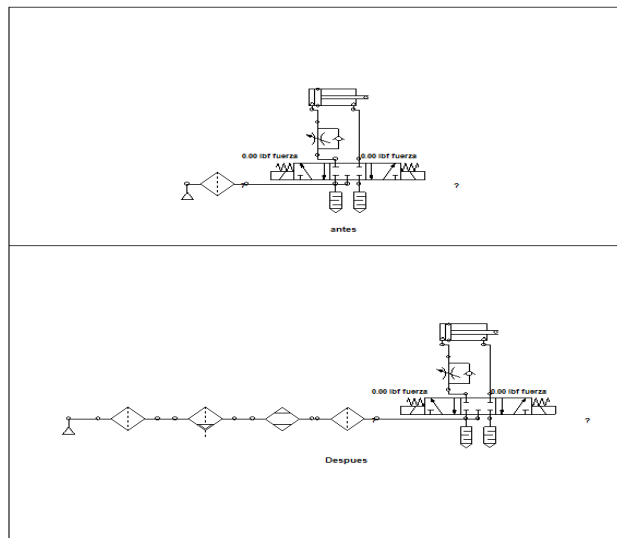


Fuente: Elaboración propia (2017)

Mejoramiento en la alimentación neumática. La necesidad de adquirir un equipo para la mejora del suministro del aire comprimido, es para reducir el nivel humedad del aire presente y eliminación de impurezas. El control del nivel de humedad no se había estado controlando, ya que anteriormente ningún dispositivo o maquinaria que hacía uso del suministro de aire requería de algún tipo de filtrado especial, la reducción o eliminación de humedad e impurezas servirá a que el equipo electro neumático que se utilizará en el control de colocación de las placas no presente averías o un desgaste prematuro.

El equipo que fue adquirido para mejorar el suministro de aire consistió en; un filtro y una purga automática los cuales se colocaron a la salida del compresor, el cual se encuentra situado por fuera de los laboratorios, mientras dentro de las instalaciones laboratorios se colocó un secador antes del filtro que ya se contaba con anterioridad (figura 7), la aplicación del equipo ayudo a que el aire fuera adecuado para el uso de componentes electro neumáticos.

Figura 7 - Instalación neumática antes y después de la mejora



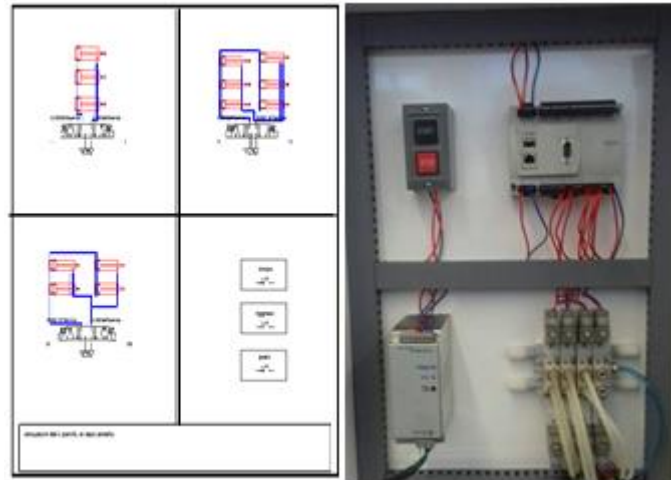
Fuente: Elaboración propia (2017)

Implementación de un control a lazo abierto, para la colocación de placas. Para llevar a cabo la propuesta del cambio de manera manual a automática con la finalidad de que se reduzca el tiempo de montaje, se debe tomar en cuenta la necesidad de que el sistema constructivo debe estar compactado de tal forma que no existan fugas o disipación de calor por separación de las placas en el sistema constructivo, para lograr lo antes descrito se

propuso adquirir un módulo de electroválvulas 5/3 con centro cerrado, las cuales serán conectadas a un grupo de pistones, que generarán los movimientos mecánicos mostrados en la figura 6, con la implementación de este control disminuyó la colocación de las placas en menos de 1 minuto, la conexión entre los pistones y las electroválvulas se ilustra en la figura 8.a.

Las electroválvulas serán controladas mediante un PLC y la señal de entrada será mediante una botonera, para un mejor acceso y control de los componentes, estos se montaron sobre un gabinete (figura 8.b).

Figura 8 - a) conexión neumática, b) dispositivos montados en el gabinete



Fuente: Elaboración propia (2017)

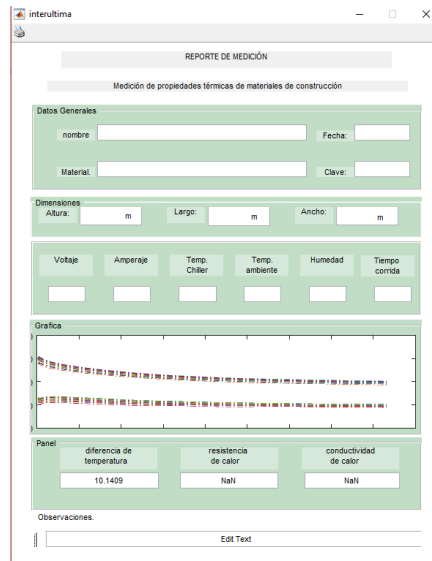
Esta nueva colocación de las placas sobre el sistema constructivo no solo disminuye el tiempo de montaje y desmontaje del sistema constructivo, sino también podría estar eliminando disipaciones de calor, que ayudará a disminuir el tiempo de llegada al tiempo estacionario en la medición, menor tiempo indica mayor cantidad de mediciones en un mismo tiempo y menor gasto energético.

Diseño de una interfaz para manejo de datos. La interfaz actualmente se encuentra en desarrollo, esta se está realizando mediante el uso del software MATLAB, el cual importa e interpreta los valores adquiridos por el data logger Campbell científico modelo CR7.

El diseño actualmente propuesto consiste en una hoja en forma de reporte donde se podrá capturar información de datos generales, las dimensiones del sistema constructivos y condiciones de temperatura, además de una gráfica del comportamiento de los sensores y el resultado de las propiedades térmicas (figura 9).

Se pretende que una vez terminada la interfaz, ayude a reducir el tiempo de obtención del reporte de las propiedades térmicas y la cantidad de documentos haciendo que este tenga un mejor almacenamiento y sea más fácil su localización.

Figura 9 - Interfaz



Fuente: Elaboración propia (2017)

6. Conclusiones

El TR-01 es una tecnología patentada de gran importancia para el laboratorio del Departamento de Ingeniería Civil y Minas, debido al alto interés por sus clientes en saber las propiedades térmicas a la hora de ofrecer un producto, o realizar edificaciones, para que estas sean más sustentables y confortables. Por lo cual cualquier oportunidad de mejora en el sistema debe ser considerada para realizarse.

Se espera que una vez que estén trabajando con las propuestas implementadas, las pruebas muestren que no solo se disminuyen los tiempos de colocación y obtención del reporte de las propiedades térmicas, sino que sirvan para disminuir desviación de temperatura entre los sensores, y además abra la oportunidad de seguir mejorando el sistema hasta poder llegar al óptimo funcionamiento.

Referencias

ALAMEA, Aldo. Diseño y fabricación de un dispositivo semiautomático para medición de propiedades térmicas en sistemas constructivos. 114f. Disertación (Ingeniero en Mecatrónica) – Universidad de Sonora, Hermosillo, 2014.

BANÓ, Angel et al. Automatic translation of Programmable Logic Controllers (PLC) control programs in packaging machinery. En: Microsystems, Packaging, Assembly and Circuits Technology Conference (IMPACT), 2014 9th International, Taipei. Disponible en: < <http://ieeexplore.ieee.org/document/7048380/>>. Acceso em: 29 mar. 2017.

BOLTON, W. **Ingeniería de Control**. 2. ed. Mexico, D.F.: Alfaomega, 2016.

BOLTON, W. **Mecatrónica Sistemas de Control Ingeniería Mecánica**. 5. ed. Mexico, D.F.: Alfaomega, 2016.

BORBÓN, A.C.; CABANILLAS, R.E. Experimental Determination and Numerical Contrast of Thermal Resistance in a Hollow Concrete Block Wall. **Información Tecnológica**, Hermosillo, v.21 ,n.6, p.163-176, may. 2010.

FERNÁNDEZ, Gonzalo. Creación de Interfaces Gráficas de Usuario (GUI) con MatLab. 18f. (cursos de programación)-Universidad de Salamanca, Salamanca, 2007.

- FRADEN, J. **Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications**. 2.ed. Atlanta; American Institute of Physics,1996.
- GARCIA, Wilbert. Analisis causa raíz mediante vibraciones a compresor aerzen de tornillo.102f. Disertacion (Ingeniero Mecánico Eléctrico)-Universidad Veracruzana, Coatzacoalcos,2011.
- Guillén, A.S. **Introducción a la neumática**.1 ed. Barcelona:Marcombo Boixareu Editrola, 1993.
- JUDD.B. Everything You Ever Wanted to Know About Data Acquisition. **United Electronics Industries White Paper**, Massachusetts,v.2, p 1-54,mar.2016.
- KOGAN, K. Production control under uncertainty: Closed-loop versus open-loop approach. **IIE Transactions**, Ramat Gan,v.21,n.10, p 905-915,ene.2009.
- KUMAR, L.;JETLEY,R.;SUREKA,A. Source code metrics for programmable logic controller (PLC) ladder diagram (LD) visual programming language. 7th International Workshop on Emerging Trends in Software Metrics, Austin. Mayo 2016 conferencia disponible en: < <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2897699>>. Acceso el: 28 mar.2017.
- KUO,B.C. **Sistemas de Control Automatico**. 7. ed. Mexico, D.F.:PRENTICE HALL,2010.
- LIN, S.; KEW, P.A.;CORNWELL, K. Two-phase heat transfer to a refrigerant in a 1 mm diameter tube. **International Journal of Refrigeration, Edimburgo**,v.24, n.5, p51-56, ene,2001.
- MONJO, J.C. La evolución de los sistemas constructivos en la edificación. procedimientos para su industrialización. **Informes de la Construcción**,España,v.57, n.1, 499-500,nov-dic.2005.
- SAKAKURA,T.;SHIBA,M.;MUNAKA,T. An Empirical Study of Applying a Reflective-Distributed Memory for Automation Systems. Eighth International Conference on Ubiquitous and Future Networks.2016, Viena. July 2016 conferencia disponible en: < <http://ieeexplore.ieee.org/document/7537046/?reload=true>>. Acceso el: 28 mar.2017.
- SUN, X.; YE, H.; FEI, S. A closed-loop detection and open-loop control strategy for booms of truck-mounted concrete pump. **Automation in Construction,Nankin**, v.31, n.1, p.265-273,may.2013.
- YUNUS,A.C.;ASFHIN,J.G.**Transferencia de Calor y Masa**. 4. ed. Mexico,D.F.: McGraw-Hill,2011.