



Diseño, automatización e instalación de un sistema de ambiente controlado bajo la norma iso/iec 17025 para la bodega del laboratorio de equipos de metrología de la Facultad de Mecánica – ESPOCH

Design, automation and installation of a controlled environment system under the iso / iec 17025 standard for the warehouse of the metrology equipment laboratory of the Faculty of Mechanics – ESPOCH

Projeto, automação e instalação de um sistema de ambiente controlado sob a norma iso / iec 17025 para o almoxarifado do laboratório de equipamentos de metrologia da Faculdade de Mecânica – ESPOCH

Diego Fernando Mayorga-Pérez ^I

diego.mayorga@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-2727-942X>

José Luis Pérez-Rojas ^{II}

jose.perez1@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-8958-5556>

Lidia del Rocío Castro-Cepeda ^{III}

lidia.castro@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-0471-2879>

Edison Patricio Pineda-Pineda ^{IV}

edison-e2@hotmail.es

<https://orcid.org/0000-0003-3071-0903>

Ariel Leonardo Ullauri-Martínez ^V

leonardo94.au@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3309-423X>

Correspondencia: diego.mayorga@epoch.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de investigación

***Recibido:** 30 de enero de 2020 ***Aceptado:** 15 de febrero de 2021 * **Publicado:** 11 de marzo de 2021

- I. Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- II. Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, Master Universitario en Ingeniería Matemática y Computación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- III. Ingeniera Industrial, Master Universitario en Ingeniería de la Energía, Master Universitario en Ingeniería Matemática y Computación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- IV. Investigador Independiente, Ecuador.
- V. Investigador Independiente, Ecuador.

Resumen

El presente proyecto investigativo tiene como objetivo diseñar, automatizar e instalar un sistema de ambiente controlado para la bodega del laboratorio de metrología de la Facultad de Mecánica – Escuela Superior Politécnica de Chimborazo cumpliendo con la norma técnica ISO/IEC 17025. El despliegue de Calidad (QFD) fue realizado en base a los requerimientos del sistema para un control de temperatura de $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa de $50\pm 5\%$ y las especificaciones técnicas con las que debía contar el sistema obteniendo un diseño conceptual con la mejor alternativa de solución. El cálculo de las cargas térmicas totales de enfriamiento fue 21786,79 BTU/h y calentamiento 8038,31 BTU/h, el cual fue establecido mediante el método de diferencias de temperaturas para cargas de enfriamiento, factor de carga de enfriamiento solar y factores de carga de enfriamiento (CLTD/SLC/CLF) de la ASHRAE. Para el control de temperatura se seleccionó un aire acondicionado tipo ventana marca Samsung de 24000 BTU y un calefactor ENVI de 475 Watts, mientras que para controlar la humedad relativa se seleccionó un deshumidificador Soleus Air modelo HMT-D30-A. La automatización del sistema se realizó por medio de un PLC CLICK Koyo C0-02DD2-D, una pantalla HMI kinco MT4434T-TE y cuatro sensores de humedad y temperatura RS485 modbus RTU. Por medio del software CAE de elementos y volúmenes finitos ANSYS FLUENT se realizó una simulación del sistema en donde se pudo observar la distribución de calor, la velocidad del flujo de aire, temperaturas y velocidades máximas y mínimas dentro de la bodega del laboratorio de metrología. Los resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento, muestran que el sistema trabaja dentro de los rangos establecidos por la norma ISO/IEC 17025, debido a que el aire acondicionado y el calefactor mantienen un control de temperatura de $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ y el deshumidificador mantiene la humedad relativa en $50\pm 5\%$. Tras esta investigación se logró controlar las condiciones ambientales dentro de la bodega del laboratorio por medio del sistema instalada.

Palabras claves: Control automático; sistema de ambiente controlado; temperatura; humedad relativa; aire acondicionado; calefactor; deshumidificador.

Abstract

The objective of this research project is to design, automate and install a controlled environment system for the warehouse of the metrology laboratory of the Faculty of Mechanics - Higher Polytechnic School of Chimborazo, complying with the technical standard ISO / IEC 17025. The deployment of Quality (

QFD) was carried out based on the system requirements for a temperature control of 20 ± 1 ° C and relative humidity of $50 \pm 5\%$ and the technical specifications that the system should have, obtaining a conceptual design with the best alternative of solution. The calculation of the total cooling thermal loads was 21786.79 BTU / h and heating 8038.31 BTU / h, which was established by the method of temperature differences for cooling loads, solar cooling load factor and load factors cooling system (CLTD / SLC / CLF) from ASHRAE. For temperature control, a Samsung 24000 BTU window-type air conditioner and a 475 Watt ENVI heater were selected, while a Soleus Air model HMT-D30-A dehumidifier was selected to control the relative humidity. The automation of the system was carried out by means of a CLICK Koyo C0-02DD2-D PLC, a kinco MT4434T-TE HMI screen and four RS485 modbus RTU humidity and temperature sensors. Using the CAE software for finite elements and volumes ANSYS FLUENT, a simulation of the system was carried out in which the heat distribution, air flow velocity, temperatures and maximum and minimum speeds within the metrology laboratory warehouse could be observed. The results obtained in the performance tests show that the system works within the ranges established by the ISO / IEC 17025 standard, due to the fact that the air conditioning and the heater maintain a temperature control of 20 ± 1 ° C and the dehumidifier maintains relative humidity at $50 \pm 5\%$. After this investigation, it was possible to control the environmental conditions inside the laboratory warehouse through the installed system.

Keywords: Automatic control; controlled environment system; temperature; RH; air conditioner; heater; dehumidifier.

Resumo

O objetivo deste projeto de pesquisa é projetar, automatizar e instalar um sistema de ambiente controlado para o almoxarifado do laboratório de metrologia da Faculdade de Mecânica - Escola Superior Politécnica de Chimborazo, atendendo à norma técnica ISO / IEC 17025. A implantação da Qualidade (QFD) foi elaborado com base nos requisitos do sistema para um controle de temperatura de 20 ± 1 ° C e umidade relativa de $50 \pm 5\%$ e nas especificações técnicas que o sistema deve ter, obtendo-se um projeto conceitual com a melhor alternativa de solução. O cálculo das cargas térmicas totais de resfriamento foi de 21786,79 BTU / h e de aquecimento de 8038,31 BTU / h, que foi estabelecido pelo método de diferenças de temperatura para cargas de resfriamento, fator de carga de resfriamento solar e fatores de carga do sistema de resfriamento (CLTD / SLC / CLF) de ASHRAE. Para o controle de temperatura, foram selecionados um ar condicionado tipo janela 24000 BTU da marca Samsung e um

aquecedor ENVI de 475 Watts, enquanto um desumidificador Soleus Air modelo HMT-D30-A foi selecionado para controlar a umidade relativa. A automação do sistema foi realizada por meio de um CLICK Koyo C0-02DD2-D CLICK, uma tela de IHM Kinco MT4434T-TE e quatro sensores de umidade e temperatura RS485 modbus RTU. Utilizando o software CAE para elementos e volumes finitos ANSYS FLUENT, foi realizada uma simulação do sistema em que puderam ser observadas a distribuição de calor, velocidade do fluxo de ar, temperaturas e velocidades máximas e mínimas dentro do armazém do laboratório de metrologia. Os resultados obtidos nos testes de desempenho mostram que o sistema funciona dentro das faixas estabelecidas pela norma ISO / IEC 17025, devido ao fato de o ar condicionado e o aquecedor manterem um controle de temperatura de $20 \pm 1 \text{ } ^\circ \text{C}$ e o desumidificador manter a relativa umidade em $50 \pm 5\%$. Após esta investigação, foi possível controlar as condições ambientais dentro do armazém do laboratório através do sistema instalado.

Palavras-chave: Controle automático; sistema de ambiente controlado; temperatura; umidade relativa; ar-condicionado; aquecedor; desumidificador.

Introducción

Las cámaras climatizadas también llamadas cámaras de estabilidad abarcan varias áreas de investigación en la industria como: transferencia de calor, biología, medicina, electrónica, metrología, entre otras. En los laboratorios de metrología son muy utilizadas ya que permiten estabilizar las condiciones ambientales (temperatura/humedad relativa) facilitando así la lectura de estas variables en el procedimiento empleado para la calibración de equipos

Estas, tienen por objeto simular condiciones climáticas y observar el comportamiento del material a ser ensayado bajo condiciones establecidas. Sus aplicaciones están dentro áreas como: control de calidad, simulación ambiental, análisis de especies vegetales, y animales, entre otras. Además, las cámaras climatizadas permiten calibrar y certificar instrumentos de medición, por lo que muchas empresas recurren a la implementación de estas.

Los laboratorios de ensayos y calibración cuentan con un organismo de certificación mundial mediante la norma ISO/IEC 17025 la cual estipula las principales cláusulas de requisitos técnicos y de gestión, cuyo objetivo principal es garantizar la competitividad técnica y la fiabilidad de los resultados obtenidos en las diferentes actividades realizadas en los laboratorios. Por lo expuesto, es necesario cumplir con

los requisitos técnicos y de gestión que intervienen en la mejora de la calidad de las mediciones en un laboratorio, mediante la implementación de un sistema automatizado de ambiente controlado.

Fundamentos teóricos

Equipos de control de condiciones ambientales

- ***Aire acondicionado***

Sistema electrónico eficiente, permite controlar la temperatura en un espacio cerrado, son utilizados para el control de temperatura, eliminación de la humedad del aire, control de la circulación y limpieza del aire. El principio de su funcionamiento es por medio del equilibrio térmico, el cual determina si dos cuerpos poseen distintas temperaturas al estar en contacto. La energía o calor de uno se trasladará a otro hasta que los dos tengan un equilibrio en la temperatura.

- ***Calefactor eléctrico***

Equipo que emite calor para calentar el ambiente de un lugar cerrado. Generalmente está conformado por una resistencia eléctrica que produce calor a partir de la energía eléctrica, un radiador y un ventilador que permiten una buena circulación del aire.

- ***Deshumidificador***

Equipo de climatización diseñado con el objetivo de reducir la humedad relativa por medio de la absorción del aire húmedo, este al pasar por una bobina de refrigeración (zona fría) acumula el agua y se condensa en un depósito, después el aire seco y limpio circula por medio de un condensador (zona caliente) donde recupera la temperatura, pero sin humedad.

- ***Sensor de temperatura y humedad***

Dispositivo que se utiliza para detectar la temperatura o humedad presente en el aire en un determinado ambiente. Generalmente es utilizado en la industria de la ventilación, climatización y calefacción, así como en procesos de producción donde se requiere un control de humedad. La variable medida por el sensor de humedad es transformada en una señal eléctrica que está comprendida entre 4 y 20 mA, aquí un material semiconductor se encarga de determinar con precisión el valor de temperatura o humedad que corresponde a la señal emitida.

- ***PLC***

El Controlador Lógico Programable, es un dispositivo electrónico que utiliza una memoria programable en donde se almacenan las instrucciones para la implementación de funciones específicas. Las cuales

son: lógica programable, acciones secuenciales, registro y control de tiempos, contador y operaciones aritméticas; todas ellas para controlar mediante módulos de entrada/salida analógicos (1-5 VDC, 4-20 mA) y digitales (ON/OFF) sobre diversos tipos de procesos y máquinas industriales.

- **MI**

La Interfaz Humano Máquina, es el medio de interacción hombre-máquina para controlar procesos, permitiendo mostrar al usuario la información de todo el sistema de control como variables del proceso, control y set point (variable designada) en tiempo real de la ejecución de las diferentes variaciones. El objetivo de una Interfaz Humano Máquina es la implementación y evaluación de procesos de interacción de la computación en el uso humano, así como los principales fenómenos que los rodean.

Método para el cálculo de cargas térmicas

Método cltd td/clf

El método CLTD TD/CLF (método de diferencias de temperaturas para cargas de enfriamiento, factor de carga de enfriamiento solar y factores de carga de enfriamiento) es una simplificación del método TFM, fue establecido por la ASHRAE con el objetivo de proporcionar un procedimiento útil y sencillo al realizar el cálculo de cargas térmicas de forma manual. Estudios demuestran que es el método más exacto en comparación con otros debido al uso de factores de corrección y factores de carga de enfriamiento tabulados

Norma iso/iec 17025

Esta norma internacional proporciona los requerimientos necesarios que deben cumplir los ensayos y calibraciones realizados en los laboratorios, siendo esta la base para la acreditación de un organismo de certificación. Su última versión fue publicada en el año 2017, el contenido de la norma brinda todos los requisitos técnicos y los de gestión, con el objetivo de mejorar la imagen del laboratorio y el conocimiento técnico para que los encargados del laboratorio puedan dar soluciones a los diferentes problemas que se podrían presentar.

Tabla 1: Condiciones ambientales establecidas por la norma ISO/IEC 17025

Condiciones ambientales	
Parámetros	Laboratorios de metrología
Temperatura (°C)	20±1
Humedad relativa (%)	40-60

Vibraciones	0,002-0,003
Ruido (dB)	<60
Alumbrado (lux)	Mínimo: 550 General: 800-1000

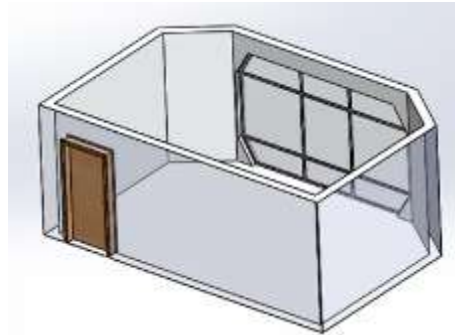
Fuente: Autores

Metodología

Dimensiones de la bodega del laboratorio de metrología

El sistema de ambiente controlado se implementará en la bodega del Laboratorio de Metrología la cual tiene un área de 22,89 m² y un volumen de 60,88 m³, en esta bodega se encuentran los equipos y herramientas de calibración.

Figura 1: Dimensiones de la bodega del Laboratorio de Metrología



Fuente: Autores

Condiciones ambientales de la bodega del laboratorio de metrología

Las condiciones ambientales de la bodega del Laboratorio de Metrología cambian al transcurrir el tiempo debido a los cambios climáticos de la ciudad de Riobamba y a la cantidad de estudiantes dentro del mismo. En virtud de lo expuesto, para determinar las condiciones ambientales críticas a las que se encuentra el laboratorio se realizó mediciones por medio de un sensor Dth22.

Se tomaron datos a partir del 03 al 09 de septiembre del 2020 en intervalos de 3 horas, en la cual se estableció temperatura máxima de 24,5°C y una mínima 14,5°C. La humedad máxima y mínima presento valores de 65,6% y 47,6% respectivamente.

Tabla 2: Condiciones ambientales del Laboratorio de Metrología (2020/09/08)

Hora	Temperatura	Humedad Relativa
00:00	19,4 °C	57%
03:00	19,1 °C	57,4%
06:00	19 °C	57,6 %
09:00	21 °C	52,7%

12:00	24,5 °C	47,6 %
15:00	23 °C	49,8%
18:00	19,9 °C	57,6%
21:00	19,4 °C	58,2%

Fuente: Autores

Cálculo de cargas de enfriamiento

Para enfriar la bodega del laboratorio de metrología fue necesario remover el calor inicial y alcanzar las condiciones establecidas por la norma ISO/IEC 17025. El método utilizado para el cálculo de las cargas de enfriamiento escogido fue el CLTD/SLC/CLF, el mismo que permite el cálculo manual de las cargas térmicas.

Tabla 3: Resumen de las cargas térmicas de enfriamiento

Cargas térmicas	
Tipo	Carga térmica (BTU/h)
Paredes internas	1009,4
Pared externa	63,93
Techo	1366,7
Piso	1320,33
Ventana	14373,058
Luces	818,4
Personas	652,8
Infiltraciones	2182,18
Carga térmica total = 21786,79	

Fuente: Autores

Cálculo de cargas de calentamiento

Para calentar la bodega del laboratorio de metrología fue necesario aumentar el calor inicial y alcanzar las condiciones establecidas por la norma de ISO/IEC 17025. Las cargas térmicas de calentamiento se determinaron reemplazando el término CLTD por TD que corresponde a la diferencia de temperaturas del interior y el exterior por lo que las ecuaciones para este cálculo son diferentes.

Tabla 4: Resumen de cargas térmicas

Cargas térmicas	
Tipo	Carga térmica (BTU/h)
Paredes internas	-964,53
Pared externa	-915,57
Techo	-1305,49
Piso	-1261,65

Ventana	-2419,94
Luces	818,4
Personas	652,8
Infiltraciones	-2642,33
Carga térmica total = -8038,31	

Fuente: Autores

Diseño y/o selección de equipos y componentes

Selección del aire acondicionado

El aire acondicionado escogido fue el tipo ventana marca Samsung de 24000 BTU/h, este cumple con la carga térmica total de enfriamiento, además tiene una fácil instalación en comparación a los de Split. Es de estructura simple, la misma que permite un mantenimiento es fácil, y posee más tiempo de vida útil frente a otros modelos.

Figura 2: Aire acondicionado tipo ventana marca Samsung de 24000 BTU



Fuente: Autores

Selección del calefactor

El calefactor ENVI de 475Watts abarca un área hasta de 25m² ya que entre sus características se tiene: no posee partes mecánicas ni motores por lo que no necesita mantenimiento, está diseñado para tener un funcionamiento continuo, utiliza tecnología de convección natural para reemplazar el aire frío con un flujo de aire suave, cálido y limpio, no posee ventilador, el polvo y las partículas de alérgenos no se expulsan al aire, promoviendo un entorno saludable, utiliza placas de calentamiento de baja energía que no absorben el aire, lo que beneficia a quienes sufren de sequedad en los ojos, hemorragias nasales, dolores de garganta y otros problemas respiratorios

Figura 3: Calefactor ENVI de 475Watts



Fuente: Autores

Selección del deshumidificador

Una de las formas de selección de un deshumidificador es en base al área del cuarto a deshumidificar en este caso tenemos un área de 22,8m² equivalente a un deshumidificador de 12 pintas, con el fin de ahorrar energía y reducir el ruido se seleccionó un deshumidificador de 30 pintas manteniendo un ambiente seco y los equipos e instrumentos de metrología en buen estado.

Figura 4: Deshumidificador Soleus Air modelo HMT-D30-A



Fuente: Autores

Selección de la cortina de aire

Con el fin de evitar el flujo de calor que existe debido a la puerta de ingreso a la bodega del laboratorio se seleccionó una cortina de aire que permite mantener las condiciones ambientales dentro de la bodega del laboratorio. La cortina de aire seleccionada es marca innovair modelo ACS36i-2.

Figura 5: Cortina de aire INNOVAIR mod. ACS36i-2



Fuente: Autores

Selección del plc

La selección del PLC se realizó en base al número de entradas y salidas que tiene el sistema, siendo estas: 4 entradas digitales, 4 salidas digitales, 2 entradas analógicas y 2 salidas analógicas, también cuenta con 2 puertos de comunicación RS232C integrados y 1 RS585, por lo cual se seleccionó un PLC Koyo C0-02DD2-D.

Figura 6: PLC CLICK koyo C0-02DD2-D



Fuente: Autores

Selección del hmi

La selección del HMI en base a las dimensiones de la pantalla ya que se requiere la manipulación de las variables a controlar, así como también se pueda visualizar las gráficas (Temperatura vs tiempo – Humedad relativa vs tiempo).

Figura 7: HMI kinco MT4434T-TE



Fuente: Autores

Selección de temperatura y humedad relativa

Se seleccionó un sensor de humedad y temperatura en base al puerto de comunicación del PLC que es RS485, siendo este un sensor de humedad y temperatura - RS485 MODBUS RTU.

Figura 8: Sensor de humedad y temperatura RS485 modbus RTU



Fuente: Autores

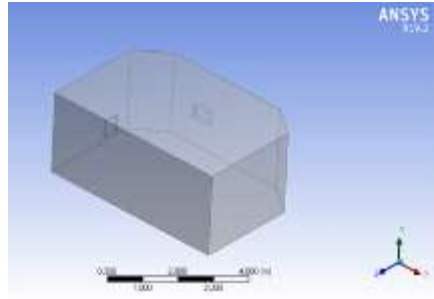
Análisis de los resultados

A continuación, se presenta la simulación del sistema de ambiente controlado por medio del software CAE de elementos y volúmenes finitos ANSYS FLUENT donde se podrá observar la distribución de calor, la velocidad de flujo de aire, temperaturas y velocidades máximas y mínimas dentro de la bodega del laboratorio de metrología. También se realizó las pruebas de funcionamiento tomando los datos de temperatura y humedad relativa para validar el diseño del sistema con los resultados obtenidos.

Simulación por medio del software ansys

En la figura 9 se indica la geometría utilizada del volumen de la bodega de metrología (60,88 metros cúbicos) que se realizó en el software SOLIDWORKS 2018 el cual contendrá el flujo de aire a analizar y que es importada al ANSYS.

Figura 9: Definición de la geometría



Fuente: Autores

Para la simulación del sistema de ambiente controlado se analizó dos casos de flujo de aire: El primer caso es mediante el aire acondicionado que enfría la bodega cuando la temperatura es mayor a 21°C hasta los 20°C y sus condiciones de borde se detallan en la tabla 5.

Tabla 5: Condiciones de borde del flujo de aire

Condición de borde	Tipo	Velocidad (m/s)	Coefficiente de transferencia de calor (W/m ² k)
Aire acondicionado	Velocity-Inlet	10	-
Paredes de la bodega	Wall-solid	-	5

Fuente: Autores

El segundo caso es mediante el calefactor que calienta la bodega cuando la temperatura es menor a 19°C hasta los 20°C y sus condiciones de borde se detallan en la tabla 6.

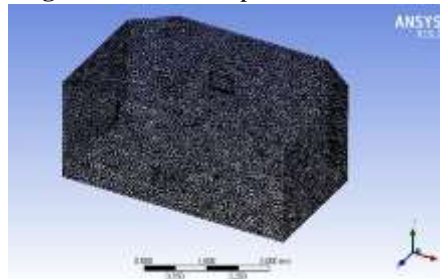
Tabla 6: Condiciones de borde del flujo de aire

Condición de borde	Tipo	Velocidad (m/s)	Coefficiente de transferencia de calor (W/m ² k)
Calefacotr	Velocity-Inlet	0,5	-
Paredes de la bodega	Wall-solid	-	5

Fuente: Autores

Para ambos casos se utilizó un mallado, debido a que no se tiene una geometría compleja, se refinó la superficie con el fin de tener resultados con un nivel de error mínimo como se muestra en la figura 10. A continuación, se crea o designa los sitios o superficies (aire acondicionado y calefactor) en donde se especifica las condiciones de frontera por medio del icono named selection.

Figura 10: Mallado por defecto refinado

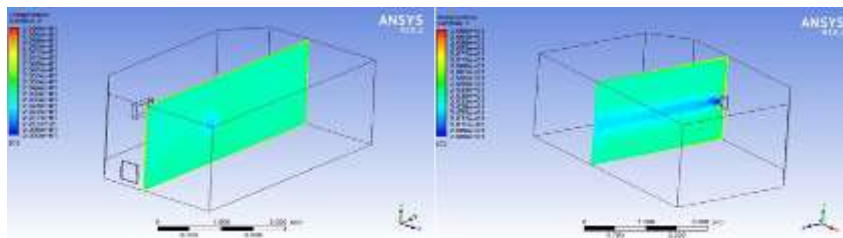


Fuente: Autores

Análisis de temperatura

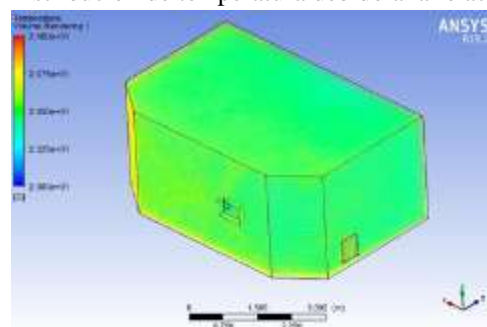
El presente análisis determina la distribución de temperatura dentro de la bodega de laboratorio de metrología sobre los planos YZ y XY, esto se debe a la fuente de calor que genera el aire acondicionado, los valores de temperatura varían de 21°C a 20°C siendo este el rango de operatividad del equipo como se observa en las figuras 11 y 12.

Figura 11: Distribución de temperatura debido al aire acondicionado



Fuente: Autores

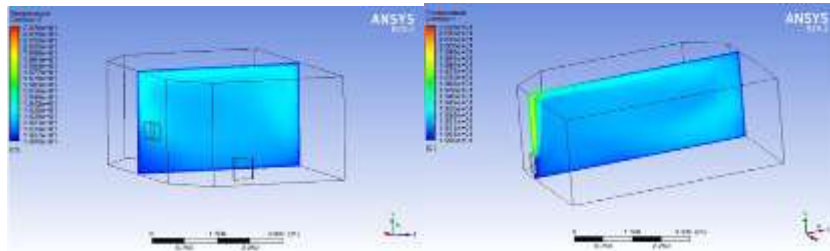
Figura 12: Distribución de temperatura debido al aire acondicionado



Fuente: Autores

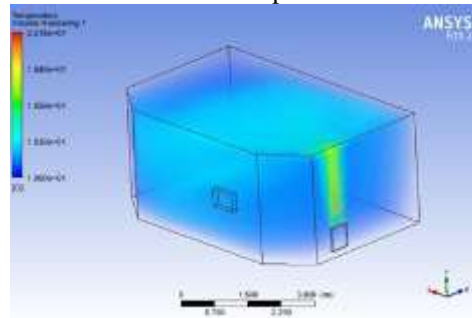
En las figuras 13 y 14 se muestra la distribución de temperatura dentro de la bodega de laboratorio de metrología sobre los planos XY y YZ, esto se debe a la fuente de calor que genera el calefactor, dando valores de temperatura que varían de 19°C a 20 °C siendo este el rango de operatividad del equipo.

Figura 13: Distribución de temperatura debido al calefactor



Fuente: Autores

Figura 14: Distribución de temperatura debido al calefactor

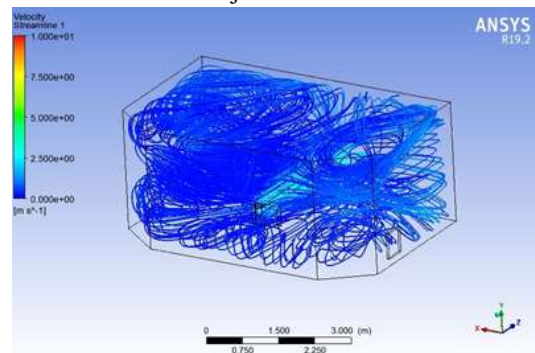


Fuente: Autores

Análisis De Velocidad

La velocidad del flujo de aire y la distribución que se tiene dentro de la bodega de laboratorio de metrología se observa en la figura 15, al encenderse el aire acondicionado la velocidad varía de 0 a 10 m/s siendo este el rango de operatividad del equipo, además se observa que las líneas de distribución del aire indican un flujo turbulento.

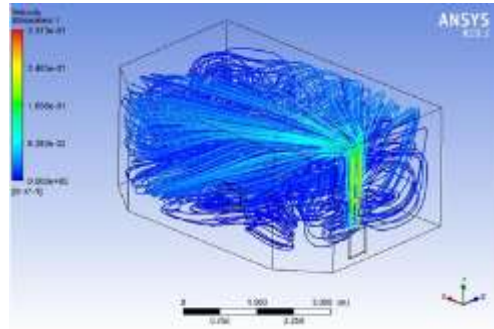
Figura 15: Distribución del flujo de aire debido al aire acondicionado



Fuente: Autores

Mediante la figura 16 se observa el análisis de velocidad del fluido de aire y la distribución que tiene esta dentro de la bodega de laboratorio de metrología, mediante la utilización del calefactor la velocidad varía de 0 a 0,33 m/s siendo este el rango de operatividad del equipo, además se observa que las líneas de distribución del aire indican un flujo turbulento.

Figura 16: Distribución del flujo de aire debido al calefactor



Fuente: Autores

Pruebas de funcionamiento

Para comprobar el funcionamiento de los equipos (aire acondicionado, calefactor, deshumidificador) se realizará:

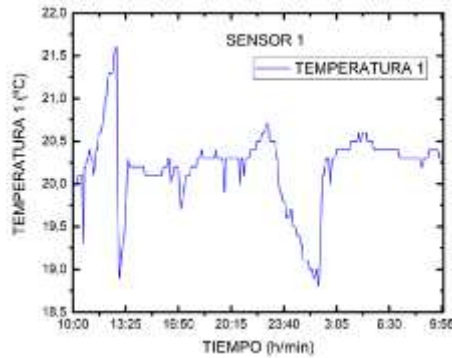
- Toma de datos de temperatura y humedad relativa de cada sensor.
- Tiempo de encendido de los equipos.

Toma de datos de temperatura y humedad relativa de cada sensor

En esta prueba se obtuvo los datos de cada sensor y el promedio de los cuatro en un día, observando así el comportamiento del sistema bajo las condiciones seteadas en la caja de control (Temperatura $20 \pm 1^\circ\text{C}$, Humedad relativa $50 \pm 5\%$). La toma de datos se realizó por medio del programa Python estableciendo una conexión con el PLC, los mismos que se registraron cada 5 minutos durante un día, cuyos valores se representan en las figuras 17 hasta la 26.

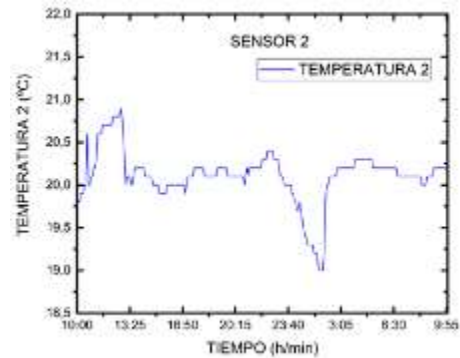
En las figuras 17 hasta la 20 se indican los valores de temperatura de cada sensor observando el comportamiento de la temperatura y el instante en el que se encienden y apagan los equipos dentro del sistema.

Figura 17: Datos de temperatura dados por el sensor 1



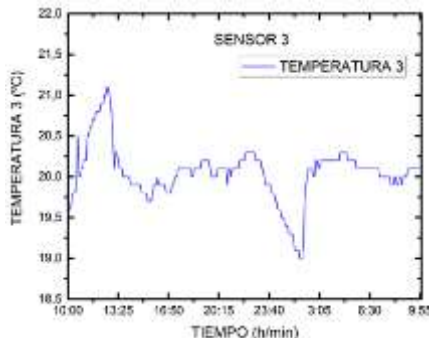
Fuente: Autores

Figura 18: Datos de temperatura dados por el sensor



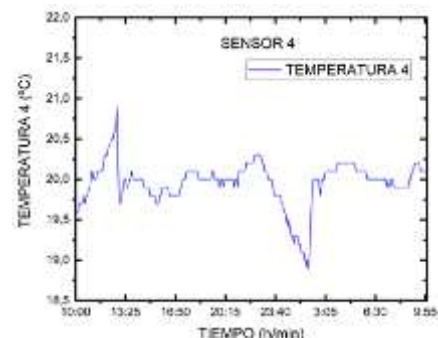
Fuente: Autores

Figura 19: Datos de temperatura dados por el sensor 3



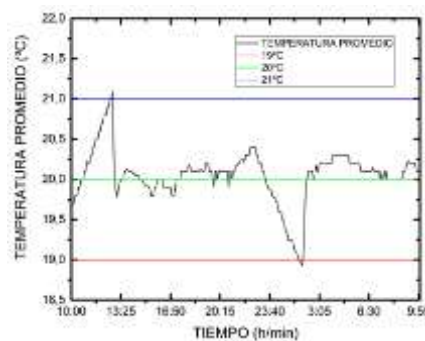
Fuente: Autores

Figura 20: Datos de temperatura dados por el sensor 4



Fuente: Autores

Figura 21: Datos de temperatura promedio entre los 4 sensores



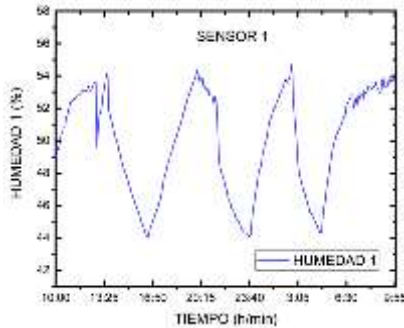
Fuente: Autores

Se observa que las figuras 17 hasta la 20 muestran un patrón similar en el comportamiento de la temperatura comprobando así que la distribución del aire es uniforme en el espacio acondicionado. La figura 18 que es del sensor uno indica mayor inestabilidad debido a que por su ubicación se ve afectado por el aire acondicionado y la cortina de aire.

La figura 21 indica el promedio de los cuatro sensores, en donde se muestra que la temperatura de la bodega empezó a subir desde las 10am hora que se empezó a registrar los datos (19,5°C) hasta las 12:49pm registrándose el primer pico de temperatura (21,1°C) en este instante se enciende el aire acondicionado disminuyendo la temperatura del ambiente (20°C) y se apaga a las 12:57pm sin embargo la temperatura baja hasta 19,8°C debido a que la distribución del aire todavía no es uniforme en la bodega. A partir de las 1:00pm el sistema se mantiene estable hasta la 11.45pm (19,8-20,4°C valor mínimo y máximo), la temperatura empieza a descender hasta la 1:55am (18,9°C) instante en el que se enciende el calefactor aumentando la temperatura del ambiente (20°C) y se apaga a las 2.14am sin embargo la temperatura sube hasta 20,1°C debido a que el aire caliente todavía no se distribuye uniformemente en la bodega. Desde las 2:15am el sistema se mantiene estable hasta la 10:00am (19,9-20,2°C valor mínimo y máximo) completando así el ciclo de un día.

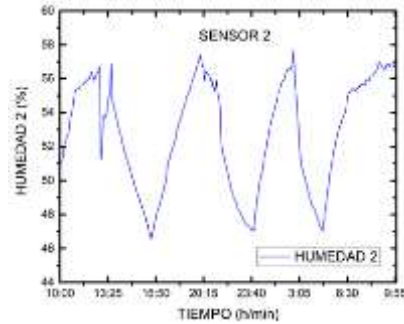
Las figuras 22 hasta la 26 indican los valores de humedad de cada sensor observando el comportamiento de la humedad y el instante en el que se enciende y se apaga el deshumidificador dentro del sistema.

Figura 22: Datos de humedad dados por el sensor 1



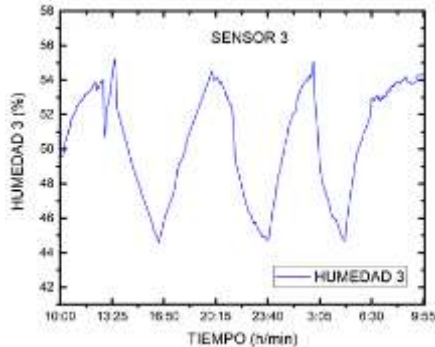
Fuente: Autores

Figura 23: Datos de humedad dados por el sensor 2



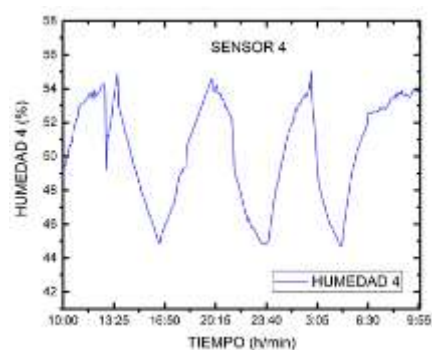
Fuente: Autores

Figura 24: Datos de humedad dados por el sensor 3



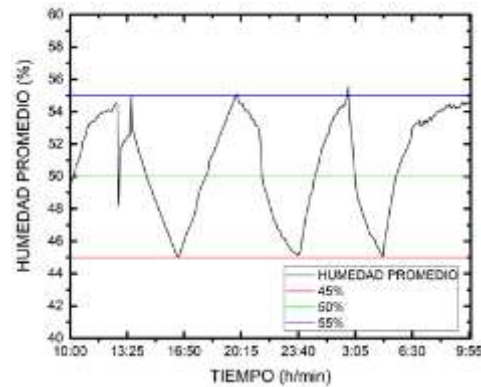
Fuente: Autores

Figura 25: Datos de humedad dados por el sensor 4



Fuente: Autores

Figura 26: Datos de humedad promedio entre los 4 sensores



Fuente: Autores

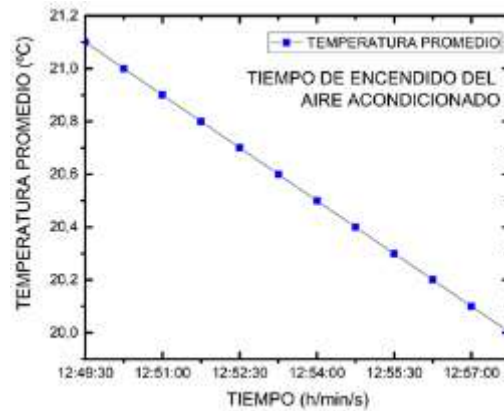
Las figuras 22 hasta la 26 muestran un patrón similar en el comportamiento de la humedad, sin embargo, no existe estabilidad en la humedad ya que aumenta durante todo el día y disminuye por la acción del deshumidificador. Se puede notar una discontinuidad en el comportamiento de los gráficos registrado a las 12:49pm ya que se encendió el aire acondicionado por lo que se observa una disminución drástica en la humedad debido al aire seco que suministra este equipo.

En la figura 26 se observa el promedio de los cuatro sensores donde se muestra que la humedad de la bodega empezó a subir desde las 10am (49,1%) hasta las 1:40pm registrándose un valor de humedad de 55,1% a esta hora se enciende el deshumidificador disminuyendo la humedad hasta un valor de 45% instante en el que se apaga el equipo (4:30pm), este ciclo de encendido y apagado del deshumidificador se repite en dos tiempos más durante el resto del día siendo estos tiempos: desde las 8:00pm (55,1%) hasta las 11.45pm (45%) y desde las 2:40am (55,1%) hasta las 4:40am (45%), el valor de la humedad hasta las 10:00 aumenta 54,5% completando el registro de datos de un día.

Tiempo de encendido de los equipos

Se realizó una prueba del tiempo de encendido de los equipos para de obtener el consumo diario y la relación de las variables en función del tiempo.

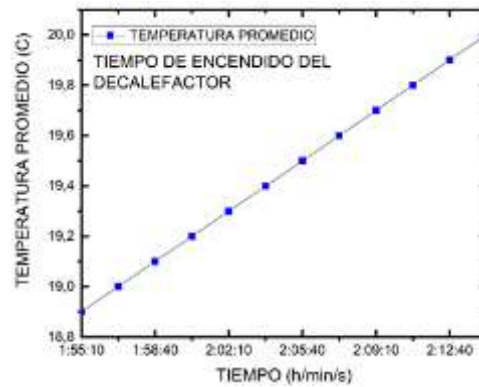
Figura 27: Tiempo de encendido del aire acondicionado



Fuente: Autores

La figura 27 muestra el tiempo que permanece encendido el aire acondicionado (12:49pm a 12:57pm) y como disminuye la temperatura en ese lapso, se observa en el gráfico una relación lineal decreciente entre la temperatura y el tiempo es decir que aproximadamente cada 55 segundos disminuye $0,1^{\circ}\text{C}$ teniendo la siguiente función lineal $T = -0,1t + 21,1$ donde T es la temperatura [$^{\circ}\text{C}$] y t es el tiempo [min]. El consumo del aire acondicionado es de 2620 Watts es decir se tiene un consumo mensual de 10,45 kWh ya que solo se enciende durante 8 minutos en el día.

Figura 28: Tiempo de encendido del aire calefactor

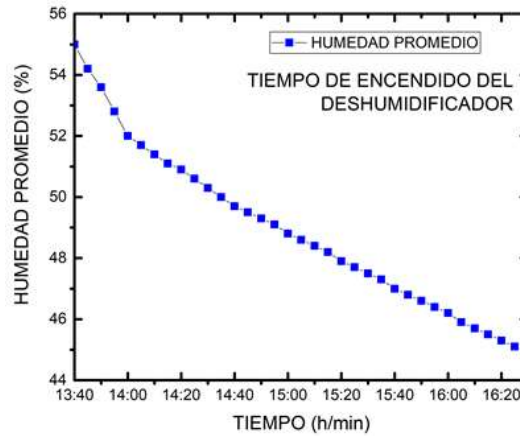


Fuente: Autores

La figura 28 muestra el tiempo que permanece encendido el calefactor (1:55am a 2:14am) y como aumenta la temperatura en ese lapso, se observa en el gráfico una relación lineal creciente entre la temperatura y el tiempo es decir que aproximadamente cada 105 segundos aumenta $0,1^{\circ}\text{C}$ teniendo la siguiente función lineal $T = 0,1t + 18,9$ donde T es la temperatura [$^{\circ}\text{C}$] y t es el tiempo [min]. El consumo

del calefactor es de 475 watts es decir se tiene un consumo mensual de 4,51 kWh ya que solo se enciende durante 18 minutos en el día.

Figura 29: Tiempo de encendido del deshumidificador



Fuente: Autores

La figura 29 muestra el tiempo que permanece encendido el deshumidificador siendo estos tres tiempos durante el día, estos son: 1:40pm a 4:30pm, 7:55pm a 11:45pm y 2:40am a 4:40am y como aumenta la temperatura en ese lapso, se observa en el gráfico una relación polinomial entre la humedad relativa siendo esta: $HR=0,0039t^2 - 0,3915t+54,004$ donde HR es la humedad relativa [°C] y t es el tiempo [min]. El consumo del calefactor es de 370 watts es decir se tiene un consumo mensual de 95,27 kWh ya que se enciende durante 8 horas en el día.

Conclusiones

Por medio del método CLTD/SLC/CLF de la ASHRAE se pudo calcular las cargas térmicas de calentamiento y enfriamiento teniendo una carga total de 21786,79 BTU/h y de 8038,31 BTU/h respectivamente, esto ayudo a realizar una mejor selección de los equipos que se instalaron en la bodega del Laboratorio de Metrología.

Se realizó un diseño, selección de equipos y componentes electrónicos que permitan controlar las condiciones de temperatura 20 ± 1 °C y humedad relativa $50\pm 5\%$.

Utilizando el software CAE de elementos y volúmenes finitos ANSYS FLUENT se realizó una simulación del sistema de ambiente controlado donde se analizó dos casos de flujo de aire: el primero fue el aire acondicionado que enfría la bodega cuando la temperatura es mayor a 21 °C hasta los 20 °C y el segundo caso es mediante el calefactor que calienta la bodega cuando la temperatura es menor a 19

°C hasta los 20 °C esto permitió observar la distribución de calor, la velocidad de flujo de aire, temperaturas y velocidades máximas y mínimas dentro de la bodega del laboratorio de metrología.

Al instalar de la cortina de aire innovair modelo ACS36i-2 al ingreso de la bodega del Laboratorio de Metrología se evidencio que impide el intercambio de calor que existe entre el laboratorio y la bodega al abrir la puerta, motivo por el cual se decidió realizar el mismo aislamiento thermolon colocado en la ventana, todo esto con la finalidad de mantener las condiciones ambientales que se requiere en el laboratorio.

Mediante la toma de datos se pudo comprobar el correcto funcionamiento del sistema de ambiente controlado, la temperatura se controla a través del aire acondicionado y el calefactor estos operan al sobrepasar los 21°C y al disminuir hasta los 19°C respectivamente, la humedad es controlada por el deshumidificador que opera al sobrepasar el 55%, por tanto, el sistema mantiene los valores de temperatura y humedad relativa dentro de los rangos establecidos por la norma ISO/IEC 17025

Referencias

1. ACOSTA, C. y CAIZALUISA, J., 2018. Diseño e implementación de un sistema de cámara de ambiente controlado para el laboratorio de investigación y desarrollo de Pinturas Cóndor Quito [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19834>.
2. ASHRAE, 2016. ASHRAE Handbook—HVAC Systems and Equipment [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <http://arco-hvac.ir/wp-content/uploads/2016/11/ASHRAE-Handbook-2016-HVAC-Systems-and-EquipmentIP.pdf>.
3. BARBOSA, S. y GAMBOA, J., 2019. Desarrollo de la ingeniería de detalle de la cámara climatizada para pruebas de equipos y materiales [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7318>.
4. BENAVIDES, P. y CARRASCO, S., 2010. Diseño y construcción de una cámara climatizada de temperatura y humedad para calibrar y certificar instrumentos de precisión comandada y monitoreada por PC. S.l.: s.n.
5. CALUÑA, G. y VILLA, R., 2019. Diseño y construcción de un laboratorio climatizado para equipos de nanotecnología (temperatura y humedad del ambiente) [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11547>.
6. CARRIER, A.C.C., 1980. Manual de aire acondicionado. S.l.: s.n.

7. CARRIÓN, D. y ROMERO, J., 2017. Implementación y pruebas de un sistema de climatización automático en el laboratorio de computación I de la Escuela de Ingeniería Industrial de la ESPOCH [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6377>.
8. ISO/IEC17025, 2017. NTE INEN-ISO/IEC17025.
9. STOECKER, Wilbert F. Industrial Refrigeration Handbook [en línea]. New York-USA: McGraw-Hill Education, 1998. Disponible en: <https://refacsmkn1crb.files.wordpress.com/2012/11/industrial-refrigeration-handbook-stoecker.pdf>
10. LASSILA, A., KARI, M., KOIVULA, H., RISKI, K., SARILO, J. y ISOTALO, H., 2011. Design and performance of an advanced metrology building for MIKES. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, vol. 44, no. 2, pp. 399-425. ISSN 02632241. DOI 10.1016/j.measurement.2010.10.013
11. LEWIS, A.J., CAMPBELL, M. y STAVROULAKIS, P., 2016. Performance evaluation of a cheap, open source, digital environmental monitor based on the Raspberry Pi. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, vol. 87, pp. 228-235. ISSN 02632241. DOI 10.1016/j.measurement.2016.03.023
12. PAZMIÑO, A., 2017. Desarrollo de una cámara de acondicionamiento para materiales usados en revestimiento interno de vehículos, según las Normas ISO 3795-1989 y US FMVSS 302. [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6718>.
13. YASHCHUK, V. V., ARTEMIEV, N.A., LACEY, I., MCKINNEY, W.R. y PADMORE, H.A., 2014. A new x-ray optics laboratory (XROL) at the ALS: mission, arrangement, metrology capabilities, performance, and future plans. Advances in Metrology for X-Ray and EUV Optics V, vol. 9206, pp. 92060I. ISSN 1996756X. DOI 10.1117/12.2062042.
14. SAMSUNG, 2010. Aire de ventana/Soporte Samsung. [en línea]. Disponible en: <https://www.samsung.com/latin/support/model/AW12PKBCXVN/?fbclid=IwAR1VFbAEQZC-vnGg2RWmkuoU0ykFv3Y1nDKB3edFsnTorApW3qWecropDss>.
15. ROBOKITS, 2020. Industrial Grade Temperature & Humidity Transmitter SHT20. [en línea]. Disponible en: <https://robokits.co.in/sensors/temperature-humidity/industrial-grade-temperature-humidity-transmitter-sht20-sensor-high-precision-monitoring-modbus-rs485?fbclid=IwAR31K0P8wLnFGhbmKl3quOZirPiJY-RouEchW0iR1pjmMFlcSk6zGZVnDPA>.

16. OMEGA, 2003. Sensor de temperatura. [en línea]. Disponible en: <https://es.omega.com/prodinfo/medicion-temperatura.html>.
17. KOYO, 2020. PLCs Koyo. [en línea]. Disponible en: <https://www.koyoele.co.jp/en/product/plc/>.
18. KINCO, 2020. HMI software - kinco. [en línea]. Disponible en: <https://en.kinco.cn/page/Introduction.html>.
19. INNOVAIR, 2012. Cortina de aire Innovair. [en línea]. Disponible en: <https://www.innovair.com/product/cortina-de-airespanish/?lang=es&fbclid=IwAR31K0P8wLnFGhbmkI3quOZirPiJY-RouEcHW0iR1pjmMFlcSk6zGZVnDPA>.
20. CALEFACCIÓN, S. de, 2020. Calefactores eléctricos. [en línea]. Disponible en: <https://www.sistemasdecalefaccion.com/interiores/>.