



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**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**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES: EDISON PATRICIO PINEDA PINEDA

ARIEL LEONARDO ULLAURI MARTÍNEZ

DIRECTOR: Ing. DIEGO MAYORGA

Riobamba-Ecuador

2021

©2021, Edison Patricio Pineda Pineda; & Ariel Leonardo Ullauri Martínez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Edison Patricio Pineda Pineda, Ariel Leonardo Ullauri Martínez, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Riobamba, 19 febrero 2021



Edison Patricio Pineda Pineda
Cedula de Identidad: 060381698-4



Ariel Leonardo Ullauri Martínez
Cedula de Identidad: 060451169-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: PROYECTO TÉCNICO, **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**, realizado por los señores: **EDISON PATRICIO PINEDA PINEDA, ARIEL LEONARDO ULLAURI MARTÍNEZ** ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Fernando Viteri Nuñez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2021/02/19 _____
Ing. Diego Fernando Mayorga Pérez DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	2021/02/19 _____
Ing. José Luis Pérez Rojas MIEMBRO DE TRIBUNAL	_____	2021/02/19 _____

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a Dios por haberme dado la sabiduría y fortaleza para culminar con mi carrera universitaria, a mis padres Marlene Pineda y Bolívar Pineda ya que con su apoyo y esfuerzo logré cumplir uno de los mayores logros de mi vida.

Eddy

El presente trabajo de titulación lo dedico a mi hijo Mathias Ullauri y a mi esposa Daina Inca por ser mi fortaleza y quienes me impulsan a seguir adelante cumpliendo cada una de las metas que me propongo en la vida.

Ariel

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica por haberme dado la oportunidad de ser profesional y una mejor persona, a cada docente de la Facultad de Mecánica por la formación académica y los conocimientos brindados, al Ing. Diego Mayorga e Ing. José Pérez por el asesoramiento y paciencia en este proyecto de titulación, a mis padres Marlene Pineda y Bolívar Pineda por inculcarme buenos valores y apoyarme en todo momento, a Ariel Ullauri por ser un excelente compañero de tesis, a mi familia y mejores amigos por estar siempre en los buenos y malos momentos.

Eddy

Quiero empezar agradeciendo a Dios por regalarme salud y vida para que pueda cumplir con este objetivo, a mis papitos José Martínez y Blanca Cevallos por ser quienes me supusieron forjar y guiar por un buen camino se que ellos se hubieran sentido muy orgullosos y felices de verme profesional, a mi madre Mónica Martínez por todo el amor y apoyo que me brindo durante toda la vida además de estar siempre a mi lado luchando contra toda adversidad, a mi padre Federico Ullauri por el apoyo y los consejos que me supo dar cuando lo necesite, a mi familia y amigos por motivarme a salir adelante y no desmayar en el camino, a Edison Pineda por ser un buen amigo y excelente compañero durante la carrera, y de manera especial a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a los docentes de la Escuela de Ingeniería Mecánica por compartir sus conocimientos y permitir ser unos buenos profesionales.

Ariel

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS	XIII
RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT	XVIII
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1	Antecedentes.....	2
1.2	Formulación del problema.....	3
1.3	Justificación.....	4
1.3.1	<i>Justificación teórica.....</i>	4
1.3.2	<i>Justificación metodológica</i>	4
1.3.3	<i>Justificación Práctica</i>	4
1.4	Objetivos.....	5
1.4.1	<i>Objetivo General</i>	5
1.4.2	<i>Objetivos Específicos</i>	5

CAPÍTULO II

2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	6
2.1	Metrología.	6
2.1.1	<i>Medición.....</i>	6
2.1.2	<i>Incertidumbre.</i>	7
2.1.3	<i>Metrología Científica.....</i>	7
2.1.4	<i>Metrología Legal.....</i>	7
2.1.5	<i>Metrología Industrial.....</i>	7
2.2	Cámaras de ambiente controlado.....	7
2.2.1	<i>Tipos de cámaras de ambiente controlado.....</i>	8

2.2.1.1	<i>Cámaras climáticas de ensayos.</i>	8
2.2.1.2	<i>Cámaras climáticas compactas.</i>	9
2.2.1.3	<i>Cámaras climáticas modulares.</i>	9
2.3	Condiciones ambientales.	10
2.3.1	<i>Temperatura.</i>	11
2.3.2	<i>Escalas Termométricas.</i>	12
2.3.3	<i>Humedad absoluta.</i>	12
2.3.4	<i>Humedad relativa.</i>	12
2.3.5	<i>Carga térmica o carga de enfriamiento.</i>	13
2.3.6	<i>Calor sensible y latente.</i>	13
2.4	Métodos para el cálculo de cargas térmicas.	13
2.4.1	<i>Método TETD/TA.</i>	14
2.4.2	<i>Método TFM.</i>	14
2.4.3	<i>Método CLTD TD/CLF.</i>	14
2.5	Equipos de control de condiciones ambientales.	15
2.5.1	<i>Equipos de control de temperatura.</i>	15
2.5.1.1	<i>Aire acondicionado.</i>	15
2.5.1.2	<i>Sensores de temperatura.</i>	17
2.5.1.3	<i>Calefactor eléctrico.</i>	19
2.5.2	<i>Equipos de control de humedad.</i>	20
2.5.2.1	<i>Deshumidificador.</i>	20
2.5.2.2	<i>Sensores de humedad.</i>	20
2.6	Control automático.	21
2.6.1	<i>Control automático en lazo abierto.</i>	21
2.6.2	<i>Control automático en lazo cerrado.</i>	22
2.6.3	<i>PLC.</i>	22
2.6.4	<i>HMI.</i>	24
2.7	NORMA ISO/IEC 17025.	25

CAPÍTULO III

3	MARCO METODOLÓGICO	27
3.1	Parámetros de Diseño.	27
3.1.1	<i>Dimensiones de la bodega del Laboratorio de Metrología.</i>	27
3.1.2	<i>Condiciones ambientales de la bodega del Laboratorio de metrología.</i>	28

3.1.3	<i>Sistema de control y automatización de Temperatura.....</i>	30
3.1.4	<i>Sistema de control y automatización de Humedad Relativa.</i>	31
3.2	Casa de calidad QFD.....	31
3.2.1	<i>Identificación de necesidades.....</i>	31
3.2.2	<i>Voz del usuario.</i>	31
3.2.3	<i>Voz del Ingeniero.....</i>	32
3.2.4	<i>Despliegue de la función de la casa de la calidad.</i>	32
3.3	Diseño conceptual.	33
3.3.1	<i>Análisis Funcional Modular.</i>	33
3.3.2	<i>Identificación y formulación de conceptos.</i>	35
3.3.2.1	<i>Módulo 1.- Control de temperatura.</i>	35
3.3.2.2	<i>Módulo 2.- Control de humedad relativa.....</i>	36
3.3.2.3	<i>Módulo 3.- Automatización de temperatura y humedad relativa.....</i>	36
3.3.3	<i>Análisis y selección de la mejor alternativa.</i>	37
3.3.3.1	<i>Evaluación de las alternativas de solución con relación a de cada criterio.</i>	38
3.4	Cálculo de carga de enfriamiento.....	41
3.4.1	Carga de transmisión.....	41
3.4.1.1	<i>Pared externa.....</i>	42
3.4.1.2	<i>Paredes internas.</i>	44
3.4.1.3	<i>Techo.....</i>	45
3.4.1.4	<i>Piso.....</i>	45
3.4.1.5	<i>Ventana.....</i>	46
3.4.2	Cargas internas.....	47
3.4.2.1	<i>Luces.....</i>	47
3.4.2.2	<i>Personas.....</i>	48
3.4.2.3	<i>Equipos.....</i>	49
3.4.2.4	<i>Infiltraciones.</i>	49
3.5	Cálculo de carga de calentamiento.....	51
3.5.1	Carga de transmisión.....	51
3.5.1.1	<i>Pared externa.....</i>	51
3.5.1.2	<i>Paredes internas.</i>	52
3.5.1.3	<i>Techo.....</i>	52
3.5.1.4	<i>Piso.....</i>	53
3.5.1.5	<i>Ventana.....</i>	53
3.5.2	Cargas internas.....	53
3.5.2.1	<i>Luces, personas y equipos.....</i>	54

3.5.2.2	<i>Infiltraciones.</i>	54
3.5.3	<i>Diseño y/o selección de equipos de temperatura.</i>	55
3.5.3.1	<i>Selección de aire acondicionado.</i>	55
3.5.3.2	<i>Selección del calefactor.</i>	56
3.5.3.3	<i>Selección de cortina de aire.</i>	57
3.5.4	<i>Diseño y/o selección de equipo de humedad relativa.</i>	58
3.5.5	<i>Diseño y/o selección de componentes electrónicos.</i>	59
3.5.5.1	<i>Selección del PLC.</i>	59
3.5.5.2	<i>Selección de HMI.</i>	61
3.5.5.3	<i>Selección de sensores de humedad y temperatura.</i>	62
3.6	Automatización del sistema de ambiente controlado	63

CAPÍTULO IV

4	RESULTADOS	64
4.1	Simulación del sistema por medio del software ANSYS Workbench.	64
4.1.1	<i>Pre-proceso.</i>	64
4.1.1.1	<i>Definición de la geometría y condiciones de frontera.</i>	65
4.1.1.2	<i>Definición de mallado.</i>	66
4.1.2	<i>Solución.</i>	66
4.1.3	<i>Post-proceso.</i>	67
4.1.3.1	<i>Análisis de temperatura.</i>	67
4.1.3.2	<i>Análisis de velocidad.</i>	69
4.2	Análisis de resultados.	70
4.2.1	<i>Pruebas de funcionamiento.</i>	70
4.2.1.1	<i>Toma de datos de temperatura y humedad relativa de cada sensor.</i>	70
4.2.1.2	<i>Tiempo de encendido de los equipos.</i>	76
	CONCLUSIONES	79
	RECOMENDACIONES	81

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Clases de cámaras Walk-in.....	10
Tabla 2-2:	Condiciones ambientales para laboratorios.	11
Tabla 3-2:	Escalas termométricas de los puntos fijos.	12
Tabla 4-2:	Condiciones ambientales establecidas por la norma ISO/IEC 17025.....	26
Tabla 1-3:	Condiciones ambientales del Laboratorio de Metrología (2020/09/03).	29
Tabla 2-3:	Condiciones ambientales del Laboratorio de Metrología (2020/09/04).	29
Tabla 3-3:	Condiciones ambientales del Laboratorio de Metrología (2020/09/05).	29
Tabla 4-3:	Condiciones ambientales del Laboratorio de Metrología (2020/09/08).	30
Tabla 5-3:	Condiciones ambientales del Laboratorio de Metrología (2020/09/09).	30
Tabla 6-3:	Matriz morfológica de un sistema de ambiente controlado.....	37
Tabla 7-3:	Evaluación de peso específico de cada criterio.	38
Tabla 8-3:	Evaluación de alternativas con relación al funcionamiento constante.	39
Tabla 9-3:	Evaluación de alternativas con relación al sistema estable.	39
Tabla 10-3:	Evaluación de alternativas con relación al costo.	39
Tabla 11-3:	Evaluación de alternativas con relación a la velocidad de respuesta.....	39
Tabla 12-3:	Evaluación de alternativas con relación a la operación.	40
Tabla 12-3:	Evaluación de alternativas con relación al mantenimiento.....	40
Tabla 13-3:	Evaluación de alternativas con relación a la vida útil.....	40
Tabla 14-3:	Resumen de evaluación de alternativas con relación a la prioridad.	41
Tabla 15-3:	Orientación y área de paredes internas.	45
Tabla 16-3:	Cargas térmicas de paredes internas.....	45
Tabla 17-3:	Resumen de cargas térmicas.....	51
Tabla 18-3:	Cargas térmicas de paredes internas.....	52
Tabla 19-3:	Resumen de cargas térmicas.....	55
Tabla 20-3:	Ficha técnica del aire acondicionado tipo ventana marca Samsung.....	56
Tabla 21-3:	Ficha técnica del calefactor ENVI.....	57
Tabla 22-3:	Ficha técnica de la Cortina de aire INNOVAIR mod. ACS36i-2.....	58
Tabla 23-3:	Ficha técnica del Deshumidificador Soleus Air modelo HMT-D30-A.	59
Tabla 24-3:	Ficha técnica de la pantalla HMI kinco MT4434T-TE.	61
Tabla 25-3:	Ficha técnica del sensor de humedad y temperatura RS485 modbus RTU.	63
Tabla 1-4:	Condiciones de borde del flujo de aire.	65

Tabla 2-4:	Condiciones de borde del flujo de aire	66
-------------------	--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Relación entre conceptos de metrología para mediciones.	6
Figura 2-2:	Cámara climática de ensayos.	9
Figura 3-2:	Cámara climatizada compacta.	9
Figura 4-2:	Cámara climatizada Walk In.....	10
Figura 7-2:	Diagrama de funcionamiento de un aire acondicionado.	17
Figura 8-2:	Sensor de temperatura termopar.	18
Figura 9-2:	Sensor de temperatura por resistencia.....	18
Figura 10-2:	Sensor de temperatura bimetálico.	19
Figura 11-2:	Tipos de calefactores.....	20
Figura 12-2:	Deshumidificador.....	20
Figura 13-2:	Sensor de humedad.	21
Figura 14-2:	Sistema de control a lazo abierto.	22
Figura 15-2:	Sistema de control a lazo cerrado.	22
Figura 16-2:	Ciclo de un PLC.....	23
Figura 17-2:	Tipos de PLC.	24
Figura 18-2:	HMI.....	25
Figura 1-3:	Dimensiones de la bodega del Laboratorio de Metrología.	28
Figura 2-3:	Circuito en Arduino para toma de datos.	28
Figura 2-3:	Matriz QFD.....	33
Figura 3-3:	Análisis Funcional Modular Nivel Cero.	34
Figura 3-4:	Análisis Funcional Modular Nivel Uno.	35
Figura 4-4:	Ubicación de la bodega de Laboratorio de Metrología ESPOCH.....	43
Figura 5-3:	Aire acondicionado tipo ventana marca.....	55
Figura 6-3:	Calefactor ENVI de 475Watts.	57
Figura 7-3:	Cortina de aire INNOVAIR mod. ACS36i-2.....	58
Figura 8-3:	Deshumidificador Soleus Air modelo HMT-D30-A.....	59
Figura 9-3:	PLC CLICK koyo C0-02DD2-D.	60
Figura 10-3:	HMI kinco MT4434T-TE.	61
Figura 11-3:	Sensor de humedad y temperatura RS485 modbus RTU.....	62
Figura 1-4:	Análisis Fluid Flow (Fluent).....	64
Figura 2-4:	Condiciones de frontera.	67

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4:	Definición de Geometría.	65
Gráfico 2-4:	Mallado por defecto refinado.	66
Gráfico 4-4:	Distribución de volumen-temperatura debido al aire acondicio.....	68
Gráfico 5-4:	Distribución de temperatura debido al calefactor.	68
Gráfico 6-4:	Distribución de volumen-temperatura debido al calefactor.	69
Gráfico 7-4:	Distribución del flujo de aire debido al aire acondicionado.....	69
Gráfico 8-4:	Distribución del flujo de aire debido al calefactor.	70
Gráfico 9-4:	Datos de temperatura dados por el sensor 1.	71
Gráfico 10-4:	Datos de temperatura dados por el sensor 2.	71
Gráfico 11-4:	Datos de temperatura dados por el sensor 3.	72
Gráfico 12-4:	Datos de temperatura dados por el sensor 4.	72
Gráfico 13-4:	Datos de temperatura promedio entre los 4 sensores.	73
Gráfico 14-4:	Datos de humedad dados por el sensor 1.....	74
Gráfico 15-4:	Datos de humedad dados por el sensor 2.....	74
Gráfico 16-4:	Datos de humedad dados por el sensor 3.....	75
Gráfico 17-4:	Datos de humedad dados por el sensor 4.....	75
Gráfico 18-4:	Datos de humedad promedio entre los 4 sensores.....	76
Gráfico 19-4:	Tiempo de encendido del aire acondicionado.	77
Gráfico 20-4:	Tiempo de encendido del calefactor.....	77
Gráfico 21-4:	Tiempo de encendido del deshumidificador.....	78

LISTA DE ABREVIACIONES

CEAASES	Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la calidad de la Educación Superior en el Ecuador
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
PLC	Controlador lógico programable
HMI	Interfaz humano máquina
RTD	Resistance Temperature Detector
QFD	Quality Function Deployment
SI	Sistema internacional
TETD/TA	Temperatura diferencial total equivalente y tiempo promedio
CLTD TD/CLF	Método de diferencias de temperaturas para cargas de enfriamiento, factor de carga de enfriamiento solar y factores de carga de enfriamiento
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
mm	Milímetros
cm	Centímetros
m	Metros
m²	Metro cuadrado
in	Pulgada
ft	Pie
ft²	Pie cuadrado
ft³	Pie cúbico
h	Hora
min	Minuto
s	Segundo
g	Gramo
kg	Kilogramo
lb	Libra
Hz	Hertzios
A	Amperio
V	Voltio
W	Watts
BTU	Unidad térmica

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** VALORES DE RESISTENCIA TÉRMICA PARA AISLANTES DE PAREDES.
- ANEXO B:** GUÍA PARA SELECCIÓN DE TIPO DE PAREDES ESTÁNDAR Y CÁLCULO DEL CLTD.
- ANEXO C:** FACTOR LM PARA CLTD_{corr}.
- ANEXO D:** FACTOR SC, SHGF, CLF.
- ANEXO E:** FACTOR CLTD POR CONDUCCIÓN Y COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR PARA VENTANA.
- ANEXO F:** FACTOR F_{sa} PARA LÁMPARAS FLUORESCENTES.
- ANEXO G:** CALOR SENSIBLE, CALOR LATENTE POR PERSONA Y FACTOR CLF.
- ANEXO H:** INFILTRACIONES POR PUERTAS Y VENTANAS EN VERANO.
- ANEXO I:** PROGRAMACIÓN PARA UN SISTEMA DE AMBIENTE CONTROLADO.
- ANEXO J:** DIAGRAMA ELÉCTRICO DE CONTROL.
- ANEXO K:** DIAGRAMA CONEXIÓN DE SENSORES Y CONECTORES.
- ANEXO L:** MANUAL DE MANTENIMIENTO
- ANEXO M:** MANUAL DE USO

RESUMEN

El presente proyecto técnico tuvo como objetivo diseñar, automatizar e instalar un sistema de ambiente controlado para la bodega del laboratorio de metrología de la Facultad de Mecánica - ESPOCH. Se realizó la Función de Despliegue de Calidad (QFD) 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 la mejor alternativa de solución. Se calculó las cargas térmicas totales de enfriamiento 21786,79 BTU/h y calentamiento -8038,31 BTU/h mediante el método CLTD/SLC/CLF de la ASHRAE. La selección de los equipos se hizo en base a los requerimientos que deben cumplir, 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. La automatización del sistema se realizó por medio de un PLC CLICK Koyo, una pantalla HMI kinco 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 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. Se logró controlar las condiciones ambientales dentro de la bodega del laboratorio por medio del sistema instalado. Se recomienda implementar una cabina de ambiente controlado para los bloques de calibración ya que estos requieren de condiciones más estrictas temperatura y humedad relativa.

Palabras clave: <CONTROL AUTOMÁTICO>, <SISTEMA DE AMBIENTE CONTROLADO>, <TEMPERATURA>, <HUMEDAD RELATIVA>, <AIRE ACONDICIONADO>, <CALEFACTOR>, <DESHUMIDIFICADOR>.



08/03/2021

0728-DBRAI-UPT-2021

ABSTRACT

The objective of this technical project was to design, automate and install a controlled environment system for the warehouse of the metrology laboratory of the Faculty of Mechanics - ESPOCH. The Quality Deployment Function (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 the best alternative solution. Total heat loads for cooling 21786.79 BTU / h and heating -8038.31 BTU / h were calculated using the ASHRAE CLTD / SLC / CLF method. The selection of the equipment was made based on the requirements that must be met, for the temperature control a Samsung window-type air conditioner of 24000 BTU and an ENVI heater of 475 Watts was selected, while to control the relative humidity it was selected a Soleus Air dehumidifier. The automation of the system was carried out by means of a CLICK Koyo PLC, a kinco 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 performed where 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. It was possible to control the environmental conditions inside the laboratory warehouse by means of the installed system. It is recommended to implement a controlled environment cabin for the calibration blocks as these require more stringent conditions of temperature and relative humidity.

KEYWORDS: <AUTOMATIC CONTROL>, <CONTROLLED ROOM SYSTEM>, <TEMPERATURE>, <RELATIVE HUMIDITY>, <AIR CONDITIONING>, <HEATER>, <DEHUMIDIFIER>.

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 (Alzate y Guerrero 2018).

Estas, tienen por objeto simular condiciones climáticas y observar el comportamiento del material a ser ensayado bajo condiciones establecidas (Acosta y Caizaluisa 2018). Sus aplicaciones están dentro áreas como: control de calidad, simulación ambiental, análisis de especies vegetales, y animales, entre otras (Giudice y Pereyra 2009). Además las cámaras climatizadas permiten calibrar y certificar instrumentos de medición, por lo que muchas empresas recurren a la implementación de estas (Benavides y Carrasco 2010).

El diseño y construcción de un laboratorio climatizado requiere cumplir con los requerimientos de condiciones ambientales propuestos por la norma ISO/IEC 17025 para garantizar que los ensayos o investigaciones realizadas en el laboratorio sean confiables y de calidad (Caluña y Villa 2019). En la actualidad es una necesidad y una buena inversión ofrecer un ambiente confortable en lugares como: oficinas, negocios, laboratorios y más, para que así las personas sientan comodidad y bienestar en el trabajo (Carrión y Romero 2017).

Un laboratorio de metrología debe contar con un sistema de ambiente controlado que avale la operación confiable, segura, y adecuada de instrumentos y equipos de laboratorio. Según Lewis, Campbell y Stavroulakis (2016) la mayor parte de laboratorios de calibración dimensional estabilizan la temperatura en un rango aproximado a 20°C mientras que la humedad relativa típicamente llega a un nivel máximo de 50%.

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. Para esto es necesario cumplir tanto los requisitos técnicos como los requisitos de gestión que intervienen en la mejora de la calidad del trabajo realizado en los laboratorios (ISO/IEC17025 2017).

CAPÍTULO I

1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

La Facultad de Mecánica es considerada entre las mejores facultades de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo gracias a su calidad de enseñanza, infraestructura y los diferentes laboratorios que posee, por lo tanto, se ha mantenido acreditada por el CEAASES “Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior en el Ecuador” (DEAC 2019).

En el Laboratorio de Metrología de la Escuela de Ingeniería Mecánica, se ha propuesto la implementación de un sistema de control de condiciones ambientales dentro de la bodega de equipos de medición con el fin de realizar de manera adecuada las calibraciones, mediciones y así obtener resultados confiables. En el cual se mantendrá el control y la estabilidad de dichas condiciones en ciertos rangos de tolerancia bajo los “Requisitos Generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración” expresados en la norma ISO/IEC 17025.

Según Yashchuk et al (2014) los laboratorios de metrología deben contar con instalaciones adecuadas para mediciones, ensayos, calibraciones y otras actividades relacionadas, en base a los diferentes métodos de pruebas, criterios de utilización, manejo y uso normal de los equipos de medición establecidos por el fabricante, permitiendo un buen funcionamiento de estos y que los informes de resultados no se vean afectados por dichas condiciones. Dentro de las instalaciones de un laboratorio existen cinco factores principales que afectan críticamente al rendimiento de equipos, instrumentos y herramientas de metrología los cuales son: estabilidad de temperatura en el laboratorio, convección y turbulencia del aire, limpieza del aire, presión - humedad atmosférica y vibraciones.

Un laboratorio de medición y calibración debe ser un espacio cerrado debidamente acondicionado, donde se debe contar con lugares de trabajo necesarios con relación al número de personal asignado a dicho laboratorio, además, de un área suficiente para la realización correcta de las mediciones. A más de ello el laboratorio debe sujetarse a un estricto control térmico y de humedad, a su vez de un aislamiento ante vibraciones y ruido por la elevada sensibilidad al momento de realizar las calibraciones y mediciones (Cavañate 2016).

La metrología fundamental requiere instalaciones con buena estabilidad de temperatura, bajo nivel de vibración, buen blindaje electromagnético, aire limpio y control de humedad que permitan obtener una baja incertidumbre de medición. La mayoría de mediciones la temperatura del aire ambiente influye directamente en la temperatura del material de los instrumentos y equipos de medición, por lo cual en metrología de longitud la temperatura de referencia que garantiza el funcionamiento seguro, confiable y preciso de estos es en torno a 20 °C (Lewis, Campbell y Stavroulakis 2016). Si los valores de humedad relativa se encuentran por encima de 60% de HR, hay un elevado riesgo de corrosión, mientras que, si los niveles de humedad son inferiores al 40% de HR los instrumentos pueden estar expuestos a electricidad estática, para disminuir al máximo las incertidumbres a causa de la compensación de expansión térmica y la humedad se requiere un control permanente de dichos parámetros (Lassila et al. 2011).

Un laboratorio de metrología debe cumplir con ciertos requerimientos e instalaciones que no afecten el funcionamiento de este, entre estas instalaciones el laboratorio debe contar con un sistema de control de condiciones ambientales, ya que dichas condiciones afectan directamente a las actividades como calibraciones o mediciones realizadas dentro del laboratorio debido a los cambios repentinos de temperatura y humedad relativa, provocando la obtención de resultados incorrectos. Según la norma ISO/IEC17025 (2017) los valores que permiten la confianza y seguridad de los resultados y actividades realizadas dentro del laboratorio es entorno a: temperatura ($20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) y Humedad Relativa (40% - 60%).

1.2 Formulación del problema

La alta sensibilidad que poseen los equipos de medición se ven afectados por la temperatura y humedad relativa del ambiente, por lo que una inestabilidad en la temperatura ambiental afecta directamente a la temperatura del material de los equipos y herramientas de medición provocando errores en los resultados obtenidos, a más de ello se conoce que si la humedad toma valores por debajo del 40% los equipos e instrumentos se expondrían a electricidad estática, de igual manera si los valores de humedad relativa son mayores al 60% existe un alto riesgo de corrosión, se conoce también que un laboratorio debe contar con un estricto control de temperatura y humedad relativa con el objetivo de cumplir con los requerimientos de instalaciones y condiciones ambientales de la norma ISO/IEC 17025.

El Laboratorio de Metrología de la Facultad de Mecánica cuenta con una bodega de equipos de medición, la misma que no tiene un sistema de control y monitoreo de las condiciones ambientales que permitan realizar ensayos, mediciones y calibraciones con resultados que no se vean afectados

por dichas condiciones. Por lo tanto, es muy importante implementar un sistema de ambiente controlado en la bodega del laboratorio de metrología, para llevar a cabo dicho control se propone el diseño, automatización e implementación de un sistema de ambiente controlado para el laboratorio de metrología bajo la norma ISO/IEC 17025, en el cual se mantendrá un control periódico de las condiciones de temperatura y humedad relativa.

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación teórica

Aplicando los conocimientos adquiridos en las áreas de transferencia de calor, diseño, instrumentación industrial y automatización se realizará el diseño, automatización e instalación de un sistema de ambiente controlado. Este sistema permitirá vigilar periódicamente las condiciones de temperatura, humedad relativa. Además, se podrán realizar gráficas de temperatura vs tiempo, humedad relativa vs tiempo, con el fin de registrar los datos de manera instantánea y visualizar el comportamiento del sistema en base a los parámetros establecidos.

1.3.2 Justificación metodológica

Para el desarrollo del sistema de ambiente controlado se utilizará la metodología de diseño que especifica la investigación y selección de los equipos y componentes eléctricos y electrónicos requeridos para poder controlar la temperatura y humedad relativa. Se realizará un sistema de control que permita obtener los parámetros requeridos, la fundamentación teórica para el presente proyecto será mediante la revisión de diferentes fuentes tales como: artículos científicos, tesis relacionadas al tema, libros, páginas web. Además, se elaborará un manual de usuario y mantenimiento del sistema.

1.3.3 Justificación Práctica

El proyecto se realiza con el objetivo de controlar las condiciones ambientales dentro de la bodega del laboratorio de metrología, por medio de un control de lazo cerrado y modificación de variables a través de un HMI (Interfaz humano máquina), que aporten con la obtención de resultados más precisos y confiables en los ensayos, mediciones y calibraciones, ya que la inestabilidad de temperatura y humedad relativa es uno de los factores principales que afectan críticamente al rendimiento de equipos, instrumentos y herramientas de metrología.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar, automatizar e instalar un sistema de ambiente controlado para la bodega del laboratorio de metrología de la Facultad de Mecánica - ESPOCH bajo la norma ISO/IEC 17025.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar las condiciones ambientales a las que se encuentra el laboratorio.
- Diseñar y seleccionar los equipos y componentes electrónicos que permitan controlar las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa según la norma ISO/IEC 17025.
- Automatizar el sistema por medio de un control de lazo cerrado, que permita la modificación de las variables de control dentro de un HMI.
- Realizar una simulación del sistema mediante el software ANSYS y verificar la distribución del calor en la bodega del laboratorio de metrología.
- Efectuar las pruebas de funcionamiento mediante la medición de temperatura y humedad relativa con el fin de verificar el comportamiento de las variables.

CAPÍTULO II

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Metrología.

Es la ciencia de la medición que comprende las determinaciones teóricas y experimentales, refiriéndose a las mediciones, a cualquier nivel incertidumbre en cualquier campo de la ciencia y tecnología. Tiene por objeto obtener y expresar el valor de las magnitudes utilizando el método e instrumento apropiado. Entre las características más importantes de la metrología se tiene el resultado de la medición y la incertidumbre de la medida (Escamilla 2015; Alzate y Guerrero 2018).

2.1.1 Medición.

Medir es la comparación de una magnitud dada con otra que se considera como unidad, y determinar cuántas veces la primera está contenida en la segunda. La medición es el resultado del proceso de medir (Piñeiro 2000).

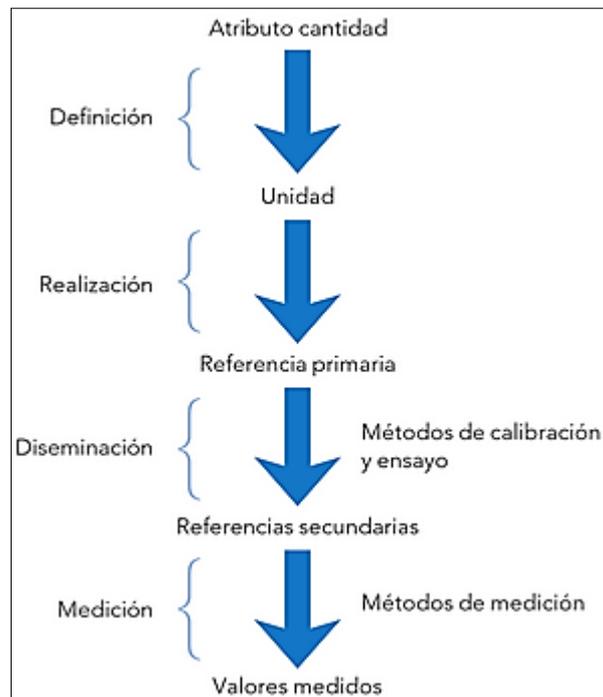


Figura 1-2: Relación entre conceptos de metrología para mediciones.

Fuente: (Escamilla 2015)

2.1.2 Incertidumbre.

La incertidumbre es un parámetro que se asocia con el resultado de la medición y la dispersión de los valores atribuidos para poder relacionarse con resultados de otras medidas, también es considerada como una estimación unida al resultado de un ensayo que caracteriza el intervalo de valores dentro de los cuales se afirma que está el valor verdadero (Sánchez y Gómez 2019).

2.1.3 Metrología Científica.

Se ocupa de los problemas técnicos y experimentales de la medición, tiene la capacidad para llevar a cabo de una forma práctica la realización de un experimento físico entre ellas: la realización experimental de las unidades de medida y la custodia y mantenimiento de patrones, así como la investigación y desarrollo de nuevas técnicas de medición (Piñeiro 2000).

2.1.4 Metrología Legal.

Se relaciona con las actividades que se derivan de los requisitos legales que se aplican a la medición, las unidades de medida, los instrumentos de medida y los métodos de medida que se llevan a cabo por los organismos competentes. Está destinada a proteger al consumidor, y es verificada por el Estado, para garantizar que lo estipulado por el fabricante cumple con los requerimientos jurídicos y técnicos establecidos en el país. El principal objetivo de la Metrología Legal es dar confianza al consumidor en el uso de los instrumentos relacionados con los servicios prestados (INDOCAL 2019).

2.1.5 Metrología Industrial.

Es aquella que promueve la competencia a nivel industrial por medio del aseguramiento de las mediciones, la calibración de sus instrumentos de medición, en base a patrones trazables del Sistema Internacional de Unidades (S.I.) juntamente con prácticas y procedimientos de medición los cuales intervienen en la calidad de los bienes y servicios (INDOCAL 2019).

2.2 Cámaras de ambiente controlado.

Son equipos o instalaciones aisladas del medio externo que permiten simular condiciones climáticas de humedad relativa, temperatura, presión, y velocidad del aire, son muy utilizadas en estudios de materiales, envejecimiento acelerado, simulación ambiental, estudio de estabilidad de productos, control de calidad, acondicionamiento húmedo, análisis de comportamiento de especies vegetales y animales, entre otras (Acosta y Caizaluisa 2018). En los laboratorios de metrología

las cámaras de ambiente controlado son esenciales ya que permiten realizar ensayos y toma de datos para la calibración de equipos de medición bajo condiciones controladas (Alzate y Guerrero 2018).

Estos sistemas manejan diferentes rangos de temperatura y humedad relativa dependiendo de las condiciones ambientales requeridas con el fin de mantener estos valores por extensos periodos de tiempo. Para simular las condiciones requeridas, la cámara climática debe contar con un sistema de enfriamiento, calefacción y control (Acosta y Caizaluisa 2018).

Con el pasar del tiempo la construcción de una cámara climatizada ha ido mejorando la estabilidad de las variables manipuladas por un mayor tiempo y con mejor exactitud, logrando así una mejor simulación de las condiciones ambientales en la realización de ensayos (Pazmiño 2017).

2.2.1 Tipos de cámaras de ambiente controlado.

Las cámaras de ambiente controlado se las puede clasificar según la necesidad o fabricación, las mismas se las pueden encontrar en diferentes tamaños y modos de uso, que permiten realizar diferentes ensayos dependiendo el tipo de aplicación a utilizar.

2.2.1.1 Cámaras climáticas de ensayos.

Son cámaras cuya característica principal es simular condiciones y cambios climáticos extremos, así como repetitivos, dichas cámaras se basan en un software de diseño que permiten controlar y registrar los datos de las pruebas realizadas (Barbosa y Gamboa 2019).

Las cámaras climáticas de ensayos son utilizadas en varios sectores de la industria ya que permite valorar el comportamiento de equipos, componentes y materiales bajo condiciones de funcionamiento real o someterlos a extremos cambios climáticos con el fin de validar su fiabilidad, estructura y comportamiento. Por lo que cada fabricante debe investigar el comportamiento de sus equipos a diferentes condiciones ambientales con el fin de cumplir los requerimientos del consumidor (Barbosa y Gamboa 2019).



Figura 2-2: Cámara climática de ensayos.

Fuente: (Neurtek 2018)

2.2.1.2 Cámaras climáticas compactas.

Son aquellas con capacidad menor o igual a un metro cúbico similar a una nevera pero que se utiliza industrialmente con mayores prestaciones, tienen un buen aislante térmico que permiten conservar las condiciones ambientales en su interior, generalmente son construidas en acero inoxidable, poseen una gran estabilidad (Alzate y Guerrero 2018; Acosta y Caizaluisa 2018).

La cámara WEISS que cuenta con un gran rango de humedad y temperatura, el control automático se realiza por medio de sensores de alta precisión con una elevada velocidad de respuesta logrando mantener tiempos prolongados de exposición sin variar sus condiciones determinadas, variando la temperatura hasta en $\pm 10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ (Alzate y Guerrero 2018; Pazmiño 2017).



Figura 3-2: Cámara climatizada compacta.

Fuente: (Industry 2020)

2.2.1.3 Cámaras climáticas modulares.

Son conocidas también como cámaras Walk In, tienen una capacidad mayor a seis metros cúbicos por lo que se puede transitar dentro del laboratorio, así como también se puede ensayar con

probetas de grandes dimensiones. La construcción de las puertas, paredes, techo y suelo se lo realizan con paneles isotérmicos que permiten mantener con gran estabilidad las condiciones climáticas producidas en el interior (Acosta y Caizaluisa 2018).



Figura 4-2: Cámara climatizada Walk In.

Fuente: (ControlTecnica 2019)

Las cámaras modulares se diferencian en base a los rangos de las variables a controlar como se muestra en la tabla 1-2.

Tabla 1-2: Clases de cámaras Walk-in

Clase	Variable	Rango
Solid Walk-in	Temperatura	-73 a 177 [°C]
	Humedad relativa	20 a 95 [%]
	Rango de tolerancia	1 a 2 [°C]
Panel Walk-in	Temperatura	-68 a 85 [°C]
	Humedad relativa	20 a 95 [%]
	Rango de tolerancia	1 a 2 [°C]

Fuente: (Pazmiño 2017)

2.3 Condiciones ambientales.

Las condiciones ambientales dentro del laboratorio de metrología son muy importantes ya que permiten asegurar la calidad de mediciones, calibraciones y ensayos realizados. En un laboratorio de metrología las funciones realizadas se encuentran expuestas a un cierto factor de incertidumbre debido a la inestabilidad e influencia de las condiciones ambientales. Por lo que, para un buen funcionamiento del laboratorio y que los resultados obtenidos tengan un menor margen de error es absolutamente necesario realizar un control periódico de las condiciones ambientales y mantenerlos en ciertos rangos de tolerancia (Restrepo 2015).

Según Restrepo (2015) los laboratorios de metrología se los puede clasificar por niveles:

- Laboratorio de Primer Nivel (I). - son laboratorios en donde se encuentran los patrones nacionales de referencia a nivel nacional para cada país.
- Laboratorio de Segundo Nivel (II). - son laboratorios que calibran los patrones a través de la comparación con patrones de laboratorios de primer nivel que pueden ser nacionales o internacionales.
- Laboratorio de Tercer Nivel (III). - estos laboratorios tienen los dispositivos que se calibran antes de su uso o se verifica en su mantenimiento propio del proceso.

En la tabla 2-2 se indica los valores recomendados de condiciones ambientales con relación al nivel de cada laboratorio:

Tabla 2-2: Condiciones ambientales para laboratorios.

LABORATORIO	NIVEL	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD (%)	RUIDO (dB)	ILUMINACIÓN (LUX)
Dimensional	I y II	20 ± 1	40%	45 dB	1000 LUX
Dimensional	III	20 ± 2	40% a 60%	45 dB	1000 LUX
Presión	I	23 ± 1	35% a 55%	45 dB	1000 LUX
Presión	II	23 ± 1,5	20% a 55%	45 dB	1000 LUX
Presión	III	23 ± 1,5	40% a 60%	45 dB	1000 LUX
Masas	I	23	35% a 55%	45 dB	1000 LUX
Masas	II	23	20% a 55%	45 dB	1000 LUX
Fuerza	I y II	10 a 35 ± 2	N/A	N/A	N/A
Temperatura	I	23 ± 1	40% a 60%	45 dB	1000 LUX
Temperatura	II	23 ± 1,5	40% a 60%	45 dB	1000 LUX
Temperatura	I	23 ± 1	40% a 60%	45 dB	1000 LUX
Temperatura	II	23 ± 1,5	40% a 60%	45 dB	1000 LUX
Volumetría	I y II	20 ± 1	40% a 60%	45 dB	1000 LUX
Higrometría	I y II	20 ± 1	40% a 60%	45 dB	1000 LUX

Fuente: (Restrepo 2015).

2.3.1 Temperatura.

La temperatura es considerada una magnitud escalar definida por la ley cero de la termodinámica, y que se relaciona con la energía interna de un sistema termodinámico. A medida que haya mayor movimiento de átomos y moléculas la energía interna cambia por lo que nuestra percepción de lo frío o caliente es debido a la variación de la rapidez con que se efectúan esos cambios (Cengel y Boles 2011).

2.3.2 Escalas Termométricas.

Las escalas termométricas que se usan en el sistema internacional (S.I.) y en el sistema inglés son la escala Celsius °C y la escala Fahrenheit °F. Ambas tienen dos temperaturas de referencia conocidos como puntos fijos o puntos de congelación y ebullición del agua (Cengel y Boles 2011).

Una tercera escala cuyo punto cero coincide con el cero absoluto y que es independiente de las características de cualquier sustancia es la escala llamada absoluta. La escala Celsius absoluta es denominada Kelvin y la escala Fahrenheit se denomina Rankine, los valores de las escalas termométricas se detallan en la tabla 3-2 (Cengel y Boles 2011).

Tabla 3-2: Escalas termométricas de los puntos fijos.

Escala	Cero absoluto	Fusión de hielo	Evaporación
Kelvin	0 K	273,2 K	373,2 K
Rankine	0 °R	491,7 °R	671,7 °R
Celsius	-273,2 °C	0 °C	100 °C
Fahrenheit	-459,7 °F	32 °F	211 °F

Fuente: (Alzate y Guerrero 2018).

2.3.3 Humedad absoluta.

Se define como la cantidad de vapor de agua por volumen de aire considerando la presión y temperatura, sus unidades son gramos por metro cúbico (Díaz y Barreneche 2005).

$$HA = \frac{\text{masa de vapor}}{\text{volumen de aire}} \quad (1)$$

2.3.4 Humedad relativa.

La humedad relativa es la cantidad de humedad que se encuentra en el aire, es decir el porcentaje de humedad que puede contener el aire al comparar con la capacidad máxima que el aire puede retener de humedad, cuando el aire se enfría o cuando se agrega vapor de agua al aire la humedad relativa aumenta (Díaz y Barreneche 2005).

$$HR = \frac{\text{densidad de vapor actual}}{\text{densidad de vapor saturación}} \quad (2)$$

La cantidad de humedad presente en el aire influye en nuestro día a día afectando nuestra salud, confort y también a muchos objetos, materias, procesos de producción y agricultura (Díaz y Barreneche 2005).

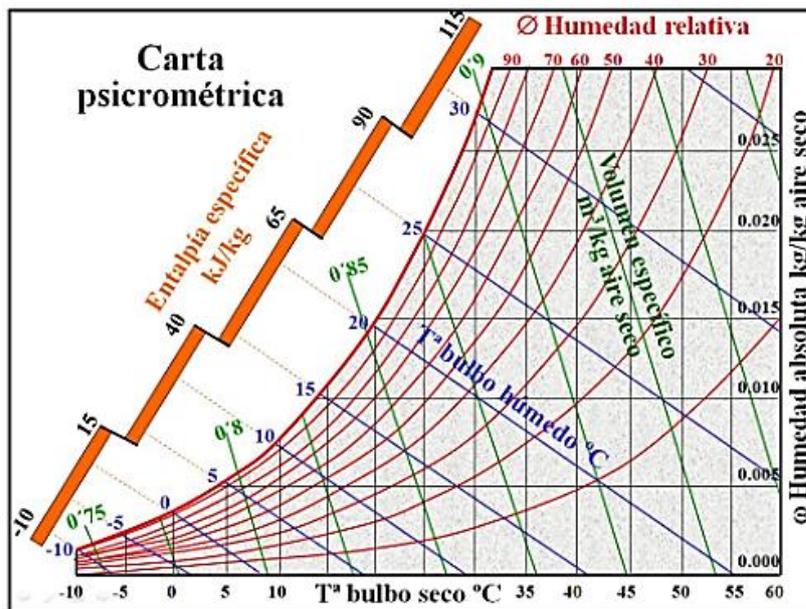


Figura 5-2: Carta psicrométrica.

Fuente: (Sánchez 2009)

2.3.5 Carga térmica o carga de enfriamiento.

Es el calor que se debe remover de un lugar con el fin de lograr determinadas condiciones de humedad y temperatura, dando un buen confort para el ser humano, la unidad de medida es en BTU/h (Carrión y Romero 2017).

2.3.6 Calor sensible y latente.

La cantidad de energía que necesita una sustancia para aumentar su temperatura sin alterar su estructura molecular por lo que tampoco cambia su estado se llama calor sensible, mientras que la cantidad de energía que necesita una sustancia sin aumentar su temperatura para cambiar de estado de sólido a líquido se denomina calor latente (Arnabat 2020).

2.4 Métodos para el cálculo de cargas térmicas.

La ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) es la encargada de regular, controlar los métodos, construcciones y pruebas de sistemas de aire acondicionado y refrigeración las mismas que están basadas en investigaciones. Cada método es aplicado según el criterio del diseñador dependiendo su necesidad, estos métodos son:

- Método TETD/TA (valores de temperatura diferencial total equivalente y tiempo promedio).

- Método TFM (función de transferencia).
- 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) (ASHRAE 2016).

2.4.1 Método TETD/TA.

En el año de 1967 se estableció el método (TETD/TA) por la ASHRAE para el cálculo de cargas térmicas. Este método permite calcular las ganancias generadas por todas las fuentes de calor en un promedio de tiempo con el objetivo de obtener una sola ganancia de calor del lugar a acondicionar (ASHRAE 2016).

Es un método es muy complejo y tedioso para los usuarios sin experiencia en sistemas de acondicionamiento de aire, sin embargo, permite analizar los efectos de almacenamiento térmico y efectos de sombreado externo sobre la carga de enfriamiento (ASHRAE 2016).

2.4.2 Método TFM.

La ASHRAE introdujo un nuevo método en el año de 1972 denominado TFM cuyo principio fundamental es la aproximación a un balance de calor en estado transitorio para el cálculo de cargas térmicas. Este método también permite evaluar la cantidad de calor que es removido del lugar a acondicionar, la unidad de refrigeración que se utiliza y la temperatura del lugar (ASHRAE 2016).

Es un método muy difícil debido a las relaciones matemáticas que utiliza en los códigos de computadora (ASHRAE 2016).

2.4.3 Método CLTD TD/CLF.

El método CLTD TD/CLF 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 (ASHRAE 2016).

2.5 Equipos de control de condiciones ambientales.

Según la ASHRAE (2016) define el acondicionamiento del aire como un proceso de tratamiento de aire donde se toma en cuenta las variables de humedad, temperatura, limpieza y distribución, en fin de controlar simultáneamente para cumplir con los requerimientos del acondicionamiento.

2.5.1 Equipos de control de temperatura.

El control de la temperatura dentro de un espacio de acondicionamiento del aire dependiendo de las estaciones de cada región se lo puede lograr por medio de sistemas de refrigeración o también por sistemas de calefacción (Sánchez 2009).

Según la ASHRAE (2016) la carga térmica total de un espacio a acondicionar es el resultado de sumar todas las cargas a considerar:

- Carga de transmisión a través de la superficie.
- Carga de los productos que se encuentran dentro del espacio.
- Carga interna producida por fuentes internas (luces, motores eléctricos y personas).
- Carga de aire de infiltración.
- Carga de equipo a fin.

2.5.1.1 Aire acondicionado.

Es un sistema electrónico eficiente que permite controlar la temperatura de cierto espacio cerrado, entre sus ventajas se tiene: control de temperatura, eliminación de la humedad del aire, control de la circulación y limpieza del aire. La principal característica de un aire acondicionado es proporcionar un buen confort permitiendo la circulación del aire uniformemente sin tener cambios bruscos de temperatura o corrientes de aire incómodas (Colocho, Daza y Guzmán 2011).

Los equipos de aire acondicionado comúnmente tiene como unidad de medida el BTU (British Thermal Unit), el mismo que se define como la cantidad de energía que se requiere para elevar la temperatura de una libra de agua en un grado Fahrenheit (Colocho, Daza y Guzmán 2011).

En la actualidad existen diferentes tipos de aire acondicionado, estos poseen el mismo principio de funcionamiento, pero con características particulares entre ellos se tiene:

- Sistema de aire acondicionado tipo Split.
- Sistema de aire acondicionado compacto.
- Sistema de aire acondicionado portátil.
- Sistema de aire acondicionado central separado.
- Sistema de aire acondicionado tipo chiller.
- Sistema de aire acondicionado tipo paquete.



Figura 6-2: Tipos de aire acondicionado.

Fuente: (Refrigeración 2018)

El principio de funcionamiento de un aire acondicionado es por medio del equilibrio térmico, este determina que, 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. Los dos cuerpos que se encuentran en contacto son el aire que contiene la habitación (caliente) y el refrigerante (frío), trasladados de adentro hacia afuera y viceversa a través de los tubos del sistema (Ayala 2018).

Un equipo de aire acondicionado requiere de componentes fundamentales y que se encargan de producir el frío y expulsar el aire, los elementos principales son:

- Condensador.
- Compresor.
- Válvula de expansión.
- Evaporador.

El ciclo de refrigeración cuenta con cuatro procesos fundamentales:

- El refrigerante que se encuentra en estado líquido a baja temperatura y presión se evapora a través de un serpentín por medio de la extracción de aire del interior del recinto más caliente.
- Después que el refrigerante se ha evaporado, es succionado y comprimido mediante un compresor elevando su presión y temperatura, luego se condensa al atravesar por un serpentín.
- Finalmente, el refrigerante que se halla en estado líquido a alta temperatura y presión retorna al evaporador mediante una válvula de expansión que produce un cambio brusco en la presión provocando vaporización del líquido, suministrando de aire a menor temperatura el lugar de acondicionamiento (Colocho, Daza y Guzmán 2011).

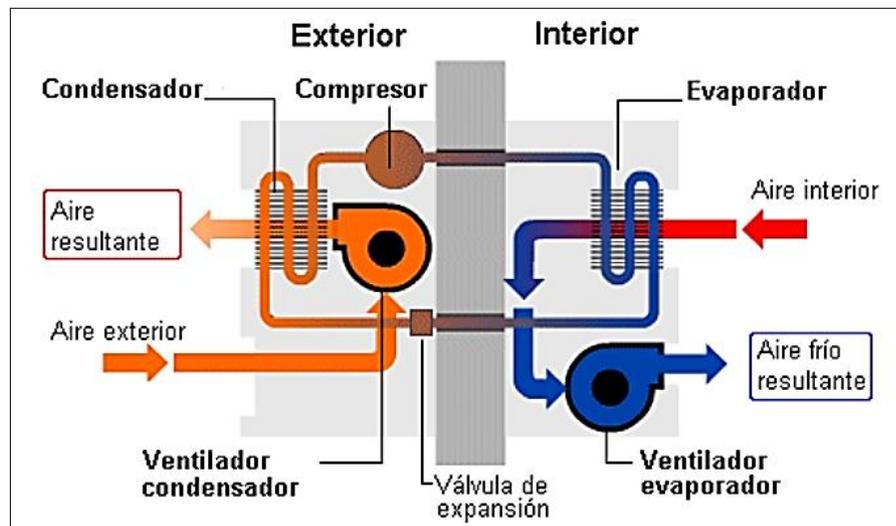


Figura 7-2: Diagrama de funcionamiento de un aire acondicionado.

Fuente: (Colocho, Daza y Guzmán 2011)

2.5.1.2 Sensores de temperatura.

La temperatura es una medida termodinámica que caracteriza el calor presente en un sistema. Por lo tanto, el sensor de temperatura es un dispositivo electrónico que permitirá medir la cantidad de calor presente en un ambiente determinado.

- **Sensor de temperatura termopar.** – es el dispositivo más utilizado a nivel industrial, su funcionamiento es basado en efectos termoeléctricos. Consiste en un circuito de dos alambres conductores hechos de metales diferentes y que se unen en uno de los extremos, al inducir temperatura en el extremo unido de los metales se crea un voltaje muy pequeño en milivoltios el cual aumenta a medida que aumenta la temperatura (Alzate, Montes y Silva 2007).

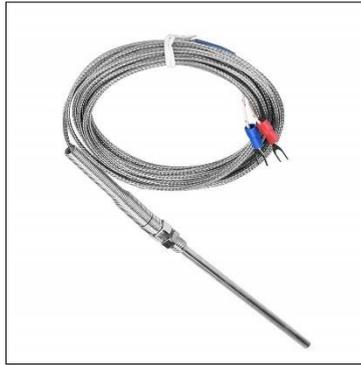


Figura 8-2: Sensor de temperatura termopar.

Fuente: (Omega 2003)

- **Sensor de temperatura por resistencia.** – están constituidos por los RTD (Resistance Temperature Detector) que basa su funcionamiento en elementos conductores y los termistores que se fundamentan en semiconductores. Estos dispositivos termométricos funcionan bajo el principio de que a medida que varía la temperatura, se modifica su resistencia. En los RTD la resistencia aumentan en forma más o menos lineal a medida que aumenta la temperatura, mientras que los termistores la resistencia disminuye de forma no lineal con el aumento de temperatura (Omega 2003).

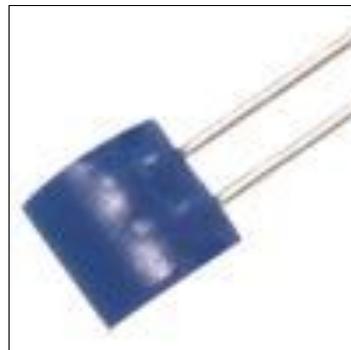


Figura 9-2: Sensor de temperatura por resistencia.

Fuente: (Omega 2003)

- **Sensor de temperatura bimetalico.** – es aquel que aprovecha la diferencia que existe en la tasa de dilatación térmica entre distintos metales, el mismo está compuesto por dos tiras metálicas. Su funcionamiento depende del calentamiento producido ya que un lado se dilatará más que el otro, el resultado de esta dilatación produce una curva que permite obtener una medida de temperatura por medio de una articulación mecánica de indicador de aguja (Omega 2003).



Figura 10-2: Sensor de temperatura bimetalico.

Fuente: (Omega 2003)

2.5.1.3 Calefactor eléctrico.

Es un equipo de calefacción que emite calor con el fin de calentar el ambiente de un recinto cerrado, generalmente está conformado por una resistencia eléctrica que produce calor a partir de la energía eléctrica, un radiador y ventilador que permiten una buena circulación del aire. La principal función del calefactor es elevar la temperatura del aire de una habitación. Son seguros, cómodos y fáciles de instalar, no tienen salida de humo, combustible, ni tampoco emiten gases, el único inconveniente es el gasto energético que presentan (ECYT-AR 2013).

Entre los calefactores más comunes se tiene:

- Calefactor resistivo.
- Calefactor termoeléctrico.
- Calefactor compacto.
- Calefactor vertical.
- Calefactor cerámico.
- Calefactor portátil.
- Calefactor de pared.
- Calefactor convector.
- Calefactor industrial.
- Calefactor termoventilador.



Figura 11-2: Tipos de calefactores.

Fuente: (ECYT-AR 2013)

2.5.2 Equipos de control de humedad.

Para el control de la humedad se requiere de equipos como deshumidificadores que permite extraer la humedad del ambiente y humidificadores para agregar humedad al aire en el ambiente (Sánchez 2009).

2.5.2.1 Deshumidificador.

Es un equipo de climatización cuyo objetivo principal es 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 (Gonzalez 2017).



Figura 12-2: Deshumidificador.

Fuente: (Gonzalez 2017)

2.5.2.2 Sensores de humedad.

Es un dispositivo que se utiliza para detectar la humedad presente en el aire en un lugar cerrado. Es muy utilizado en la industria de la ventilación, climatización y calefacción, además de 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,

donde un material semiconductor se encarga de determinar con precisión el valor de humedad que corresponde a la señal emitida (Siber 2016).

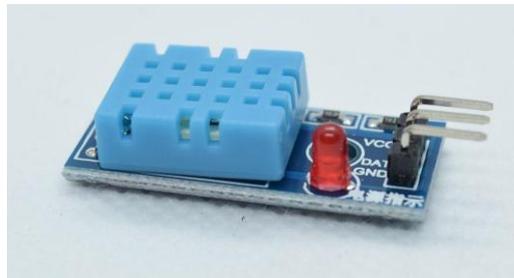


Figura 13-2: Sensor de humedad.

Fuente: (Siber 2016)

2.6 Control automático.

En la actualidad el desarrollo industrial ha avanzado de manera acelerada, de manera que existen procesos en los que se necesita optimizar el tiempo de producción y esto no se lo puede lograr con la mano del hombre por lo que es necesario automatizar los procesos de tal manera que se pueda alcanzar un determinado objetivo. El control automático permite registrar variables presentes en un proceso como presión, humedad, temperatura, caudal, entre otros, obteniendo así los valores de cada variable para poder compararlos con los datos establecidos previamente alcanzando un buen funcionamiento de los equipos (Pazmiño 2017).

El control automático se puede realizar de dos maneras:

- Control de lazo cerrado.
- Control de lazo abierto.

2.6.1 Control automático en lazo abierto.

En un sistema de control a lazo abierto la señal de salida no se ve afectada por la señal de entrada, ya que el sistema no tiene una retroalimentación que pueda comparar la señal de salida con la señal de entrada. Este tipo de control se caracteriza por que las variables del sistema transitan en una sola dirección y su exactitud depende de la calibración que se realice al establecer una relación entre la entrada y la salida por medio de un modelo predeterminado (Carrillo 2011).



Figura 14-2: Sistema de control a lazo abierto.

Fuente: (Carrillo 2011)

2.6.2 Control automático en lazo cerrado.

Un sistema de control a lazo cerrado es aquel en el que la acción de control es dependiente de la salida. La señal de salida que es llevada junto a la señal de entrada para ser comparada, se denomina señal de feedback o de retroalimentación (Carrillo 2011).

La retroalimentación es una propiedad del sistema de lazo cerrado en el que la variable a ser controlada se compara con la de entrada, de tal forma que el control este en función de la señal de entrada y salida (Carrillo 2011).

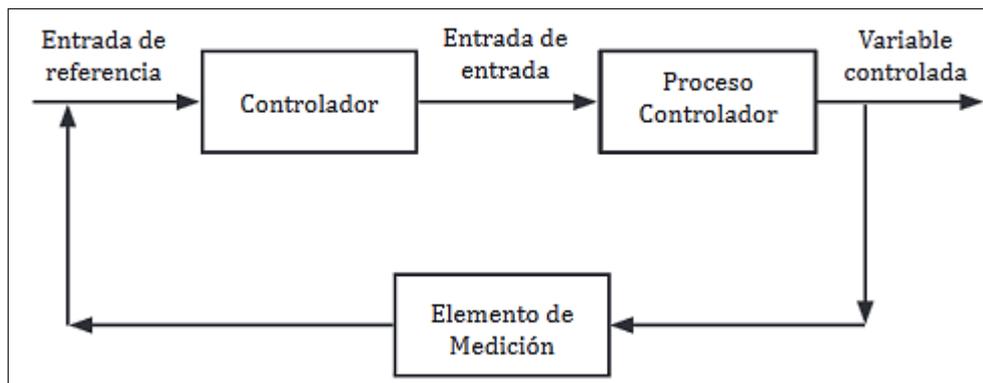


Figura 15-2: Sistema de control a lazo cerrado.

Fuente: (Carrillo 2011)

2.6.3 PLC.

Un PLC (controlador lógico programable), es un dispositivo electrónico que utiliza una memoria programable donde se almacena las instrucciones para la implementación de funciones específicas entre ellas lógica programable, acciones secuenciales, registro y control de tiempos, contador y operaciones aritméticas 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 (Lifelong 2011).

Los controladores lógicos programables son ordenadores secuenciales que deben ejecutar instrucciones según la necesidad de monitoreo, control, registro, etc., que se encuentran programadas y almacenadas en su memoria, para desarrollar esta programación es necesario la aplicación de un software específico dependiendo de la marca y el lenguaje de programación que se va a desarrollar (Mecafenix 2018).

El ciclo de funcionamiento de un PLC es:

El ciclo empieza con un mantenimiento interno del PLC como el diagnóstico, control de la memoria, entre otros. Esto se ejecuta de manera rápida de modo que el usuario no lo perciba. A continuación, se actualizan las entradas, los módulos de señal de entrada se leen y son convertidos en señales binarias o digitales. Dichas señales son enviadas al CPU y se almacenan en los datos de la memoria. Luego, la CPU ejecuta el programa previamente cargado en la memoria. En la ejecución del programa se producen nuevas señales de salida. Finalmente se actualizan las salidas, luego de la ejecución de la última línea de ejecución, las señales de salida (analógica, binaria o digital), son enviadas al módulo de señal de memoria. Dichas señales se convierten en las señales correctas que ingresan en los actuadores. Al terminar el ciclo el PLC inicia otro ciclo (Lifelong 2011).

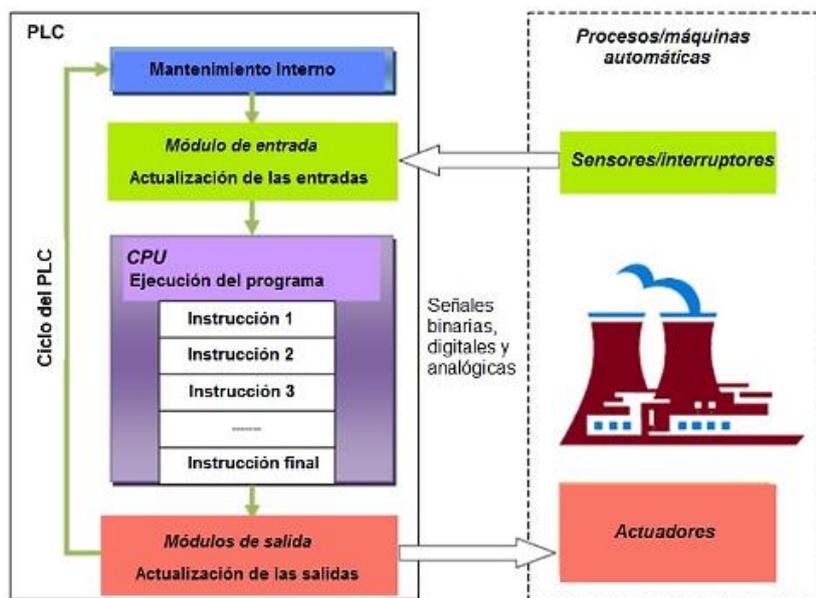


Figura 16-2: Ciclo de un PLC.

Fuente: (Lifelong 2011)

Existe una gran variedad de PLC dependiendo su capacidad, funciones, número de entradas y salidas, memoria, entre otros, se los clasifica de la siguiente manera:

- PLC compactos.
- PLC modular.
- PLC de tipo montaje en rack.
- PLC con panel operador y controlador lógico programable.
- PLC con ordenador industrial.
- PLC de tipo ranura.
- PLC de tipo software.



Figura 17-2: Tipos de PLC.

Fuente: (CTIN 2013)

2.6.4 HMI.

Un HMI (Interfaz Humano Máquina) es el medio de interacción hombre-máquina para controlar procesos, ya que permite mostrar al usuario 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 (Ruiz, Inche y Chung 2014).

Según Ruiz, Inche y Chung (2014) es recomendable que un HMI posea elementos gráficos y numéricos, de igual manera se debe utilizar terminología normalizada y clara con el fin de que el usuario final no tenga ningún inconveniente al manejar el proceso. También es necesario llevar

un registro histórico de las variaciones ocurridas con el propósito de estudiar y analizar su comportamiento para poder realizar los cambios respectivos.



Figura 18-2: HMI.

Fuente: (Ingelcom 2018)

2.7 NORMA ISO/IEC 17025.

La ISO/IEC 17025 es una norma internacional que 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 tanto los requisitos técnicos como los de gestión con el objetivo de mejorar la imagen del laboratorio y el conocimiento de investigadores, dando soluciones a los diferentes problemas que se podrían presentar (ISO/IEC17025 2017).

Dentro de los requisitos técnicos se tiene:

- a) Generalidades. – se consideran los principales factores de influencia al momento de realizar las calibraciones y ensayos que determinen la confiabilidad de estas.
- b) Personal. - establece las técnicas para una buena formación y competencia del personal del laboratorio, con el objetivo de cumplir satisfactoriamente sus funciones asignadas.
- c) Instalaciones y condiciones ambientales. - indica los requisitos necesarios y adecuados de instalaciones y condiciones ambientales con el objetivo de no afectar los diferentes tipos de ensayos o pruebas.
- d) Equipamiento. – en un laboratorio es necesario tener equipos e instrumentos calibrados para la realización correcta de las pruebas y ensayos.
- e) Trazabilidad de las mediciones. - tiene por objeto establecer un procedimiento o plan de calibración de equipos para que proporcionen un valor preciso y exacto asegurando la trazabilidad de las mediciones.

- f) Productos y servicios mostrados. – el laboratorio debe contar con los procedimientos y resultados de calidad, transporte, recibo, manejo de protección y almacenamiento de los ítems de ensayo, con el objetivo de validar las pruebas. Los resultados se informarán con claridad, exactitud de acuerdo con el procedimiento aplicado (ISO/IEC17025 2017).

Este proyecto se enfoca a los requisitos técnicos de instalaciones y condiciones ambientales el cual indica que todo laboratorio debe ser un espacio debidamente acondicionado y con instalaciones que deben ser adecuadas para realizar pruebas y otras actividades relacionadas de acuerdo con los métodos de prueba y manuales de equipo.

Las dos variables para controlar por este sistema son la temperatura y la humedad relativa cuyos valores se presentan en la tabla 4-2 (ISO/IEC17025 2017).

Tabla 4-2: 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: (ISO/IEC17025 2017).

CAPÍTULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

El presente capítulo contendrá lo referente al diseño y automatización del sistema de ambiente controlado para la bodega del Laboratorio de Metrología, en donde se identificarán los parámetros de diseño, se realizará el QFD (Quality Function Deployment) y el diseño conceptual con el fin de obtener la mejor alternativa de solución, para así poder diseñar y/o seleccionar los diferentes componentes y equipos del sistema, por último, se efectuará la automatización del sistema por medio de un control automático cerrado.

3.1 Parámetros de Diseño.

La Escuela de Ingeniería Mecánica de la ESPOCH cuenta con una bodega del Laboratorio de Metrología en la cual se va a realizar un diseño, automatización e instalación de un sistema de ambiente controlado con la finalidad mantener un control periódico de las variables de temperatura y humedad relativa cumpliendo así con un requerimiento de la Norma ISO/IEC 17025, para llevar a cabo este proyecto se toma en cuenta los siguientes parámetros de diseño:

- Dimensiones de la bodega del Laboratorio de Metrología.
- Condiciones ambientales de la bodega del Laboratorio de Metrología.
- Sistema de control y automatización de Temperatura.
- Sistema de control y automatización de Humedad Relativa.

Los parámetros de diseño están basados en las condiciones actuales de la bodega del Laboratorio de Metrología que permiten identificar las diferentes necesidades que se requiere para cumplir con el objetivo del proyecto.

3.1.1 *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.

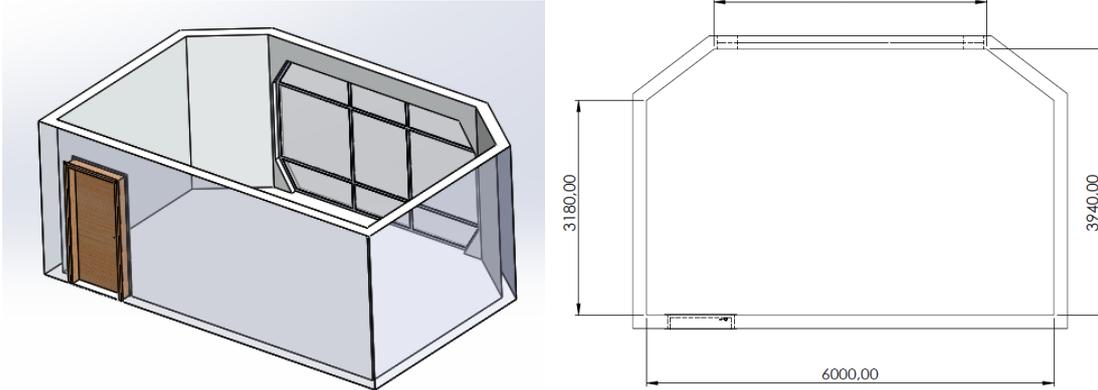


Figura 1-3: Dimensiones de la bodega del Laboratorio de Metrología.

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

3.1.2 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 presencia o no de estudiantes dentro del mismo, por lo que, para determinar las condiciones ambientales críticas a las que se encuentra el laboratorio se realizó mediciones por medio de un sensor Dth22.

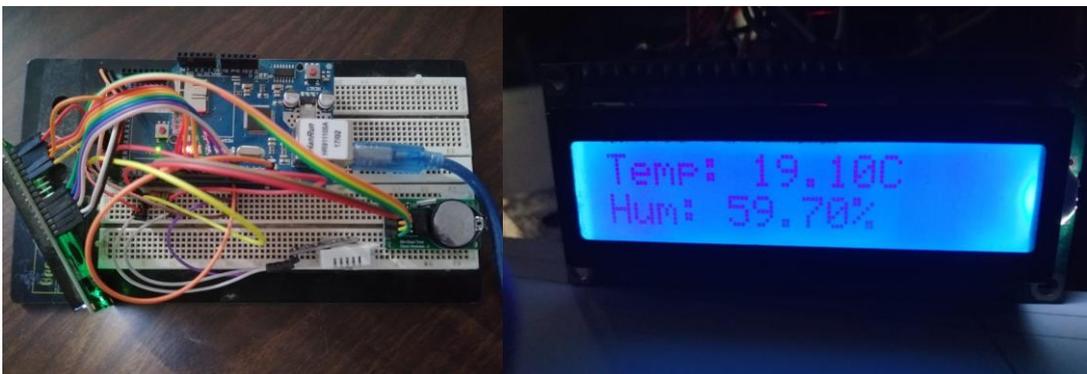


Figura 2-3: Circuito en Arduino para toma de datos (humedad relativa y temperatura).

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

Mediante la utilización de un sistema electrónico utilizado se pudieron realizar las distintas mediciones utilizadas en las tablas 1-3 hasta 5-3.

Tabla 1-3: Condiciones ambientales del Laboratorio de Metrología (2020/09/03).

Hora	Temperatura	Humedad Relativa
00:00	17,1 °C	61,3%
03:00	16,4 °C	63,2%
06:00	15,7 °C	65,6 %
09:00	19,4 °C	58,8 %
12:00	20,2 °C	56,5 %
15:00	20,3 °C	55,4 %
18:00	19,7 °C	57,2%
21:00	19,3 °C	58,5%

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

Tabla 2-3: Condiciones ambientales del Laboratorio de Metrología (2020/09/04).

Hora	Temperatura	Humedad Relativa
00:00	19,1 °C	59%
03:00	19 °C	59,1%
06:00	18,8 °C	59,3 %
09:00	20,1 °C	58,2 %
12:00	23 °C	48,6 %
15:00	21,5 °C	51,4 %
18:00	19,8 °C	51,6%
21:00	19,3 °C	55,4%

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

Tabla 3-3: Condiciones ambientales del Laboratorio de Metrología (2020/09/05).

Hora	Temperatura	Humedad Relativa
00:00	19,2 °C	55%
03:00	19 °C	57%
06:00	18,9 °C	57,9 %
09:00	19,1 °C	57,8%
12:00	20,2 °C	54,8 %
15:00	20,2 °C	53,2 %
18:00	19,4 °C	50,2%
21:00	19 °C	53%

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

Tabla 4-3: 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%

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

Tabla 5-3: Condiciones ambientales del Laboratorio de Metrología (2020/09/09).

Hora	Temperatura	Humedad Relativa
00:00	19,1 °C	58,6%
03:00	18,7 °C	58,1%
06:00	18,5 °C	57,7 %
09:00	20,1 °C	54,7%
12:00	20,3 °C	54,4 %
15:00	20,3 °C	53,2%
18:00	20 °C	54,9%
21:00	19,6 °C	56,7%

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

Con los datos obtenidos en las tablas 1-3 hasta 1-5 se evidenció que los valores de temperatura y humedad relativa se encuentran fuera de los rangos establecidos por la norma ISO/IEC 17025 misma que estipula que para un correcto funcionamiento de los equipos de medición y que los resultados de ensayos, calibraciones y mediciones no se vean afectados por las condiciones ambientales, se debe realizar un estricto control de temperatura y de humedad relativa siendo estos valores de: (20°C ±1°C) y [40% - 60%] respectivamente.

3.1.3 Sistema de control y automatización de Temperatura.

La temperatura será controlada y automatizada por medio de un sistema de control a lazo cerrado con control on/off el cual constará de tres partes entrada, procesador y salida, para el caso de la temperatura la entrada incluirá el HMI donde se seteará el valor de temperatura deseada con un rango de tolerancia o límites máximo y mínimo, luego comparar con la retroalimentación del sistema que estará conectada al sensor de temperatura, estas variables ingresan a un PLC que en

base a la comparación entre los sensores y los valores deseados se activaría la salida que sería un calefactor con el fin de mantener la temperatura establecida.

3.1.4 Sistema de control y automatización de Humedad Relativa.

Por otra parte el sistema de control y automatización de la humedad relativa se lo realizara de igual manera por medio de un control a lazo cerrado con control on/off el cual constará de tres partes entrada, procesador y salida, de la misma forma que la temperatura la entrada incluirá el HMI donde se seteará el valor de humedad relativa deseada con un rango de tolerancia o límites máximo y mínimo, para luego comparar con la retroalimentación del sistema que estará conectada al sensor de humedad relativa, dichas variables ingresaran al PLC que en base a la comparación entre los sensores y los valores deseados se activaría la salida que sería un deshumidificador con el propósito de mantener la humedad relativa establecida.

3.2 Casa de calidad QFD.

3.2.1 Identificación de necesidades.

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo requiere un sistema de ambiente controlado (temperatura y humedad relativa) para la bodega del laboratorio de metrología de la facultad de mecánica, ya que las condiciones actuales de la bodega no son los adecuados para realizar ensayos, mediciones y calibraciones con resultados confiables y precisos. Este sistema tendrá varias funciones como: la calibración de equipos e instrumentos de medición, simulaciones ambientales, prácticas e investigación de estudiantes las cuales mejorarán la educación y preparación de futuros profesionales.

3.2.2 Voz del usuario.

Las demandas o requerimientos pueden ser unidimensionales y estimulantes cuyo cumplimiento es indispensable para que el producto sea satisfactorio, las demandas básicas las cuales admiten cierta flexibilidad, es decir pueden o no cumplirse en su totalidad y el producto se considera satisfactorio.

Para los requerimientos del cliente se requirió de encuestas hacia los mismos (estudiantes, docentes y técnicos docentes), con la información obtenida se planteó una serie de requerimientos y expectativas que se muestran a continuación:

- Dimensiones del sistema.
- Silencioso.
- Fácil operación.
- Seguro.
- Funcionamiento constante.
- Sistema estable.
- Fácil mantenimiento.
- Eficiente.
- Estético.
- Bajo costo de equipos.

3.2.3 *Voz del Ingeniero.*

Los requerimientos del cliente se traducen en las especificaciones técnicas siendo estas las siguientes:

- Condiciones ambientales bajo norma.
- Selección adecuada de equipos y componentes.
- Sistema de Potencia.
- Sistema de control.
- Velocidad de respuesta.
- Protección de equipos y componentes.
- Nivel de ruido.
- Vida útil.
- Tiempo de uso.

3.2.4 *Despliegue de la función de la casa de la calidad.*

En la figura 2-3 se muestra la matriz QFD misma que se basa en los requerimientos del usuario y las especificaciones técnicas del ingeniero, determinando así los parámetros importantes de

Nivel cero.

En la figura 3-3 se representa el nivel cero de la función general que tendrá el sistema, en donde se tiene como señales de entrada energía eléctrica y la información operacional que regirán el funcionamiento, como señales de salida se obtiene un ambiente controlado a temperatura y humedad relativa establecidas.



Figura 3-3: Análisis Funcional Modular Nivel Cero.

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

Nivel uno.

Para este nivel se tiene un análisis detallado y separados por módulos.

- Módulo I: Control de temperatura.
- Módulo II: Control de Humedad Relativa.
- Módulo III: Automatización del sistema.

En la figura 3-4 se detalla el análisis del nivel uno para cada módulo teniendo en cuenta que el módulo I está destinado al control de temperatura, el módulo II al control de humedad relativa y el módulo III a la automatización del sistema, cada módulo se alimenta con energía eléctrica y señales de entrada obteniendo, así como salida la temperatura y humedad relativa deseada.

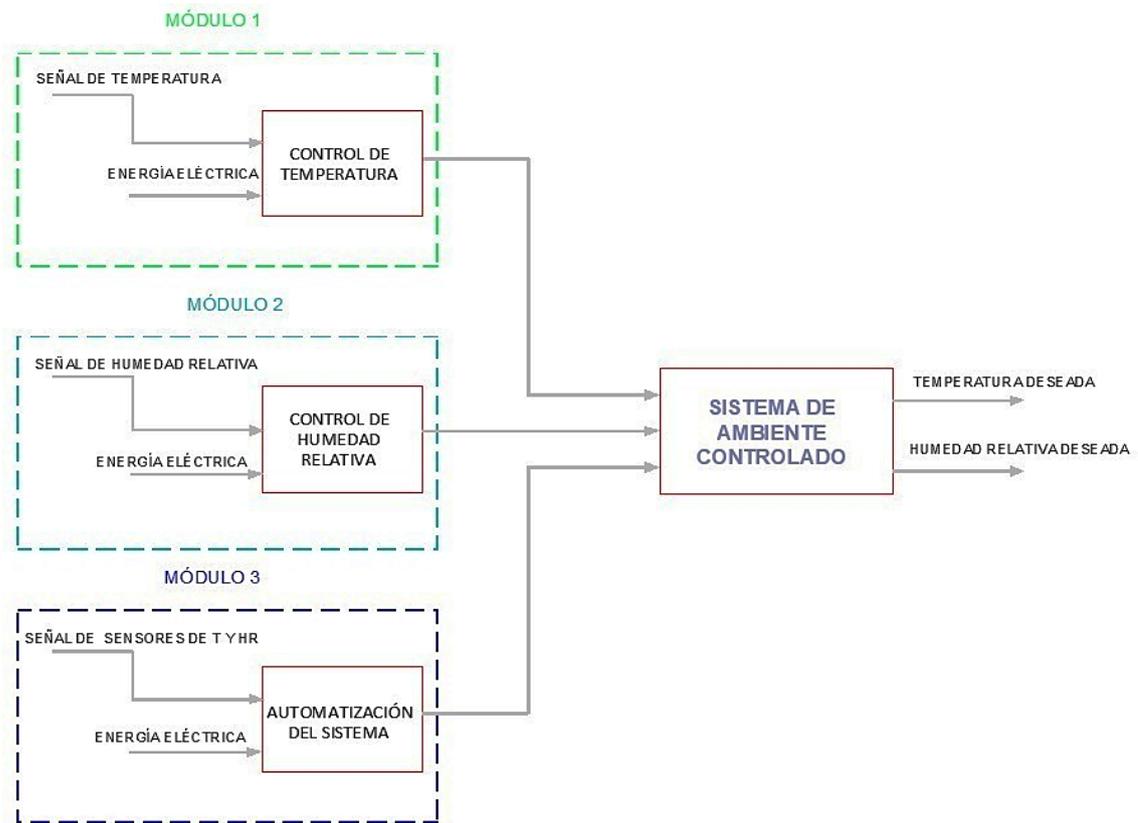


Figura 3-4: Análisis Funcional Modular Nivel Uno.

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

3.3.2 Identificación y formulación de conceptos.

El objetivo principal de esta fase es identificar y formular conceptos que permitan realizar un diseño con soluciones factibles e innovadoras, logrando así un buen diseño de cada sistema con diversas alternativas de solución.

El método empleado en este proyecto consiste en realizar la siguiente pregunta ¿cómo se realizará cada función o subfunción?, una vez concluida esta fase se podrá obtener un mejor enfoque acerca del sistema de ambiente controlado.

3.3.2.1 Módulo 1.- Control de temperatura.

El presente módulo se orienta al control de la temperatura, el mismo que se basa en la toma de datos realizada en el inciso 3.1.2 en el cual se identificó que es necesario equipos de enfriamiento y calentamiento del aire, por tal motivo se seleccionará la mejor alternativa que permita cumplir esta función adecuadamente:

Sistema de calefacción

¿Cómo se elevará la temperatura de la bodega del laboratorio?

- Calefactor eléctrico.
- Calefactor a gas.
- Resistencias eléctricas.

Sistema de enfriamiento

¿Cómo se elevará la temperatura de la bodega del laboratorio?

- Ventilador.
- Aire acondicionado.

3.3.2.2 Módulo 2.- Control de humedad relativa.

Este módulo está destinado al control de humedad relativa, el mismo que se basa en la toma de datos realizada en el inciso 3.1.2 en el cual se identificó que es necesario equipos de deshumidificación, por tal motivo se seleccionará la mejor alternativa que permita cumplir esta función adecuadamente:

Sistema de deshumidificación

¿Cómo se controlará el exceso de humedad en el ambiente?

- Deshumidificador por filtración
- Deshumidificador por calefacción y aireación
- Deshumidificador por condensación

3.3.2.3 Módulo 3.- Automatización de temperatura y humedad relativa.

El módulo tres será el encargado de automatizar el sistema, para lo cual es necesario que los equipos a seleccionar cumplan con el objetivo del sistema que es el control y automatización del control y humedad relativo, por tal motivo se seleccionará la mejor alternativa:

Sistema de automatización

¿Cómo se automatizará el sistema?

- Raspberry y HMI.
- PLC y HMI.
- Arduino y HMI.

El análisis morfológico mostrado en la tabla 6-3 es un método analítico-combinatorio que permite analizar el sistema por módulos y sus respectivas funciones a partir de la combinación de resultados al descomponer el sistema en subsistemas con sus diferentes alternativas de solución.

Tabla 6-3: Matriz morfológica de un sistema de ambiente controlado.

Módulos y funciones	Alternativas de solución para cada función		
Módulo 1 Control de temperatura			
Sistema de calefacción	Calefactor eléctrico	Calefactor a gas	Resistencias eléctricas
Sistema de enfriamiento	Ventilador	Aire acondicionado	Aire acondicionado
Módulo 2 Control de humedad relativa			
Sistema de deshumidificación	de Deshumidificador por filtración	por Deshumidificador calefacción y aireación	por Deshumidificador condensación
Módulo 3 Automatización de temperatura y humedad relativa			
Sistema de automatización	de Raspberry y HMI	PLC y HMI	Arduino y HMI
	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2	SOLUCIÓN 3

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

3.3.3 Análisis y selección de la mejor alternativa.

En la tabla 7-3 se usará el método de criterios ponderados el cual se basa en el análisis y selección de la mejor alternativa por medio del cual se puede identificar la mejor solución de diseño, se debe tener en cuenta el valor que puede tomar cada criterio en función de la fila y columna (Marcano et al. 2015).

1 – este valor tomará el criterio de fila cuando es mejor que de la columna.

0,5 – este valor se usará cuando ambos criterios son iguales (fila y columna).

0 – este valor se usará cuando el criterio de la columna es mejor que de la fila.

Evaluación del peso específico de cada criterio.

- Funcionamiento constante
- Sistema estable
- Costo
- Velocidad de respuesta
- Operación
- Mantenimiento
- Vida útil

Tabla 7-3: Evaluación de peso específico de cada criterio.

	Fun. constante	Sis. estable	Costo	Vel. de respuesta	Operación	Mant.	Vida útil	$\Sigma+1$	Pond. (%)
Fun. constante		0,5	1	1	1	1	1	6,5	24,07
Sis. estable	0,5		1	0,5	1	1	1	6	22,22
Costo	0	0		1	1	0,5	1	4,5	16,67
Vel. de respuesta	0	0,5	0		1	1	1	4,5	16,67
Operación	0	0	0	0		1	1	3	11,11
Mant.	0	0	0,5	0	0		1	1,5	5,56
Vida útil	0	0	0	0	0	0		1	2,7
								27	100

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

3.3.3.1 Evaluación de las alternativas de solución con relación a de cada criterio.

En las tablas 8-3 hasta 13-3 se debe tener en cuenta el valor que puede tomar cada criterio en función de las diferentes soluciones que se obtuvo en la matriz morfológica.

Funcionamiento constante

Tabla 8-3: Evaluación de alternativas con relación al funcionamiento constante.

Funcionamiento constante	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Pond. (%)	
Sol. 1			0	1	2	33,33
Sol. 2	1			1	3	50
Sol. 3	0	0			1	16,67
					6	100

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

Sistema estable

Tabla 9-3: Evaluación de alternativas con relación al sistema estable.

Sistema estable	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Pond. (%)	
Sol. 1			0	0	1	16,67
Sol. 2	1			1	3	50
Sol. 3	1	0			2	33,33
					6	100

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

Costo

Tabla 10-3: Evaluación de alternativas con relación al costo.

Costo	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Pond. (%)	
Sol. 1			1	0	2	40
Sol. 2	0			0	1	20
Sol. 3	1	0			2	40
					5	100

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

Velocidad de respuesta

Tabla 11-3: Evaluación de alternativas con relación a la velocidad de respuesta.

Velocidad de respuesta	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Pond. (%)	
Sol. 1			0,5	1	2,5	41,67
Sol. 2	0,5			1	2,5	41,67
Sol. 3	0	0			1	16,66
					6	100

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

Operación

Tabla 12-3: Evaluación de alternativas con relación a la operación.

Operación	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Pond. (%)
Sol. 1		0,5	0,5	2	33,33
Sol. 2	0,5		0,5	2	33,33
Sol. 3	0,5	0,5		2	33,33
				6	100

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

Mantenimiento

Tabla 12-3: Evaluación de alternativas con relación al mantenimiento.

Mantenimiento	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Pond. (%)
Sol. 1		0	0	1	16,67
Sol. 2	1		1	3	50
Sol. 3	1	0		2	33,33
				6	100

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

Vida útil

Tabla 13-3: Evaluación de alternativas con relación a la vida útil.

Vida útil	Sol. 1	Sol. 2	Sol. 3	$\Sigma+1$	Pond. (%)
Sol. 1		0	0	1	16,67
Sol. 2	1		1	3	50
Sol. 3	1	0		2	33,33
				6	100

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

Resumen de evaluación de alternativas con relación a la prioridad

Una vez realizada la evaluación de alternativas de solución para cada criterio en base a la matriz QFD y los requerimientos necesarios para cumplir con el funcionamiento adecuado del sistema de ambiente controlado se escoge aquella alternativa que presentó mayor prioridad, cuya solución es la dos mostrada en la tabla 14-3.

Tabla 14-3: Resumen de evaluación de alternativas con relación a la prioridad.

Conclusión	Fun. constante	Sis. estable	Costo	Vel. de respuesta	Operación	Mant.	Vida útil	Σ	Prioridad
Sol. 1	0,0792	0,0374	0,068	0,0714	0,0363	0,009	0,005	0,3063	2
Sol. 2	0,12	0,11	0,034	0,0714	0,0363	0,028	0,0135	0,4132	1
Sol. 3	0,0408	0,0726	0,068	0,0289	0,0363	0,0185	0,009	0,2661	3

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

3.4 Cálculo de carga de enfriamiento.

Para enfriar la bodega del laboratorio de metrología es 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 es el método CLTD/SLC/CLF ya que permite el cálculo manual de las cargas térmicas y que el diseñador seleccione de manera correcta un sistema que cumpla con los requerimientos de diseño.

3.4.1 Carga de transmisión.

Para el cálculo de la carga de transmisión es necesario conocer los datos históricos de temperatura proporcionado por la Estación Agrometeorológica de la Facultad de Recursos Naturales – ESPOCH durante el año 2019, donde se registró que la temperatura máxima absoluta es de 25,2°C (noviembre) y la temperatura mínima absoluta es de 1,9°C (julio).

La carga de transmisión es a través de paredes, piso, techo, ventanas y se calcula de manera estable

$$q = U * A * \Delta t \quad (3)$$

donde:

q : ganancia de calor [BTU/h]

A : área exterior de la sección [ft^2]

ΔT : diferencia entre la temperatura del aire exterior y la temperatura del aire en el espacio refrigerado [°F]

El coeficiente global de transferencia de calor de la pared, piso, techo puede ser calculado por la siguiente ecuación:

$$U = \frac{1}{Rt} \quad (4)$$

$$Rt = Rex + Rlad + Rr + Rin \quad (5)$$

donde:

U : coeficiente global de transferencia de calor [$BTU/h^{\circ}Fft^2$]

Rt : resistencia total de la pared [$h^{\circ}Fft^2/BTU$]

Rr : resistencia del enlucido del cemento y arena [$h^{\circ}Fft^2/BTU$]

$Rlad$: resistencia del ladrillo [$h^{\circ}Fft^2/BTU$]

Rex : resistencia exterior [$h^{\circ}Fft^2/BTU$]

Rin : resistencia interior [$h^{\circ}Fft^2/BTU$]

Los valores de las resistencias térmicas se tomaron de la ASHRAE 2009 (ver anexo A)

$$Rt = 0,25 + 1,2 + 0,3 + 0,91$$

$$Rt = 2,66 [h^{\circ}Fft^2/BTU]$$

$$U = 0,376 [BTU/h^{\circ}Fft^2]$$

3.4.1.1 Pared externa.

Para el cálculo de la radiación solar que incide sobre la bodega del laboratorio de metrología solo se tomará en cuenta la pared sur este, ya que en las demás paredes no se encuentran expuestas al sol.

Es necesario conocer la ubicación de la bodega del laboratorio de metrología que se encuentra situado en la ciudad de Riobamba para ello se utilizará la aplicación de Google maps teniendo así la siguiente ubicación: a $1^{\circ}39'30.6''S$ $78^{\circ}40'35.8''W$.

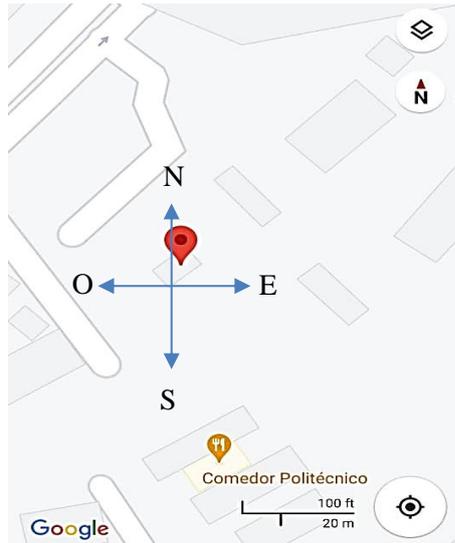


Figura 4-4: Ubicación de la bodega de Laboratorio de Metrología ESPOCH

Fuente: (Maps 2020)

El edificio se encuentra construido de ladrillo común y enlucido, estos datos nos servirán para el seleccionar el CLTD por medio de las tablas de la ASHRAE 1977 (ver anexo B). Tomando en cuenta que la mayor temperatura registrada en la toma de datos es a las 11:00pm y con una pared tipo D se tiene que el valor del CLTD = 32.

Según la ASHRAE el $CLTD_{corr}$ debe cumplir las siguientes condiciones: temperatura interna de 78°F y la temperatura externa máxima 95°F, temperatura media externa 85°F por lo que la fórmula quedaría expresada de la siguiente manera.

$$CLTD_{corr} = (CLTD + LM)K + (78 - T_r) + (T_o - 85) \quad (7)$$

donde:

T_r : temperatura de diseño interior [°F].

T_o : temperatura promedio exterior [°F].

LM : factor de corrección latitud-mes de las condiciones de diseño.

K : factor de corrección debido al color de pared.

Para el cálculo del factor LM se tiene en cuenta que el mes que registró mayor temperatura es enero y la latitud a la que se encuentra la pared es 1°39'30.6"S. Debido a que no se tiene una latitud de 1, se debe interpolar de la tabla de la ASHRAE 1977 (ver anexo C) con los datos de

latitud 0 y latitud 8 con una orientación SE-SW. Realizada la interpolación se obtiene que el factor LM = 2,125

Para el cálculo del factor K se debe considerar el color de la pared que en este caso es color crema, por lo tanto, el valor K = 1 [BTU/h°Fft²] (ver anexo B).

Dimensiones de la pared expuesta a la radiación solar

$$\text{Área} = 6,947\text{m}^2 = 74,74\text{ft}^2$$

$$\text{Temperatura exterior máxima (INHAMI)} = 25,2\text{ °C} = 77,36\text{ °F}$$

$$\text{Temperatura requerida (ISO/IEC 17025)} = 20\text{ °C} = 68\text{ °F}$$

$$T_o = T_{ext} - \left(\frac{\Delta T_{diaria\ ext}}{2} \right) \quad (6)$$

$$T_o = 77,36 - \left(\frac{67,82}{2} \right)$$

$$T_o = 43,45\text{ °F}$$

$$CLTD_{corr} = (32 + 2,125)1 + (78 - 68) + (43,45 - 85)$$

$$CLTD_{corr} = 2,575\text{ °F}$$

El valor de la carga térmica sería:

$$Q = U * A * CLTD_{corr} \quad (8)$$

$$Q = 0,376 * 74,74 * 2,575$$

$$Q = 63,93\text{ BTU/h}$$

Las cargas térmicas del techo y paredes internas de la bodega del laboratorio no se encuentran expuestas al sol por lo que no es necesario realizar el cálculo del CLTDcorr y simplemente se puede calcular con una diferencia de temperaturas de diseño TD a través de la siguiente ecuación.

$$Q = U * A * TD \quad (9)$$

El coeficiente global de transferencia tanto como la pared externa como para la interna es la misma U = 0,376 [BTU/h°Fft²]

3.4.1.2 Paredes internas.

El área de las paredes internas de la bodega del laboratorio se muestra en la tabla 15-3.

Tabla 15-3: Orientación y área de paredes internas.

Orientación	Área (ft ²)
SE	91
NO	149,43
SO	91

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

El cálculo de la diferencia de temperaturas de diseño TD se determina mediante la siguiente ecuación.

$$TD = T_{ext} - T_{int} \quad (10)$$

$$TD = 76,1 - 68$$

$$TD = 8,1 \text{ °F}$$

El valor de las cargas térmicas de las paredes interiores se muestra en la tabla 16-3.

Tabla 16-3: Cargas térmicas de paredes internas.

Orientación	Carga térmica (BTU/h)
SE	277,15
NO	455,1
SO	277,15

Realizado: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

3.4.1.3 Techo.

Para la carga térmica del techo se calcula nuevamente el coeficiente global de transferencia de calor.

$$Rt = 0,25 + 0,3 + 0,91$$

$$Rt = 1,46 [h^{\circ}Fft^2/BTU]$$

$$U = 0,685 [BTU/h^{\circ}Fft^2]$$

$$TD = 8,1 \text{ °F}$$

$$\text{Área} = 246,23 \text{ ft}^2$$

$$Q = 1366,7 \text{ BTU/h}$$

3.4.1.4 Piso.

Para el piso la carga térmica se calcula nuevamente el coeficiente global de transferencia de calor.

$$Rt = Rex + Rr + Rin + Rbal$$

$$Rt = 0,25 + 0,3 + 0,91 + 0,05$$

$$Rt = 1,51 [h^{\circ}Fft^2/BTU]$$

$$U = 0,662 [BTU/h^{\circ}Fft^2]$$

$$TD = 8,1^{\circ}F$$

$$\text{Área} = 246,23 ft^2$$

$$Q = 1320,33 BTU/h$$

3.4.1.5 Ventana.

Para el cálculo de la carga térmica a través de ventana es necesario determinar la carga térmica por radiación y por conducción.

El laboratorio posee una ventana cuya ubicación es SE-SW a la cual incide la radiación solar por lo tanto es necesario obtener el valor SHGF, CLF, SC obtenidos de las tablas de la ASHRAE 1977.

SHGF: factor de ganancia solar máximo.

CLF: factor de carga de enfriamiento.

SC: coeficiente de sombreado para vidrio.

El SC es 1 debido a que es un vidrio simple de 0,24in y no tiene sombreado (ver anexo D).

El SHGF es 230,5 para la ventana de la bodega del laboratorio con orientación SE-SW (ver anexo D).

El CLF es 0,68 bajo una hora solar 11h00, con una orientación SE y una construcción de bajo tamaño (ver anexo D).

El área de la ventana de la bodega del laboratorio: $A = 91,7 ft^2$

Para la carga térmica para ventanas se aplica la siguiente fórmula:

$$Q = A * SC * SHGF * CLF \quad (11)$$

$$Q = 91,7 * 1 * 230,5 * 0,68$$

$$Q = 14373,058 BTU/h$$

Debido a la diferencia de temperatura exterior e interior el cálculo de la carga térmica por conducción está definida por la siguiente ecuación:

$$CLTD_{corr} = CLTD + (78 - T_r) + (T_o - 85) \quad (12)$$

El factor CLTD es 7 se obtiene mediante las tablas de la ASHRAE 1977 (ver anexo E)

El coeficiente global de transferencia de calor es 0,81 se obtiene mediante las tablas de la ASHRAE 1977 (ver anexo E)

La expresión $(T_o - 85)$ es cero debido a que se cumple los rangos de temperatura de la tabla 3.23 de la ASHRAE 1977.

$$CLTD_{corr} = 7 + (78 - 68)$$

$$CLTD_{corr} = 17$$

$$Q = U * A * CLTD_{corr}$$

$$Q = 0,81 * 91,7 * 17$$

$$Q = 1262,71 \text{ BTU/h}$$

La carga térmica total por ventana es:

$$Q = 15635,78 \text{ BTU/h}$$

3.4.2 Cargas internas.

Es la cantidad de energía que se necesita para vencer las cargas térmicas en un área determinada producidas por luces, personas, equipos e infiltraciones con el fin de mantener las condiciones ambientales requeridas.

3.4.2.1 Luces.

Los dispositivos de iluminación transforman la energía eléctrica en energía calorífica y en luz, esta energía calorífica es emitida al ambiente por medio de convección, conducción y radiación.

La ecuación que permite calcular la carga térmica de una iluminaria en cualquier instante de tiempo es:

$$Q = HG * CLF \quad (13)$$

Q : carga por iluminación [BTU/h].

HG: ganancia de calor por luz.

CLF: factor lumínico de carga de enfriamiento.

La ganancia de calor por luz se puede determinar a través de la siguiente ecuación:

$$HG = 3,41 * W * Ful * Fsa \quad (14)$$

W: potencia de la lámpara [*watts*]

Ful: factor de uso lumínico

Fsa: factor de permisividad lumínico

La potencia total de luz se obtiene con relación a la cantidad de luces que se encuentran instaladas en la bodega del laboratorio, las cuales son 6 luminarias de 40W de potencia cada.

El factor de uso lumínico (*Ful*) es la proporción de potencia en uso, la cual la es 1 debido a que todas están funcionando ASHRAE 1977.

El factor de permisibilidad lumínico para luces fluorescentes se determina de las tablas de la ASHRAE 1977 (*Fsa*) sea de 1,2 (ver anexo F)

El factor de carga de enfriamiento *CLF* se considera como 1 ya que la ASHRAE 1977 ya que todas las luces estas encendidas cuando el sistema está operando.

$$HG = 3,41 * 240 * 1 * 1$$

$$HG = 818,4$$

$$Q = 818,4 \text{ BTU/h}$$

3.4.2.2 *Personas.*

El cálculo de la carga térmica producida por las personas está en función del número de personas que frecuentan el lugar, así como el tipo de actividad que realizan. Para el cálculo de la carga térmica se determina el calor latente y sensible a través de las siguientes ecuaciones:

$$qs = \frac{qs}{\text{persona}} * \#personas * CLF \quad (15)$$

donde:

qs : calor sensible BTU/h

$\frac{qs}{persona}$: ganancia de calor sensible por persona BTU/h

CLF : factor de carga de enfriamiento

$$ql = \frac{ql}{persona} * \#personas \quad (16)$$

donde:

ql : calor latente BTU/h

$\frac{ql}{persona}$: ganancia de calor latente por persona BTU/h

La ganancia de calor sensible y latente por persona se obtiene de las tablas de la ASHRAE 1977 (ver anexo G) los cuales son $\frac{qs}{persona} = 230 \text{ BTU/h}$ y $\frac{ql}{persona} = 190 \text{ BTU/h}$.

El factor de carga de enfriamiento se obtiene de las tablas de la ASHRAE 1977 (ver anexo G) cuyo valor es 0,12.

$$qs = 230 * 3 * 0,12$$

$$qs = 82,8 \text{ BTU/h}$$

$$ql = 190 * 3$$

$$ql = 570 \text{ BTU/h}$$

$$Q = 652,8 \text{ BTU/h}$$

3.4.2.3 Equipos.

La bodega del laboratorio de metrología no cuenta con equipos que generen una carga térmica por lo que se desprecia la carga debido a los equipos.

3.4.2.4 Infiltraciones.

Las cargas por infiltraciones se deben a puertas y ventanas presentes en las instalaciones que permiten el intercambio de calor del aire saliente y entrante en condiciones estándar para ello se ocupará las siguientes ecuaciones:

$$qs = 1,1 * cfm * \Delta T \quad (17)$$

donde:

qs : calor sensible [BTU/h]

cfm : flujo de aire que entra y sale al abrirse una ventana puerta o grieta [cfm]

ΔT : diferencia de temperatura exterior e interior [°F]

$$ql = 4840 * cfm * \Delta W \quad (18)$$

donde:

ql : calor latente [BTU/h].

cfm : flujo de aire que entra y sale al abrirse una ventana puerta o grieta [cfm].

ΔW : diferencia de humedad exterior e interior [lbva/lbair].

El flujo de aire que entra y sale al abrirse una ventana puerta o grieta se obtuvo de (Carrier 1980) cuyo valor es $119 \text{ m}^3/\text{h} = 70 \text{ cfm}$ (ver anexo H).

La variación de la temperatura exterior e interior es $\Delta T = 8,1^\circ\text{F}$

$$qs = 1,1 * 70 * 8,1$$

$$qs = 623,7 \text{ BTU/h}$$

La variación de la humedad exterior e interior es $\Delta W = 0,0135 - 0,00890 = 4,6 \times 10^{-3} \left[\frac{\text{lb aire seco}}{\text{lb agua}} \right]$

$$ql = 4840 * 70 * 4,6 \times 10^{-3}$$

$$ql = 1558,48 \text{ BTU/h}$$

$$Q = 2182,18 \text{ BTU/h}$$

Resumen de las cargas térmicas

La tabla 17-3 contiene los valores de las cargas térmicas de enfriamiento calculadas anteriormente, las mismas que al sumarse permiten obtener el valor de la carga térmica de enfriamiento total.

Tabla 17-3: Resumen de cargas térmicas

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	

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

3.5 Cálculo de carga de calentamiento.

Para calentar la bodega del laboratorio de metrología es necesario aumentar el calor inicial y alcanzar las condiciones establecidas por la norma de ISO/IEC 17025. Las cargas térmicas de calentamiento se determinan de igual manera que las cargas de enfriamiento 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.

3.5.1 Carga de transmisión.

El cálculo del coeficiente global de transmisión de calor es igual debido a que se presentan las mismas resistencias.

$$U = \frac{1}{Rt}$$

$$U = 0,376 [BTU/h^{\circ}Fft^2]$$

3.5.1.1 Pared externa.

El cálculo de la carga térmica para la pared externa de la bodega del laboratorio de metrología está dado por la fórmula:

$$Q = U * A * TD \quad (19)$$

$$\text{Área} = 6,947 \text{ m}^2 = 74,74 \text{ ft}^2$$

$$\text{Temperatura exterior mínima (INHAMI)} = 1,9 \text{ }^{\circ}\text{C} = 35,42 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\text{Temperatura requerida (ISO/IEC 17025)} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C} = 68 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

El valor de la carga térmica sería:

$$Q = 0,376 * 74,74 * -32,58$$

$$Q = -915,57 \text{ BTU/h}$$

El coeficiente global de transferencia tanto como la pared externa como para la interna es la misma

$$U = 0,376 [\text{BTU}/\text{h}^\circ\text{Fft}^2]$$

3.5.1.2 Paredes internas.

El área de las paredes internas de la bodega del laboratorio se muestra en la tabla 15-3.

El cálculo de la diferencia de temperaturas de diseño TD se determina mediante la siguiente ecuación.

$$TD = T_{ext} - T_{int}$$

$$TD = 60,26 - 68$$

$$TD = -7,74 \text{ }^\circ\text{F}$$

El valor de las cargas térmicas de las paredes interiores se muestra en la tabla 18-3.

Tabla 18-3: Cargas térmicas de paredes internas

Orientación	Carga térmica (BTU/h)
SE	-264,83
NO	-434,87
SO	-264,83

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

3.5.1.3 Techo.

Para la carga térmica del techo se calcula nuevamente el coeficiente global de transferencia de calor.

$$Rt = 0,25 + 0,3 + 0,91$$

$$Rt = 1,46 [\text{h}^\circ\text{Fft}^2/\text{BTU}]$$

$$U = 0,685 [\text{BTU}/\text{h}^\circ\text{Fft}^2]$$

$$TD = -7,74 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\text{Area} = 246,23 \text{ ft}^2$$

$$Q = -1305,49 \text{ BTU/h}$$

3.5.1.4 Piso.

Para el piso la carga térmica se calcula nuevamente el coeficiente global de transferencia de calor.

$$Rt = 1,51 \text{ [h}^\circ\text{Fft}^2\text{/BTU]}$$

$$U = 0,662 \text{ [BTU/h}^\circ\text{Fft}^2\text{]}$$

$$TD = -7,74 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\text{Área} = 246,23 \text{ ft}^2$$

$$Q = U * A * TD$$

$$Q = -1261,65 \text{ BTU/h}$$

3.5.1.5 Ventana.

Para el cálculo de la carga térmica a través de ventana es necesario determinar la carga térmica por conducción.

$$A = 91,7 \text{ ft}^2$$

El coeficiente global de transferencia de calor es 0,81 se obtiene mediante las tablas de la ASHRAE 1977 (ver anexo E).

$$Q = U * A * TD$$

$$Q = 0,81 * 91,7 * -32,58$$

$$Q = -2419,94 \text{ BTU/h}$$

3.5.2 Cargas internas.

Es la cantidad de energía que se necesita para vencer las cargas térmicas en un área determinada producidas por luces, personas, equipos e infiltraciones con el fin de mantener las condiciones ambientales requeridas.

3.5.2.1 Luces, personas y equipos.

Debido a las ecuaciones que se utilizan para el cálculo de cargas térmicas por luces, personas y equipos no están en función de la temperatura el valor de las cargas son las mismas tanto para calentamiento como para enfriamiento.

$$Q = 818,4 \text{ BTU/h (luces)}$$

$$Q = 652,8 \text{ BTU/h (personas)}$$

3.5.2.2 Infiltraciones.

Las cargas por infiltraciones se deben a puertas y ventanas presentes en las instalaciones que permiten el intercambio de calor del aire saliente y entrante en condiciones estándar para ello se ocupará las siguientes ecuaciones:

$$q_s = 1,1 * cfm * \Delta T \quad (20)$$

$$q_l = 4840 * cfm * \Delta W \quad (21)$$

La variación de la temperatura exterior e interior es $\Delta T = -7,74^\circ\text{F}$

$$q_s = 1,1 * 70 * -7,74$$

$$q_s = -595,98 \text{ BTU/h}$$

La variación de la humedad exterior e interior es $\Delta W = 0,00721 - 0,01325 = -6,04 \times 10^{-3} \left[\frac{\text{lb aire seco}}{\text{lb agua}} \right]$

$$q_l = 4840 * 70 * -6,04 \times 10^{-3}$$

$$q_l = -2046,35 \text{ BTU/h}$$

$$Q = -2642,33 \text{ BTU/h}$$

Resumen de las cargas térmicas

La tabla 19-3 contiene los valores de las cargas térmicas de calentamiento calculadas anteriormente, las mismas que al sumarse permiten obtener el valor de la carga térmica de calentamiento total.

Tabla 19-3: 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	

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

3.5.3 *Diseño y/o selección de equipos de temperatura.*

Una vez determinada la carga térmica de enfriamiento y calentamiento se procede a seleccionar el mejor equipo que cumpla con los parámetros establecidos.

3.5.3.1 *Selección de aire acondicionado.*

Para la selección del aire acondicionado se tiene que cumplir las siguientes condiciones: la temperatura establecida en la norma ISO/IEC 17025 cuyo rango es de $20\pm 1^{\circ}\text{C}$, la carga térmica de enfriamiento a vencer es de 21786,79 BTU/h, y la bodega del laboratorio de metrología tiene un área de 22,8m². Se seleccionó un aire acondicionado tipo ventana marca Samsung de 24000 BTU/h debido a que cumple con la carga térmica total de enfriamiento, tiene una fácil instalación en comparación a los de Split, consta de un solo equipo por lo que su mantenimiento es más fácil, y posee más vida útil.



Figura 5-3: Aire acondicionado tipo ventana marca

Samsung de 24000 BTU.

Fuente: (Samsung 2010)

La ficha técnica del aire acondicionado de ventana se detalla en la tabla 20-3.

Tabla 20-3: Ficha técnica del aire acondicionado tipo ventana marca Samsung.

Modelo	AW24PHBC
Capacidad (frío)	23950 BTU/h
Alimentación	220V – 60Hz
Corriente	12,5A
Consumo	2620W
Refrigerante	R22 (900g)
Presión Máxima	2,7MPa
Presión de diseño	2,1MPa (alta) y 0,7MPa (baja)

Fuente: (Samsung 2010)

3.5.3.2 Selección del calefactor.

La temperatura dentro de la bodega de laboratorio no debe ser menor a 19°C para que los equipos e instrumentos de metrología funcionen de manera correcta y se mantengan en buen estado, la carga térmica total de calentamiento a vencer es de -8038,31 BTU/h.

Se seleccionó un calefactor ENVI de 475Watts que 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 (Calefacción 2020).

No se seleccionó los calefactores comunes debido a que poseen un alto consumo de energía, no tienen un uso continuo, es fácil quemarse debido a que el revestimiento mecánico alcanza altas temperaturas, son ruidosos, no distribuyen el calor uniformemente, emiten anhídrido carbónico y otros contaminantes, su única ventaja es que son ligeros y rápidos de calentar (OCU 2020).



Figura 6-3: Calefactor ENVI de 475Watts.

Fuente: (Calefacción 2020)

La ficha técnica del calefactor eléctrico se detalla en la tabla 21-3.

Tabla 21-3: Ficha técnica del calefactor ENVI.

Características	<p>Calefactor eléctrico</p> <p>Para montaje en la pared</p> <p>Termostato ajustable</p> <p>Sin ventilador, para una calefacción más saludable</p> <p>Diseño delgado y silencioso</p> <p>Circulación 100% convección natural</p> <p>Barra de bloqueo</p> <p>Luz de encendido / apagado con atenuación automática</p> <p>Fácil instalación, no requiere taladro</p> <p>Incluye dispositivo para controlar el calefactor vía Wi-Fi</p>
Color	Blanco
Dimensiones del producto (alto/ancho/profundidad)	56 x 47 x 5.08 cm
Garantía	1 año
Potencia de consumo	475 W

Fuente: (Calefacción 2020)

3.5.3.3 Selección de 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 7-3: Cortina de aire INNOVAIR mod. ACS36i-2.

Fuente: (INNOVAIR 2012)

La ficha técnica de la cortina de aire se detalla en la tabla 22-3.

Tabla 22-3: Ficha técnica de la Cortina de aire INNOVAIR mod. ACS36i-2.

Datos eléctricos	Voltaje-Fases-Hz	220-1Ph-50/60Hz
Velocidad máxima del aire	Alto (Pies/min)	2000
	Bajo (Pies/min)	1600
Volumen máximo del aire	Alto (Pies ³ /min)	750
	Bajo (Pies ³ /min)	600
Puerta (Alto Max)	Pies	10
Ruido dB(A)	Alto	56
	Bajo	54
Dimensiones brutas	Alto (pulg)	8,5
	Ancho (pulg)	36
	Profundidad (pulg)	7
Peso	Neto (lb)	26

Fuente: (INNOVAIR 2012)

3.5.4 *Diseño y/o selección de equipo de humedad relativa.*

Con los datos obtenidos en el inciso 3.1.2 se determinó el requerimiento de un deshumidificador debido a que los rangos de humedad relativa se encuentran entre 45 y 65%. 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 8-3: Deshumidificador Soleus Air modelo HMT-D30-A.

Fuente: (Manualslib 2012)

La ficha técnica del deshumidificador se detalla en la tabla 23-3.

Tabla 23-3: Ficha técnica del Deshumidificador Soleus Air modelo HMT-D30-A.

Voltaje	115V (60Hz)
Consumo	370Watts
Dimensiones	13-.3/4''W x 19-1/2''H x 10''D
Nivel de ruido	47-51dB(A)
Corriente	3,2A
Caudal de aire /H/M/L)	215/180/155 CFM
Peso	31,1lb
Capacidad del colector de agua	8,5 pintas

Fuente: (Manualslib 2012)

3.5.5 *Diseño y/o selección de componentes electrónicos.*

Al ser necesario el funcionamiento continuo del sistema, se requiere una automatización por medio de un control a lazo cerrado, por lo tanto, se seleccionó un PLC y un HMI que cumpla con dicha función.

3.5.5.1 *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 9-3: PLC CLICK koyo C0-02DD2-D.

Fuente: (Koyo 2020)

Especificaciones del PLC CLICK koyo C0-02DD2-D.

- Entradas discretas: 4 entradas CC, 24 V CC PNP / NPN (sumidero / fuente de corriente), 1 común. Las 8 entradas también se pueden utilizar como entradas de interrupción.
- Salidas discretas: 4 salidas DC, 6-27 VDC PNP (fuente de corriente), máx. 0,1 A / pt, 1 común.
- Entradas analógicas: 2 entradas analógicas, voltaje / corriente, resolución de 12 bits. Cada canal se puede configurar por separado para voltaje (0 a 5 VCC) o corriente (4 a 20 mA).
- Salidas analógicas: 2 salidas analógicas, voltaje/corriente, resolución de 12 bits. Cada canal se puede configurar por separado para voltaje (0 a 5 VCC) o corriente (4 a 20 mA).
- Expansión: se puede expandir con un total de 8 módulos de E / S (142 E / S en total).
- Memoria: memoria de programa de 8K pasos (Flash), memoria de datos de 6.4K palabras *. Los datos del usuario son retenidos por el supercondensador incorporado por hasta 3 semanas o hasta 5 años usando la batería opcional D2-BAT-1.
- Comunicaciones: 2 puertos de comunicación RS232C integrados y 1 RS485. Control total del envío y recepción de datos a través de todos los puertos de comunicación utilizando el protocolo Modbus o ASCII.
- Voltaje de suministro: 24 V CC (20 ~ 28 V CC).
- Lenguaje de programación: Ladder Logic.

3.5.5.2 Selección de 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 10-3: HMI kinco MT4434T-TE.

Fuente: (Kinco 2020)

La ficha técnica de la pantalla HMI se detalla en la tabla 24-3.

Tabla 24-3: Ficha técnica de la pantalla HMI kinco MT4434T-TE.

Modelo	MT4434TE
Especificaciones de rendimiento	
Pantalla	7 & Prime;TFT
Resolución	800*480
Color	65536
Retroiluminación	LED
Brillo	250 cd/m ²
De fondo la vida	50000 horas
Panel táctil	Red de resistencia de precisión de 4 ~ cables
Procesador	RISC CPU 400 MHz
Memoria	128M FLASH + 64M DDR2
Memoria ampliable	USB
Receta de memoria RTC	512KB + RTC
Puerto de impresora	Esclavo USB/puerto serie
Ethernet	Sí
Programa descargar	1 esclavo USB/puerto serie
Puerto COM	COM0:RS232/RS485-2/422 COM2:RS232
Especificación eléctrica	
Potencia nominal	7,2 W
Tensión nominal	DC24V
Rango de entrada de	12-28VDC
Potencia permitida	<3ms
Resistencia de aislamiento	> 50 Mohms @ 500 VDC
Fuerza dieléctrica de prueba	500 VAC 1 minuto

Especificación de estructura	
Color de la carcasa	Negro
Material de la carcasa	ABS
Dimensiones (mm)	204 × 150 × 37mm
Tamaño del recorte (mm)	192 × 138mm
Peso	0,5Kg
Medio ambiente especificación	
Temperatura de funcionamiento	0 ~ 45 grados centígrados
Humedad de funcionamiento	10 ~ 90% sin condensación
Temperatura de almacenamiento	-10 ~ 60 grados centígrados
Humedad de almacenamiento	10 ~ 90% sin condensación
A prueba de golpes a prueba	10 ~ 25Hz (X Y Z dirección 2G 30 minutos)
Método de enfriamiento	Natural de enfriamiento de aire
La certificación	
Grado de protección	IP65 (panel frontal)
Certificación CE	Cumple con los estándares EN61000 ~ 6 ~ 2:2005 y EN61000 ~ 6 ~ 4:2007
FCC compatibilidad	Cumple con FCC Clase A

Fuente: (Kinco 2020)

3.5.5.3 Selección de sensores de humedad y temperatura.

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 11-3: Sensor de humedad y temperatura
RS485 modbus RTU.

Fuente: (Robokits 2020)

La ficha técnica del sensor de humedad y temperatura se detalla en la tabla 25-3.

Tabla 25-3: Ficha técnica del sensor de humedad y temperatura RS485 modbus RTU.

Número de producto	XY-MD02
Voltaje de funcionamiento	DC 5 V ~ 30 V
Señal de salida	señal RS485
Protocolo de comunicación	Modbus RTU y protocolo ordinario
Dirección de comunicación	1 ~ 247 (predeterminado 1)
Rango de temperatura	-40 °C ~ 60 °C
Precisión de temperatura:	+/- 0.5 °C
Resolución de temperatura	0,1 °C
Rango de humedad	0% RH ~ 80% RH
Precisión de humedad	+/- 3% RH
Resolución de humedad	0.1% RH
Potencia	<0,2 W
Temperatura de trabajo	-40 °C ~ 85 °C
Humedad de trabajo	0% ~ 95% RH
Tamaño	65 * 46 * 28,5 mm
Peso	41g

Fuente: (Robokits 2020)

3.6 Automatización del sistema de ambiente controlado

La norma ISO/IEC 17025 menciona que dentro de un laboratorio se debe realizar un control de temperatura y humedad relativa en fin de tener un buen funcionamiento de los equipos, y que los resultados no se ven afectados por las condiciones ambientales, por tal motivo se realiza la automatización del sistema en fin conseguir una estabilidad térmica y de humedad relativa cumpliendo con los rangos de: temperatura ($20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) y Humedad Relativa [(40% - 60%)].

Para la automatización se utilizó el software Click Koyo el cual es compatible con el PLC seleccionado, la programación contiene 5 subrutinas, la primera subrutina contiene la adquisición de datos, la segunda contiene los controles de mando, la tercera la lectura de los sensores, la cuarta alertas de temperatura y humedad, y la quinta registra los valores mínimos y máximos de humedad y temperatura, la programación detallada se encuentra en el anexo I.

Las conexiones eléctricas del PLC, HMI y equipos de control se encuentran detalladas en el diagrama eléctrico (ver anexo J), las conexiones de sensores de temperatura y humedad están detalladas en el diagrama de conexión de sensores y conectores (ver anexo K)

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS

Este capítulo contiene 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 realizará las pruebas de funcionamiento tomando los datos de temperatura y humedad relativa para validar el diseño del sistema con los resultados obtenidos.

4.1 Simulación del sistema por medio del software ANSYS Workbench.

Mediante el software ANSYS se simulará el sistema de ambiente controlado, este proceso consta de tres etapas: pre-proceso, solución y post-proceso mostrados en la figura 1-4.

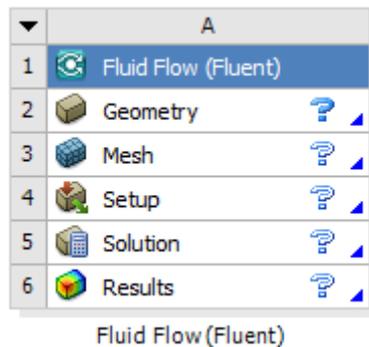


Figura 1-4: Análisis Fluid Flow (Fluent).

Fuente: (ANSYS Workbench, 2019)

4.1.1 Pre-proceso.

La etapa de pre-proceso permite definir las características y la geometría adecuada para el análisis a través de un diseño asistido por computadora (CAD), además de establecer condiciones de frontera para el tipo de análisis a utilizar y el mallado de la geometría que es una extensión que se ha discretizado en una serie de volúmenes o elementos más pequeños.

4.1.1.1 Definición de la geometría y condiciones de frontera.

En el gráfico 1-4 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.

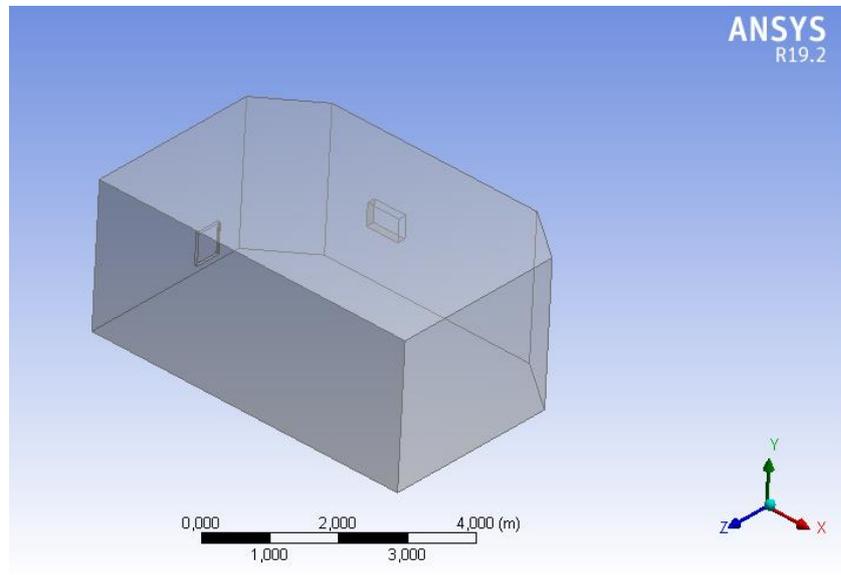


Gráfico 1-4: Definición de Geometría.

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

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 1-4.

Tabla 1-4: 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

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

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 2-4.

Tabla 2-4: Condiciones de borde del flujo de aire.

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

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

4.1.1.2 Definición de mallado.

Para ambos casos se utilizó un mallado por defecto mismo que se utilizó 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 el gráfico 2-4. A continuación, se crea o designa los sitios o superficies (aire acondicionado y calefactor) donde se especifica las condiciones de frontera por medio del icono named selection.

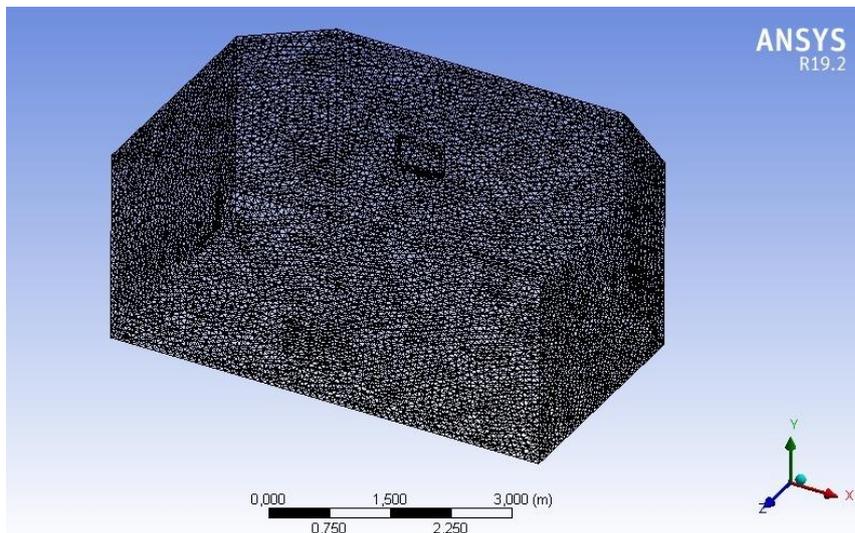


Gráfico 2-4: Mallado por defecto refinado.

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

4.1.2 Solución.

Esta etapa de la simulación muestra un análisis de volúmenes finitos empleada por el método CFD, donde se estableció las condiciones de frontera como: velocidad, temperatura, coeficiente de transferencia de calor en las regiones que conforman las condiciones de borde, así como también se configura el tipo de análisis (estacionario o transitorio) como se indica en la figura 2-4.

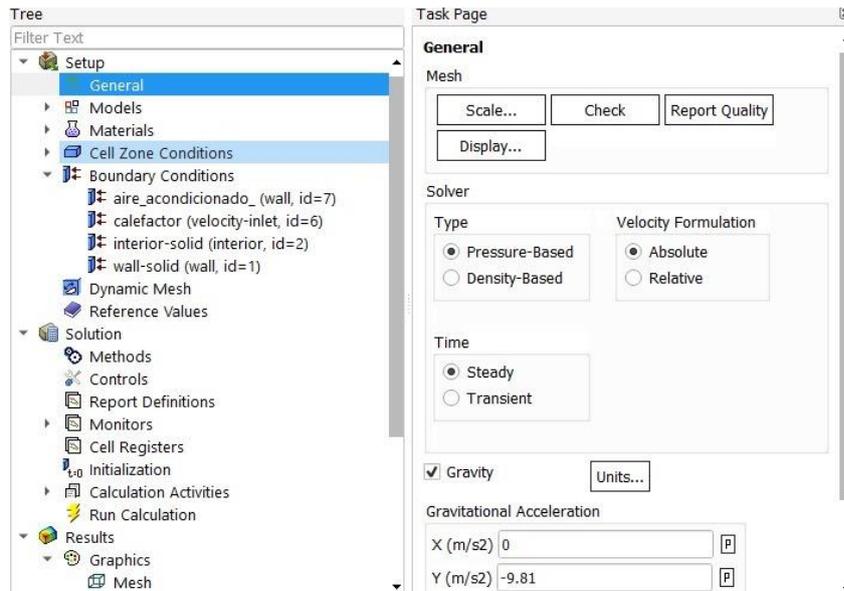


Figura 2-4: Condiciones de frontera.

Fuente: (ANSYS Workbench, 2019)

4.1.3 Post-proceso.

Se seleccionó las variables más relevantes a analizar con el fin de obtener la mayor información y definir los resultados de interés siendo estos:

4.1.3.1 Análisis de temperatura.

Este 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 los gráficos 3-4 y 4-4.

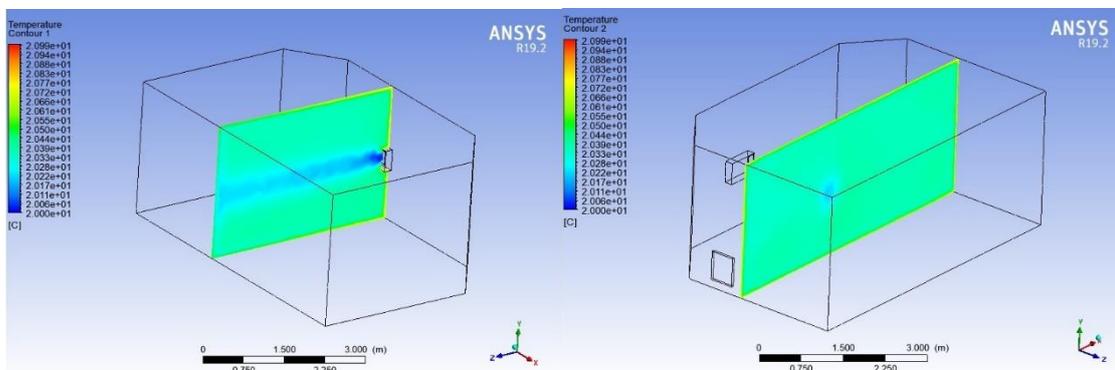


Gráfico 3-4: Distribución de temperatura debido al aire acondicionado.

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

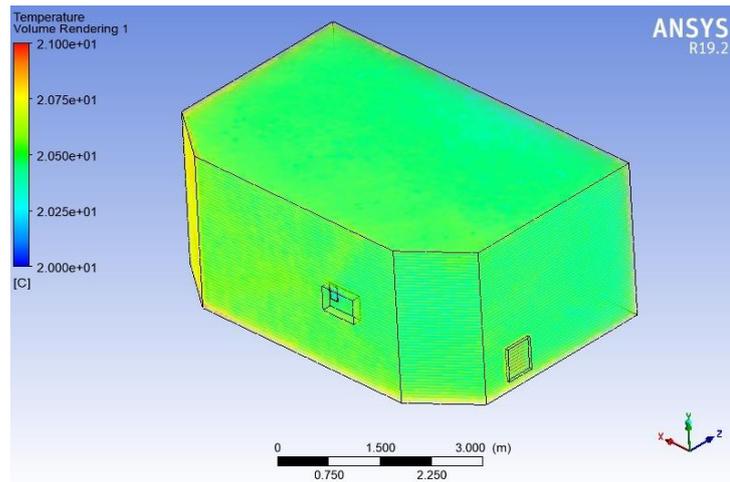


Gráfico 4-4: Distribución de volumen-temperatura debido al aire acond.

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

En los gráficos 5-4 y 6-4 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.

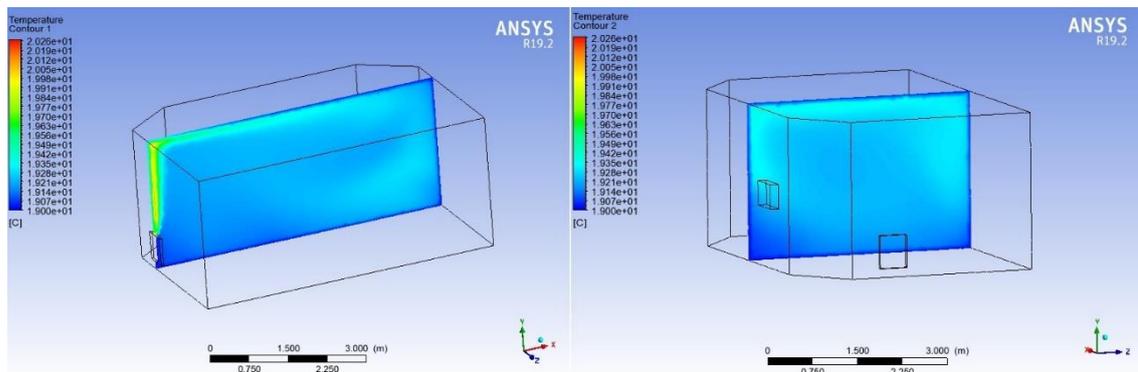


Gráfico 5-4: Distribución de temperatura debido al calefactor.

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

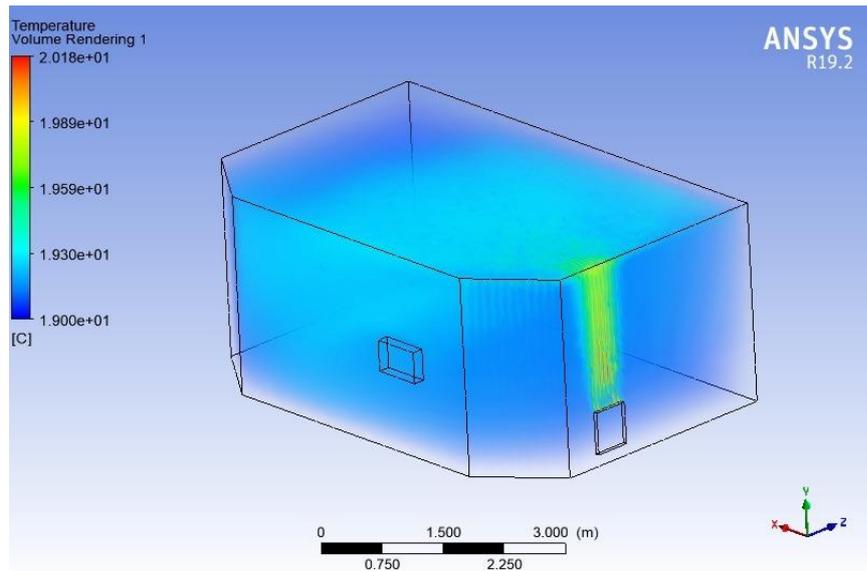


Gráfico 6-4: Distribución de volumen-temperatura debido al calefactor.

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

4.1.3.2 *Análisis de velocidad.*

El análisis de la velocidad del flujo de aire y la distribución que se tiene dentro de la bodega de laboratorio de metrología se observa en el gráfico 7-4, 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.

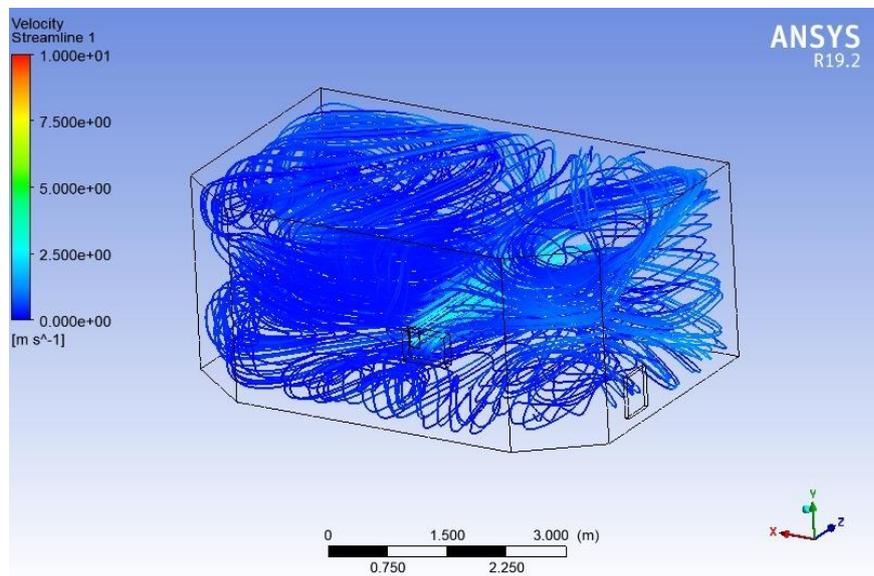


Gráfico 7-4: Distribución del flujo de aire debido al aire acondicionado.

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

Mediante el gráfico 8-4 se observa el análisis de velocidad del flujo 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.

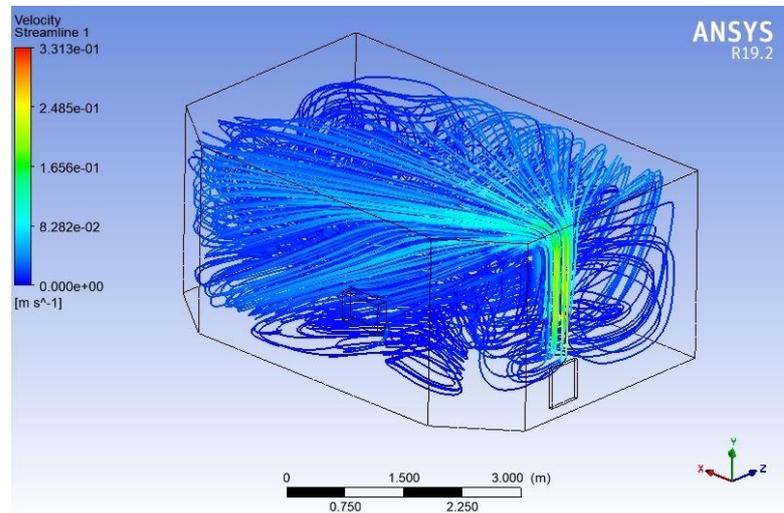


Gráfico 8-4: Distribución del flujo de aire debido al calefactor.

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

4.2 Análisis de resultados.

4.2.1 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.

4.2.1.1 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 los gráficos 9-4 hasta 18-4.

En los gráficos 9-4 hasta 12-4 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

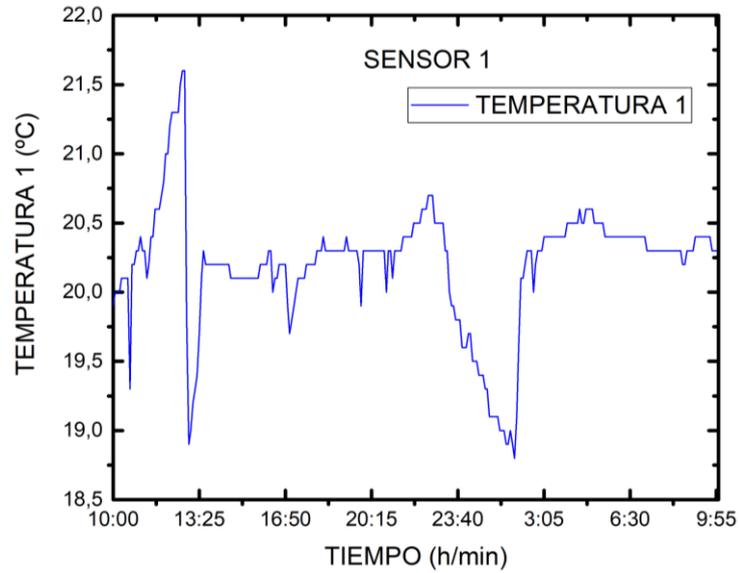


Gráfico 9-4: Datos de temperatura dados por el sensor 1.

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

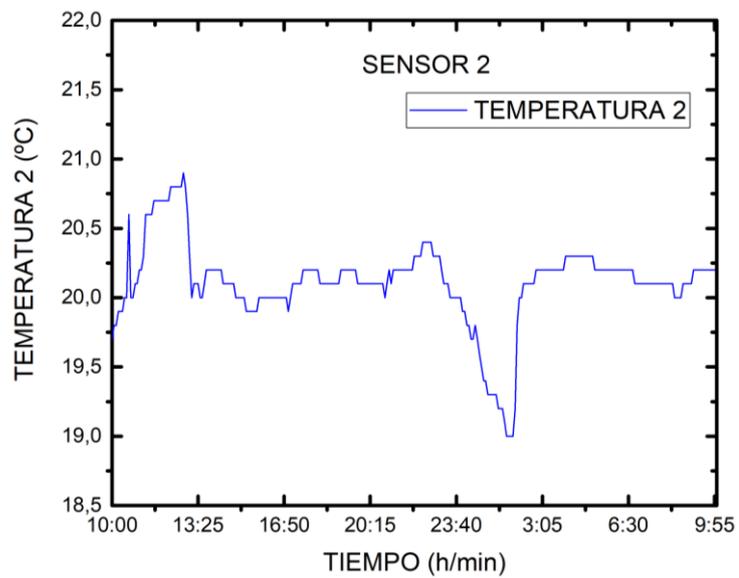


Gráfico 10-4: Datos de temperatura dados por el sensor 2.

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

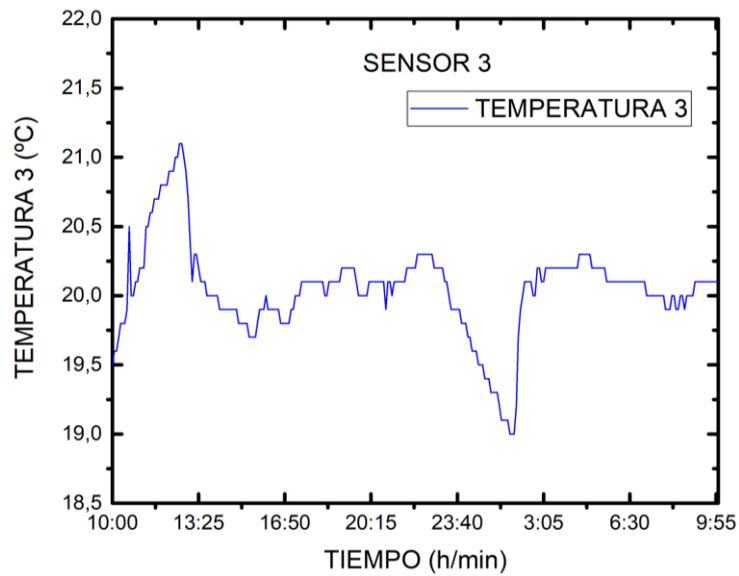


Gráfico 11-4: Datos de temperatura dados por el sensor 3.

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

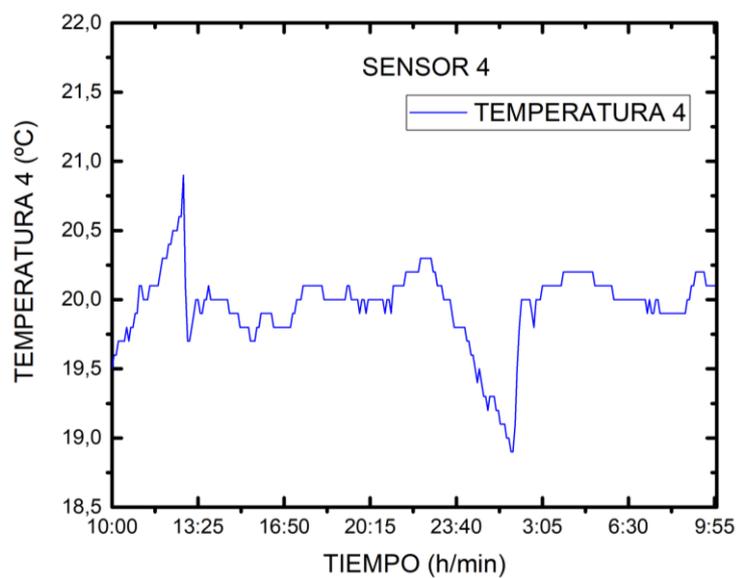


Gráfico 12-4: Datos de temperatura dados por el sensor 4.

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

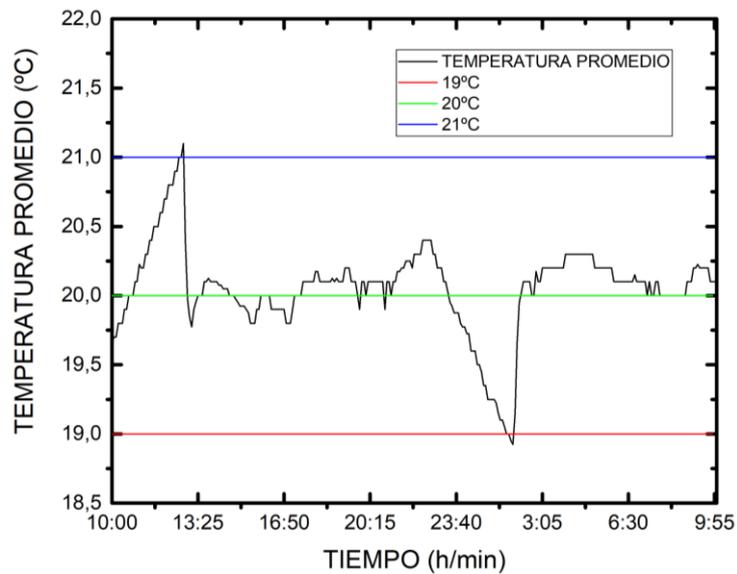


Gráfico 13-4: Datos de temperatura promedio entre los 4 sensores.

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

Se observa que los gráficos 9-4 hasta 12-4 muestran un patrón similar en el comportamiento de la temperatura comprobando así que la distribución del aire es uniforme en el espacio acondicionado. El gráfico 9-4 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.

El gráfico 13-4 indica el promedio de los cuatro sensores 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.

Los gráficos 14-4 hasta 18-4 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.

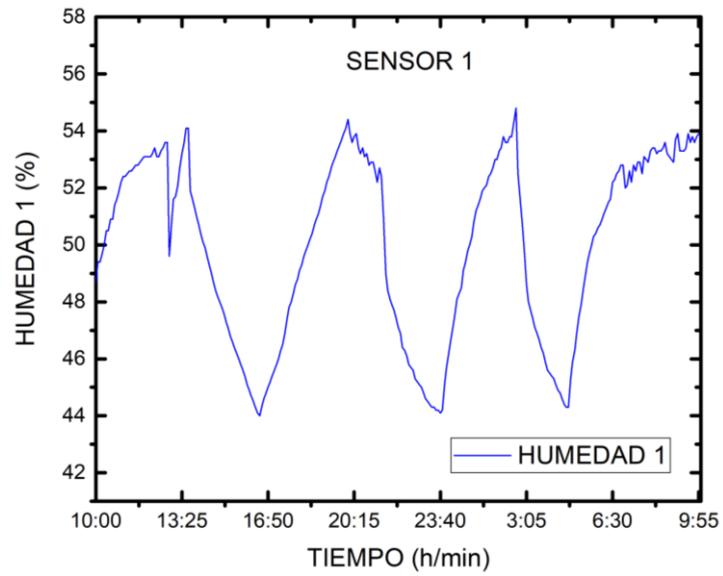


Gráfico 14-4: Datos de humedad dados por el sensor 1.

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

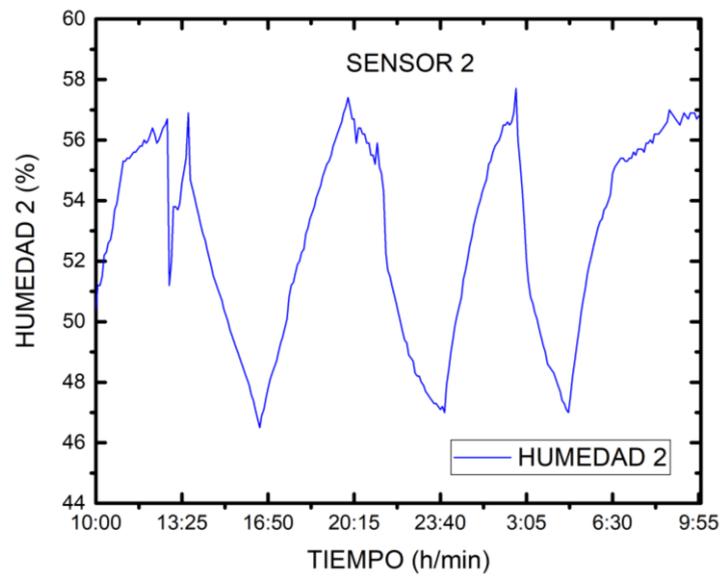


Gráfico 15-4: Datos de humedad dados por el sensor 2.

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

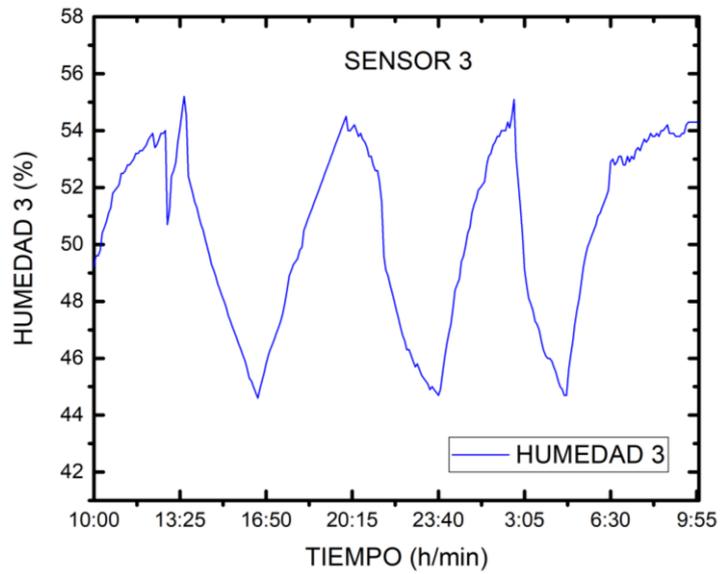


Gráfico 16-4: Datos de humedad dados por el sensor 3.

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

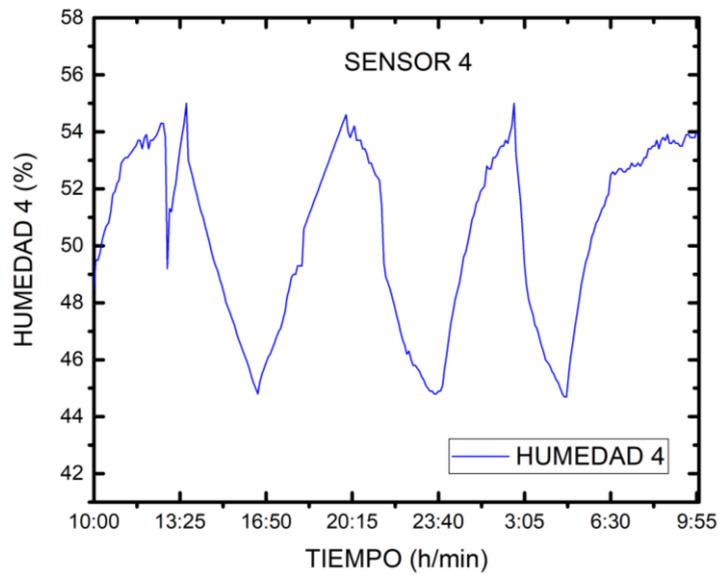


Gráfico 17-4: Datos de humedad dados por el sensor 4.

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

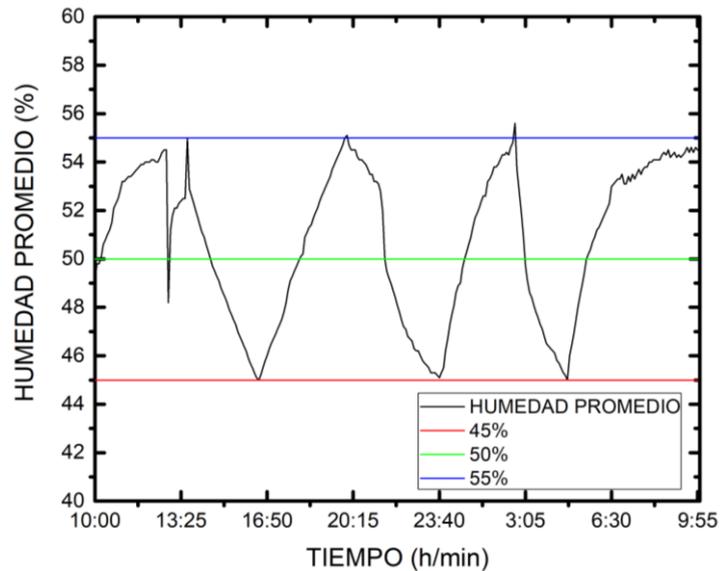


Gráfico 18-4: Datos de humedad promedio entre los 4 sensores.

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

Los gráficos 14-4 hasta 18-4 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 el gráfico 18-4 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.

4.2.1.2 *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.

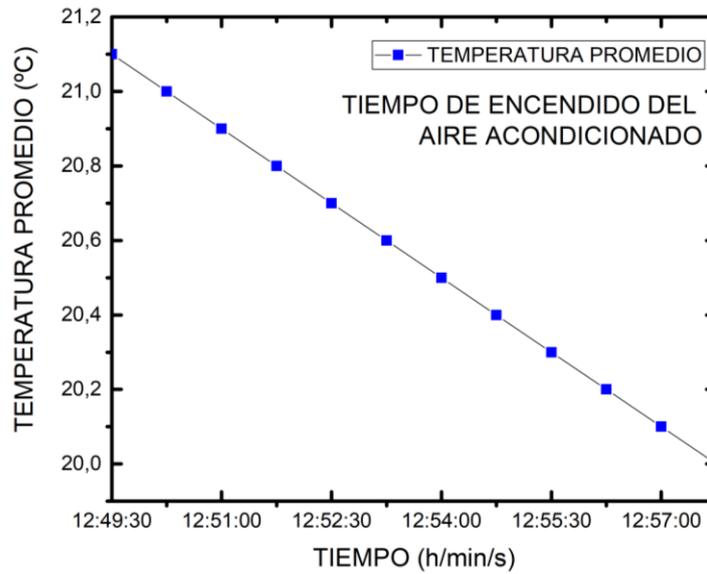


Gráfico 19-4: Tiempo de encendido del aire acondicionado.

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

El gráfico 19-4 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°C teniendo la siguiente función lineal $T = -0,1t + 21,1$ donde T es la temperatura [°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.

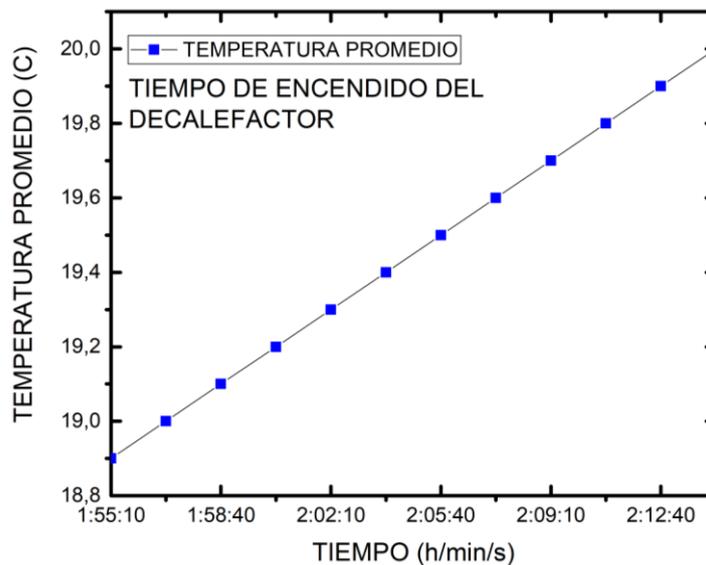


Gráfico 20-4: Tiempo de encendido del calefactor.

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

El gráfico 20-4 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°C teniendo la siguiente función lineal $T = 0,1t + 18,9$ donde T es la temperatura [°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.

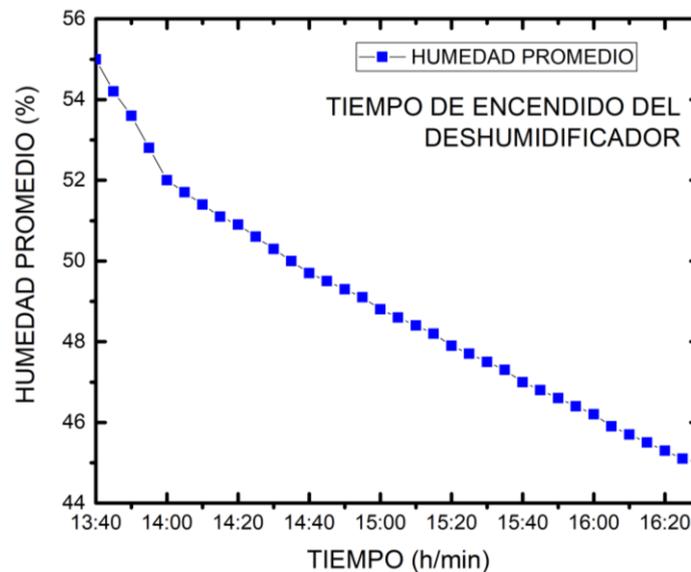


Gráfico 21-4: Tiempo de encendido del deshumidificador.

Realizado por: Ullauri, A.; Pineda, E. 2020

El gráfico 21-4 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 disminuye la humedad relativa 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 [%] y t es el tiempo [min]. El consumo del deshumidificador 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

Mediante el análisis de las condiciones ambientales en las que se encontraba la bodega del Laboratorio de Metrología se determinó que la temperatura y la humedad relativa estaban fuera de los rangos establecidos por la norma ISO/IEC 17025 por lo que fue necesario implementar un sistema que permita controlar las condiciones ambientales del laboratorio.

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 y selección de equipos y componentes electrónicos que permitan controlar las condiciones de temperatura $20 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ y humedad relativa $50 \pm 5\%$. Los equipos seleccionados para el control de temperatura es 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, los componentes electrónicos para la automatización del sistema son un PLC CLICK koyo C0-02DD2-D, una pantalla HMI kinco MT4434T-TE y cuatro sensores de humedad y temperatura RS485 modbus RTU.

La automatización del sistema se realizó por medio de un lenguaje de programación Ladder en el software Click Koyo compatible con el PLC CLICK Koyo C0-02DD2-D el cual ejecuta las instrucciones del algoritmo de programación encendiendo y apagando los equipos de control al identificar que las condiciones ambientales se encuentran fuera de los rangos establecidos.

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 $21 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta los $20 \text{ }^\circ\text{C}$ y el segundo caso es mediante el calefactor que calienta la bodega cuando la temperatura es menor a $19 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta los $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 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.

La instalación de la cortina de aire innovair modelo ACS36i-2 al ingreso de la bodega del Laboratorio de Metrología impide el intercambio de calor que existe entre el laboratorio y la

bodega al abrir la puerta, así mismo el aislamiento thermolon colocado en la ventana permite 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

Se pudo observar que la presencia de tres personas en la bodega del laboratorio no afecta las condiciones ambientales, pero a partir de cinco o más personas tanto la temperatura como la humedad relativa empiezan aumentar provocando que los equipos se enciendan hasta estabilizar nuevamente las condiciones temperatura y humedad relativa.

RECOMENDACIONES

Es recomendable implementar sistemas similares en los demás laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica con el fin de que los ensayos realizados brinden resultados más confiables y precisos.

Se propone implementar una cabina de ambiente controlado para los bloques de calibración ya que estos requieren de condiciones más estrictas temperatura $20 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa $50 \pm 2\%$.

Es necesario realizar el mantenimiento del sistema de ambiente controlado que se especifica en el anexo L con el objetivo de alargar la vida útil del sistema y mantener en condiciones idóneas para un buen funcionamiento.

Las condiciones ambientales se ven afectadas con la presencia de más de cinco personas dentro de la bodega del laboratorio ya que la temperatura y humedad relativa empiezan a subir por ello se recomienda que el máximo de personas sea cinco, con el propósito de no forzar el sistema.

Ante eventos como cortes de energía eléctrica se recomienda verificar que el sistema se encuentre encendido caso contrario pulsar el botón de encendido.

GLOSARIO

Cámara climatizada: 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 (Alzate y Guerrero 2018).

Metrología: Es la ciencia de la medición que comprende las determinaciones teóricas y experimentales, refiriéndose a las mediciones, a cualquier nivel incertidumbre en cualquier campo de la ciencia y tecnología. Tiene por objeto obtener y expresar el valor de las magnitudes utilizando el método e instrumento apropiado. Entre las características más importantes de la metrología se tiene el resultado de la medición y la incertidumbre de la medida (Escamilla 2015; Alzate y Guerrero 2018).

Temperatura: La temperatura es considerada una magnitud escalar definida por la ley cero de la termodinámica, y que se relaciona con la energía interna de un sistema termodinámico. A medida que haya mayor movimiento de átomos y moléculas la energía interna cambia por lo que nuestra percepción de lo frío o caliente es debido a la variación de la rapidez con que se efectúan esos cambios (Cengel y Boles 2011).

Humedad relativa: La humedad relativa es la cantidad de humedad que se encuentra en el aire, es decir el porcentaje de humedad que puede contener el aire al comparar con la capacidad máxima que el aire puede retener de humedad, cuando el aire se enfría o cuando se agrega vapor de agua al aire la humedad relativa aumenta (Díaz y Barreneche 2005).

Aire acondicionado: Es un sistema electrónico eficiente que permite controlar la temperatura de cierto espacio cerrado, entre sus ventajas se tiene: control de temperatura, eliminación de la humedad del aire, control de la circulación y limpieza del aire. La principal característica de un aire acondicionado es proporcionar un buen confort permitiendo la circulación del aire uniformemente sin tener cambios bruscos de temperatura o corrientes de aire incómodas (Colocho, Daza y Guzmán 2011).

Calefactor: Es un equipo de calefacción que emite calor con el fin de calentar el ambiente de un recinto cerrado, generalmente está conformado por una resistencia eléctrica que produce calor a partir de la energía eléctrica, un radiador y ventilador que permiten una buena circulación del aire. La principal función del calefactor es elevar la temperatura del aire de una habitación. Son

seguros, cómodos y fáciles de instalar, no tienen salida de humo, combustible, ni tampoco emiten gases, el único inconveniente es el gasto energético que presentan (ECYT-AR 2013).

Deshumidificador: Es un equipo de climatización cuyo objetivo principal es 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 (González 2017).

Sensor de humedad: Es un dispositivo que se utiliza para detectar la humedad presente en el aire en un lugar cerrado. Es muy utilizado en la industria de la ventilación, climatización y calefacción, además de 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, donde un material semiconductor se encarga de determinar con precisión el valor de humedad que corresponde a la señal emitida (Siber 2016).

Sensor de temperatura: La temperatura es una medida termodinámica que caracteriza el calor presente en un sistema. Por lo tanto, el sensor de temperatura es un dispositivo electrónico que permitirá medir la cantidad de calor presente en un ambiente determinado (Alzate, Montes y Silva 2007).

Control automático: El control automático permite registrar variables presentes en un proceso como presión, humedad, temperatura, caudal, entre otros, obteniendo así los valores de cada variable para poder compararlos con los datos establecidos previamente alcanzando un buen funcionamiento de los equipos (Pazmiño 2017).

PLC: Un PLC (controlador lógico programable), es un dispositivo electrónico que utiliza una memoria programable donde se almacena las instrucciones para la implementación de funciones específicas entre ellas lógica programable, acciones secuenciales, registro y control de tiempos, contador y operaciones aritméticas para controlar mediante módulos de entrada/salida analógicos (1-5 VDC, 4-20 mA) y digitales (ON/OFF) sobre diversos tipos de procesos y maquinas industriales (Lifelong 2011).

HMI: Un HMI (Interfaz Humano Máquina) es el medio de interacción hombre-máquina para controlar procesos, ya que permite mostrar al usuario 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 (Ruiz, Inche y Chung 2014).

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, C. & 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>.

ALZATE, E., MONTES, J. & SILVA, C., (2007). Medición de temperatura: sensores termoeléctricos. , no. 34, pp. 1-6.

ALZATE, O. & GUERRERO, J., (2018). Diseño e implementación de un prototipo de control de humedad relativa para una cámara existente en el laboratorio de metrología de variables eléctricas de la Universidad Tecnológica de Pereira [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/9996>.

ARNABAT, I., (2020). Glosario de términos industriales sobre climatización y refrigeración. [en línea]. Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjtnrClSbLtAhVqrlkKHVTyC7IQFjABegQIBRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.aloryfrio.com%2Faire-acondicionado%2FGlosario-terminos-industriales-climatizacion-refrigeracion.html&usg>.

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>.

AYALA, J., (2018). Todo sobre aire acondicionado. [en línea]. Disponible en: <https://www.frikko.com/noticias/aire-acondicionado/>.

BARBOSA, S. & 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>.

BENAVIDES, P. & 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.

CALEFACCIÓN, S., (2020). Calefactores eléctricos. [en línea]. Disponible en: <https://www.sistemasdecalefaccion.com/interiores/>.

CALUÑA, G. & 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>.

CARRIER, A.C.C., (1980). Manual de aire acondicionado. S.l.: s.n.

CARRILLO, A., (2011). Sistemas Automáticos de Control Fundamentos Básicos de Análisis y Modelado [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: http://150.185.9.18/fondo_editorial/images/PDF/CUPUL/SISTEMA DE CONTROL 1.pdf.

CARRIÓN, D. & 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>.

CAVAÑATE, A., (2016). Diseño de modelo para la implantación en laboratorios de ensayo y medición en entornos industriales de la norma UNE-EN ISO IEC 17025 : 2005. S.l.: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA Escuela.

CENGEL, Y. y BOLES, M., 2011. Termodinámica. S.l.: s.n.

COLOCHO, N., DAZA, P. & GUZMÁN, M., (2011). Manual de aire acondicionando. [en línea]. Disponible en: http://aducarte.weebly.com/uploads/5/1/2/7/5127290/manual_de_aire_acondicionado.pdf?fbclid=IwAR0x6Z1N1HboGS62V2v3D40VvQqi8LWCMeviWeHA6UJfnskkgAGKN-AQ2ys.

CONTROLTECNICA, (2019). Cámaras visitáveis de Estabilidade. [en línea]. Disponible en: <https://www.cts-clima.com/pt/ensaios-climaticos/camaras-visitaveis-de-estabilidade.html>.

CTIN, (2013). CTIN. [en línea]. Disponible en: <http://www.ctinmx.com/que-es-un-plc/>.

DEAC, (2019). INFORME FINAL PROCESO DE AUTOEVALUACIÓN DE CARRERAS - JUNIO 2019.

DÍAZ, V. & BARRENECHE, R., (2005). Acondicionamiento térmico de edificios [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=1seWJIPCfO4C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>.

ECYT-AR, (2013). Calefactor principio de funcionamiento. [en línea]. Disponible en: https://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/Principio_de_funcionamiento.

ESCAMILLA, A., (2015). Metrología: y sus aplicaciones [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=YtJUCwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=metrologia+&ots=rVY_Zz3onh&sig=ElfdzA14zW5BfkeEUazP22PymGg&redir_esc=y#v=onepage&q=metrologia&f=false.

GIUDICE, C. & PEREYRA, A., (2009). Control de calidad de películas de pinturas. [en línea]. S.l.: Disponible en: <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/protecmat/calidad.pdf>.

GONZALEZ, D., (2017). Qué es un deshumidificador. [en línea]. Disponible en: <https://www.euronics.es/blog/que-es-un-deshumidificador-para-que-sirve-y-cuando-usarlo/>.

INDOCAL, I.D. para la calidad, (2019). Concepto Clasificación INDOCAL. [en línea]. Disponible en: <https://www.indocal.gob.do/areas-tecnicas/metrologia/concepto-y-clasificacion/>.

INDUSTRY, D., (2020). Cámara de pruebas de temperatura. [en línea]. Disponible en: https://www.directindustry.es/prod/weiss-technik/product-311442314329.html?fbclid=IwAR06I0ppoS9UC5pQJrguXNP_xZYX-MkPU7xIYHn7Sin9jw62oMrIjy__q-Q.

INGELCOM, (2018). Paneles básicos SIMATIC HMI. [en línea]. Disponible en: <https://www.ingelcom.com.ec/blog/blog-1/post/paneles-basicos-simatic-hmi-25>.

INNOVAIR, (2012). Cortina de aire Innovair. [en línea]. Disponible en: <https://www.innovair.com/product/cortina-de-airespanish/?lang=es&fbclid=IwAR31KOP8wLnFGHbmkI3quOZirPiJY-RouEcHW0iR1pjmMFlcSk6zGZVnDPA>.

ISO/IEC17025, (2017). NTE INEN-ISO/IEC17025.

KINCO, (2020). HMI software - kinco. [en línea]. Disponible en: <https://en.kinco.cn/page/Introduction.html>.

KOYO, (2020). PLCs Koyo. [en línea]. Disponible en: <https://www.koyoele.co.jp/en/product/plc/>.

LASSILA, A., KARI, M., KOIVULA, H., KOIVULA, U., KORTSTRÖM, J., LEINONEN, E., MANNINEN, J., MANSSILA, J., MANSTEN, T., MERILÄINEN, T., MUTTILAINEN, J., NISSILÄ, J., NYBLOM, R., RISKI, K., SARILO, J. & 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.

LEWIS, A.J., CAMPBELL, M. & 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.

LIFELONG, L., (2011). Controladores Lógicos Programables. [en línea]. Disponible en: http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf.

MANUALSLIB, (2012). Soleus Air HCT-D30-A Operating Instructions Manual.

MAPS, G., (2020). ESPOCH Riobamba. [en línea]. Disponible en: <https://www.google.com.ec/maps/place/1°39'30.6%22S+78°40'35.8%22W/@-1.6587242,-78.6771197,19z/data=!4m6!3m5!1s0x91d307ebcd0303a1:0x5bc8b36ca991695f!7e2!8m2!3d-1.6584837!4d-78.6765926>.

MARCANO, A., CARTAYA, S., PACHECO, H. & MÉNDEZ, W., (2015). Estimación de pesos ponderados de variables para generar mapas de susceptibilidad a movimientos en masa a través de la Evaluación Espacial Multicriterios. [en línea], vol. 31, no. 50, pp. 25. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1012-70892015000200004.

MECAFENIX, I., (2018). Qué es y para que sirve un PLC. [en línea]. Disponible en: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/que-es-un-plc/>.

NEURTEK, (2018). Cámaras Climáticas para Automoción, Electrónica y Aeroespacial. [en línea]. Disponible en: https://www.neurtek.com/es/ensayos-ambientales/industriales?fbclid=IwAR3u3guqDh2p0XDcTTR4D2y_BrTBK7FUUmW74D8FLWvXeTAnAj6bqP5EcIk.

OCU, (2020). Calefactores eléctricos. [en línea]. Disponible en: <https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/calefaccion/informe/pros-y-contras-de-los-calefactores>.

OMEGA, (2003). Sensor de temperatura. [en línea]. Disponible en: <https://es.omega.com/prodinfo/medicion-temperatura.html>.

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>.

PIÑEIRO, M., (2000). Metrología [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=9ebXd5nzyKAC&oi=fnd&pg=PA14&dq=metrologia+&ots=asKXxKDcaL&sig=VTbU3zX27xsCf1tZ1suzYqc5n5w&redir_esc=y#v=onepage&q=metrologia&f=false.

REFRIGERAACION, M., (2018). Tipos de aires acondicionados. [en línea]. Disponible en: https://molinerorefrigeracion.com/2018/08/05/tipos-de-aires-acondicionados/?fbclid=IwAR1gdg3V-qrsB_Cy1JYZyV0KksGTog639YDLWK7Xrp25E5yyNeN5QtNGOjQ.

RESTREPO, J., (2015). Metrología aseguramiento metrológico industrial [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=jH_Cmv0R7V8C&pg=PA27&dq=condiciones+ambientales+para+laboratorios+de+metrologia&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi1ove779fsAhWx2FkKH RUZApIQ6AEwAnoECAUQAg#v=onepage&q=condiciones ambientales para laboratorios de metrologia&f=false.

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-RouEchHW0iR1pjmMFlcSk6zGZVnDPA>.

RUIZ, E., INCHE, J. & CHUNG, A., (2014). Desarrollo de una interfaz hombre máquina orientada al control de procesos. [en línea], Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/307180599_Desarrollo_de_una_interfaz_hombre_maquina_orientada_al_control_de_procesos/link/0deec534c4172e19fd000000/download.

SAMSUNG, (2010). Aire de ventana/Soporte Samsung. [en línea]. Disponible en: <https://www.samsung.com/latin/support/model/AW12PKBCXVN/?fbclid=IwAR1VFbAEQZC-vnGg2RWmkuoU0ykFv3Y1nDKB3edFsnTorApW3qWecropDss>.

SÁNCHEZ, J., (2009). Psicometría. [en línea]. Disponible en: <https://termoaplicadaunefm.files.wordpress.com/2009/05/tema-v-psicometre3ada1.pdf?fbclid=IwAR3hEZ8z2f1LVowKSgdO0UonqIU8hC6Yz9V8GczeBEn60AwLNMVSM3bTOus>.

SÁNCHEZ, S. y GÓMEZ, M., (2019). Metrología dimensional: Resumen de teoría y problemas resueltos [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=BYuXDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>.

SIBER, V., (2016). Funcionamiento de un sensor de humedad. [en línea]. Disponible en: <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/el-funcionamiento-de-un-sensor-de-humedad-usos-frecuentes/>.

YASHCHUK, V. V., ARTEMIEV, N.A., LACEY, I., MCKINNEY, W.R. & 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.