

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

**CONSTRUCCIÓN DE UNA MAQUETA DE CALEFACCIÓN CON
ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**

COMPONENTE MECÁNICO

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO SUPERIOR
EN ELECTROMECÁNICA**

ANDRÉS STEVEN COLOMA GÓMEZ

DIRECTOR: ING. ABRAHAM ISMAEL LOJA ROMERO, MSC.

DMQ, Enero 2021

CERTIFICACIONES

Yo, ANDRÉS STEVEN COLOMA GÓMEZ declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



Andrés Steven Coloma Gómez

andres.coloma@epn.edu.ec

andy33_96@hotmail.com

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por ANDRES STEVEN COLOMA GÓMEZ, bajo mi supervisión.

Abraham Ismael Loja Romero

DIRECTOR

abraham.loja@epn.edu.ec

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmo que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el producto resultante del mismo, es público y estará a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

ANDRÉS STEVEN COLOMA GÓMEZ

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a mis padres debido a que ellos me han apoyado desde que comencé a estudiar, me han dado todo lo que han podido.

A mi hermano, que me ha ayudado y apoyado en la carrera, además de compartirme sus conocimientos.

A mi hermana, que siempre ha estado conmigo, apoyándome en mis decisiones.

A mis tías Renata, Pilar y Yolanda, que siempre me han demostrado mucho cariño.

A mis amigos y familiares en general, que siempre han estado apoyando en mis estudios.

A mis profesores de la carrera y Universidad, que me han entregado sus conocimientos desde que comencé a estudiar.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios, por haberme dado la vida, el conocimiento y todo el resto de las bendiciones entregadas.

A mis padres porque me dieron la oportunidad de estudiar en la mejor Universidad del país, y siempre me han apoyado para que pueda alcanzar todas mis metas.

A mis hermanos que siempre han estado apoyándome, aconsejándome y ayudándome en las diferentes etapas de mi vida. A mis abuelos y abuelas por haberme dado las personas más importantes de mi vida. A mis tías, por haber soportado las travesuras de mi niñez.

A todos los ingenieros desde el prepo hasta el último semestre que me dieron clases y me impartieron sus conocimientos. También agradezco al ingeniero Abraham Loja por haberme ayudado y guiado mientras realizaba el trabajo de titulación, además, agradezco todos sus consejos.

Y por último a mis amigos en general por haber compartido momentos inolvidables.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT	VIII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo General.....	2
1.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Alcance.....	2
1.4 Marco teórico.....	2
Calefacción.....	2
Cálculo de cargas de calefacción	3
Controlador digital para refrigeración MT-512Ri.....	3
Cámara Térmica marca FLIR.....	3
Documentos requeridos en este proyecto.....	3
2 METODOLOGÍA.....	4
3 RESULTADOS	5
3.1 Construcción de la maqueta a escala 1:20 de una vivienda del caso de estudio. 5	
3.2 Diseño del sistema de calefacción.....	6
3.3 Implementación del sistema de calefacción.....	14
3.4 Pruebas y Análisis de Resultados.....	20
Prueba de estado crítico	22
Prueba de temperatura constante.....	24
4 Conclusiones	27
5 Recomendaciones	28

6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30
7	ANEXOS.....	¡Error! Marcador no definido.
	Anexo I. Reporte de Similitud Generado por Turnitin	¡Error! Marcador no definido.
	Anexo II. Certificado de Funcionamiento de Trabajo de Integración curricular	¡Error! Marcador no definido.
	Anexo III. Planos estructurales de la maqueta	¡Error! Marcador no definido.
	Anexo IV. Código arduino [5]	¡Error! Marcador no definido.
	Anexo V. Imágenes pruebas de funcionamiento	¡Error! Marcador no definido.

RESUMEN

En este proyecto se realizó un sistema de calefacción y de humidificación, los cuales son controlados a través de un módulo Arduino, además, son accionados con un sistema de energía solar fotovoltaica.

Para el diseño del sistema de calefacción, se lo desarrolló mediante el análisis de cargas térmicas en estado estable y en estado crítico. En cambio, para el sistema de humidificación, se lo desarrolló mediante el uso de la humedad relativa existente en el aire, tanto para el estado estable como para el estado crítico.

El estado estable existe cuando la temperatura se encuentra en el rango de histéresis, es decir, cuando se mantiene la temperatura; en cambio, el estado crítico existe cuando se parte desde la temperatura crítica hasta la temperatura de confort.

El módulo Arduino es el encargado de accionar el calefactor en el instante que el sensor detecte una temperatura que baje de la banda de histéresis, en cambio el humidificador de igual manera que el calefactor se enciende cuando el sensor detecte una humedad debajo de la banda de histéresis.

Para finalizar, se realizó una maqueta a escala 1:20, de una vivienda rural pequeña, en donde fueron colocados los sistemas de calefacción y humidificación; además, se realizó una estructura metálica, en donde se colocó el sistema solar fotovoltaico, el sistema de control y la maqueta.

PALABRAS CLAVE: Calefacción, Humidificación, Fotovoltaico, Crítico, Confort, Histéresis.

ABSTRACT

In this project, a heating and humidification system was made, which are controlled through an Arduino module, in addition, they are powered by photovoltaic solar energy system.

For the design of the heating system, it was developed through the analysis of thermal loads in stable state and critical state. However, for the humidification system, it was developed using the relative humidity of the air, for both stable state and the critical state.

The stable state is when the temperature must be in the hysteresis range, that is, when the temperature is maintained, on the other hand, the critical state is when you must go from the critical temperature to the comfort temperature.

The Arduino module activates the heater as soon as the sensor detects a temperature that falls below the hysteresis band, on the other hand, the humidifier, in the same way that the heater turns on when the sensor detects a humidity below the hysteresis band.

Finally, a 1:20 scale model of a small rural house was made, where the heating and humidification systems were placed; in addition, a metallic structure was made, where the photovoltaic solar, the control systems and the model were placed.

KEYWORDS: Heating, Humidification, Photovoltaic, Critical, Comfort, Hysteresis.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

El Laboratorio de Tecnología Industrial de la ESFOT no cuenta con una maqueta a escala de un sistema de calefacción, que ayude a comprender de mejor manera el análisis de cargas térmicas que hay en una vivienda a escala real, además, que se realice la medición y control de temperatura y humedad.

Se realizó una maqueta a escala con un sistema de calefacción, que permite a los estudiantes de la ESFOT establecer y reconocer de mejor manera las diferentes cargas térmicas que influyen en un proceso de calefacción, así como de verificar si en dicho proceso las condiciones de confort térmico son las más adecuadas; tomando en cuenta la temperatura interior y el porcentaje de humedad.

Esto ayuda a reforzar la parte teórica con la parte práctica, además, los estudiantes reconocen el funcionamiento de cada instrumento y los problemas que se les puede presentar en su vida profesional al ejercer la carrera.

El calefactor seleccionado fue una niquelina y un disipador del extrusor de una impresora 3D, la razón de porque se seleccionó este dispositivo, es debido a que tiene una potencia similar a la calculada en el dimensionamiento del sistema de calefacción.

A continuación, se realizó un sistema de control mediante el uso de un Arduino y de su programación, el cual se le conectó sensores de presión, temperatura y humedad, módulos relé, los cuales accionan al calefactor, humidificador y ventilador.

Para finalizar, a la maqueta se la colocó en un cámara frigorífica, se esperó un tiempo de 30 minutos hasta que se adapte a la temperatura de la cámara. Después se comprobó el funcionamiento del sistema mediante las pruebas de estado crítico y de temperatura constante.

En la prueba de estado crítico, se observó el comportamiento del sistema de calefacción, el cual pasó desde una temperatura crítica del ambiente de 11 °C a la temperatura de confort de 22 °C, y el tiempo aproximado de demora fue de 21 minutos; el cual es correcto debido a que el tiempo del diseño escogido fue de 20 minutos.

Por otra parte, en la prueba de temperatura constante, se observó el comportamiento del sistema cuando se mantiene la temperatura, además, se vio en el sensor de batería la potencia consumida del proceso, la cual entre todas la pruebas dio de 36 vatios.

1.1 Objetivo General

Construir una maqueta de calefacción con energía solar fotovoltaica.

1.2 Objetivos Específicos

1. Construir una maqueta a escala 1:20 de una vivienda del caso de estudio.
2. Diseñar el sistema de calefacción.
3. Implementar el sistema de calefacción.
4. Probar el funcionamiento del sistema de calefacción.

1.3 Alcance

Con el desarrollo de este proyecto, se realizó una maqueta con calefacción y un sistema fotovoltaico aislado, el cual tiene la finalidad de regular y mantener la temperatura de la maqueta, una vez realizadas las pruebas, la maqueta permanecerá en el laboratorio de Energías Renovables de la ESFOT y será utilizada por los futuros estudiantes de la ESFOT, en donde realizarán prácticas de laboratorio de la materia de Energías Renovables y Eficiencia Energética para aplicar los conocimientos teóricos con la práctica y afianzar los mismos y aprender cómo funcionan los paneles solares, sistemas fotovoltaicos, de calefacción y humidificación.

Adicionalmente en un futuro, esta maqueta es aplicable a escala real, sea a nivel doméstico o industrial, en donde se requiera mantener una temperatura constante y condiciones de confort establecidas, en las que se dificulte mantener dichas condiciones por las características del entorno, con la posibilidad de invertir en este sistema que les traería beneficios a largo plazo, ya que contarán con un sistema amigable con el medio ambiente y que represente un ahorro de dinero y recursos para ellos.

1.4 Marco teórico

Calefacción

La calefacción es energía térmica la cual se suministra al interior de un edificio, y así mantener las condiciones de confort deseadas. [1]

Cálculo de cargas de calefacción

El cálculo de las cargas de calefacción se las realiza con el estado crítico, es decir, cuando existe temperatura ambiental mínima y constante, presencia mínima de personas, luces y dispositivos eléctricos como motores. [2]

Controlador digital para refrigeración MT-512R/

Este dispositivo controla e indica el valor de temperatura, el cual contiene un temporizador cíclico conjugado; además, controla la refrigeración y deshilos por pausa del compresor. [3]

Cámara Térmica marca FLIR

La cámara térmica se la utiliza para observar o verificar los diferentes espacios de una construcción, de una instalación eléctrica o de climatización. Esta cámara es muy útil en las instalaciones eléctricas debido a que se detecta dispositivos calientes. [4]

Documentos requeridos en este proyecto

Tesis (DISEÑO DE UN HIGRÓMETRO DIGITAL PARA ALTITUDES DE 3000 METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR de Luciano Albuja y Carlos Almeida)

Para realizar el código de Arduino se basó en el código realizado por los autores mencionados, ya que se requirieron algunas ecuaciones, las cuales corrigen los valores de temperatura de bulbo húmedo y humedad relativa, los cuales se muestran en la pantalla LCD. [5]

Tesis (DISEÑO DE UN SISTEMA SOSTENIBLE DE CALEFACCIÓN PARA UNA VIVIENDA MEDIANTE ENERGÍA DE BIOMASA de Antonio José Castelló Román)

El diseño de calefacción del proyecto se basó de esta tesis, debido a que algunas fórmulas de este diseño fueron necesarias para el diseño. [6]

2 METODOLOGÍA

Se obtuvieron los planos de la vivienda ubicada en la parroquia de San Bartolomé de Pinillo, Provincia de Tungurahua, se desarrollaron dichos planos en el programa AutoCAD, y se construyó una maqueta a escala de 1:20, en donde se implementó los instrumentos de medición, el control de variables físicas y el sistema de calefacción.

Cabe recalcar que la maqueta a escala del caso de estudio se ubica en la ciudad de Quito, debido a que será una guía didáctica para los estudiantes de la ESFOT.

En el instante que se inició con el diseño de calefacción fue necesario revisar históricos de la temperatura más crítica que se ha presentado en la ciudad de Quito (GAD parroquial Quito) [7], con base en la temperatura tomada se procedió a evaluar la temperatura de confort térmico acorde a la NORMA ISO-7730 [8], que establece como mínimo una temperatura de 22°C en donde la mente expresa satisfacción con el ambiente en el cual el usuario se encuentra situado.

De acuerdo con la temperatura tomada como crítica, se procedió a realizar el análisis de cargas térmicas que conlleva a evaluar todos los agentes externos que influyen en el acondicionamiento y pérdida de calor dentro de la vivienda, esto a causa de factores de transferencia de calor ocasionados por agentes físicos y estructurales.

Además, fue necesario conocer la humedad relativa de Quito, ya que la misma afecta a las condiciones de confort térmico, siendo este una de las principales condiciones para la obtención de un ambiente satisfactorio.

Para finalizar con el dimensionamiento, se calcularon las cargas térmicas por conducción, y filtración en vatios. Con esta potencia calculada se procedió a escoger el calefactor que satisface dichas necesidades. Además, se implementó un sistema de sensores, los cuales fueron los encargados de medir la temperatura y la humedad del espacio acondicionado.

Un módulo Arduino fue el encargado de controlar el sistema de calefacción u humidificación en lazo cerrado, de accionamiento ON/OFF con Histéresis, además, se estableció un rango de temperatura y humedad para el funcionamiento de dicho sistema.

Para finalizar, se procedió a verificar el funcionamiento de los sistemas de calefacción y de control.

3 RESULTADOS

Se implementó un sistema de calefacción para una maqueta de una vivienda pequeña, con un sistema de control que permitió mantener la temperatura en un rango de confort térmico. A continuación, se detalla todos los pasos del dimensionamiento e implementación del sistema de calefacción y humidificación.

3.1 Construcción de la maqueta a escala 1:20 de una vivienda del caso de estudio.

Una vez que se realizaron las mediciones de la vivienda ubicada en la parroquia de San Bartolomé de Pinllo, Provincia de Tungurahua, se procedió a realizar los planos en el software de diseño AutoCAD, con sus respectivas dimensiones y acabados. Ver Anexo 3.

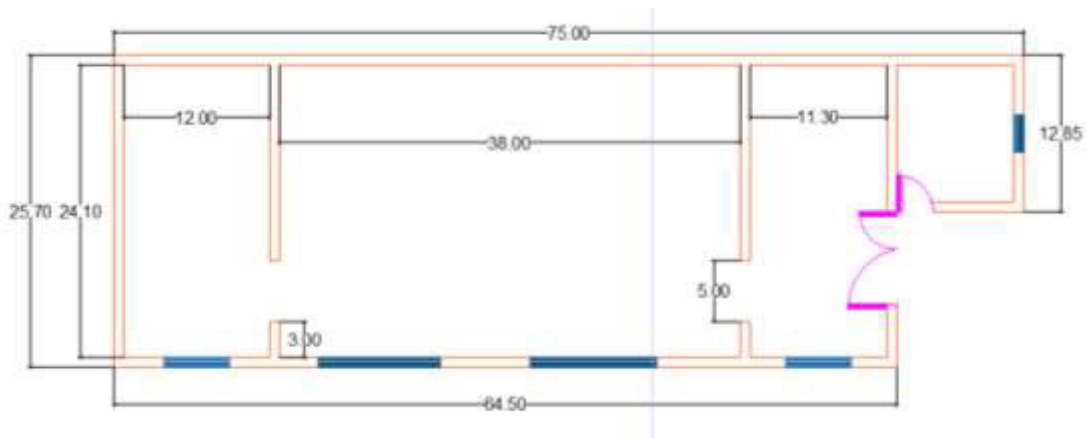


Figura 3-1 Plano de la maqueta

Después de realizar los planos, se procedió a comprar los materiales necesarios para la construcción de la maqueta, como se observa en la **Tabla 3-1**.

Tabla 3-1 Materiales utilizados [9]

Material	Cantidad
Bloques pequeños	1000
Vidrio de 800*700*3mm	5
Tabla de 1200*1000*5mm	2
Rejillas de los sistemas de ventilación	5
Alambre galvanizado número 18 según la norma NTE INEN 2201	1 libra

Los materiales mencionados en la **Tabla 3-1**, fueron utilizados en la construcción de la maqueta como se muestra en la **Figura 3-2**.



Figura 3-2 Materiales de construcción

A continuación, se procedió a construir las paredes externas, internas, ventanas, puertas y techo de la maqueta a escala de la casa del caso de estudio.



Figura 3-3 Maqueta a escala 1:20.

Una vez finalizada la maqueta, se procedió a diseñar e implementar el sistema de calefacción.

3.2 Diseño del sistema de calefacción

Como primer punto, para realizar el diseño de calefacción fue necesario conocer los datos climáticos de la ciudad de Quito como son: la presión, volumen específico del aire, temperatura crítica y velocidad del aire; los cuales se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 3-2 Datos climatológicos [7]

Variable	Valor	Unidad
Presión	71.91	kPa
Volumen específico	1.15	m ³ /kg _{aire}
Temperatura crítica	11	°C
Velocidad del aire	8	km/h

Basándose en la NORMA ISO-7730, la humedad relativa de un ambiente acondicionado debe ser del 46% al 76% HR (humedad relativa), en el caso de estudio se consideró una humedad relativa del 50%, y la temperatura de confort debe estar en el rango de 22°C a 24°C, por lo que se escogió una temperatura de confort de 22°C. [8]

Para el siguiente punto del diseño del sistema de calefacción, fue necesario conocer los factores estructurales, las características de la vivienda. El material con el cual está construida la vivienda permitió encontrar el coeficiente global de transferencia de calor; como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3-3 Coeficiente de transmisión de calor [10]

Coeficiente de transmisión de calor en	$U \left(\frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}} \right)$	$U \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right)$
Paredes	0.319	0.118
Techo	0.213	0.08
Puerta	0.49	0.18
Ventana	1.1	0.41

Además, fue necesario conocer las dimensiones y superficie en donde va a existir transferencia de calor. En la siguiente tabla se muestran estos valores:

Tabla 3-4 Dimensiones de estructuras externas

Número	Largo	Altura	Área
Pared			
1	0.645	0.16	0.1032
2	0.257	0.16	0.04112
3	0.645	0.16	0.1032
4	0.257	0.16	0.04112

Número	Largo	Altura	Área
Ventana			
1	0.05	0.0025	0.0045
2	0.1	0.0025	0.009
3	0.1	0.0025	0.009
4	0.05	0.0025	0.0045
Puerta			
1	0.065	0.1	0.0065
Techo			
1	0.61	0.2625	0.16

Estos factores permitieron hallar el valor de la transferencia de calor por conducción y se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{\text{conducción}} = \sum_k U_{\text{conducción}_k} * A_k * \Delta T_k$$

Ecuación 3-1 Ecuación de cargas por conducción. [6], [11]

En donde:

$U_{\text{conducción}}$: Coeficiente global de transferencia de calor

A_k : Área en donde hay transferencia de calor

ΔT_k : Diferencial de temperatura

$\dot{Q}_{\text{conducción}}$: Cargas térmicas por conducción

La **Ecuación 3-1** permitió encontrar el valor de la potencia de conducción necesaria a través de paredes, techo, ventanas y puertas. Los resultados se expresan en la siguiente tabla:

Tabla 3-5 Cargas térmicas por conducción

Transferencia de calor total por	Potencia (W)
Paredes	0.32
Techo	0.14
Suelo	0
Ventanas	0.12
Puertas	0.01
Total	0.59

A continuación, se calculó la transferencia de calor por filtración, del manual de climatización de José Pinazo Ojer, se encontró los valores de caudal por infiltración en rendija por ventanas y puertas como se muestra en la siguiente figura:

TIPO DE PUERTAS	VELOCIDAD DEL VIENTO km/h					
	8	16	24	32	40	48
Puerta de vidrio						
- Instal. correcta (rendija 3 mm)	17,8	35,6	54,5	72,4	89,1	105,8
- Instal. media (rendija 5 mm)	26,7	55,6	78,0	111,4	133,8	161,7
- Instal. mediocre (rend. 6,5 mm)	35,6	72,4	105,8	144,9	174,9	211,9
Puerta ordinaria, madera ó metal						
- Instal. correcta (con burlete)	2,5	3,3	5,0	7,2	9,5	11,7
- Instal. media (sin burlete)	5,0	6,7	10,0	14,5	18,4	23,4
- Instal. mediocre (sin burlete)	5,0	12,8	20,6	29,0	36,8	46,8
Puerta de fábrica (rend. 3 mm)	17,8	35,6	54,5	72,4	89,1	105,8

TABLA 7.35. Caudal volumétrico infiltrado por metro de rendija para puertas (m³/h m)

TIPO DE VENTANAS	VELOCIDAD DEL VIENTO km/h					
	8	16	24	32	40	48
Ventana de guillotina						
- Marco madera						
Ventana normal	0,7/0,4	2,0/1,2	3,6/2,2	5,5/3,3	7,4/4,6	9,6/5,8
Marco mal ajustado	2,5/0,6	6,4/1,8	10,3/3,2	14,5/4,7	18,4/6,6	23,4/8,5
Doble ventana	1,3/0,3	3,2/0,9	5,2/1,6	7,2/2,4	8,9/3,3	11,7/4,2
- Marco metálico	1,8/0,6	4,4/1,8	6,8/2,9	9,6/4,3	12,8/5,6	15,6/7,1
Ventana normal						
Rendija 0,4 mm	0,6	1,7	3,0	4,3	5,6	6,8
Rendija 0,8 mm	1,3	3,0	4,8	7,1	9,3	11,2
s.b - Sin burlete c.b - Con burlete						

TABLA 7.36. Caudal volumétrico infiltrado por metro de rendija para ventanas (m³/h m)

Figura 3-4 Caudal de filtración por rendija [2]

De la **Figura 3-4**, se escogió los valores de caudal por filtración en puertas y ventanas, los valores escogidos fueron de 2,5 (m³/(h * m)) y 0,6 (m³/(h * m)) respectivamente; la ecuación utilizada para encontrar el caudal de infiltración es la siguiente:

$$\dot{V}_{\text{filtración}} = \dot{V}_r * P$$

Ecuación 3-2 Ecuación de caudal de filtración

En donde:

- $\dot{V}_{\text{filtración}}$: caudal de aire infiltrado.
- \dot{V}_r : caudal de filtración por rendija
- P : calor específico del aire.

Los valores de perímetro, caudal por filtración por rendija y caudal de aire infiltrado se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3-6 Caudal de aire infiltrado

Número	Perímetro (m)	\dot{V}_r (m³/(h * m))	$\dot{V}_{\text{filtración}}$ (m³/h)	$\dot{V}_{\text{filtración}}$ (m³/s)
Ventanas				
1	0.28	0.6	0.168	4,6667E-05
2	0.38	0.6	0.228	6,3333E-05
3	0.38	0.6	0.228	6,3333E-05
4	0.28	0.6	0.168	4,6667E-05
Total				0.00022

Número	Perímetro (m)	\dot{V}_r (m ³ /(h * m))	$\dot{V}_{filtración}$ (m ³ /h)	$\dot{V}_{filtración}$ (m ³ /s)
Puerta				
1	0.33	2.5	0.825	0.00023
Total				0.00023
Caudal total infiltrado				
Total				0.00045

Para finalizar con el proceso del cálculo de transferencia de calor por filtración se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{filtración} = \sum_k \dot{V}_{filtración_k} * \Delta T_k * \frac{Cp_a + (\omega_{e_r} * Cp_v)}{V_{esa}}$$

Ecuación 3-3 Ecuación de cargas por filtración. [2], [5], [11]

En donde:

- $\dot{V}_{filtración_k}$: caudal de aire infiltrado.
- ΔT_k : diferencial de temperatura.
- Cp_a : calor específico del aire.
- ω_{e_r} : humedad específica del aire exterior.
- Cp_v : calor específico del vapor de agua.
- V_{esa} : volumen específico del aire.

A través de la **Ecuación 3-3** se calculó los valores de la potencia necesaria por filtración, los resultados se expresan en la **Tabla 3-7**.

Tabla 3-7 Cargas térmicas por infiltración

Transferencia de calor total por	Potencia (W)
Ventanas	2.15
Puertas	2.24
Total	4.39

Cabe recalcar que, las potencias calculadas anteriormente son de estado estable, es decir, que es la potencia necesaria para mantener la temperatura. La potencia total en estado estable, ya tomando en cuenta el coeficiente de seguridad es de 5.5 (W)

En cambio la potencia en estado crítico es la necesaria para pasar desde la temperatura crítica hasta la temperatura de confort.

Para un estado crítico, fue necesario conocer ciertas variables importantes como: el volumen de la maqueta, la densidad del aire, el calor específico del aire y la variación de temperatura como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3-8 Datos necesarios para estado crítico [7]

Variables	Valor	Unidad
Volumen	0.0256	m ³
Densidad del aire	0.8677	kg/m ³
Calor específico del aire	1005	J/(kg * K)
Variación de temperatura	11	K

Como se puede observar en la **Tabla 3-8**, son las variables necesarias para el cálculo de la potencia crítica, además se dimensionó a un tiempo de 20 minutos. Para el cálculo y se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{\text{crítico}} = \frac{m_{\text{aire}} * C_{p_{\text{aire}}} * \Delta T}{\Delta t}$$

Ecuación 3-4 Ecuación para estado crítico [11]

En donde:

- m_{aire} : masa de aire en la maqueta
- $C_{p_{\text{aire}}}$: calor específico del aire.
- ΔT : variación de temperatura.
- Δt : variable de tiempo.
- $\dot{Q}_{\text{crítico}}$: Potencia de estado crítico

Con el uso de la **Ecuación 3-4**, se encontró la potencia necesaria de pasar de la temperatura crítica a la temperatura de confort en un tiempo establecido de 20 minutos, y los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3-9 Potencia crítica

Tiempo	Potencia (W)
0.5 (h) o 30 (min)	20.50

Tiempo	Potencia (W)
0.33 (h) o 20 (min)	31.06

El calefactor seleccionado fue una niquelina y un disipador del extrusor de una impresora 3D, ya que este dispositivo tiene una potencia de 40 (W). En la siguiente tabla se muestran las características de calefactor:

Tabla 3-10 Características del calefactor [12]

Detalle	Unidad
Artículo	Bloque Calefactor Extrusor Mk8 Kit 3d Boquilla 0.4mm Prusa
Voltaje	12(V)
Potencia	40(W)
Rango de temperatura	-40 a 260 °C

Después de haber finalizado con el dimensionamiento del sistema de calefacción, se procedió a dimensionar el sistema de humidificación.

Como primer punto para el cálculo del sistema de humidificación, se procedió a buscar los valores de humedad relativa del aire y temperatura crítica en la ciudad de Quito en datos históricos [7]. Con el valor de temperatura crítica se procedió a buscar la presión de saturación, y este proceso de cálculo se repitió para las condiciones de confort; los resultados de la presión de saturación se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3-11 Condiciones iniciales del sistema de humidificación [7] [13]

Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Presión de Saturación (kPa)
11	85	1.32
22	50	2.67

Con los valores mencionados en la anterior tabla, se procedió a calcular la presión de vapor para el confort y condición crítica, y se utilizó la siguiente ecuación:

$$P_{\text{vaporHR}} = \text{HR} * P_{\text{sat@T}}$$

Ecuación 3-5 Presión de vapor a la humedad relativa [11]

En donde:

- HR : humedad relativa
- $P_{\text{sat}@T}$: presión de saturación a la temperatura
- P_{vaporHR} : presión de vapor a la humedad relativa.

Como segundo punto, conociendo la presión de vapor, se calculó la humedad específica, y se utilizó la siguiente ecuación:

$$\omega = 0,622 * \frac{P_{\text{vapor}}}{P_{\text{atm}} - P_{\text{vapor}}}$$

Ecuación 3-6 Ecuación de humedad específica relativa [11]

En donde:

- P_{atm} : presión atmosférica de Quito
- P_{vapor} : presión de vapor
- ω : humedad específica.

Como tercer punto, fue necesario conocer el valor de la masa de aire, y se la cálculo con la siguiente ecuación:

$$m_{\text{aire}} = \rho * V$$

Ecuación 3-7 Masa de aire [11]

En donde:

- ρ : densidad del aire
- V : volumen de la maqueta
- m_{aire} : masa de aire

Conociendo el valor de masa de aire, se procedió a calcular la masa de agua necesaria a introducir mediante un humidificador y se utilizó la siguiente fórmula:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = m_{\text{aire}} * \Delta\omega$$

Ecuación 3-8 Ecuación masa de agua [11]

En donde:

- m_{aire} : masa de aire
- $\Delta\omega$: variación de humedad específica
- $m_{\text{H}_2\text{O}}$: masa de agua

Mediante la **Ecuación 3-8**, se encontró la masa de agua faltante en la maqueta, además, a este valor se lo dividió para un tiempo de 20 minutos, se encontró el valor del flujo másico, y por último se utilizó la densidad del agua para encontrar el caudal necesario que necesita introducir el humidificador. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3-12 Valor de caudal necesario para el humidificador

Tiempo (h)	Caudal (m ³ /s)
0.5 o 30 minutos	0.000023
0.33 o 20 minutos	0.000035

Con los valores de caudal expuestas en la **Tabla 3-12**, se procedió a buscar un humidificador con características similares.

El humidificador que se escogió tiene las siguientes características y están expuestas en la siguiente tabla:

Tabla 3-13 Características del humidificador [14]

Detalle	Unidad
Tipo de artículo	Pulverizador de Agua Nano
Capacidad	60 (ml)
Voltaje	2.5 (V _{DC})
Potencia	2.5 (W)

Una vez finalizado el diseño del sistema de calefacción y humidificación, se procedió a implementarlo en la maqueta.

3.3 Implementación del sistema de calefacción.

Para instalar los equipos necesarios para el sistema de calefacción, se buscó un dispositivo que genere calor con la potencia calculada en el estado crítico debido a que existe una mayor potencia en este.

Se encontró un dispositivo de las impresoras 3D que genera calor a una potencia de 40(W), como se muestra en la siguiente figura:



Figura 3-5 Niquelina y disipador de calor del extrusor

Esta niquelina se implementó en la maqueta como se indica en la figura:



Después de haber colocado el sistema de calefacción, se realizó un sistema de humidificación con el humidificador mencionado en la **Tabla 3-13**, y se lo colocó como se muestra en la siguiente figura:



Figura 3-6 Humidificador

Después de haber colocado el sistema de calefacción y humidificación, se realizó un sistema de control que es necesario para controlar las variables físicas como la temperatura y humedad.

Para el sistema de control, se utilizó un módulo Arduino que fue el encargado de controlar el sistema de calefacción y humidificación en lazo cerrado, de accionamiento ON/OFF con Histéresis. Para acceder al código completo, se puede dirigir al Anexo 4.

Una vez finalizado el código, se procedió a comprobar su funcionamiento, con el rango de temperatura (18-22 °C) y humedad (46%-76%), con su respectivo *SET POINT*, como se indica en la **Figura 3-7**.



Figura 3-7 Funcionamiento de pantalla LCD

Después de haber comprobado el código mediante la pantalla LCD, la cual muestra los valores de temperatura, humedad y *SET POINT*. Se procedió a realizar la placa PCB de control, en donde va conectado el Arduino, conectores USB hembra y resistencias.

La placa de control, se la desarrolló en el programa *EasyEDA*, en donde se realizaron todas las conexiones necesarias para la conexión de todos los dispositivos, como se muestran en la siguiente figura:

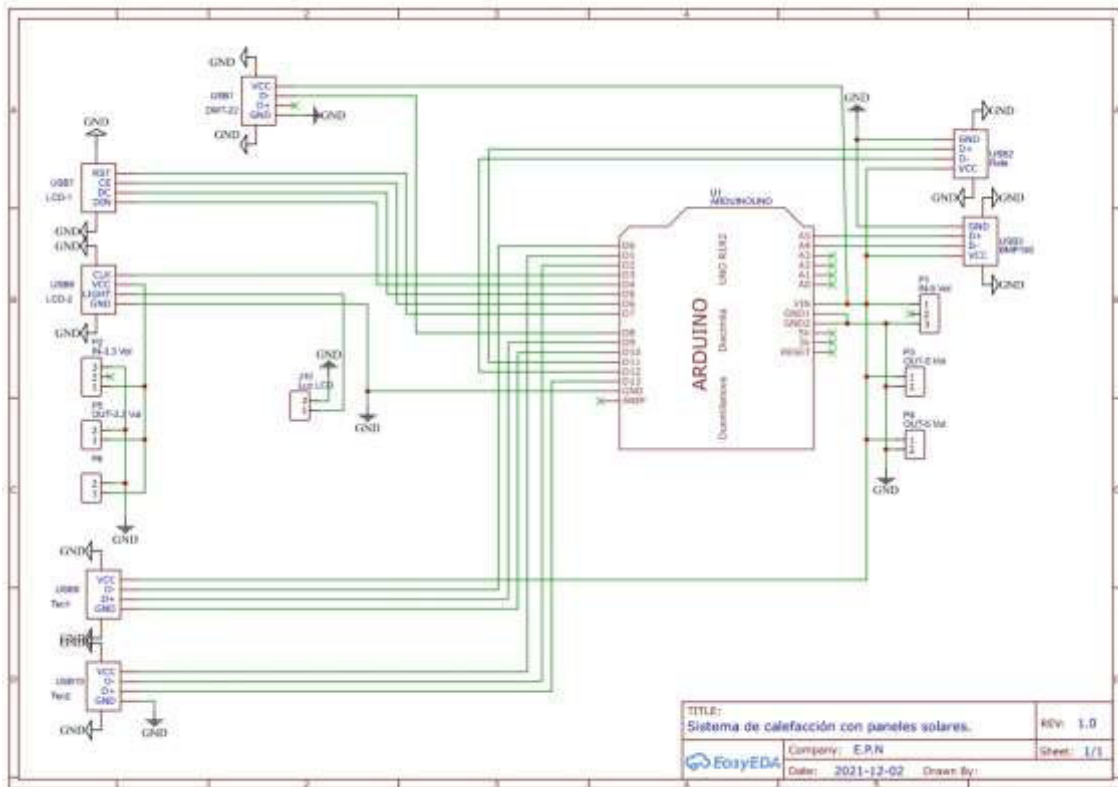


Figura 3-8 Placa de control en programa EasyEDA

Como se puede ver en la **Figura 3-8**, se realizaron las conexiones necesarias para obtener la PCB que se muestra en la **Figura 3-9**.

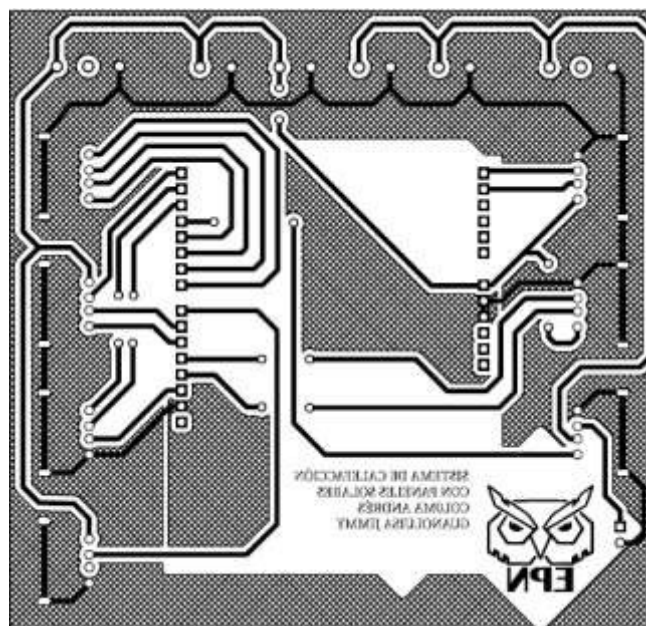


Figura 3-9 PCB para imprimir

Posteriormente se imprimió en el papel termo transferible para pegarlo en la placa, realizar todo el proceso de tratamiento de la placa y proceder a soldar los elementos, como se muestra en la **Figura 3-10**



Figura 3-10 PCB de control

A continuación, se realizó una segunda placa, en donde se colocaron los pulsadores, conectores USB hembra y resistencias como se puede ver en la **Figura 3-11**.

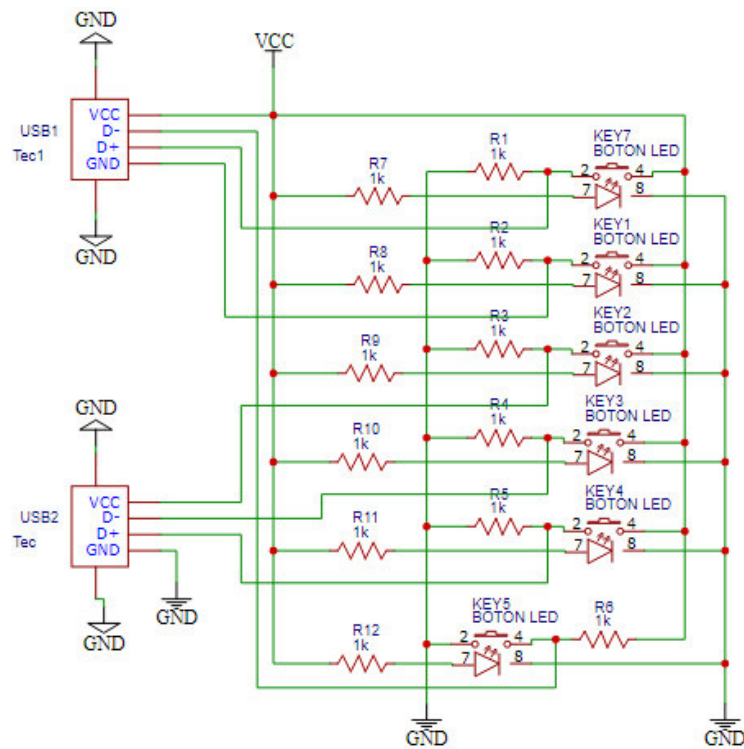


Figura 3-11 Diagrama del teclado

Como se puede observar en la anterior figura, es el diagrama esquemático del teclado.

En cambio en la **Figura 3-12** muestra como fueron distribuidos los dispositivos antes de la impresión.

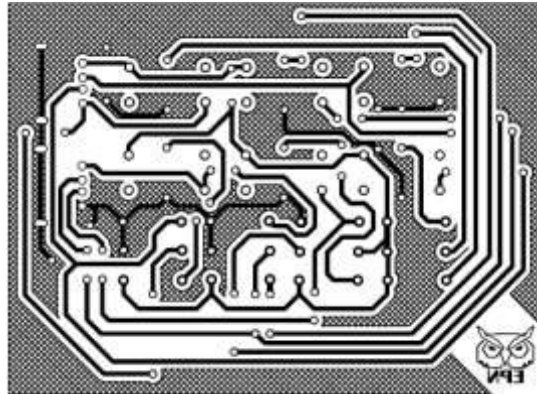


Figura 3-12 PCB teclado para imprimir

A continuación, se realizó el proceso del tratamiento de la placa y el proceso de soldadura de los dispositivos como se muestra en la **Figura 3-13**.



Figura 3-13 Teclado

Para finalizar con el sistema de control, se conectaron el módulo relé, el teclado, el sensor de temperatura y humedad DHT-22, el sensor de presión BMP-180 y la pantalla LDC mediante cable USB, como se muestra en la siguiente figura:



Figura 3-14 Placa Arduino

Una vez finalizada la implementación del sistema de calefacción, humidificación y control, se procedió a probar su funcionamiento.

3.4 Pruebas y Análisis de Resultados

Las pruebas se realizaron en una cámara frigorífica, debido a que la temperatura requerida por el sistema no fue sencilla de conseguir porque los días que se realizaron las pruebas estaba caluroso. La cámara frigorífica fue prestada por la EPN.

La cámara frigorífica está ubicada en el subsuelo de la facultad de Sistemas, en donde funcionaba el bar, como se muestra en la siguiente figura:



Figura 3-15 Cámara frigorífica vista externa

Las partes importantes de la cámara frigorífica son: puerta externa, switch de encendido y apagado, controlador digital para refrigeración y un evaporador para cámaras frías.

Las dimensiones de la cámara frigorífica y de la puerta externa, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3-14 Dimensiones cámara frigorífica

	Alto	Largo	Ancho
Cámara frigorífica	2.43 (m)	2.35 (m)	1.8 (m)
Puerta externa	1.8 (m)	1.29 (m)	0.12 (m)

El evaporador utilizado en esta cámara frigorífica es de la marca DELTA FRIO, como se muestra en la siguiente figura:



Figura 3-16 Evaporador de cámara frigorífica

Las principales características de este evaporador se las muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3-15 Características del evaporador de la cámara frigorífica [15]

Detalle	Unidad
Fabricante	DELTA FRIO
Modelo	DFI 15.29
No. Serie	18042/19
Tensión	220 (V)
Frecuencia	60 (Hz)
Potencia	2000 (W)
Corriente	9 (A)
Fluido refrigerante	HALOGENADOS

Con el controlador digital para refrigeración se cambió el *SET POINT* de la temperatura de la cámara frigorífica a la requerida por el sistema, ya que inicialmente el *SET POINT* era de 2.1 (°C), por lo que se lo colocó en 11 (°C); como se muestra en la siguiente figura:



Figura 3-17 *SET POINT* de temperatura en cámara frigorífica

Una vez finalizada con el proceso de adaptación de la temperatura se procedió a realizar las siguientes pruebas:

Prueba de estado crítico

1. Esta prueba permitió observar el tiempo que se demora el sistema de calefacción en calentar la maqueta desde la temperatura crítica en el ambiente de 11(°C) hasta la temperatura de confort de 22(°C).
2. La maqueta se la colocó en una cámara frigorífica en donde se la configuró a la temperatura crítica, en el instante que se obtuvo esta temperatura, se metió la maqueta a este ambiente y se esperó hasta que la temperatura de esta se estabilice con la temperatura de la cámara frigorífica. Por lo que, se conectó la batería, se inició el proceso de encendido del sistema, se activó el encendido del sistema de control, el cual detectó temperatura y se encendió el calefactor, y con la ayuda de un cronómetro se observó cuanto se demora en llegar a la temperatura de confort; además, se observó el comportamiento del calor con la ayuda de una cámara térmica.
3. A continuación, se muestran los datos de la prueba e imágenes de la cámara térmica

Tabla 3-16 Datos tabulados de prueba crítica

SET POINT	Temperatura inicial de maqueta	Temperatura Ambiente	Temperatura final de maqueta	Humedad del Ambiente	Humedad de maqueta	Tiempo de demora
22 (°C)	17.5 (°C)	13.2 (°C)	22 (°C)	68 %	59.95 %	21.01 (min)
22 (°C)	16.1 (°C)	12.2 (°C)	22.1 (°C)	66 %	60.13 %	23.01 (min)
22 (°C)	16.7 (°C)	11.3 (°C)	22 (°C)	86 %	57.19 %	25 (min)

A continuación se muestran las imágenes de cámara térmica

En la siguiente imagen se ve como adaptó la maqueta a la temperatura de la cámara frigorífica:

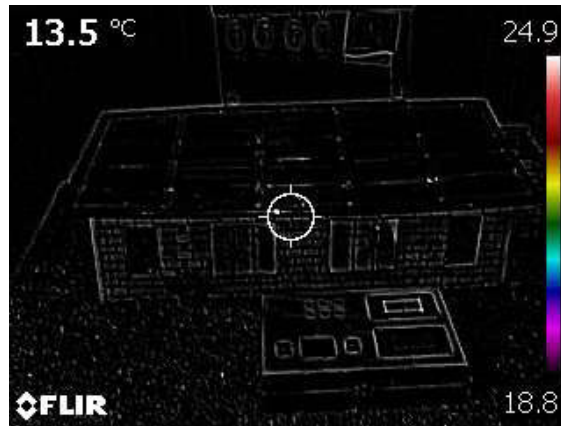


Figura 3-18 Maqueta en cámara frigorífica recién ingresada

Como se puede observar en la **Figura 3-18**, la maqueta está completamente fría, en cambio la siguiente imagen muestra como el calor comienza a distribuirse desde el extrusor a la maqueta.



Figura 3-19 Comienzo de distribución de calor en la maqueta

En cambio en la siguiente figura, se observa como el calor llegó a toda la maqueta:



Figura 3-20 Distribución de calor en maqueta

A continuación se muestran datos tomados de la pantalla LCD:



Figura 3-21 Dato de temperatura y humedad

En la siguiente figura se muestran los valores de temperatura y humedad de la cámara frigorífica.



Figura 3-22 Dato de temperatura y humedad del ambiente

4. Como se ve en las figuras anteriores, la maqueta en el instante que ingresó a la cámara frigorífica, fue necesario dejarla por un tiempo determinado hasta que se estabilice la temperatura dentro de la maqueta. A continuación, cuando ya se enciende el sistema, se observa como el calor se va distribuyendo en la maqueta, hasta llegar a la temperatura de 22 (°C), además, se muestra el valor de temperatura del ambiente de la cámara frigorífica.
5. No se realizó ningún cambio al momento de realizar esta prueba.

Prueba de temperatura constante

1. En esta prueba se observó la potencia consumida mientras que el sistema mantiene una temperatura constante de confort de 22(°C).
2. Este proceso consistió, en mantener la maqueta dentro de la cámara por un tiempo determinado, con la finalidad de que la temperatura de confort en la maqueta sea constante, por lo que con la ayuda del sistema de control, el cual encendía y apagaba el sistema de calefacción cuando sea necesario se mantuvo en los 22 (°C), y luego se observó la potencia que consumían estos dispositivos en el sensor de la batería.
3. A continuación se muestran los datos tabulados de la prueba de temperatura constante:

Tabla 3-17 Datos tabulados de prueba de temperatura constante

Potencia	Temperatura sin calefactor	Temperatura con calefactor	Temperatura ambiente	Humedad de maqueta	Tiempo
2.4 (W)	21.6 (°C)	22 (°C)	14 (°C)	54 %	10.4 (min)
35.3 (W)	21.7 (°C)	22 (°C)	14.9 (°C)	51.04 %	1,40 (h)

En las siguiente figura se muestra los valores de temperatura al comenzar la prueba:



Figura 3-23 Lectura LCD

4. Como se puede observar, en la tabla y figuras anteriores, la potencia total consumida entre la prueba crítica y la prueba de temperatura constante en 3 horas aproximadamente fue de 36.1 (W) según lo observado en el sensor de la batería, por lo que, el sistema esta correctamente dimensionado.

En la siguiente figura se muestra la potencia total consumida durante el tiempo de funcionamiento:



Figura 3-24 Sensor de batería

5. No se realizó ningún cambio al momento de realizar esta prueba. Para más imágenes ver Anexo 5.

En la siguiente figura se encuentra un video demostrativo del funcionamiento del sistema implementado:



Figura 3-25 Código QR del enlace del video demostrativo de funcionamiento y de recomendaciones de mantenimiento

Enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=ujCKPZAGUdc&t=8s>

4 CONCLUSIONES

- Se determinó que el ladrillo es el material más adecuado para la construcción de la maqueta ya que presenta mayor durabilidad, solidez, menor contaminación ambiental ya que emite 2 toneladas de CO₂ a la atmósfera y es un buen aislante térmico ya que mantiene la temperatura interna de las viviendas, lo cual ayuda a cumplir el objetivo de este proyecto. [16]
- Se determinó que las dimensiones de la maqueta son de: 64.5x25.7x16.5 (cm), en una escala de 1:20, donde se desarrolló un sistema de calefacción; en donde se determinó que el calefactor sea uno de 40 (W) y un humidificador de 2.5 (W)), utilizadas en el proceso de construcción de la maqueta; además, fueron utilizadas para encontrar los resultados en el dimensionamiento del sistema de calefacción.
- Se puede concluir que, el análisis de cargas térmicas por refrigeración no tiene el mismo principio que el análisis de cargas térmicas por calefacción, debido a que algunas cargas térmicas entregan calor como son: ocupantes, equipos y luminarias; por lo que, en este proyecto no se las consideró.
- Las cargas térmicas necesarias para la calefacción de la maqueta fueron por conducción y filtración con un valor de 4.98(W), además, para este proyecto no se consideró la carga térmica por ventilación.
- De acuerdo con los resultados obtenidos en el dimensionamiento del sistema de humidificación se necesitó un caudal de 35(ml), por tal razón, se determinó que el humidificador a utilizar más efectivo es el pulverizador de Agua Nano; debido a que tiene una capacidad de 60(ml).
- De acuerdo con los datos obtenidos durante pruebas de funcionamiento del sistema, se observó que el humidificador no se encendió ya que las condiciones de la maqueta se mantuvieron dentro del rango especificado de 46 al 76% de humedad, puesto que las condiciones de humedad de la cámara frigorífica fueron similares a las condiciones de confort del sistema, por lo que se notó que el diseño del sistema es correcto.
- Se determinó que el diseño realizado para llegar la temperatura de confort de 22 (°C) en el sistema es correcto, ya que, al realizar las pruebas de funcionamiento del sistema se observó que el mismo llega a la temperatura de confort

aproximadamente a los 21 minutos lo cual cumple con lo establecido en el diseño.

- Durante la experimentación, se notó que la temperatura inicial de la maqueta es aproximadamente de 16.5 (°C) a pesar de que la temperatura de la cámara de frío era menor, lo cual confirma que el material con el que se construyó la maqueta mantuvo su temperatura interna.
- Se notó que la potencia consumida es directamente proporcional al tiempo ya que, al cabo de 10 minutos, la potencia es de 2.4 (W), mientras que a 1 hora con 40 minutos la potencia es de 35.3 (W), lo cual indica que el consumo de energía del sistema no es muy alto.
- Se concluyó que el sistema de calefacción es eficiente y no consume gran cantidad de energía ya que la potencia total consumida del sistema fue 37.7 vatios, considerando que el sistema estuvo en funcionamiento alrededor de 3 horas, lo cual no representa un consumo elevado de energía.

5 RECOMENDACIONES

- Para diseñar el sistema de calefacción y humidificación, se recomienda tomar en cuenta las dimensiones del lugar en donde se van a utilizar estos sistemas, así como las condiciones críticas (temperatura más baja) y de confort (temperatura de 22°C).
- Para implementar un sistema de calefacción a escala real, es necesario tomar en cuenta las cargas por ventilación debido a que estas van a influir en la calefacción, ya que las puertas y ventanas no siempre van a estar cerradas, y representan aproximadamente un 27% de pérdida.
- Para realizar el diseño de calefacción, se recomienda utilizar el Manual de Climatización de Pinazo Ojer, debido a que en este libro está explicado como encontrar los valores de caudal necesario para las cargas de filtración y ventilación.
- Se recomienda buscar varias alternativas de calefactores y humidificadores, de acuerdo con los valores obtenidos en el diseño de estos sistemas, y a su vez considerando la factibilidad de estos equipos, tal como el costo, aplicabilidad y rendimiento.
- Se recomienda que la maqueta esté cerrada mientras que el sistema de calefacción esté encendido.

- Se recomienda considerar todas las variables que influyan en el diseño del sistema de calefacción para obtener un correcto dimensionamiento de este, como material de la vivienda, condiciones atmosféricas y geográficas, el caudal de filtración y ventilación en puertas y ventanas, entre otros.
- Se recomienda utilizar absorbedores de humedad como Silica gel para secar el ambiente antes de comprobar el funcionamiento del sistema humidificación.
- Cuando se requiera comprobar el funcionamiento del sistema de calefacción y no se disponga de un lugar frío para el efecto, se recomienda subir el valor de temperatura de confort, *SET POINT*, hasta los 30 – 35 (°C) para comprobar su funcionamiento.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “Curtiss, Peter S._ Kreider, Jan F._ Rabl, Ari-Heating and Cooling of Buildings _ Design for Efficiency, Revised Second Edition-CRC Press (2009)_pag273”.
- [2] Pinazo Ojer José Manuel, “Manual de Climatización Tomo II Cargas Térmicas,” *Tomo II Cargas Térmicas*, pp. 17–389, 1999.
- [3] Ver, “CONTROLADOR DIGITAL PARA REFRIGERACIÓN CON DESHIELO NATURAL POR PARADA DEL COMPRESOR MT-512Ri.”
- [4] “Un sistema termográfico compacto y potente.” [Online]. Available: www.flir.com/c3
- [5] A. Jaramillo, L. Martín, A. Anasoy, and C. Alexis, “ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HIGRÓMETRO DIGITAL PARA ALTITUDES DE HASTA 3000 METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR PARA EL LABORATORIO DE TERMODINÁMICA FIM-EPN. TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO.”
- [6] A. José, C. Román, and C. M. Reche, “MEMORIA PRESENTADA POR: TUTOR ACADÉMICO: GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA.”
- [7] Meteoblue, “Datos Meteorológicos,” no. <https://bit.ly/3HSQBBD>, 2020.
- [8] NORMA ISO 7730, “ERGONOMÍA DEL AMBIENTE TÉRMICO,” 2006.
- [9] “ALAMBRE.GALVANIZADO IDEAL 1,25MM (#18) 103.81m_kg 20 KG _ PROMESA”.
- [10] Curtis Peter, “Calculo de Carga Ashrae,” *Peter Curtis*, pp. 70–80, 1980.
- [11] “Curtiss, Peter S._ Kreider, Jan F._ Rabl, Ari-Heating and Cooling of Buildings _ Design for Efficiency, Revised Second Edition-CRC Press (2009)
- [12] ELECTRONICS TIENDA DE ROBOTICA, “Bloque Calefactor Extrusor Mk8 Kit 3d Boquilla 0.4mm Prusa,” *Bloque Calefactor Extrusor*, vol. 1, no. <https://bit.ly/3fbgQZK>, 2022.
- [13] Ortega Miguel, “Carta psicrométrica Quito UIOIng. Miguel Ortega”.
- [14] Pulverizador de Agua Nano, “NANO DIFUSOR PORTATIL Home □ Tienda □ Nano difusor Portátil Mini Humidificador 60ml,” 2020. [Online]. Available:

<https://prevenmx.com/producto/humidificador-portatil-facial-sanitizador-nano-3-ultrasonico/>

- [15] Catálogo DELTA FRIO, “Evaporador de cámara frigorífica,” Brasil, 2021. [Online]. Available: www.deltafrio.com.br
- [16] Ingeniería Real, “¿Construir con ladrillos o con bloques de concreto?,” 2020. [Online]. Available: <https://ingenieriareal.com/construir-ladrillos-bloques-concreto/>