

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

*Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
Ingeniero Mecánico*

Proyecto técnico:

“ANÁLISIS DEL GRADIENTE TÉRMICO PARA ALCANZAR  
CONDICIONES DE CONFORT HUMANO, EN EL AULA F1  
DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA”

Autores:

Eduardo Arévalo Angamarca  
Andrés Arias Torres

Tutor:

Ingeniero Paul Torres Jara

*Cuenca, Julio del 2017*

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Nosotros: Arévalo Angamarca Jaime Eduardo con CI: 0301830170 y Arias Torres Marcos Andrés con CI: 0104627401, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado **“ANÁLISIS DEL GRADIENTE TÉRMICO PARA ALCANZAR CONDICIONES DE CONFORT HUMANO, EN EL AULA F1 DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente

En aplicación a lo determinado por la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

**Cuenca, Julio del 2017**



Arévalo Angamarca Jaime Eduardo  
CI: 0301830170

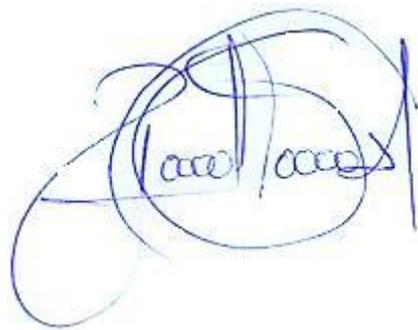


Arias Torres Marcos Andrés  
CI:0104627401

## **CERTIFICACIÓN**

Yo Paul Torres Jara, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación **“ANÁLISIS DEL GRADIENTE TÉRMICO PARA ALCANZAR CONDICIONES DE CONFORT HUMANO, EN EL AULA F1 DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA”**, realizado por los estudiantes Arévalo Angamarca Jaime Eduardo y Arias Torres Marcos Andrés, obteniendo el proyecto técnico que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

**Cuenca. Julio del 2017**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Paul Torres Jara', enclosed within a circular scribble.

**Ing. Paul Torres Jara**

## **DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros: Arévalo Angamarca Jaime Eduardo con CI: 0301830170 y Arias Torres Marcos Andrés con CI: 0104627401, autores del trabajo de titulación **“ANÁLISIS DEL GRADIENTE TÉRMICO PARA ALCANZAR CONDICIONES DE CONFORT HUMANO, EN EL AULA F1 DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA”**, certificamos que el total contenido del proyecto técnico es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

**Cuenca. Julio del 2017**



Arévalo Angamarca Jaime Eduardo  
CI: 0301830170



Arias Torres Marcos Andrés  
CI:0104627401

## **Dedicatoria y Agradecimiento**

*Dedico y agradezco por este trabajo a Dios ya que me permitió llegar a culminar un escalón académico más en mi vida, por haber puesto a las personas correctas en mi vida que me han sabido guiar y enseñar de uno u otra manera el camino correcto por cual debo continuar mis días.*

*A mis padres, que con su amor, comprensión, ternura, apoyo incondicional y ejemplo constante han sabido corregir los pasos de mi vida, ya que sin ellos nada hubiera sido posible. A mis hermanos Belén, Bryan y mi familia que con su comprensión en los momentos tristes y felices que se me han presentado en la vida siempre me han ayudado para seguir adelante.*

*A mi Esposa Vicky que siempre con su amor, calidez y firmeza ha sabido darme los impulsos correctos cada vez que me sentía agotado, con sus frases de ánimo, sus consejos y sus terapias me dieron la fortaleza para culminar con este escalón académico que se presentó en mi vida.*

*A nuestro tutor el Ing. Paul Torres, que con sus acertados concejos y con su apoyo incondicional nos guio para culminar nuestro trabajo y a todos quienes de una u otra manera aportaron y me supieron guiar para culminar este trabajo de titulación gracias.*

**Eduardo Arévalo Angamarca.**

*Dedico este proyecto principalmente a Dios por el milagro de la vida y el haberme dado la oportunidad de permitirme culminar una etapa más, que es mi formación profesional. A mis padres, porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ellos, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y por el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí. A mis hermanas Karla, Belén y Samantha a quien los quiero y por darme su apoyo de igual manera y seguir a mi lado en la lucha. A nuestro tutor Ing. Paul Torres por la ayuda y el tiempo que nos brindó en todo el trayecto de nuestra tesis. Y a una persona que durante muchos días y meses fue mi compañera, mi amiga, mi consejera y mi complemento hacia la felicidad; mi novia Evelyn. GRACIAS*

***Andrés Arias Torres.***

## Resumen.

En este trabajo se da el análisis del gradiente térmico en el aula F1 de la Universidad Politécnica Salesiana, ya que presentan temperaturas que están fuera de los márgenes de confort, por lo cual, en primera instancia realizaremos la validación del problema existente, ya que estas condiciones se presentan debido a los medios adversos que presenta la infraestructura de esta aula, y genera el aumento de la temperatura de la misma, ya sea en condiciones climáticas tanto de un día que exista gran exposición solar o en un día parcialmente nublado, ya que no presentan circulación de aire y existe una gran incidencia de la radiación solar. Mediante nuestro estudio vamos a identificar las condiciones de confort que se deben mantener en el ambiente de estudio, para que el proceso cognitivo se desarrolle de manera óptima, y mediante la validación del problema la cual se complementará con la simulación en ANSYS, generaremos las soluciones necesarias para este ambiente de estudio.

Dentro del proceso se obtuvieron varios resultados que se dieron soluciones variando los materiales constitutivos del aula como el techo analizando con un techo de asbesto al cual se le implemento un aislamiento de poliuretano expandido que redujo la temperatura de los 29.9 °C a 23.66 °C, otra variante de solución fue el diseñar un sistema de aire acondicionado partiendo de dos condiciones: Una en la cual tomamos las condiciones actuales con gran afectación de la radiación solar donde se alcanzó las condiciones de confort a los 22 °C en el lapso aproximado de una hora y el otro sistema de acondicionamiento de aire que funcionará con la solución propuesta de asbesto y poliuretano alcanzando condiciones de confort en el lapso aproximado de 30 minutos. En los dos casos se logra condiciones de confort por lo cual también logramos los objetivos propuestos.

## Índice General

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. PROBLEMA: DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
2.1. Antecedentes: .....	1
2.2. Importancia y alcances.....	1
2.3. Delimitación:.....	2
<b>3. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS.....</b>	<b>3</b>
3.1. Objetivo General.....	3
3.2. Objetivos Específicos.....	3
<b>4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>3</b>
4.1. Reseña Histórica .....	3
4.2. Confort Térmico .....	4
4.2.1. Zona de confort.....	5
4.3. Condiciones Ambientales .....	5
4.3.1. Temperatura.....	6
4.4. Generación y transferencia del calor del cuerpo humano .....	10
4.4.1. Transferencia de calor del cuerpo humano.....	10
4.4.2. Intercambio de calor del cuerpo humano por convección.....	10
4.4.3. Coeficiente total de transmisión de calor –K.....	11
4.5. Aire Acondicionado.....	11
4.5.1. Acondicionamiento de Aire.....	12
4.6. Emisividad. ....	12
4.6.1. Grado de emisividad.....	12
4.7. Radiación solar .....	13
4.7.1. Tipos de Radiaciones.....	14
4.8. Instrumentación.....	14
4.8.1. Cámara Termográfica TESTO 875.....	14
4.8.2. FLUKE 568 IR Thermometer .....	16
<b>5. MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>17</b>
5.1. Datos de Radiación y temperatura .....	17

<b>5.2. Características del Aula AF1.</b>	<b>20</b>
5.3.1. Materiales de Construcción.	22
<b>5.4. Fotos Termográficas del aula F1.</b>	<b>27</b>
5.4.1. Ventana colindante con la calle “DE LAS CARRETAS”	27
5.4.2. Ventana colindante con los Laboratorios interiores de las UPS.	28
5.4.3. Techo de Zinc del Aula F1	29
5.4.4. Estuco de Gympsu que cubre el Aula F1	30
5.4.5. Pared Posterior del Aula F1	31
5.4.6. Pizarra del Aula F1	32
5.4.7. Pared colindante con la calle “DE LAS CARRETAS”	33
5.4.8. Pared colindante con los Laboratorios interiores de las UPS	34
5.4.9. Puerta de ingreso al aula F1	35
5.4.10. Piso del Aula F1	36
5.4.11. Proyector del Aula F1	37
<b>5.5. MATERIALES AISLANTES TÉRMICOS</b>	<b>38</b>
5.5.1. Teja de Arcilla	38
<b>6. SIMULACIÓN</b>	<b>39</b>
<b>6.1. Validación de Datos</b>	<b>39</b>
6.1.1. Condiciones Generales de simulación.	39
6.1.2. Ecuaciones de temperatura variable de cada elemento.	42
6.1.3. Dominio	43
6.1.4. Condiciones de entrada y localización	44
6.1.5. Resultados	45
<b>6.2. Simulación del Sistema de aire acondicionado en condiciones de Techo Zinc</b>	<b>49</b>
6.2.1. Dominio	49
6.2.2. Resultados de la Simulación del Sistema de aire acondicionado en condiciones de Techo Zinc	50
<b>6.3. Simulación del Sistema de aire acondicionado en condiciones de Techo con Aislamientos térmicos.</b>	<b>52</b>
6.3.1. Dominio.	52
6.3.2. Resultados de la simulación del Sistema de aire acondicionado en condiciones de Techo con Aislamientos térmicos.	53
<b>7. CÁLCULOS</b>	<b>55</b>
<b>7.1. Cálculo de las ganancias de calor por conducción en la estructura del aula de fundición AF1</b>	<b>55</b>
7.1.1. Análisis de las áreas de paredes, techos y pisos	55
<b>7.2. Análisis de ganancias de calor por conducción</b>	<b>56</b>
7.2.1. Coeficiente global de transferencia de calor U (BTU/h -ft <sup>2</sup> -°F)	56

7.2.2.	Diferencia de temperatura para carga de enfriamiento – DTCE (°F).....	58
7.2.3.	Calculo de las ganancias de calor por conducción paredes exteriores .....	61
7.2.4.	Calculo de las ganancias de calor por conducción paredes, piso y puerta interiores .....	62
<b>7.3.</b>	<b>Análisis de ganancia de calor por radiación a través de los vidrios.....</b>	<b>63</b>
7.3.1.	Análisis de las áreas de vidrios orientados al exterior.....	63
7.3.2.	Factor de ganancia máxima de calor solar – FGCS (BTU/h - FT <sup>2</sup> ).....	64
7.3.3.	Coeficientes de sombreado – CS .....	65
7.3.4.	Factores de carga de enfriamiento para vidrio-FCE.....	66
7.3.5.	Calculo de la ganancia de calor por radiación a través de vidrios.....	67
<b>7.4.</b>	<b>Análisis de ganancia de calor por las personas.....</b>	<b>68</b>
7.4.1.	Ganancias de calor sensible y latente por personas Q <sub>s</sub> -Q <sub>l</sub> .....	68
7.4.2.	Factores de cargas de enfriamiento para las personas – FCE.....	69
7.4.3.	Calculo de la ganancia de calor sensible y latente por personas. ....	70
<b>7.5.</b>	<b>Análisis de ganancia de calor infiltraciones a través de ventanas y puertas orientadas al exterior. ....</b>	<b>71</b>
7.5.1.	Flujo de ventilación – CFM ft <sup>2</sup> /min .....	71
7.5.2.	Cambio de temperaturas y relaciones de humedad entre el aire exterior e interior – CT (°F) – W (g agua/lb).....	72
7.5.3.	Calculo de las ganancias sensibles y latentes por infiltración .....	73
<b>7.6.</b>	<b>Análisis de ganancias de calor de techos .....</b>	<b>75</b>
<b>7.8.</b>	<b>Propuestas de Aislamiento .....</b>	<b>82</b>
7.8.1.	Propuesta de Aislamiento 1 Teja .....	82
<b>7.9.</b>	<b>Ganancias por equipos eléctricos. ....</b>	<b>84</b>
7.9.1.	Ganancias de calor por el Proyector .....	84
<b>7.10.</b>	<b>Ganancia de calor total .....</b>	<b>85</b>
<b>7.11.</b>	<b>Calculo de los CFM.....</b>	<b>87</b>
7.11.1.	Aplicaciones .....	87
7.11.2.	Calculo de los CFM del aula de fundición AF1 .....	87
<b>7.12.</b>	<b>Dimensión de los ductos de ventilación .....</b>	<b>87</b>
<b>7.13.</b>	<b>Elección de aire acondicionado .....</b>	<b>92</b>
7.13.1.	Primera condición con la cubierta de ZINC. (Aula normal) .....	92
7.13.2.	Segunda condición con la cubierta de techo CUBIERTA TEJA. (Mejora) 92	92
<b>8.</b>	<b>RESULTADOS. ....</b>	<b>93</b>
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES. ....</b>	<b>97</b>
<b>10.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>98</b>

<b>11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>99</b>
<b>12. ANEXOS.....</b>	<b>102</b>
<b>12.1. EQUIPOS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE SELECCIONADOS.</b>	<b>102</b>
12.1.1. Equipo seleccionado para la primera condición con la cubierta de ZINC. (Aula normal) .....	102
12.1.2. Equipo seleccionado para la segunda condición con la cubierta de techo ASBESTO. (Mejora) .....	103
12.1.3. Equipo seleccionado para la tercera condición con la cubierta de techo ZINC + AISLANTE POLIURETANO. (Mejora).....	103
12.1.4. Equipo seleccionado para la cuarta condición con la cubierta de techo ASBESTO + AISLANTE POLIURETANO. (Mejora) .....	104
<b>12.2. PRUEBAS CON LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.....</b>	<b>104</b>

## **1. INTRODUCCIÓN.**

El acondicionamiento de aire es una actividad que se realiza para encontrar una temperatura de confort para el ser humano en las aulas educativas ya que es un factor importante para el aprendizaje de los estudiantes, y el desempeño del profesor por lo cual deben encontrarse en condiciones óptimas de confort. Se localizó la problemática que existía en el aula F1, de la Universidad Politécnica Salesiana debido al cambio climático en horas donde la radiación ambiental es mayor y la emisión de calor de los estudiantes genera condiciones de temperatura que no están dentro de las Normas Ecuatorianas. Del mismo modo se presentan condiciones desfavorables para la recirculación de aire ya que el aula presenta fallas en su construcción las mismas que ayudan a la acumulación de calor.

El hombre viene desde la antigüedad buscando la manera de crear un ambiente térmicamente cómodo ya que es uno de los parámetros más importantes a ser considerado para el diseño de edificaciones.

## **2. PROBLEMA: DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

### **2.1. Antecedentes:**

En la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, mediante la experiencia vivida como estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica, al ser partícipes del proceso de aprendizaje que llevamos a cabo, pasamos por diferentes localidades; pero al llegar al Aula F1 se constató la existencia de una gran incomodidad ya que se presentan condiciones inadecuadas de confort debido a que la infraestructura no permite la recirculación de aire; es decir, la velocidad del aire en el interior es casi nula (0.2 m/s) y en la misma existen ventanales grandes los cuales permiten una gran incidencia de radiación solar y al mismo factor se le adjudica la transmisión de calor que presenta las cubiertas de Zinc que constituyen el techo del aula, también se considera la generación de calor por parte del funcionamiento del Proyector.

Todos estos antecedentes han coadyuvado para que las condiciones presentadas en este espacio físico sean incómodas ya que no se cumplen con las condiciones de confort. Ello genera que el proceso cognitivo que involucra al docente y a los estudiantes no se desarrolle de manera eficiente.

### **2.2. Importancia y alcances**

- El confort térmico es un elemento fundamental en cualquier actividad del ser humano y sobre todo cuando interviene para el proceso de aprendizaje de los estudiantes con el docente, en nuestro proyecto solventaremos el problema existente en el aula F1.



### 3. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS.

#### 3.1. Objetivo General

- Estudiar el gradiente térmico para alcanzar condiciones de confort humano, en el aula F1 de la Universidad Politécnica Salesiana.

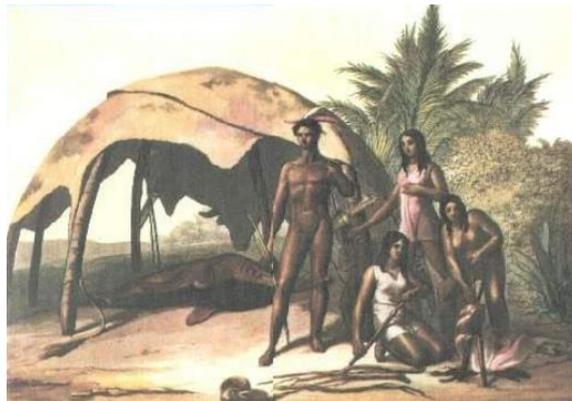
#### 3.2. Objetivos Específicos

- Establecer los factores externos e internos que afectan actualmente las condiciones de confort del aula F1.
- Determinar las condiciones de confort en el aula F1, mediante la variación de los diferentes factores que afectan.
- Diseñar y simular un sistema de Aire acondicionado para las necesidades presentes en el aula F1.

### 4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

#### 4.1. Reseña Histórica

Con el pasar de los tiempos el ser humano sigue evolucionando buscando maneras más exigentes con respecto al confort humano para así sentirse más cómodo en su entorno. Al comienzo de la civilización el hombre se enfocaba en sobrevivir y no en el confort térmico. (Figura 2).



**Figura 2.** Comienzo de la civilización sin confort térmico. Fuente [2]

Alrededor del siglo XIV se podía observar una vivienda donde todo era desorganizado, preocupándose más por su presencia que por un buen confort térmico. Las viviendas eran de tipo colectivo sin tener intimidad alguna, así las poblaciones de esos tiempos usaban abrigos gruesos para así mantener su cuerpo a una temperatura adecuada.

A finales de la edad media estas condiciones fueron cambiando, y apareció la conciencia individual y con ello una idea distinta del hábitat; se empieza a buscar lo íntimo, el desarrollo de lo individual, lo privado y lo familia. Para el siglo XVIII cambia la forma de identificarse con el bienestar doméstico.[2]

#### 4.2. Confort Térmico

Se denomina Confort Térmico cuando las condiciones de temperatura, humedad y movimientos del aire son confortables en referencia a la actividad que desarrollan los humanos, es decir, las personas no experimentan sensación de calor ni de frío, adaptándose a su entorno.

Para la correcta evaluación del confort térmico hay que valorar sensaciones que conllevan una importante carga subjetiva; existiendo unas variables modificables que influyen en los intercambios térmicos entre el individuo y el medio ambiente, y que contribuyen a la sensación de confort, éstas son: la temperatura del aire, la temperatura de las paredes y objetos que nos rodean, la humedad del aire, la actividad física y la velocidad del aire.[2]

La American Society of Heating Refrigeration and Air conditioning Engineers, más conocida como ASHRAE, define el confort como aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico.[3]

Las condiciones de confort presentan características distintas dependiendo del punto de vista subjetivo de cada una de las personas que se encuentran dentro de un ambiente en un momento determinado como se indica en la figura 3. El confort en un lugar de trabajo es esencial para desarrollar la actividad laboral con la mayor eficiencia. [4]

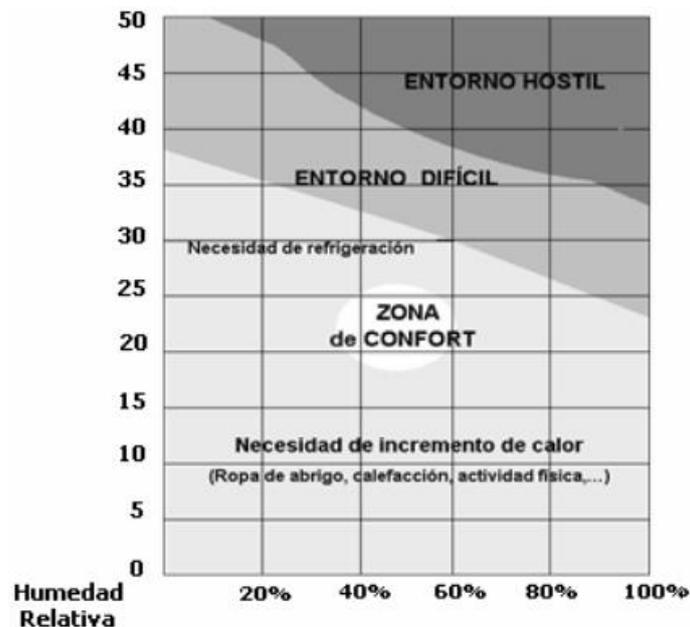


Figura 3. Gráfico de las zonas de confort. Fuente [4]

### 4.2.1. Zona de confort.

Existen varios organismos internacionales que establecen rangos de temperatura para que no se llegue a producir una sensación de incomodidad o no confort en las personas. [4]

La American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), nos dice que los valores de temperatura dependen directamente del valor de humedad relativa que se tenga [4]. Dentro de estos rangos se tienen:

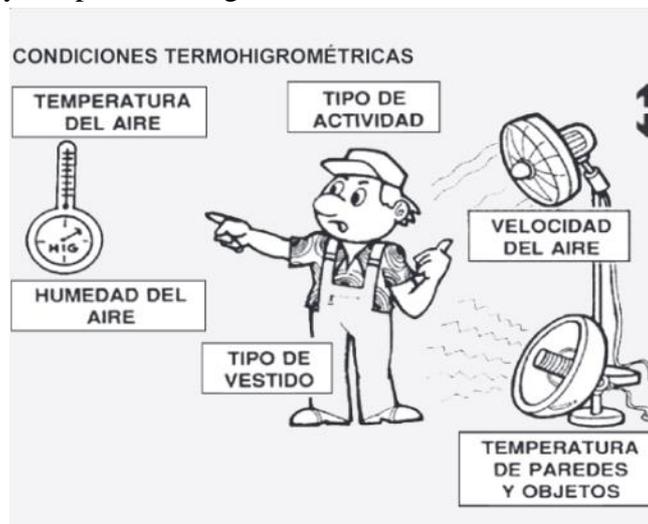
**Tabla No. 1.** Valores de Temperatura aceptables de acuerdo a la norma ASHRAE. Fuente [4]

HUMEDAD RELATIVA (%)	TEMPERATURA (°C)	
	MÍNIMA	MÁXIMA
30	20	25
40 – 50	20	24
60	20	23

De acuerdo a la tabla (1) la humedad relativa y temperatura seca dentro del ser humano debe estar entre 40% y 60% y entre 21 °C y 26 °C respectivamente, para que las personas se encuentren en un estado de completo bienestar físico, mental y social. [8]

### 4.3. Condiciones Ambientales

Para la realización del trabajo se basó en las condiciones reglamentarias de confort que son: humedad, ventilación y temperatura. Figura 4.



**Figura 4.** Variables de confort térmico. Fuente [5]

Se explicará detalladamente dichas variables: **temperatura, humedad y ventilación**, que son muy importantes para el desarrollo del trabajo que se está realizando, así como algunas de las principales medidas preventivas.

### 4.3.1. Temperatura

La temperatura es un factor muy importante en el proceso de este trabajo y para eso se abordarán dos conceptos:

#### 4.3.1.1. Temperatura del aire ( $T_a$ )

Se define como “una magnitud física descriptiva que mide el estado de la materia y la forma como esta intercambia energía térmica con el ambiente”. [4]

La temperatura causa sensaciones de calor y frío, aumenta y disminuye el tamaño de los cuerpos y la emisión de radiación por los cuerpos, influyendo directamente en la sensación de calor que puede percibir un individuo a través de la piel o por el aire que respira en un espacio determinado. [4]

La temperatura seca del aire es la que se encuentra rodeando al individuo. La diferencia entre esta temperatura y la temperatura de la piel de las personas determina el intercambio de calor entre el individuo y el aire, intercambio de calor por convección. Asimismo, tenemos el intercambio de calor por radiación entre unas y otras superficies del ambiente (piel, mesa, escritorios, sillas, computador, teclado, cristales, techo y paredes) como se indica en la figura 5.[5]



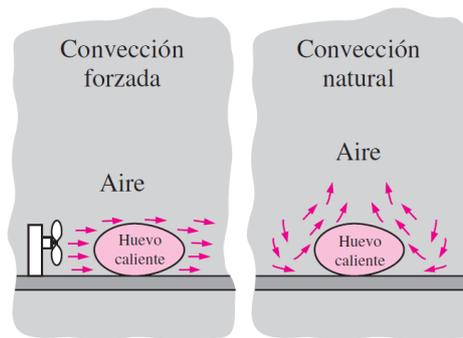
Figura 5. Variables de confort térmico. Fuente[5]

El intercambio de calor entre el hombre y el medio ambiente se realiza de varias maneras:

#### 4.3.1.1.1. Intercambio por Convección

El modo de transferencia de calor por convección en realidad consiste en dos mecanismos que operan de manera simultánea. El primero es de transferencia de energía generada por el movimiento molecular, es decir, el modo conductivo. Superpuesta a este modo se encuentra la transferencia de energía por el movimiento macroscópico de fracciones de fluido. El movimiento de fluidos es un resultado de fracciones de fluido, donde cada una consiste en una gran cantidad de moléculas, que se mueven por la acción de una fuerza externa. Esta fuerza externa puede ser el resultado de un gradiente de densidad, como en la convección natural, o

por una diferencia de presión generada por una bomba o un ventilador, o posiblemente por una combinación de las dos. (Figura 6) [6]



**Figura 6.** Tipos de convección. Fuente [15, p. 26]

En ausencia de cualquier movimiento masivo de fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente es por conducción. [15]

#### 4.3.1.1.1. Coeficiente de transferencia de calor por convección

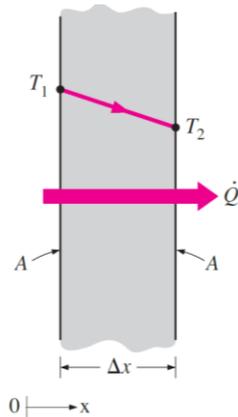
**Tabla No 2.** Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección. [35]

Condición del aire	Coeficiente ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )
Convección natural	Desde 5 hasta $10 W/m^2 \text{ } ^\circ C$
Aire con velocidad de 2 m/s	Aproximadamente $10 W/m^2 \text{ } ^\circ C$
Aire con velocidad de 35 m/s	Aproximadamente $75 W/m^2 \text{ } ^\circ C$

#### 4.3.1.1.2. Intercambio por Conducción

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres (Figura 7)

La rapidez o razón de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de éste, su espesor y el material de que está hecho, así como de la diferencia de temperatura a través de él. [15]



**Figura 7.** Conducción. Fuente [15, p. 18]

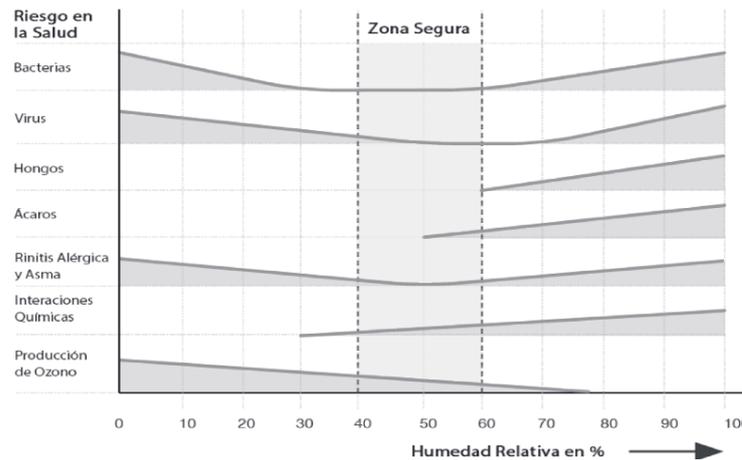
#### 4.3.1.1.3. Intercambio por Radiación

La radiación térmica es la energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura finita. Aunque centraremos nuestra atención en la radiación de superficies sólidas, esta radiación también puede provenir de líquidos y gases. Sin importar la forma de la materia, la radiación se puede atribuir a cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivos. La energía del campo de radiación es transportada por ondas electromagnéticas.[7]

Si la temperatura de la piel es mayor que la temperatura radiante media, el cuerpo cede calor por radiación al ambiente; si es al revés, el organismo recibe calor del medio.[2]

#### 4.3.1.2. Humedad

La humedad es el contenido de vapor de agua en el aire. Un valor importante relacionado con la humedad es la humedad relativa (HR), que es la relación porcentual entre la presión de vapor de agua existente, con respecto a la máxima posible, para la temperatura del aire existente. La percepción de la temperatura no solo va a depender de la temperatura del aire, sino también de la humedad. Es decir, al aumentar la humedad se incrementa la temperatura efectiva. Y por el contrario, con niveles bajos de humedad relativa se produce sequedad en las mucosas conjuntivales, respiratorias y ojos. En otros estudios se ha visto que, si es alta la humedad, provoca una disminución de la atención, de la vigilancia y de la destreza de los gestos. En el trabajo de oficinas y de acuerdo a los rangos de confort, se debe mantener una humedad relativa entre 45% y el 65% (Figura8). De no ser así se presentan riesgos.[5]



**Figura 8.** La humedad relativa y los riesgos asociados para diferentes niveles. Fuente [5]

#### 4.3.1.2.1. Rangos de Humedad Relativa de Confort

Existen varios organismos internacionales como (ASHRAE) que establecen rangos de variación de Humedad para que ésta no llegue a producir una sensación de incomodidad o no confort en las personas.[4]

Se han determinado ciertos valores de Humedad Relativa permisibles dependiendo directamente del tipo de estación y condiciones climáticas de las que se disponga. De este modo se tiene que:[4]

Los valores de Humedad Relativa aceptable para temperaturas entre 20°C y 25°C es del 30%, para temperaturas entre 20°C y 24°C está entre el 40% y 50% y para temperaturas entre 20°C y 23°C es del 60%. [4]

Existen además otras formas de determinar los rangos de Humedad Relativa adecuados en un ambiente cerrado, una de las principales es la que se realiza en base a la actividad de las personas como se muestra a continuación:

**Tabla No. 3.** Valores de Humedad Relativa aceptables de acuerdo al tipo de actividad. Fuente [4]

ACTIVIDAD	HUMEDAD RELATIVA (%)	
	MÍNIMA	MÁXIMA
Normal	30	70
Riesgo de Electricidad Estática	50	70

Si la humedad ambiental está fuera de dicho rango se pueden producir los siguientes efectos:

- Baja humedad relativa: se produce un incremento de la transpiración del cuerpo, relacionada con la temperatura ambiental, que ocasiona, fundamentalmente, sequedad de las mucosas de nariz, boca, etc.

- b) Alta humedad relativa: la transpiración se ve reducida, y la termorregulación del cuerpo no es eficaz ante altas temperaturas.

#### 4.3.1.3. Velocidad de aire

La velocidad del aire interviene de forma directa en el balance térmico y en la sensación térmica, ya que, según sea la velocidad, variará la capa de aire que nos aísla y aumentará la evaporación del sudor.

El rango de medida de acuerdo a la norma ISO 7726 se extiende de 0,05 a 2 m/s. La exactitud exigida es del 5 % al medirse como el valor medio de 1 o 3 minutos. Existen dos tipos de instrumentos para medir la velocidad del aire: los anemómetros de aspas giratorias y los termoanemómetros.[2]

### 4.4. Generación y transferencia del calor del cuerpo humano

#### 4.4.1. Transferencia de calor del cuerpo humano

El cuerpo humano genera calor sensible que causa el aumento de la temperatura del aire dentro del edificio y calor sensible debido a la sudoración y respiración, que incrementan la humedad del aire. [9]

$$h_{\text{convc}} = 3.1 \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right)$$

#### 4.4.2. Intercambio de calor del cuerpo humano por convección

El fenómeno de convección es muy complejo y depende de numerosas variables, como la diferencia de temperatura, la dirección del flujo de aire y de la existencia de aire en movimiento.

En el caso de una superficie vertical con el aire en reposo, el flujo de calor por convección natural  $Q_c$  es aproximadamente de:

$$Q_c = 3.7 \cdot \Delta T \text{ [W/m}^2\text{]}$$

El coeficiente de Transmisión Superficial  $h = 1/ R_s = 1 / 0.11 = 9.1 \text{ W/m}^2$  se puede expresar como la suma del flujo de radiación y convección, si la temperatura del aire y de las paredes son iguales:

$$Q = h \cdot \Delta T = Q_r + Q_c$$

$$Q_r = 5.4 \cdot \Delta T \text{ [W/m}^2\text{]}$$

$$Q = 5.4 \cdot \Delta T + 3.7 \cdot \Delta T = 9.1 \Delta T$$

Cuando existe aire en movimiento a una velocidad  $v$  [m/s], aumenta el flujo de calor  $Q_{cf}$  por convección forzada, y se puede aplicar la siguiente ecuación simplificada: [10]

$$Q_{cf} = (3.7 + 3.8v) DT \text{ [W/m}^2\text{]}$$

#### 4.4.3. Coeficiente total de transmisión de calor –K.

Se define como la cantidad de calor que se transmite en la unidad de tiempo a través de la unidad de superficie de un elemento constructivo, muro, tabique, vidrio, techos, etc., de un cierto espesor, cuando la diferencia de temperatura entre las masas de aire que se encuentran a ambos lados del elemento es de un grado kelvin (o grado centígrado).

En la realidad los elementos que se estudian no son homogéneos, sino que están formados por distintos componentes, que a los efectos prácticos cada uno de ellos se consideran homogéneos (revoques, barreras térmicas, mamposterías, etc.).

No se determina directamente el coeficiente  $K$ , sino que suele aplicarse su inversa a la cual denominamos resistencia térmica total y estará dada por la fórmula: [16]

$$R_t = \frac{1}{K} = \left( \frac{1}{\alpha_i} \right) + \left( \frac{e_1}{\lambda_1} \right) + \left( \frac{e_2}{\lambda_2} \right) + \left( \frac{e_3}{\lambda_3} \right) + \dots + \left( \frac{1}{\alpha_e} \right)$$

$\alpha_i, \alpha_e$  = coeficientes peliculares

$e_1, e_2, \dots, e_n$  = espesores de los distintos materiales.

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  = coeficientes de conductibilidad térmica.

#### 4.5. Aire Acondicionado

Los avances en materia de tecnología le han reportado a la humanidad entera muchísimos beneficios, en tanto, uno de los más entrañables y que impactan directamente sobre nuestro confort y calidad de vida son los sistemas de aire acondicionado. [45]

Hoy, prácticamente nadie debe padecer las olas de calor y de frío ya que los sistemas de aire acondicionado frío/calor son ciertamente accesibles; y lo más importante: fáciles de instalar en casa, en la oficina o en un establecimiento comercial, entre otros.

Si bien el concepto está asociado a la refrigeración, debemos indicar que es correcto que se aplique también a la calefacción de un ambiente, y asimismo a la reducción de las condiciones de humedad ambiental vigentes.

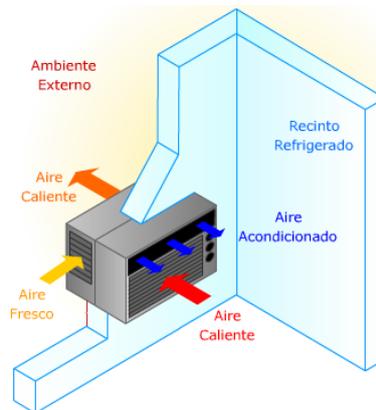
Básicamente el aire acondicionado es un aparato que, a través de su programación, permite regular la temperatura de un espacio, ya sea aportando calor o refrigerándolo, según las necesidades. Incluso, la mayoría de los equipos permiten regular otras cuestiones como son la humedad ambiental y la renovación del aire a través de la función de ventilación. [45]

Entonces, el sistema de aire acondicionado, en el verano, nos aportará frío en el ambiente y quitará humedad, mientras que en el invierno nos traerá calor y aportará humedad.

Ahora bien, tanto en condiciones climáticas frías o calurosas, el aire también podrá ser utilizado para ventilar, filtrar y hacer circular el aire del ambiente.[17]

#### 4.5.1. Acondicionamiento de Aire

El acondicionamiento del aire es el proceso de tratamiento necesario para mantener las condiciones ambientales de temperatura, humedad relativa, movimiento y limpieza del aire de un lugar en los valores deseados para garantizar el confort y el grado de higiene requerido (Ver figura 9).[17]



**Figura 9.** Ejemplo de un equipo de acondicionamiento de aire. Fuente [17]

#### 4.6.Emisividad.

##### 4.6.1. Grado de emisividad

El grado de emisividad describe la capacidad de un cuerpo de emitir radiaciones electromagnéticas. El grado de emisividad es específico de cada material.

Los plásticos, alimentos y materiales no metálicos (papel, cerámica, yeso, madera, pinturas y barnices) disponen de un grado de emisividad alto, lo que significa que su temperatura superficial se puede medir con mucha facilidad a través de infrarrojos.

Debido a su grado de emisión bajo o irregular, los metales brillantes y óxidos de metal solo son relativamente adecuados para la medición por infrarrojos. Como solución, se pueden aplicar revestimientos que aumentan la emisividad, tales como barniz o cinta adhesiva sobre el objeto que se va a medir.

La tabla 4 recoge los grados de emisividad típicos de materiales importantes. Estos valores se pueden utilizar como orientación en los ajustes personalizados. [11]

**Tabla No. 4.** Grado de emisividad Fuente [11]

<b>Material (temperatura del material)</b>	<b>Grado de emisividad</b>
Aluminio, laminado brillante (170 °C)	0,04
Algodón (20 °C)	0,77
Hormigón (25 °C)	0,93
Hielo, suave (0 °C)	0,97
Hierro, esmerilado (20 °C)	0,24
Hierro con capa de fundición (100 °C)	0,80
Hierro con capa laminada (20 °C)	0,77
Yeso (20°C)	0,90
Vidrio (90 °C)	0,94
Caucho, duro (23 °C)	0,94
Caucho, gris blando (23 °C)	0,89
Madera (70 °C)	0,94
Corcho (20 °C)	0,70
Radiador, negro anodizado (50 °C)	0,98
Cobre, deslustrado (20 °C)	0,04
Cobre, oxidado (130 °C)	0,76
Plásticos: PE, PP, PVC (20 °C)	0,94
Latón, oxidado (200 °C)	0,61
Papel (20 °C)	0,97
Porcelana (20 °C)	0,92
Pintura negra, mate (80 °C)	0,97
Acero, superficie con tratamiento térmico (200 °C)	0,52
Acero, oxidado (200 °C)	0,79
Arcilla, cocida (70 °C)	0,91
Barniz para transformadores (70 °C)	0,94
Ladrillo, mortero, revoque (20 °C)	0,93

#### 4.7. Radiación solar

La radiación solar es el flujo de energía que recibimos del sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta). La luz visible son las radiaciones comprendidas entre 0,4  $\mu\text{m}$  y 0,7  $\mu\text{m}$ ; pueden ser detectadas por el ojo humano. Existen radiaciones situadas en la parte infrarroja del espectro, de la cual una parte es ultravioleta. [33]

#### 4.7.1. Tipos de Radiaciones

**4.7.1.1. Radiación directa:** llega directamente del sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan. [33]

**4.7.1.2. Radiación Difusa:** Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación se denomina difusa, va en todas las direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no solo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, etc [33]

**4.7.1.3. Radiación Reflejada:** Es aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie. Las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben. [33]

**4.7.1.4. Radiación global:** Es la radiación total. Es la suma de las tres radiaciones.[33]

#### 4.8. Instrumentación.

##### 4.8.1. Cámara Termográfica TESTO 875

La testo 875 es una cámara térmica práctica y resistente que permite determinar y representar la distribución de la temperatura en superficies sin contacto. Sus partes se detallan en la figura 10.



Figura 10. Cámara termo gráfica TESTO 875. FUENTE [11]

1 Visualizador.

2 Teclas de función

3 Tecla de desenclavamiento de la batería del instrumento.

4 Rosca métrica: para fijar el adaptador para trípode incluido en la entrega. No utilizar trípodes de sobremesa, porque podría caerse la cámara.

- 5 Terminal de interfaces derecho: sin ocupar
- 6 Objetivo de la cámara digital: para registrar las imágenes visuales (solo testo 875-2).
- 7 Objetivo de la cámara infrarroja: para registrar las imágenes termográficas.
- 8 Anillo de enfoque (enfoque manual): para el enfoque manual.
- 9 Anillo de fijación del objetivo
- 10 [Disparador]: para registrar (congelar/guardar) imágenes.
- 11 Terminal de interfaces izquierdo: ranura para tarjetas de memoria. Interface USB. Conector para cable de alimentación para conectar el alimentador incluido en la entrega. Compartimento para batería de memoria.
- 12 LED de estado. [11]

#### *4.8.1.1. Campos de aplicación típicos:*

- x Inspección de edificios (especialistas en calefacción, ventilación y climatización, encargados de mantenimiento, despachos de ingenieros, peritos): evaluación energética de edificios
- x Mantenimiento preventivo: inspección mecánica y eléctrica de instalaciones y máquinas
- x Control de la producción (aseguramiento de la calidad): control de procesos de producción La testo 875 está disponible en diferentes variantes diseñadas para hacer frente a requisitos de uso distintos:
  - x testo 875-1: objetivo gran angular de alta calidad de 32° x 23 detector de 160 x 120, enfoque manual, tarjeta SD de 2 GB para aprox. 1000 imágenes, distancia mínima de enfoque 10 cm
  - x testo 875-2: objetivo gran angular de alta calidad de 32° x 23, detector de 160 x 120, enfoque manual, tarjeta SD de 2 GB para aprox. 1000 imágenes, distancia mínima de enfoque 10 cm, cámara digital integrada, objetivo intercambiable, indicación de la distribución de la humedad superficial. [12]

#### *4.8.1.2. Medición de humedad:*

- Agitar ligeramente el aparato de medición de la humedad del aire independiente para acortar el tiempo de adaptación. Evitar las fuentes de interferencias (p. ej., aire expirado).
- Termografía de edificios, análisis de la envolvente:
  - Se necesita una clara diferencia de temperatura entre el interior y el exterior (ideal: >15 °C/>27 °F).
  - Condiciones meteorológicas constantes, sin radiación solar intensa, sin precipitaciones, sin viento fuerte.
  - Para garantizar una exactitud máxima, al poner la cámara en marcha se necesita un tiempo de estabilización de 5 minutos.[11]

#### 4.8.2. FLUKE 568 IR Thermometer



**Figura 11.** TERMOMETRO FLUKE 568. FUENTE [14]

Termómetro digital portátil Dual: Infrarrojo y de Contacto, 800 °C, Con emisividad ajustable, conexión USB y Software (figura 11). Posee puntero láser que simplifica las mediciones más complejas gracias a su sencilla interfaz con menús en pantalla y tres botones de navegación. Con tan sólo pulsar un botón, podrá desplazarse con rapidez a través de las funciones avanzadas para ajustar la emisividad, iniciar el registro de datos o activar y desactivar alarmas.[13]

##### *4.8.2.1. Características:*

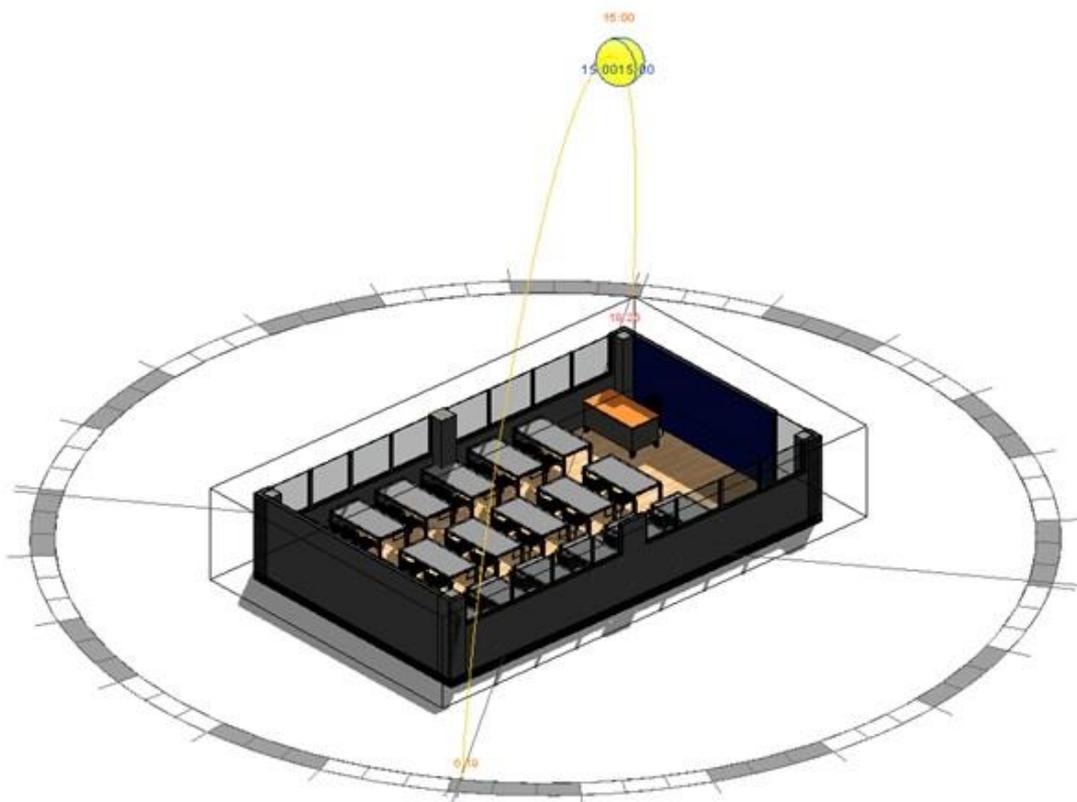
- Medidas de -40 °C a 800 °C (-40 °F a 1472 °F) (568) o de -40 °C a 650 °C (-40 °F a 1202 °F) (566)
- Medida de objetos de menor tamaño desde mayor distancia, con una relación distancia al objetivo - diámetro del mismo de 50:1 (568) o 30:1 (566)
- Su compatibilidad con cualquier termopar tipo K con miniconector estándar le permitirá proteger sus inversiones en termopares
- Medidas fiables en una gran variedad de superficies gracias a la función de emisividad ajustable y a la tabla incorporada de materiales
- Captura de múltiples puntos de medida (hasta 99 con el 568, y 20 con el 566), para descargarlos y recuperarlos cuando sean necesarios
- Se adapta con facilidad a las condiciones de iluminación gracias a sus dos niveles de retroiluminación
- Identificación rápida de problemas con las funciones de valores mínimos, máximos, diferenciales y promedio
- Realice mediciones directas mediante la sonda de contacto tipo termopar K de punta redondeada que se incluye con el termómetro
- Detección fiable de problemas en equipos con una precisión de medición del 1%. [14]

## 5. MARCO METODOLÓGICO.

Para el desarrollo de nuestro tema de trabajo hemos comenzado con la síntesis de las temperaturas registradas en la ciudad de Cuenca.

### 5.1. Datos de Radiación y temperatura

Con los datos de radiación solar en la ciudad de Cuenca que se obtuvieron del INER, determinamos que un valor de radiación media para nuestro trabajo va a ser de 310 (W/m<sup>2</sup>).



**Figura 12.** POSICIÓN DEL SOL CON RESPECTO AL AULA AF1.

**Tabla No. 5 y 6.** Datos de radiación solar en la ciudad de CUENCA del año 2016 y 2017. Departamento INER (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables). [18]

RADIACION SOLAR EN CUENCA AÑO 2016 (W/m <sup>2</sup> )												
ENERO	FEB	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	Promedio
350	328	290	344	321	274	295	310	285	315	305	295	309,333333

RADIACION SOLAR EN CUENCA AÑO 2017 (W/m <sup>2</sup> )												
ENERO	FEB	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	Promedio
305	318	316	363	307	0	0	0	0	0	0	0	311,5

Se realizaron los sondeos de las temperaturas que se registraron durante todo el año 2015, y una reiteración y afirmación de datos con el sondeo de las temperaturas del año 2016 (Tabla 7).

**Tabla No. 7.** Valores de temperatura mínimo, media y máxima de la ciudad de Cuenca. Fuente. Autor

MESES	Año 2015		Año 2016	
	Temperaturas °C		Temperaturas °C	
ENERO	T. Mínima	15,50	T. Mínima	17,2
	T. Media	19,80	T. Media	22,5
	T. Máxima	24,00	T. Máxima	25,9
FEBRERO	T. Mínima	18,30	T. Mínima	16,1
	T. Media	20,90	T. Media	20,9
	T. Máxima	23,70	T. Máxima	25,3
MARZO	T. Mínima	14,10	T. Mínima	15,3
	T. Media	19,30	T. Media	20,4
	T. Máxima	22,80	T. Máxima	23,7
ABRIL	T. Mínima	15,00	T. Mínima	16,3
	T. Media	19,30	T. Media	20,4
	T. Máxima	22,30	T. Máxima	24,6
MAYO	T. Mínima	13,10	T. Mínima	14,3
	T. Media	19,90	T. Media	20,2
	T. Máxima	23,70	T. Máxima	24
JUNIO	T. Mínima	13,00	T. Mínima	11,9
	T. Media	17,60	T. Media	18,1
	T. Máxima	22,80	T. Máxima	22,8
JULIO	T. Mínima	13,50	T. Mínima	13,4
	T. Media	18,40	T. Media	17,9
	T. Máxima	23,30	T. Máxima	21,5
AGOSTO	T. Mínima	16,20	T. Mínima	14,4
	T. Media	18,60	T. Media	15,8
	T. Máxima	21,70	T. Máxima	22,6
SEPTIEMBRE	T. Mínima	14,70	T. Mínima	11,2
	T. Media	19,80	T. Media	19,3
	T. Máxima	23,70	T. Máxima	21,8
OCTUBRE	T. Mínima	16,50	T. Mínima	15,6
	T. Media	19,80	T. Media	19,5
	T. Máxima	23,80	T. Máxima	22,8
NOVIEMBRE	T. Mínima	16,10	T. Mínima	13,5
	T. Media	20,80	T. Media	17,8
	T. Máxima	24,30	T. Máxima	22
DICIEMBRE	T. Mínima	15,70	T. Mínima	13,9
	T. Media	20,50	T. Media	16,2
	T. Máxima	23,40	T. Máxima	20,9

### Temperaturas 2015

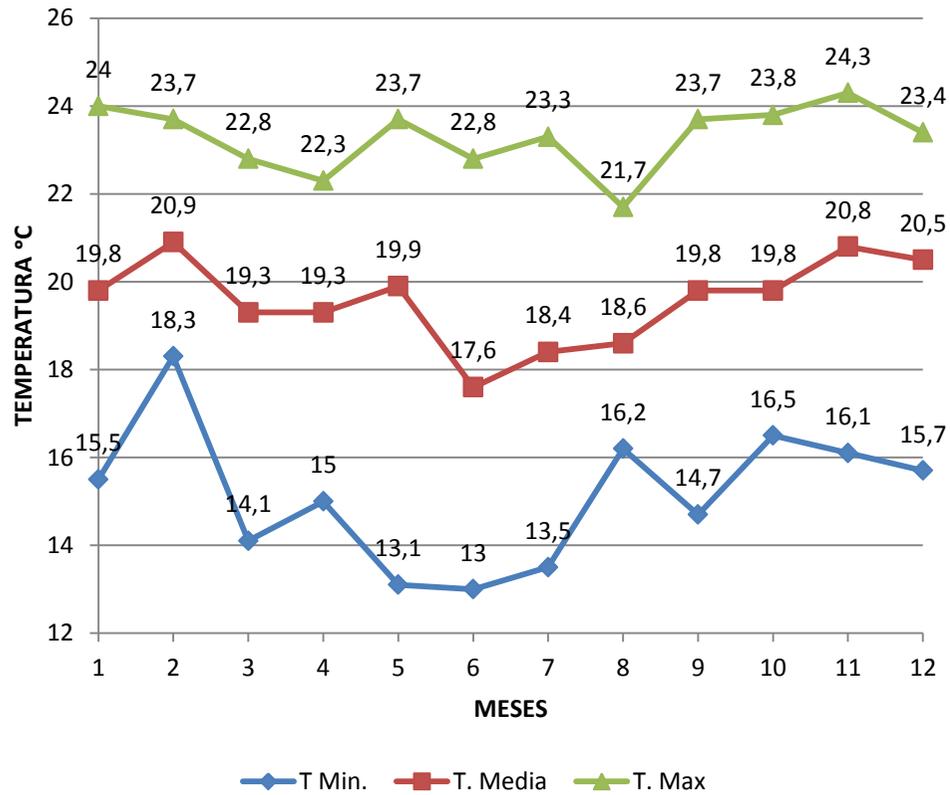


Figura 13. Grafica temperatura máxima año 2015

### Temperaturas 2016

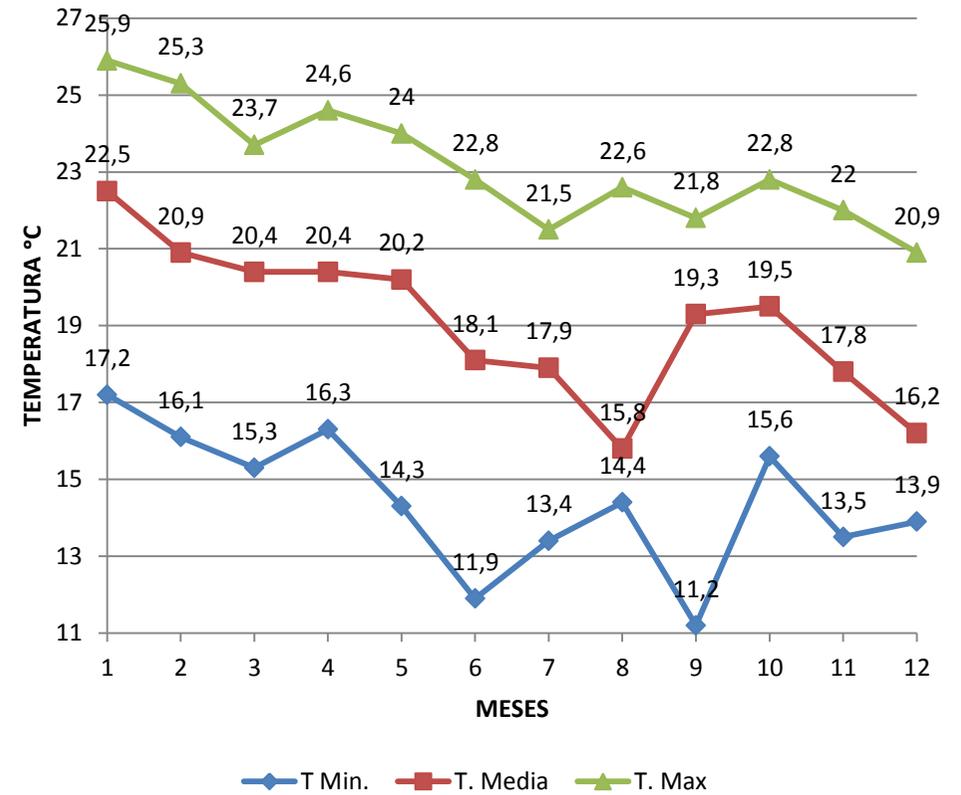
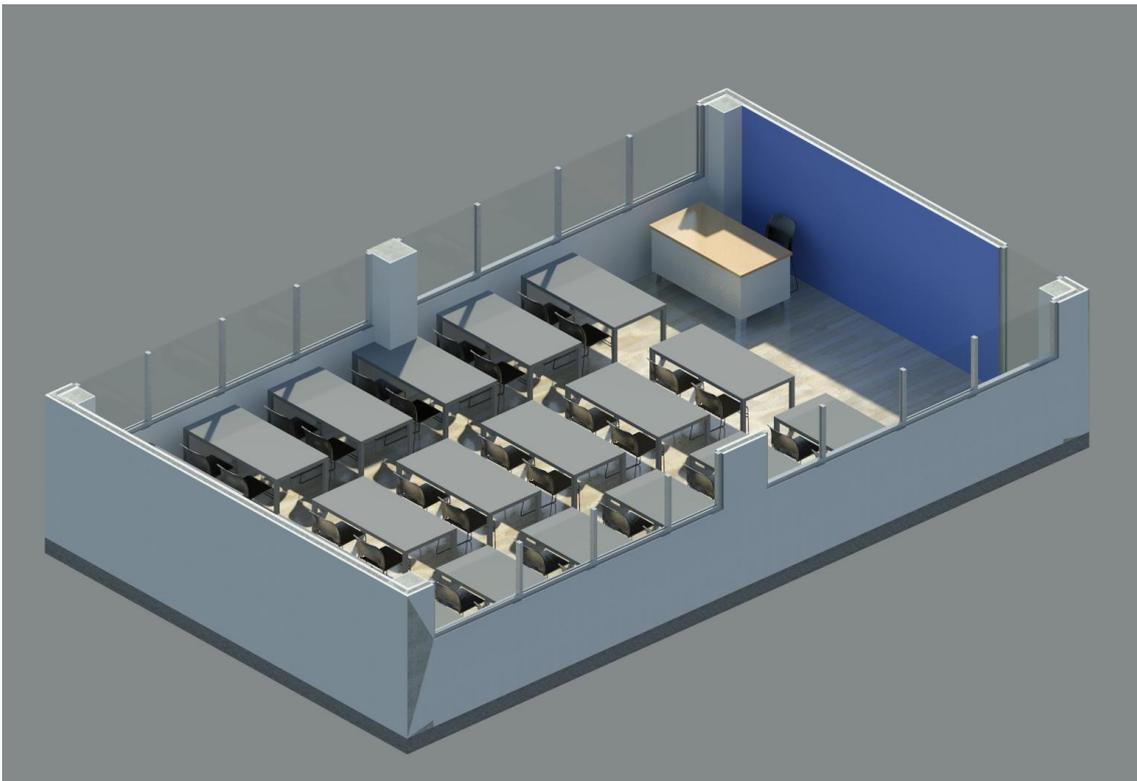


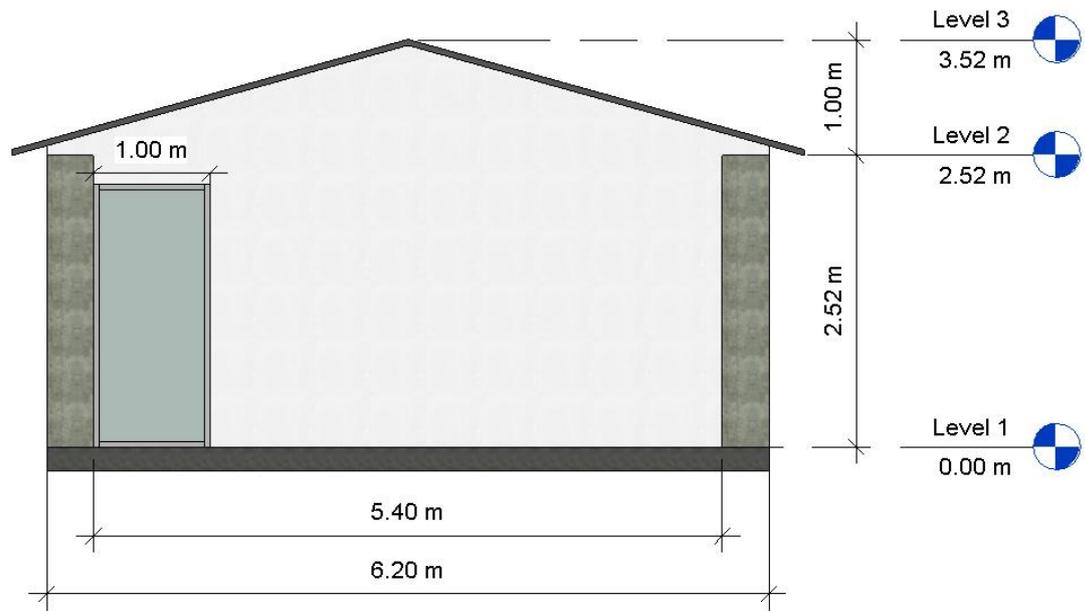
Figura 14. Grafica temperatura máxima año 2016

## 5.2. Características del Aula AF1.

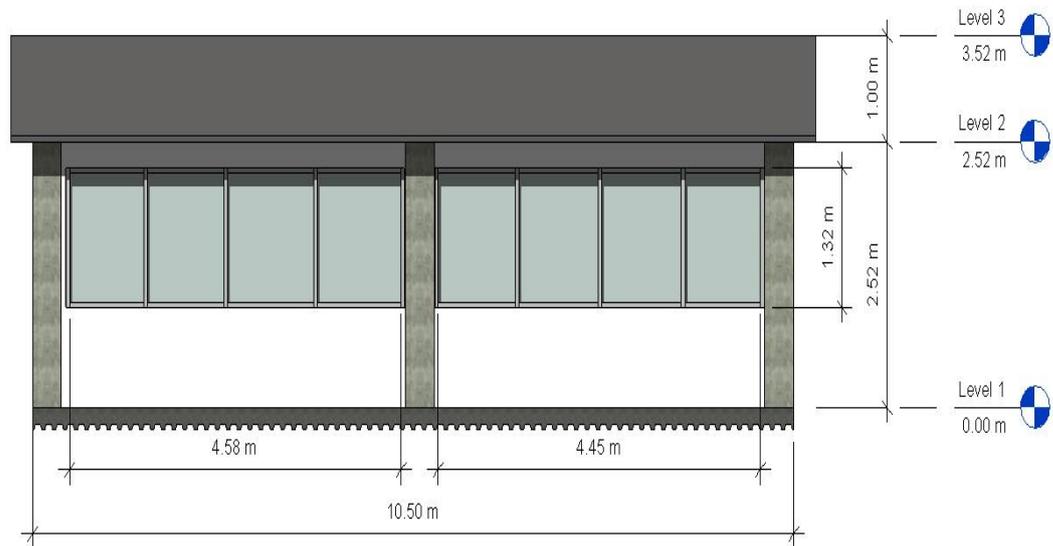
El aula que es objeto de nuestro estudio está conformada por materiales de construcción que poseen deficiencias térmicas, es decir, que permiten que se origine una gran conducción de calor hacia el interior del aula. Las paredes están formadas por bloques de concreto de con un enlucido a ambos extremos, los ventanales construidos por vidrio simple y marco de aluminio, el techo construido con planchas de Zinc y el piso se encuentra con un acabado de madera (figura 15, 16,17 y 18).



**Figura 15.** Vista Axial del Aula AF1. Fuente. Autor.



**Figura 16.** Vista Frontal del Aula AF1. Fuente Autor



**Figura 17.** Vista lateral del Aula AF1. Fuente Autor



**Figura 18.** Vista Interior del Aula AF1. Fuente. Autor

### 5.3.1. Materiales de Construcción.

#### 5.3.1.1. Planchas de zinc

El zinc es un metal blanco-azulado, de brillo metálico. No se encuentra en la naturaleza en estado nativo sino combinado. Se encuentra en el grupo II b de la tabla periódica. Es frágil y cristalino a temperatura ambiente, pero entre 110°C y 150°C se vuelve dúctil y maleable. Es resistente a los agentes atmosféricos al recubrirse con una capa delgada de hidróxido que lo protege de la oxidación.[21]

#### 5.3.1.2. Ventajas de las planchas de zinc.

- Durabilidad. Está garantizada hasta en ambientes altamente corrosivos, observándose sobre todo en su acabado y forma. Un techo de zinc puede durar medio siglo, si se mantiene en buenas condiciones.
- La eficiencia energética. A diferencia de otros tipos de techos (asfalto o tierra batida), el techo de zinc puede retener el aire tibio o caliente, según la temporada.
- Precio. Es uno de los materiales de techo más baratos en el mercado.

- De peso. Es uno de los techos más ligero para estructuras que no pueden soportar mucho peso.
- Fácil transportación. Son resistentes a impactos, manipulación en la instalación, almacenaje o transporte.
- Cubre mayor distancia entre apoyos, significando una reducción de elementos estructurales, logrando una obra más racional y económica. [21]

### 5.3.1.3.Desventajas de las planchas de zinc.

- Ruido. Pueden ser muy ruidosos cuando llueve si no están aislados.
- Desarraigadas. Porque es muy ligero, puede ser fácilmente arrancado por los fuertes vientos.
- Apariencia. Son muy poco atractivos. A diferencia de otros tipos de materiales, como tejas de asfalto o tejas de barro, los techos de zinc son extremadamente simple y aburridos, aunque su aspecto puede ser mejorado con pintura.
- Se calienta mucho durante el día y se “pone como hielo” en la noche (no aísla del calor ni del frío.
- Se oxida y se pica.[21]

Denominación	Descripción (de exterior a interior)	Resistencia térmica [m <sup>2</sup> °C/W]
CAD	Concreto alta densidad:10 cm	0.278
EPS	Poliestireno expandido: 10 cm	2.728
CAD_I	Impermeabilizante: 0.2 cm + concreto de alta densidad: 10 cm	0.318
PIU_ext	Impermeabilizante: 0.2 cm + poliuretano esparado: 2.54 cm + concreto de alta densidad: 10 cm	1.226
Verm	Impermeabilizante: 0.2 cm + vermiculita: 5 cm + concreto de alta densidad: 10 cm	0.582
Asb	Lámina de asbesto: 0.5 cm	0.258
Zinc	Lámina de zinc: 0.2 cm + poliestireno expandido: 10 cm + lámina de zinc: 0.2 cm	2.728

Figura 19. Configuraciones de techo evaluados con sus resistencias térmicas.[22]

### 5.3.1.4.Gypsum

Es un elemento constructivo que se compone de un núcleo de yeso con aditivos especiales de alta calidad, cuyas caras se encuentran revestidas con papel de celulosa altamente resistente como se puede observar en la tabla 8. [38]

Tabla. 8. Características geométricas del Gypsum. Fuente [38]

Espesor(mm)	Ancho(m)	Largo(m)	Peso (Kg/m2)
8	1	1.20	6.6

Las planchas de Gyypsum poseen las siguientes características:

$$\text{Densidad} = 78 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

$$\text{Conductividad térmica} = 0.25 \frac{\text{BTU}}{\text{h ft K}} \text{ [39]}$$

### 5.3.1.5. Vidrio Simple

Es una sustancia líquida subenfriada, sobrefundida, amorfa, dura, frágil, complejo químico de silicatos sólidos y de cal que corresponde a la fórmula:  $\text{SiO}_2 \cdot (\text{Na}_2\text{O})_m (\text{CaO})_n$ .

#### 5.3.1.5.1. Coeficiente de transmisión térmica U

El calor es transferido por el proceso de conducción por la diferencia entre las temperaturas del aire interior y exterior.

Cuando las temperaturas interiores están más bajas que las exteriores, habrá una ganancia de calor conducido del espacio exterior.

Cuando la temperatura exterior está más baja que la interior, habrá una pérdida de calor conducido del espacio interior.

El flujo de calor debido a la diferencia de temperatura entre el aire interior y el aire exterior es definido por su valor «U». La ganancia o pérdida del calor conducido en  $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$  puede hallarse multiplicando el valor «U» por la diferencia entre la temperatura interior y exterior.

El coeficiente de transmisión térmica U ( $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ ), expresa el aislamiento que ofrece el vidrio al paso del calor, por conducción y convección superficial, que fluye a través de su masa. Su valor no varía en forma apreciable con el espesor del vidrio, pues este siempre tiene una magnitud relativamente pequeña si la comparamos con los espesores de otros materiales de construcción.

El coeficiente U de un vidrio incoloro, de color o reflectivo entre 4 y 10 mm de espesor, es del orden de los  $5.6 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Cuando se emplean dos hojas de vidrio separadas con una cámara de aire, quieto y deshidratado, con un espesor entre 6 y 12 mm, la resistencia térmica que ofrece el aire en dichas condiciones, hace que el valor U sea del orden de  $2.9 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Una unidad de vidrio aislante térmico permite reducir en un 50% las pérdidas y/o ganancias de calor producidos por los sistemas de calefacción y/o el admitido por radiación solar a través de las ventanas, asimismo elimina las corrientes convectivas del aire junto a la ventana y la posibilidad de empañado de los cristales por condensación de la humedad.

Su aplicación permite disminuir la necesidad de calefacción o de aire acondicionado reduciendo el consumo de energía y los costos de operación de la edificación.

Con la utilización de vidrios especiales para control térmico y vidrio insulado de una o dos cámaras, se puede llegar a tener un valor de U alrededor de 0.7 W/m<sup>2</sup>K.

### 5.3.1.5.2. Propiedades solares

#### 5.3.1.5.2.1. Energía solar

La energía solar es una onda electromagnética. Esta energía radiante está dividida por ondas de longitud en tres tipos: ultravioleta, visible e infrarrojo. Los tres tipos de energía radiante se convierten en calor cuando son absorbidos.

#### 5.3.1.5.2.2. Transmisión de energía solar

La transmisión de energía solar es una medida de la cantidad de energía total (ultravioleta, visible e infrarroja) que pasa directamente a través de un material transparente o translúcido y es expresada como un porcentaje de la energía radiante total del Sol.

#### 5.3.1.5.2.3. Ganancia de calor relativa

La ganancia del calor relativa es un número usado para comparar productos vidriados basados en una serie de condiciones fijadas. Estas condiciones son un factor de ganancia de calor de 7.345 x 10<sup>6</sup> kWh/m<sup>2</sup> y una diferencia de la temperatura interior y exterior de 7.78°C.

#### 5.3.1.5.2.4. Reflejo total solar

El reflejo total solar es una medida del porcentaje de energía solar (ultravioleta, visible e infrarrojo) reflejada al exterior de una superficie. Para productos reflectivos de primera superficie, mientras más alto el porcentaje, mejor el funcionamiento del producto de control solar.

#### 5.3.1.5.2.5. Coeficiente de sombra

Los coeficientes de sombras son usados para medir las propiedades de ganancias de calor solar de materiales translúcidos o transparentes. El vidrio de 3.0 mm deberá estar preparado para tener un coeficiente de sombra de 1.0. [40]

### 5.3.1.6. Bloque de Cemento de 8 Pulgadas.

Los bloques de concreto son pequeñas piezas prefabricadas individuales con las que se construyen muy flexiblemente paredes estructurales y no estructurales, muros, vigas y columnas. [36]

Su fabricación consta de: Bloque de Hormigón Prefabricado, a base de Cemento Portland Tipo I, Áridos Densos (Caliza o Basalto), Arena, Agua, con o sin Aditivos. Los Bloques son Curados en Cámaras Cerradas, con nebulizadores para hidratar el cemento y sus dimensiones se detallan en la tabla 9.[37]

**Tabla 9.** Características geométricas del bloque de 4 pulgadas. Fuente [37]

Medidas Nominales			Medidas Reales		
<b>Ancho</b>	4 Pulgadas	10,16 cm	<b>Ancho</b>	3-5/8 Pulgadas	9,20 cm
<b>Alto</b>	8 Pulgadas	20,32 cm	<b>Alto</b>	7-5/8 Pulgadas	9,36 cm
<b>Largo</b>	18 Pulgadas	45,72 cm	<b>Largo</b>	17-5/8 Pulgadas	44,76 cm

#### 5.4. Fotos Termográficas del aula F1.

Para la recolección de los datos hemos usado varios instrumentos como la cámara termográfica TESTO 875. Y se ha obtenido diferentes mediciones para poder constatar los problemas de alta temperatura que se presentan en puntos tales como:

##### 5.4.1. Ventana colindante con la calle “DE LAS CARRETAS”.

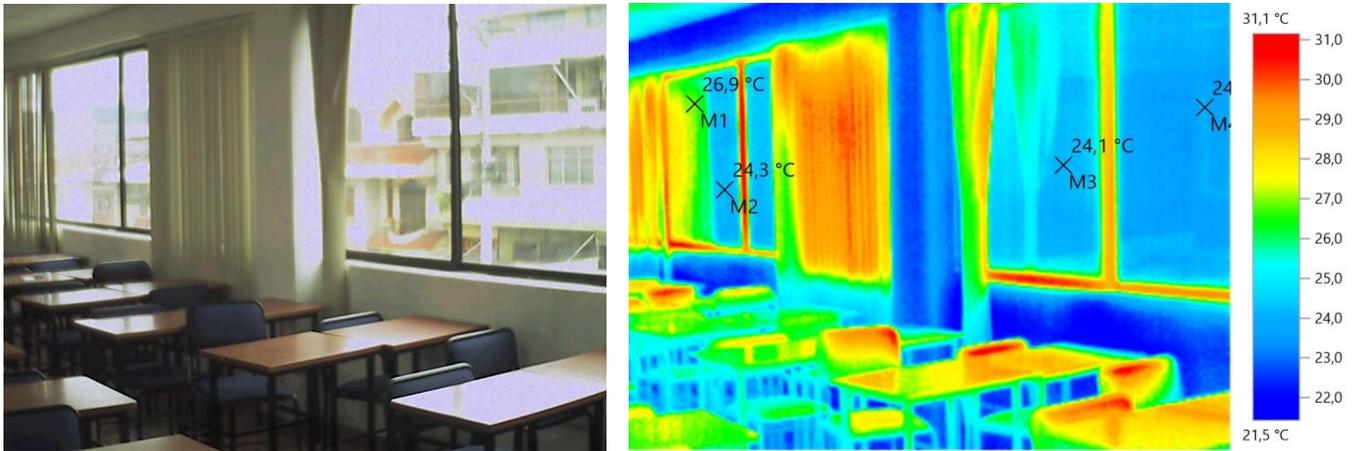


Figura 20. Foto Termográfica de la Ventana Calle a una temperatura ambiente de 17 °C. Fuente. Autor

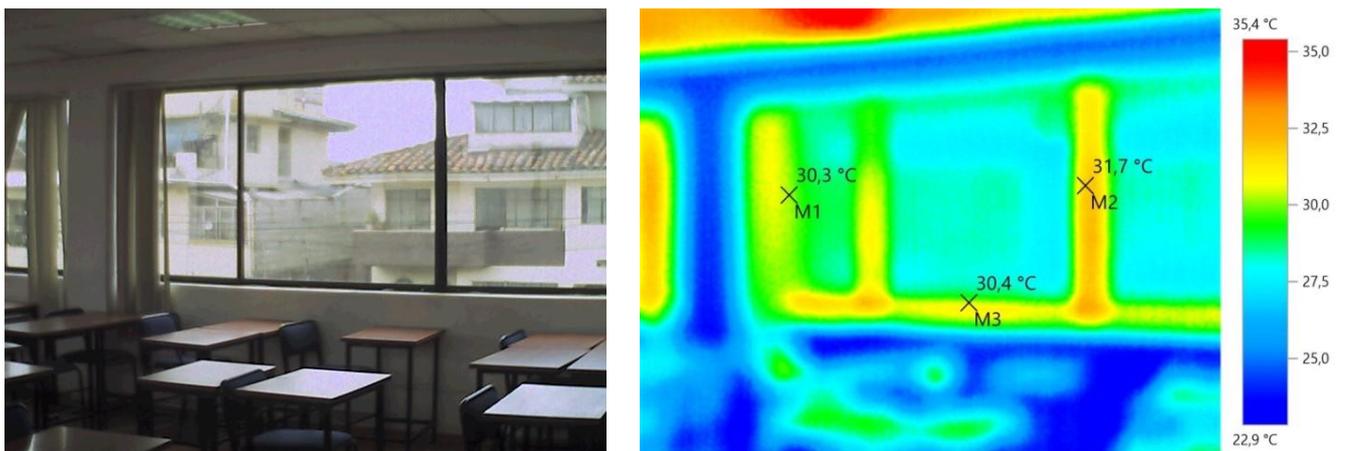


Figura 21. Foto Termográfica de la Ventana Calle a una temperatura ambiente de 20 °C. Fuente. Autor

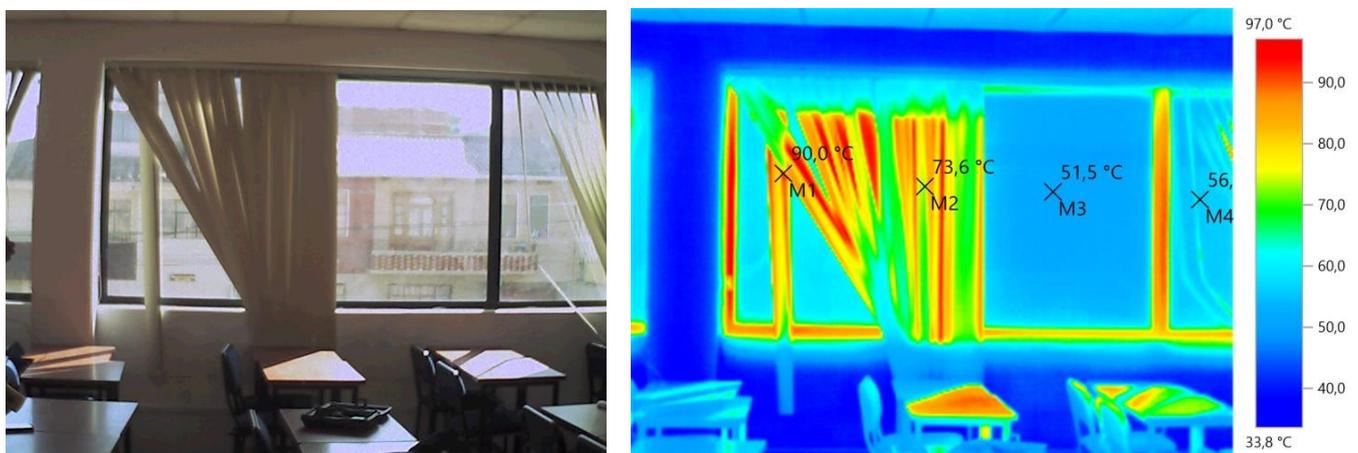
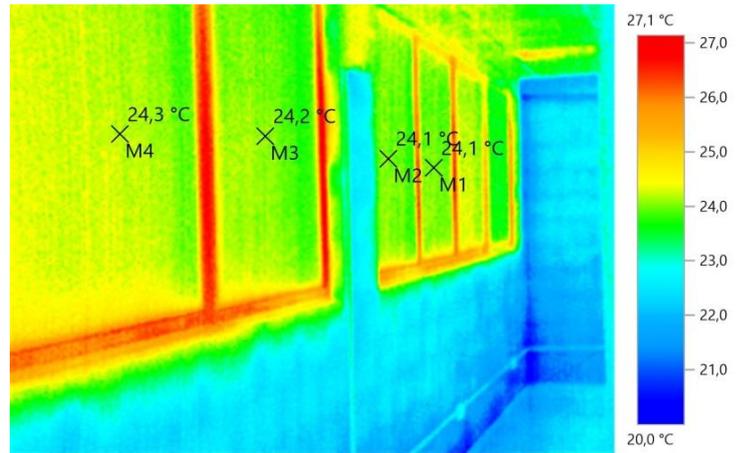
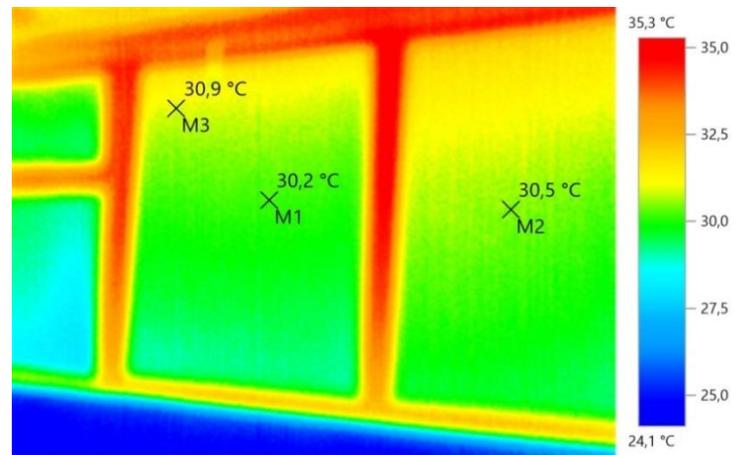


Figura 22. Foto Termográfica de la Ventana Calle a una temperatura ambiente de 24 °C. Fuente. Autor

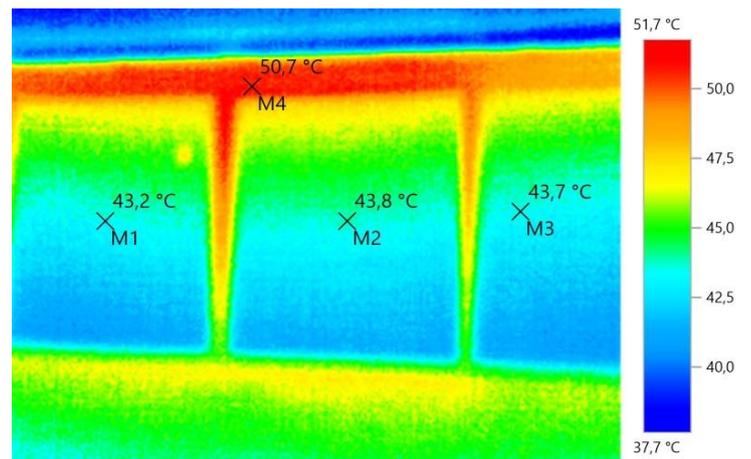
#### 5.4.2. Ventana colindante con los Laboratorios interiores de las UPS.



*Figura 23. Foto Termográfica de la Ventana UPS a una temperatura ambiente de 17 °C. Fuente. Autor*



*Figura 24. Foto Termográfica de la Ventana UPS a una temperatura ambiente de 20 °C. Fuente. Autor*



*Figura 25. Foto Termográfica de la Ventana UPS a una temperatura ambiente de 24 °C. Fuente. Autor*

### 5.4.3. Techo de Zinc del Aula F1.

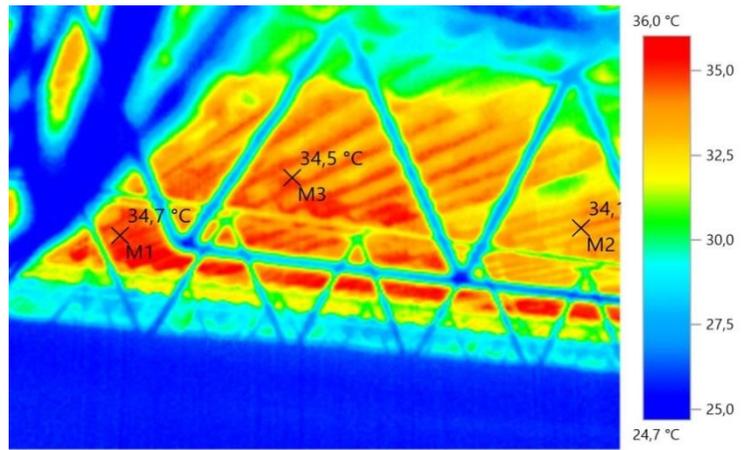


Figura 26. Foto Termográfica Del Techo de Zinc a una temperatura ambiente de 17 °C. Fuente. Autor

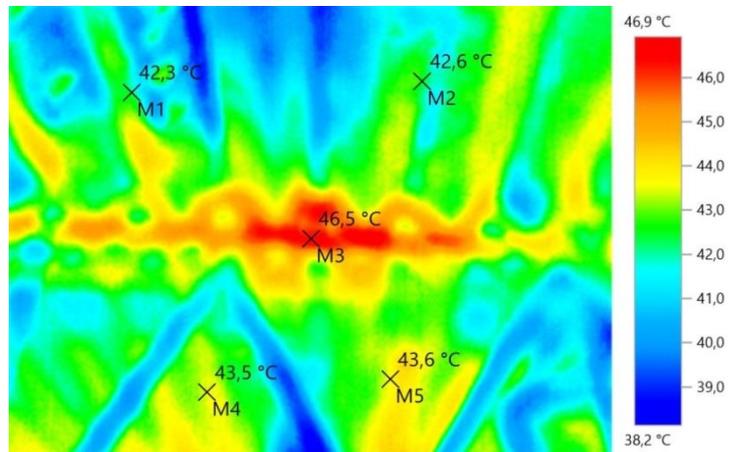


Figura 27. Foto Termográfica Del Techo de Zinc a una temperatura ambiente de 20 °C. Fuente. Autor

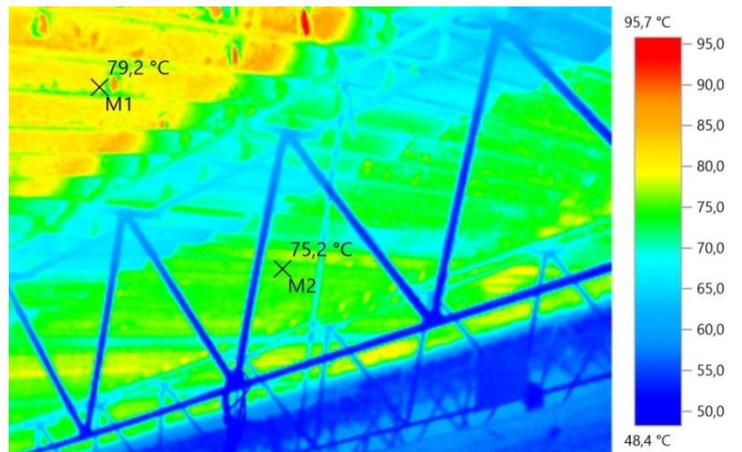
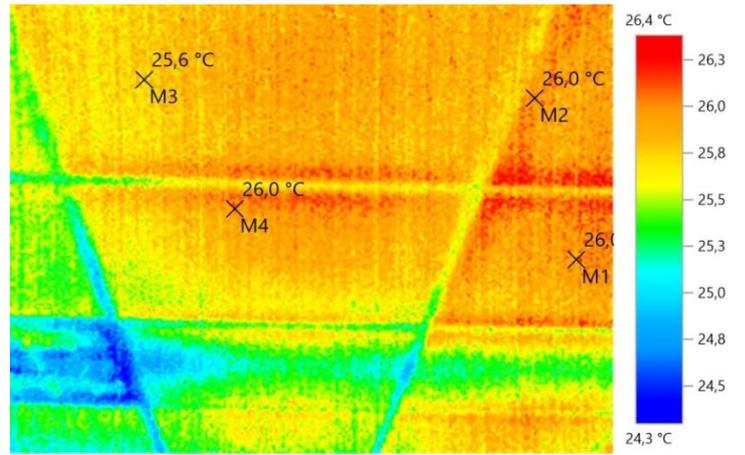
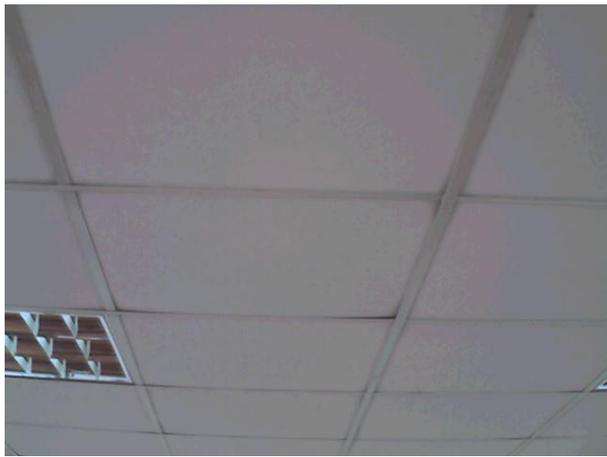
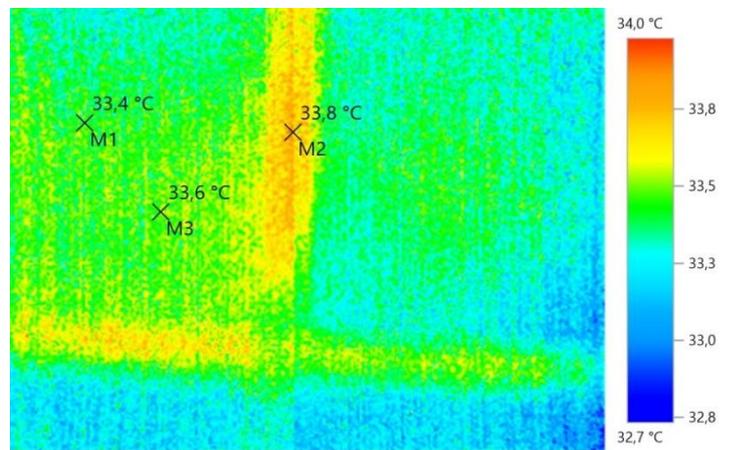
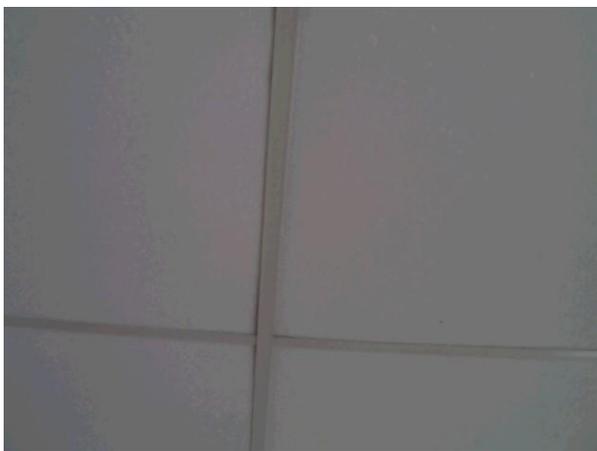


Figura 28. Foto Termográfica Del Techo de Zinc a una temperatura ambiente de 24 °C. Fuente. Autor

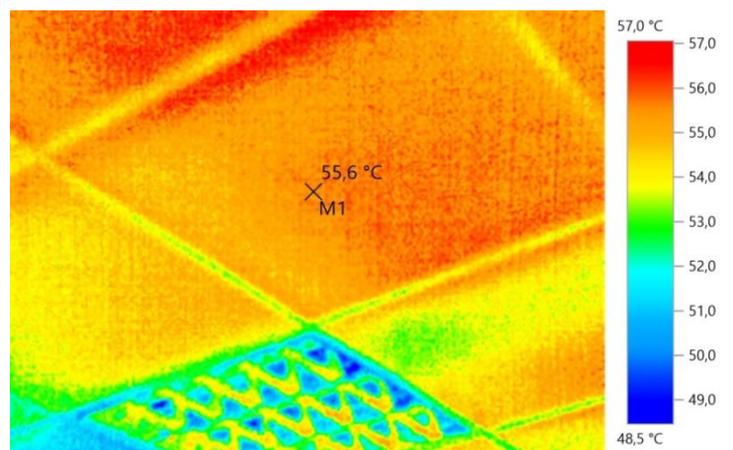
#### 5.4.4. Estuco de Gypsu que cubre el Aula F1.



**Figura 29.** Foto Termográfica del Estuco de Gypsu a una temperatura ambiente de 17 °C. Fuente. Autor

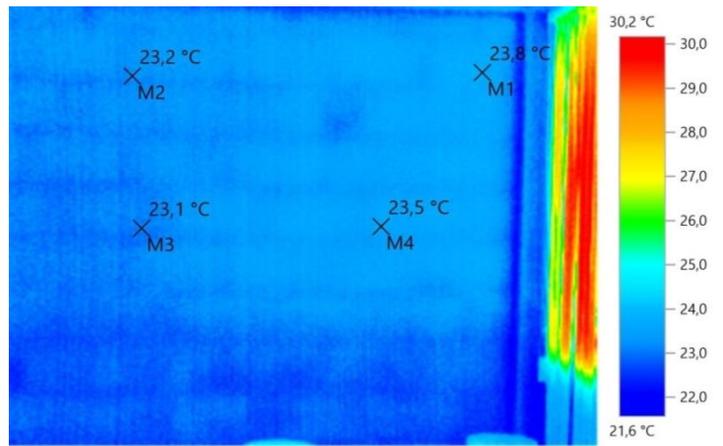
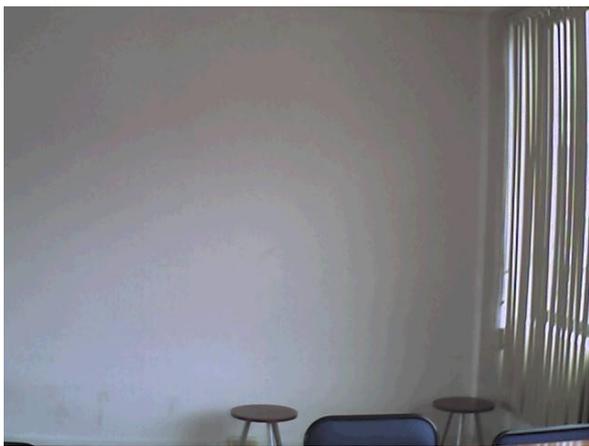


**Figura 30.** Foto Termográfica del Estuco de Gypsu a una temperatura ambiente de 20 °C. Fuente. Autor

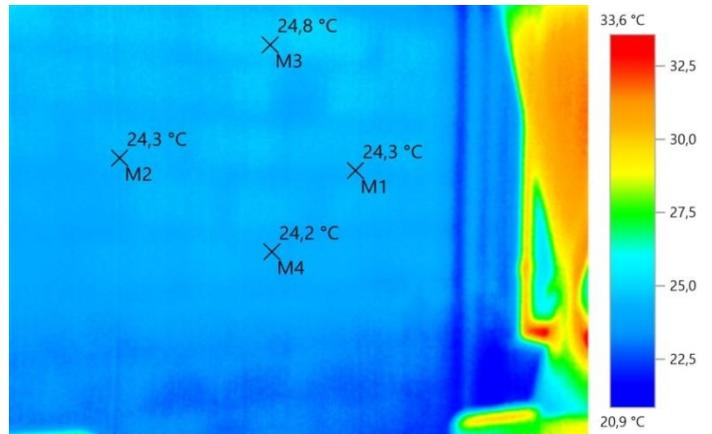


**Figura 31.** Foto Termográfica del Estuco de Gypsu a una temperatura ambiente de 24 °C. Fuente. Autor

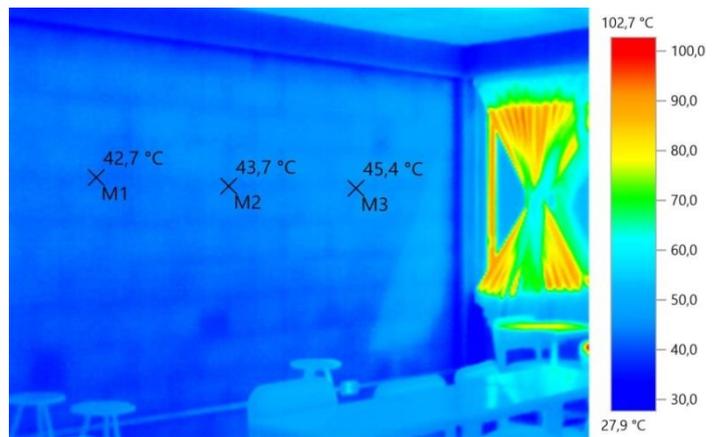
#### 5.4.5. Pared Posterior del Aula F1.



*Figura 32. Foto Termográfica de la Pared posterior a una temperatura ambiente de 17 °C. Fuente. Autor*

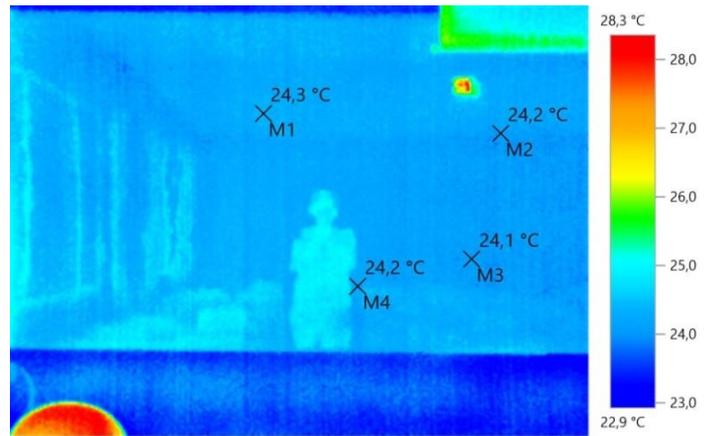


*Figura 33. Foto Termográfica de la Pared posterior a una temperatura ambiente de 20 °C. Fuente. Autor*

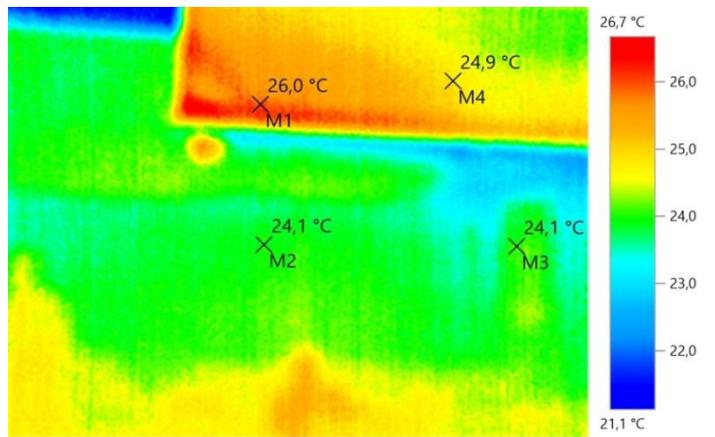


*Figura 34. Foto Termográfica de la Pared posterior a una temperatura ambiente de 24 °C. Fuente. Autor*

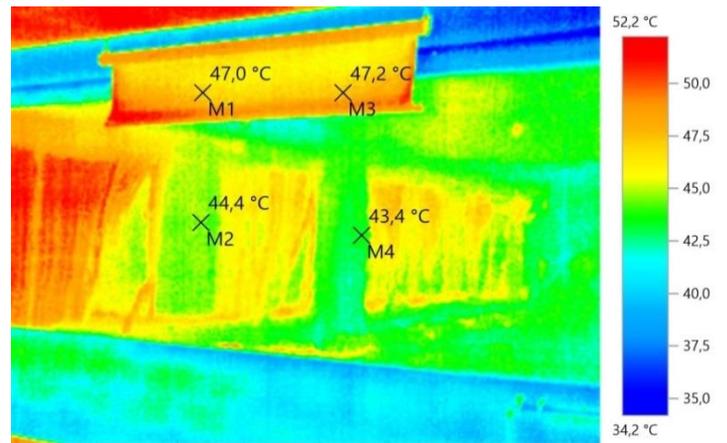
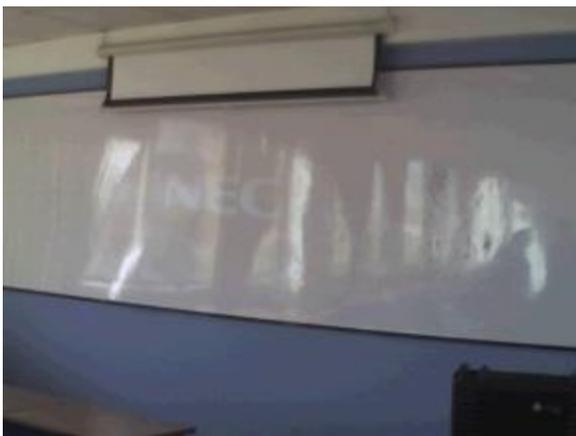
#### 5.4.6. Pizarra del Aula F1.



*Figura 35. Foto Termográfica de la Pizarra a una temperatura ambiente de 17 °C. Fuente. Autor*



*Figura 36. Foto Termográfica de la Pizarra a una temperatura ambiente de 20 °C. Fuente. Autor*



*Figura 37. Foto Termográfica de la Pizarra a una temperatura ambiente de 24 °C. Fuente. Autor*

5.4.7. Pared colindante con la calle “DE LAS CARRETAS”.

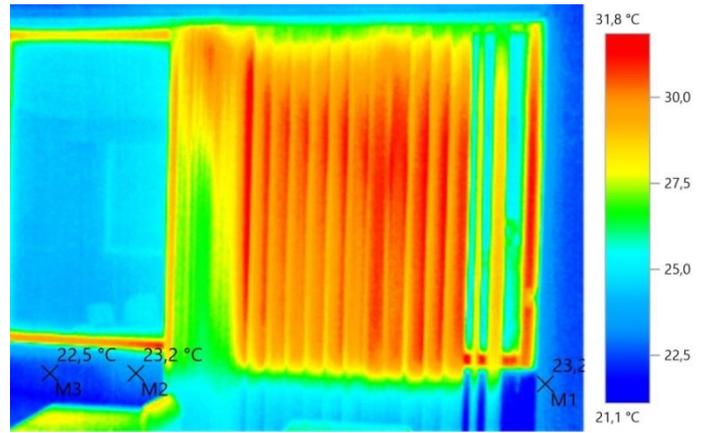


Figura 38. Foto Termográfica de la pared calle a una temperatura ambiente de 17 °C. Fuente. Autor

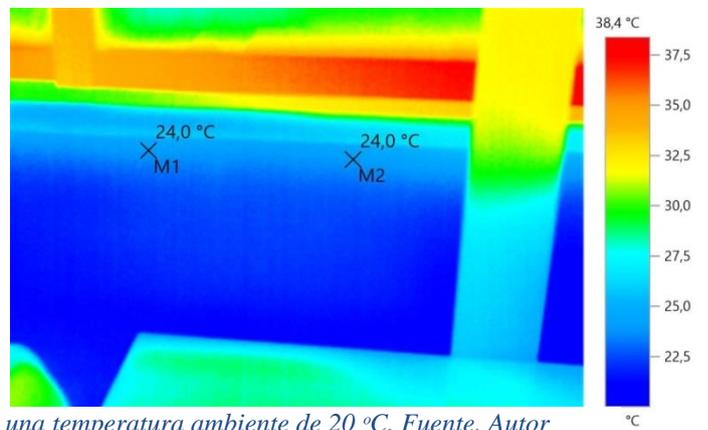


Figura 39. Foto Termográfica de la pared calle a una temperatura ambiente de 20 °C. Fuente. Autor

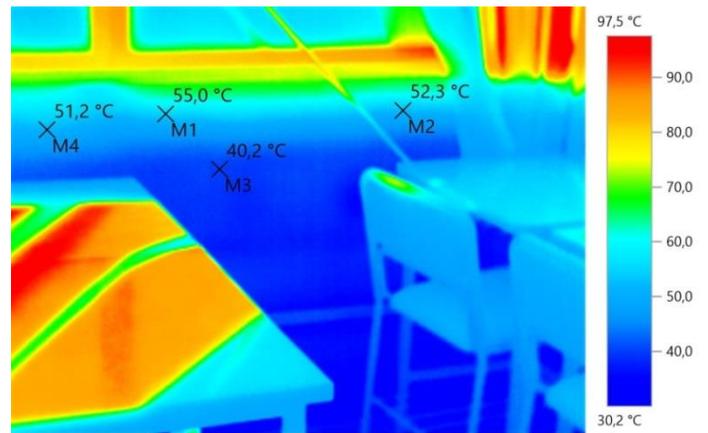
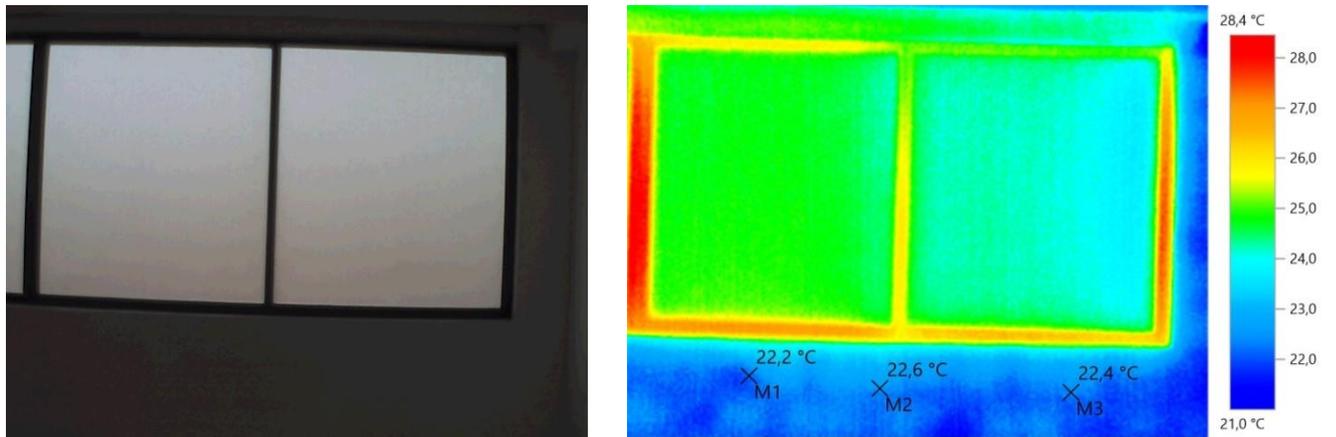
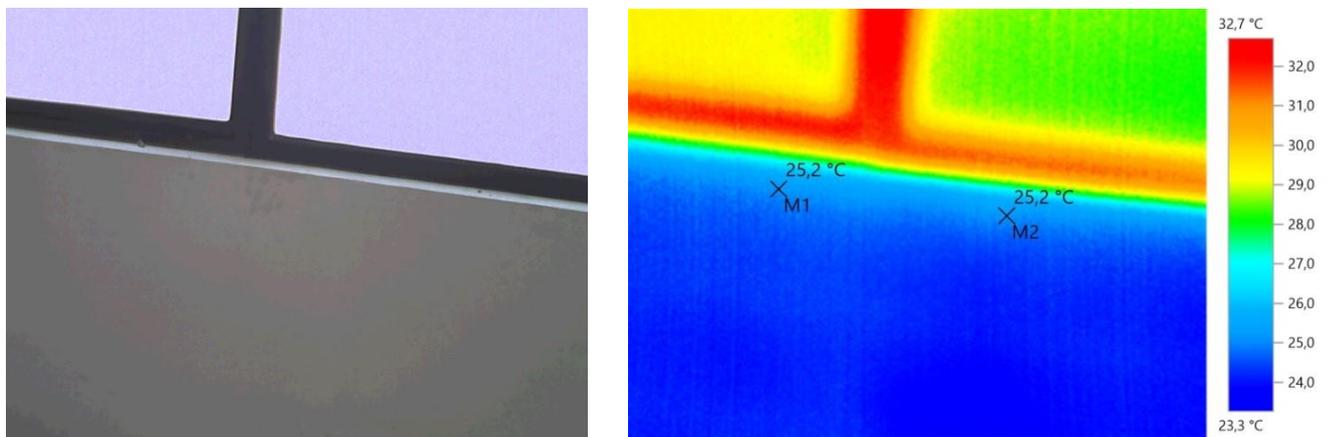


Figura 40. Foto Termográfica de la pared calle a una temperatura ambiente de 24 °C. Fuente. Autor

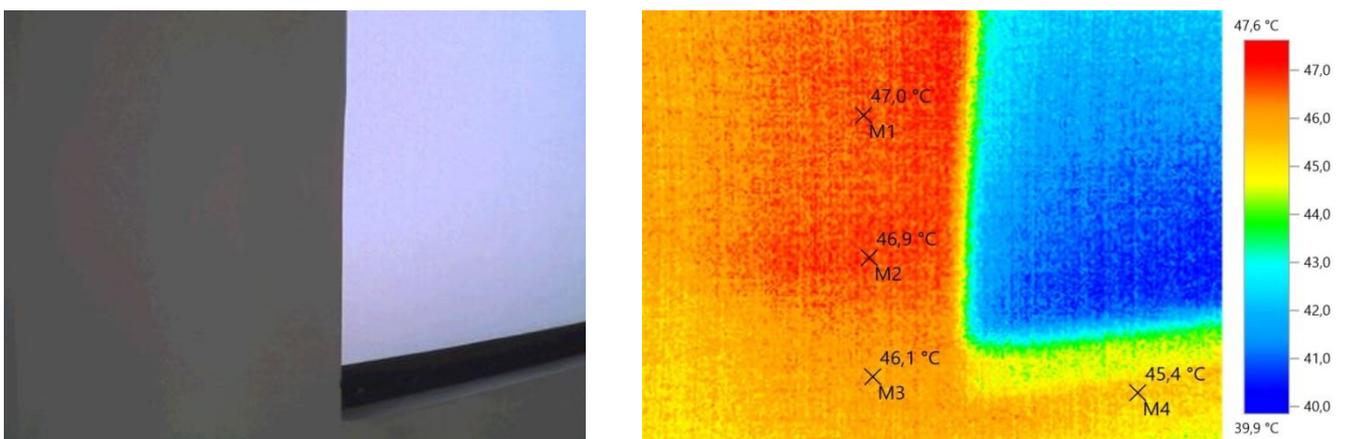
5.4.8. Pared colindante con los Laboratorios interiores de las UPS.



**Figura 41.** Foto Termográfica de la Pared UPS a una temperatura ambiente de 17 °C. Fuente. Autor

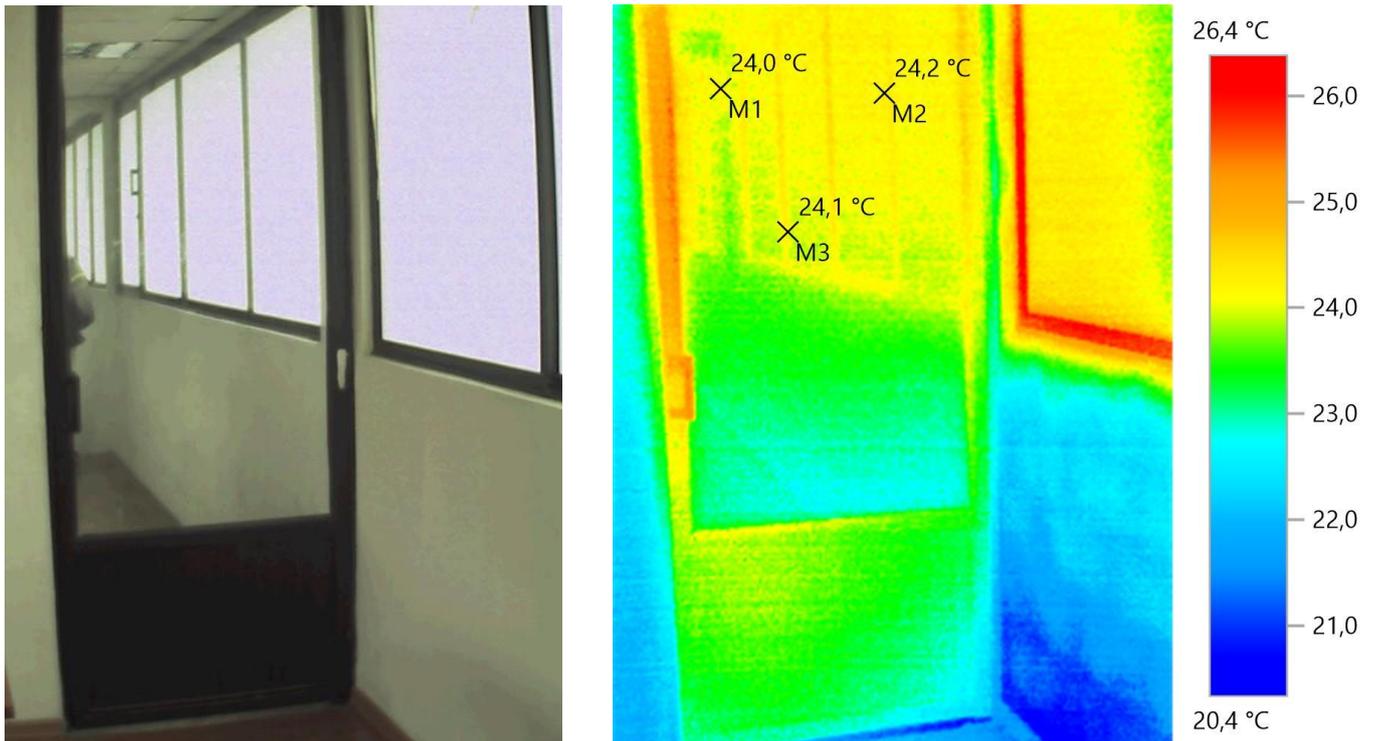


**Figura 42.** Foto Termográfica de la Pared UPS a una temperatura ambiente de 20 °C. Fuente. Autor

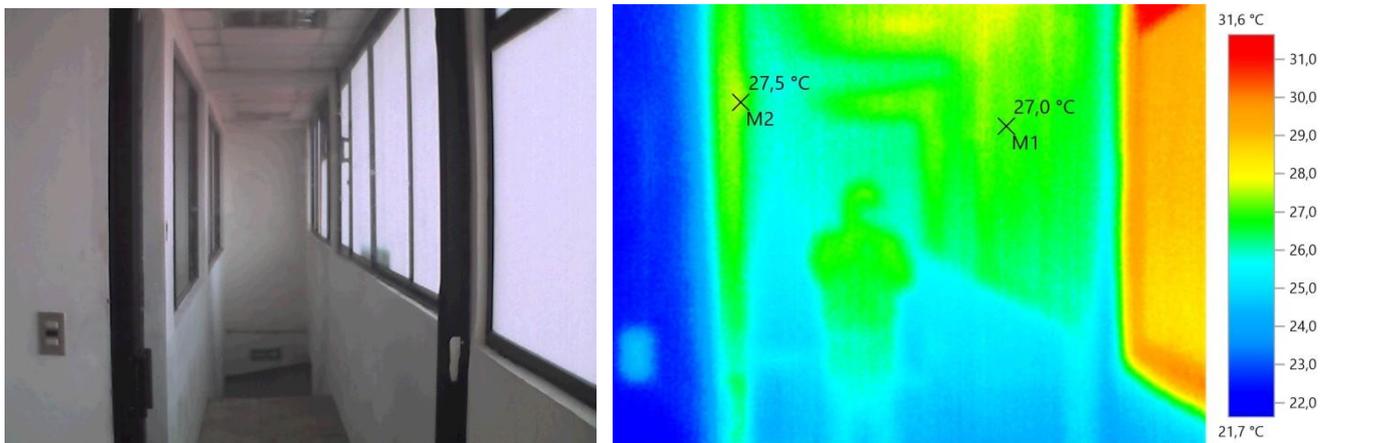


**Figura 43.** Foto Termográfica de la Pared UPS a una temperatura ambiente de 24 °C. Fuente. Autor

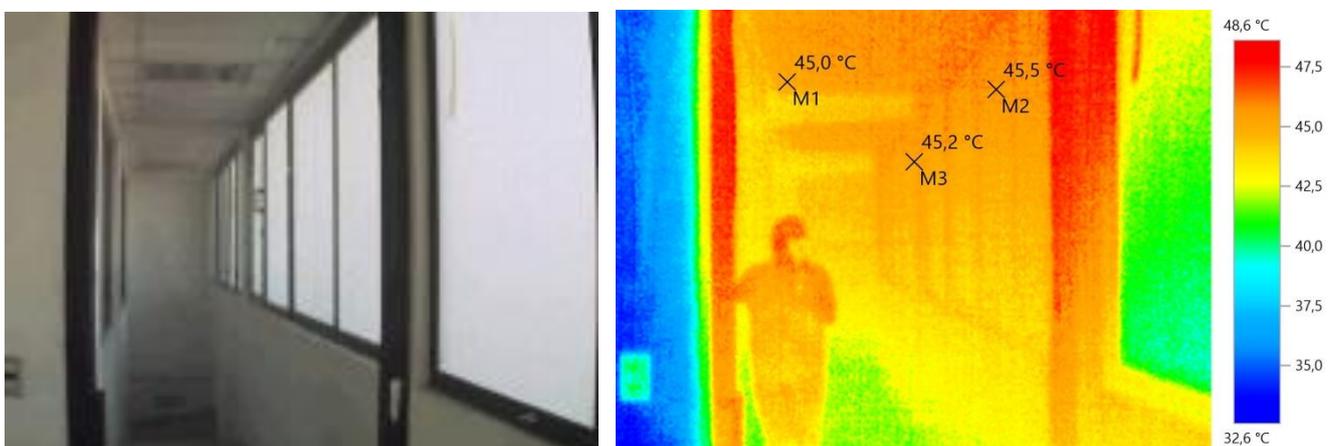
#### 5.4.9. Puerta de ingreso al aula F1.



**Figura 44.** Foto Termográfica de la Puerta de ingreso a una temperatura ambiente de 17 °C. Fuente. Autor

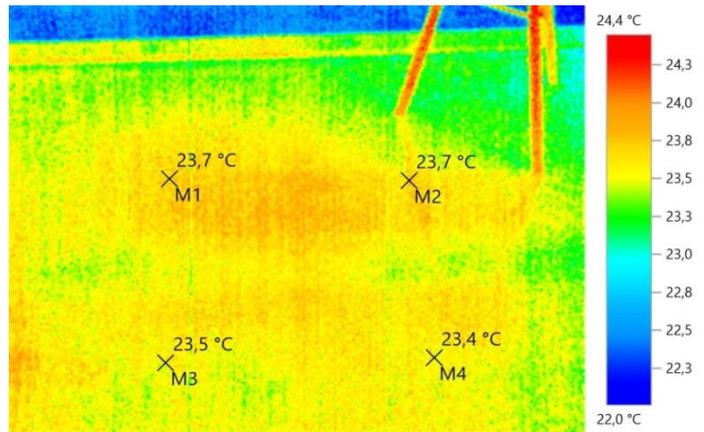


**Figura 45.** Foto Termográfica de la Puerta de ingreso a una temperatura ambiente de 20 °C. Fuente. Autor

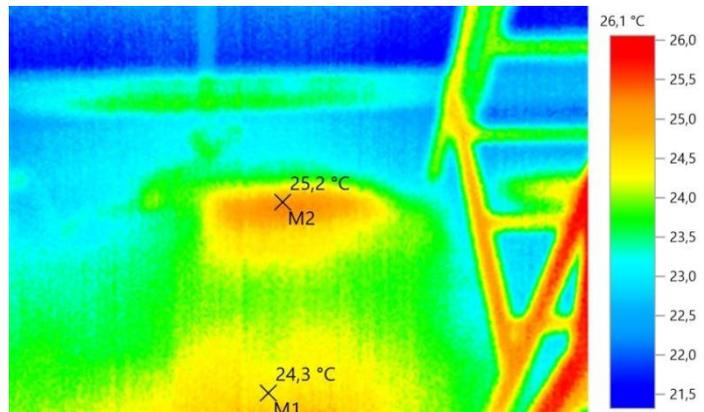


**Figura 46.** Foto Termográfica de la Puerta de ingreso a una temperatura ambiente de 24 °C. Fuente. Autor

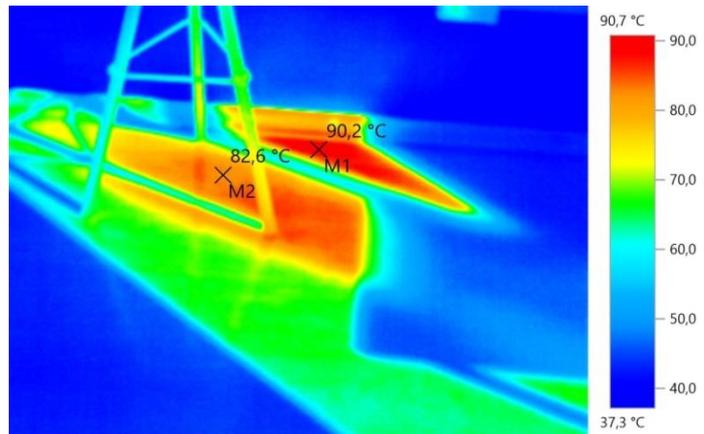
#### 5.4.10. Piso del Aula F1.



*Figura 47. Foto Termográfica del piso del aula a una temperatura ambiente de 17 °C. Fuente. Autor*

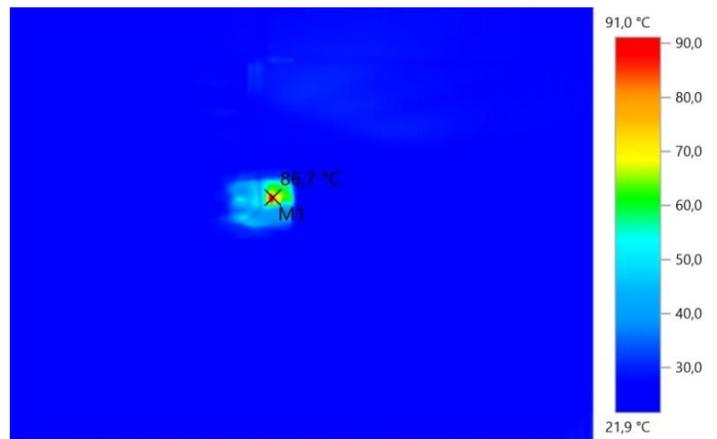


*Figura 48. Foto Termográfica del piso del aula a una temperatura ambiente de 20 °C. Fuente. Autor*



*Figura 49. Foto Termográfica del piso del aula a una temperatura ambiente de 24 °C. Fuente. Autor*

#### 5.4.11. Proyector del Aula F1.



*Figura 50. Foto Termográfica del Proyector del aula. Fuente. Autor*

## 5.5. MATERIALES AISLANTES TÉRMICOS

### 5.5.1. Teja de Arcilla

La teja es una pieza con la que se forman cubiertas en los edificios, para recibir y canalizar el agua de lluvia, la nieve, o el granizo. Hay otros modos de formar las cubiertas, pero cuando se hacen con tejas, reciben el nombre de tejados. [20]

La forma de las piezas y los materiales de elaboración son muy variables: las formas pueden ser regulares o irregulares, planas o curvas, lisas o con acanaladuras y salientes; respecto a los materiales pueden ser cerámicas (elaborada con barro cocido), hidráulicas (elaboradas con mortero de cemento), plásticas y bituminosas (fabricadas con polímeros plásticos derivados del petróleo u otra materia prima), de madera, de piedra (como la pizarra). [20]

En cuanto a la cerámica, es fama que son mejores las viejas y esto se debe a que las nuevas tienen mucha más permeabilidad y en la parte inferior pueden formarse condensaciones del agua transpirada, formando una gotera, mientras que las viejas tienen los poros colmatados por polvo y musgos. [20]

#### 5.5.1.1. Tipos de aislantes térmicos recomendados

Todos los materiales oponen resistencia, en mayor o menor medida al paso del calor a través de ellos. Algunos muy escasa como los metales, otros una resistencia media como es el caso de los materiales de construcción (yesos, ladrillos, morteros). Aquellos materiales que ofrecen una resistencia alta se llaman materiales aislantes. [23]

Por lo tanto, aislante térmico es aquel material usado en la construcción y caracterizado por su alta resistencia térmica, estableciendo una barrera al paso del calor entre dos medios que naturalmente tenderían a igualarse en temperatura. [23]



Figura 51. Teja. Fuente Autor

Tabla No. 10. Características técnicas de los materiales. Fuente [20]

TEJA	
Lamina	Material arcilla.
Espesor	12mm
Conductividad	1,2 Kcal/m h°C
Absortividad	0.36
Coefficiente de conductividad térmica	0.20 W/m°C

## 6. SIMULACIÓN

### 6.1. Validación de Datos

#### 6.1.1. Condiciones Generales de simulación.

Para las configuraciones iniciales para la validación de datos de los valores experimentales y de la simulación se consideró que el fluido de dominio está configurado como una mezcla de aire y vapor de agua.

Y para cada uno de los elementos del aula se indican las condiciones límites en las siguientes tablas:

**Tabla No. 10.** Condiciones límites para la puerta de ingreso. Fuente Autor.

Boundary - puerta	
Type	OPENING
Location	puerta
Settings	
Component	Water Ideal Gas
Mass Fraction	1.0500e-01
Option	Mass Fraction
Flow Direction	Normal to Boundary Condition
Flow Regime	Subsonic
Heat Transfer	Opening Temperature
Opening Temperature	2.5000e+01 [C]
Mass And Momentum	Opening Pressure and Direction
Relative Pressure	0.0000e+00 [Pa]
Thermal Radiation	Local Temperature
Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio

**Tabla No. 11.** Condiciones límites para la Pared Posterior. Fuente Autor.

Boundary - Pared_Posterior	
Type	WALL
Location	pared_atras
Settings	
Heat Transfer	Fixed Temperature
Fixed Temperature	PA
Mass And Momentum	No Slip Wall
Thermal Radiation	Opaque
Diffuse Fraction	1.0000e+00
Emissivity	8.8500e-01
Wall Roughness	Smooth Wall

**Tabla No. 12.** Condiciones límites para la Pared colindante con la calle "DE LAS CARRETAS". Fuente Autor.

Boundary - pared_calle	
Type	WALL
Location	pared_calle
Settings	
Heat Transfer	Fixed Temperature
Fixed Temperature	PC
Mass And Momentum	No Slip Wall
Thermal Radiation	Opaque

Diffuse Fraction	1.0000e+00
Emissivity	8.8500e-01
Wall Roughness	Smooth Wall

**Tabla No. 13.** Condiciones límites para la pared colindante con el laboratorio. Fuente Autor.

Boundary - pared_lab	
Type	WALL
Location	pared_lab
Settings	
Heat Transfer	Fixed Temperature
Fixed Temperature	PL
Mass And Momentum	No Slip Wall
Thermal Radiation	Opaque
Diffuse Fraction	1.0000e+00
Emissivity	8.1000e-01
Wall Roughness	Smooth Wall

**Tabla No. 14.** Condiciones límites para el piso. Fuente Autor.

Boundary - Piso	
Type	WALL
Location	piso
Settings	
Heat Transfer	Fixed Temperature
Fixed Temperature	293.15 K
Mass And Momentum	No Slip Wall
Thermal Radiation	Opaque
Diffuse Fraction	1.0000e+00
Emissivity	9.2000e-01
Wall Roughness	Smooth Wall

**Tabla No. 15.** Condiciones límites para la pizarra. Fuente Autor.

Boundary - pizarra	
Type	WALL
Location	pizarra
Settings	
Heat Transfer	Fixed Temperature
Fixed Temperature	PZ
Mass And Momentum	No Slip Wall
Thermal Radiation	Opaque
Diffuse Fraction	1.0000e+00
Emissivity	9.2000e-01
Wall Roughness	Smooth Wall

**Tabla No. 16.** Condiciones límites para el proyector. Fuente Autor.

Boundary - Proyector	
Type	WALL
Location	proyector
Settings	
Heat Transfer	Fixed Temperature
Fixed Temperature	8.0000e+01 [C]
Mass And Momentum	No Slip Wall
Thermal Radiation	Opaque
Diffuse Fraction	1.0000e+00
Emissivity	8.5000e-01
Wall Roughness	Smooth Wall

**Tabla No. 17.** Condiciones límites para los pupitres. Fuente Autor.

Boundary - pupitres	
Type	WALL
Location	Pupitres
Settings	
Heat Transfer	Fixed Temperature
Fixed Temperature	2.5000e+01 [C]
Mass And Momentum	No Slip Wall
Thermal Radiation	Opaque
Diffuse Fraction	1.0000e+00
Emissivity	1.0000e+00
Wall Roughness	Smooth Wall

**Tabla No. 18.** Condiciones límites para el techo. Fuente Autor.

Boundary - techo	
Type	WALL
Location	techo
Settings	
Heat Transfer	Fixed Temperature
Fixed Temperature	TCH
Mass And Momentum	No Slip Wall
Thermal Radiation	Opaque
Diffuse Fraction	1.0000e+00
Emissivity	9.3000e-01
Wall Roughness	Smooth Wall

Wall Roughness	Smooth Wall
----------------	-------------

**Tabla No. 19.** Condiciones límites para la ventana colindante con la calle "DE LAS CARRETAS". Fuente Autor.

Boundary - Ventana_calle	
Type	WALL
Location	ventana_calle
Settings	
Heat Transfer	Fixed Temperature
Fixed Temperature	VC
Mass And Momentum	No Slip Wall
Thermal Radiation	Opaque
Diffuse Fraction	1.0000e+00
Emissivity	9.4000e-01
Wall Roughness	Smooth Wall

**Tabla No. 20.** Condiciones límites para la ventana colindante con el laboratorio. Fuente Autor.

Boundary - ventana_lab	
Type	WALL
Location	ventana_lab
Settings	
Heat Transfer	Fixed Temperature
Fixed Temperature	VL
Mass And Momentum	No Slip Wall
Thermal Radiation	Opaque
Diffuse Fraction	1.0000e+00
Emissivity	9.4000e-01

### 6.1.2. Ecuaciones de temperatura variable de cada elemento.

Cada uno de los elementos mencionados en el ítem de **Fixed Temperature** hace referencia a la temperatura que debe tener cada elemento, por lo cual se ha generado una curva de variación de temperatura correspondiente a cada elemento. Esa curva que se generó con los datos que nos brindó la cámara Termográfica en cada una de sus fotografías, y de esta manera pudimos obtener las siguientes expresiones que se conservaran para todas las simulaciones:

- **Temperatura de la Pared atrás (PA)** [K°]

$$T(t) = (4x10^{-15} \cdot t^4 - 6x10^{-11} \cdot t^3 + 3x10^{-8} \cdot t^2 + 0.0015 \cdot t + 294.44)$$

- **Temperatura de la Pared calle (PC)** [K°]

$$T(t) = (-7 \cdot 10^{-18} \cdot t^5 + 1x10^{-13} \cdot t^4 - 8x10^{-10} \cdot t^3 + 2x10^{-6} \cdot t^2 + 0.0012 \cdot t + 293.26)$$

- **Temperatura del Piso (PI)** [K°]

$$T(t) = 293.15$$

- **Temperatura de la Pared laboratorio (PL)** [K°]

$$T(t) = (1x10^{-14} \cdot t^4 - 1x10^{-10} \cdot t^3 + 3x10^{-7} \cdot t^2 + 0.0004 \cdot t + 297.04)$$

- **Temperatura de la Pared pizarra (PZ)** [K°]

$$T(t) = (1x10^{-14} \cdot t^4 - 2x10^{-10} \cdot t^3 + 6x10^{-7} \cdot t^2 + 0.0002 \cdot t + 297.45)$$

- **Temperatura del Techo (TCH)** [K°]

$$T(t) = (2x10^{-14} \cdot t^4 - 3x10^{-10} \cdot t^3 + 2x10^{-7} \cdot t^2 + 0.0025 \cdot t + 302.34)$$

- **Temperatura de la Ventana calle (VC)** [K°]

$$T(t) = (6x10^{-14} \cdot t^4 - 9x10^{-10} \cdot t^3 + 4x10^{-6} \cdot t^2 + 0.0025 \cdot t + 299.46)$$

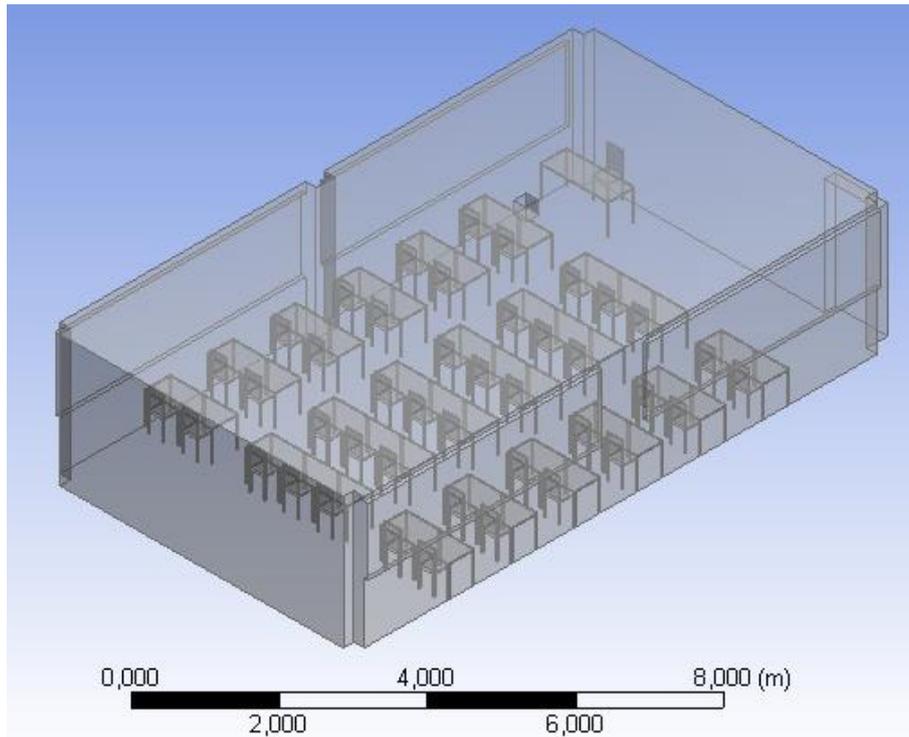
- **Temperatura de la Ventana laboratorio (VL)** [K°]

$$T(t) = (-8x10^{-18} \cdot t^5 + 2x10^{-13} \cdot t^4 - 1x10^{-9} \cdot t^3 + 2x10^{-6} \cdot t^2 + 0.0007 \cdot t + 299.67)$$

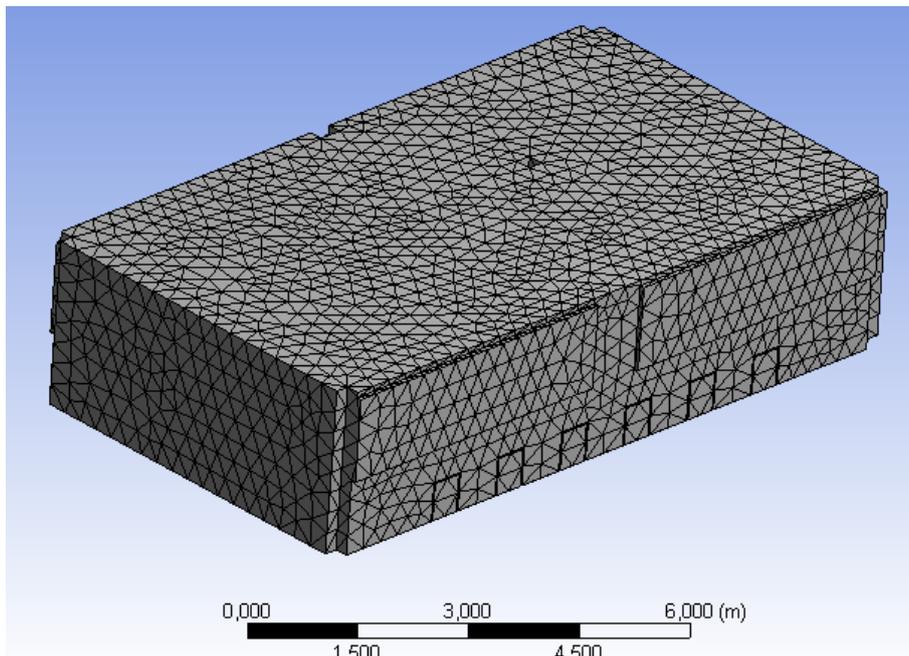
- **Variable de tiempo (tt)**

$$t/1s$$

### 6.1.3. Dominio



**Figura 52. DOMINIO. FUENTE. AUTOR**



**Figura 53. DOMINIO. FUENTE. AUTOR**

**Tabla No. 21. Nodos y elementos de la Simulación. Fuente Autor.**

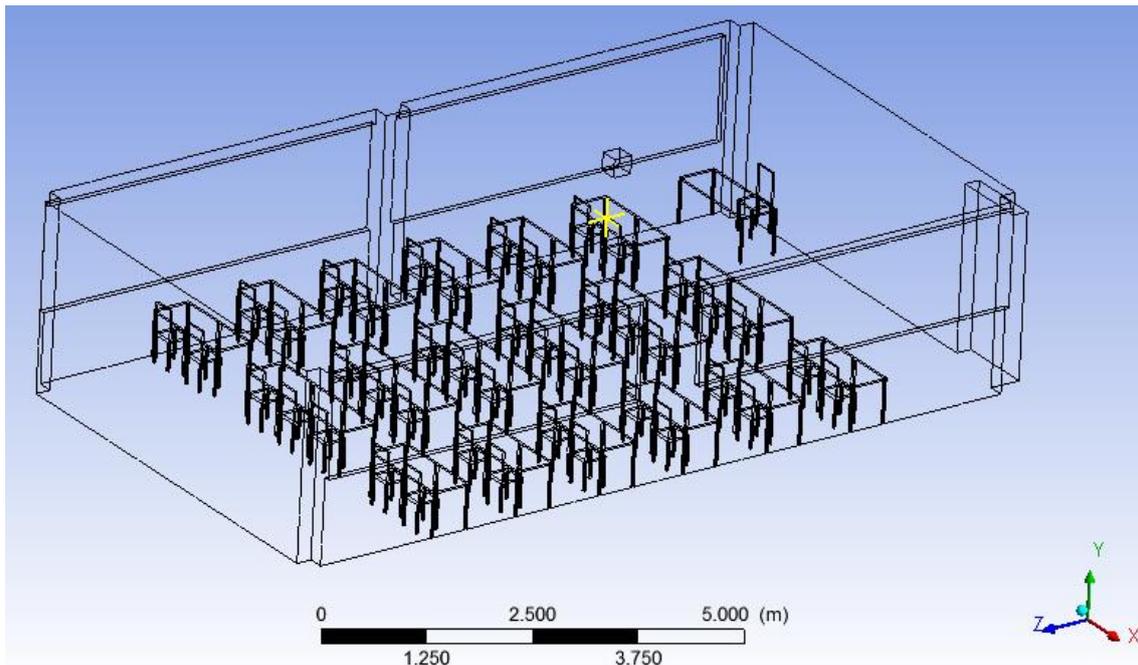
Domain	Nodes	Elements
Default Domain	6645	31093

#### 6.1.4. Condiciones de entrada y localización

**Tabla No. 22.** Coordenadas del punto de análisis. Fuente **Autor.**

X	Y	Z
338	170	364

Las coordenadas antes mencionadas se tomaron desde la **puerta de ingreso** al aula.



**Figura 54.** AULA DE FUNDICION AF1. MEDIDAS. FUENTE. AUTOR

### 6.1.5. Resultados

Se realizaron registros de temperatura del aula cada 30 minutos, en las cuales se va verificando el aumento de la temperatura del aula. (Figura 55, 56, 57, 58 y 59).

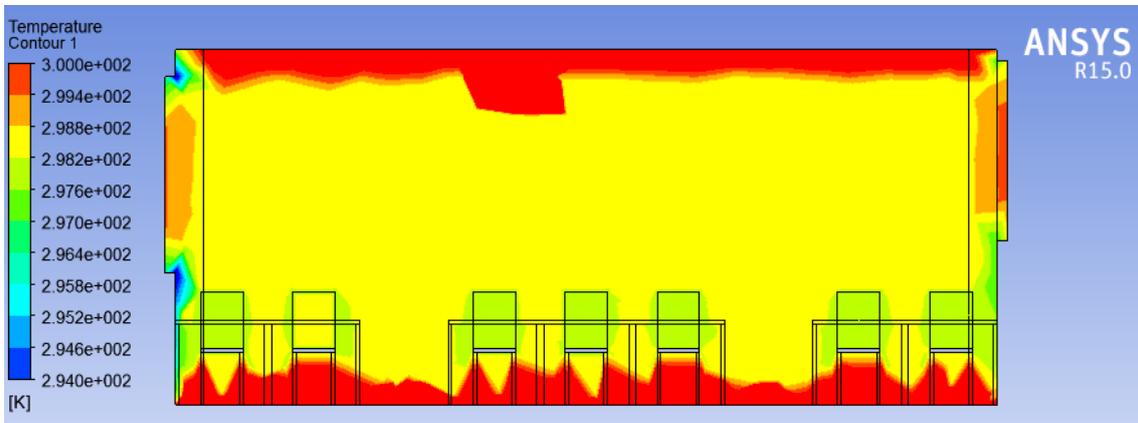


Figura 55. Simulación del Aula con el Sistema de Aire Acondicionado en un tiempo de 0 s. FUENTE. AUTOR

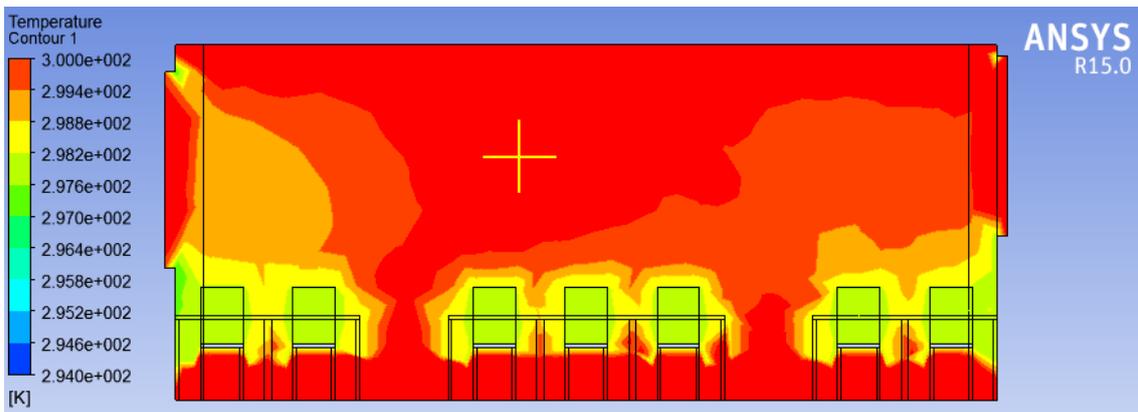


Figura 56. Simulación del Aula con el Sistema de Aire Acondicionado en un tiempo de 1440 s. FUENTE. AUTOR

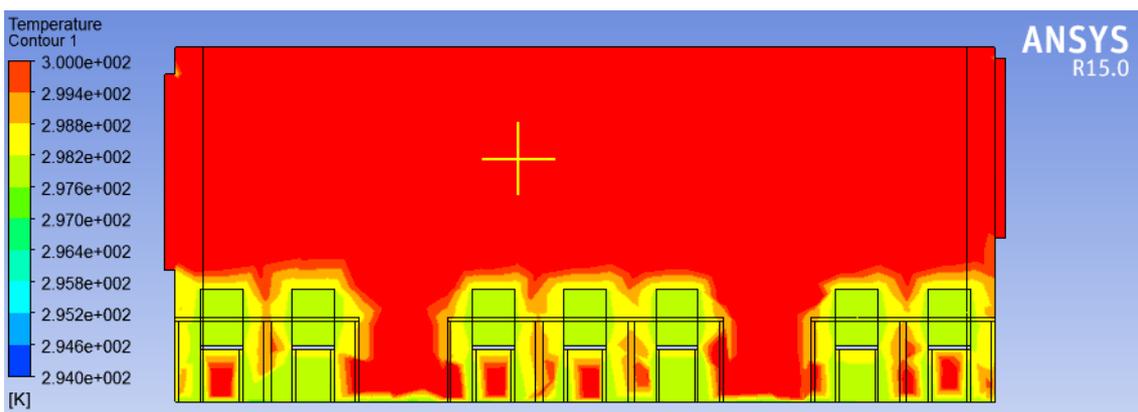


Figura 57. Simulación del Aula con el Sistema de Aire Acondicionado en un tiempo de 3600 s. FUENTE. AUTOR

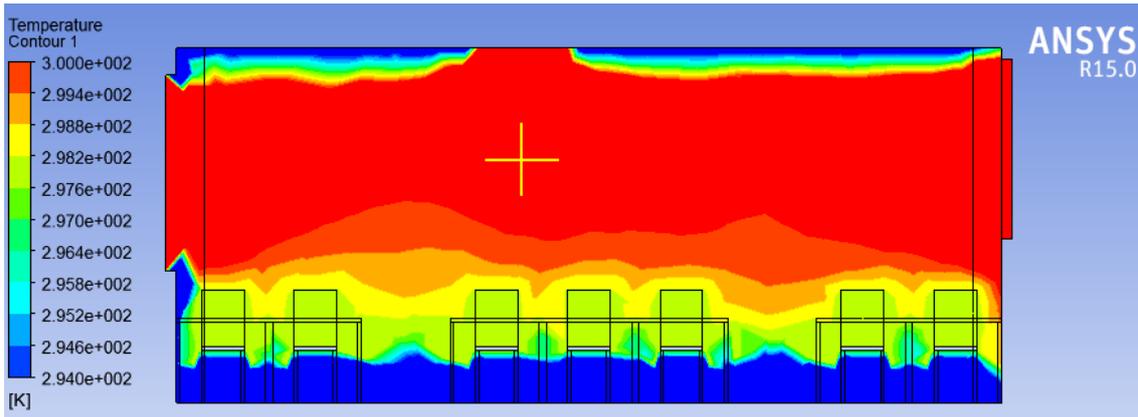


Figura 58. Simulación del Aula con el Sistema de Aire Acondicionado en un tiempo de 5280 s. FUENTE. AUTOR

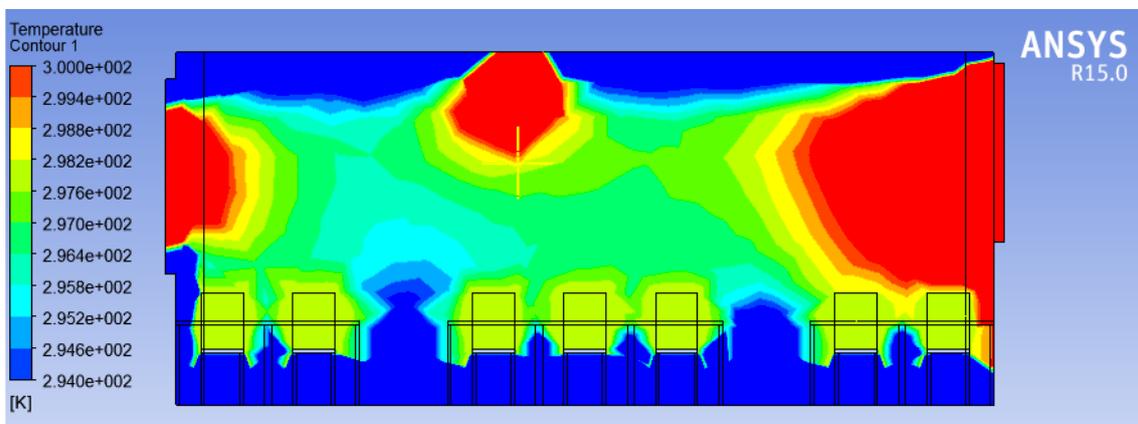
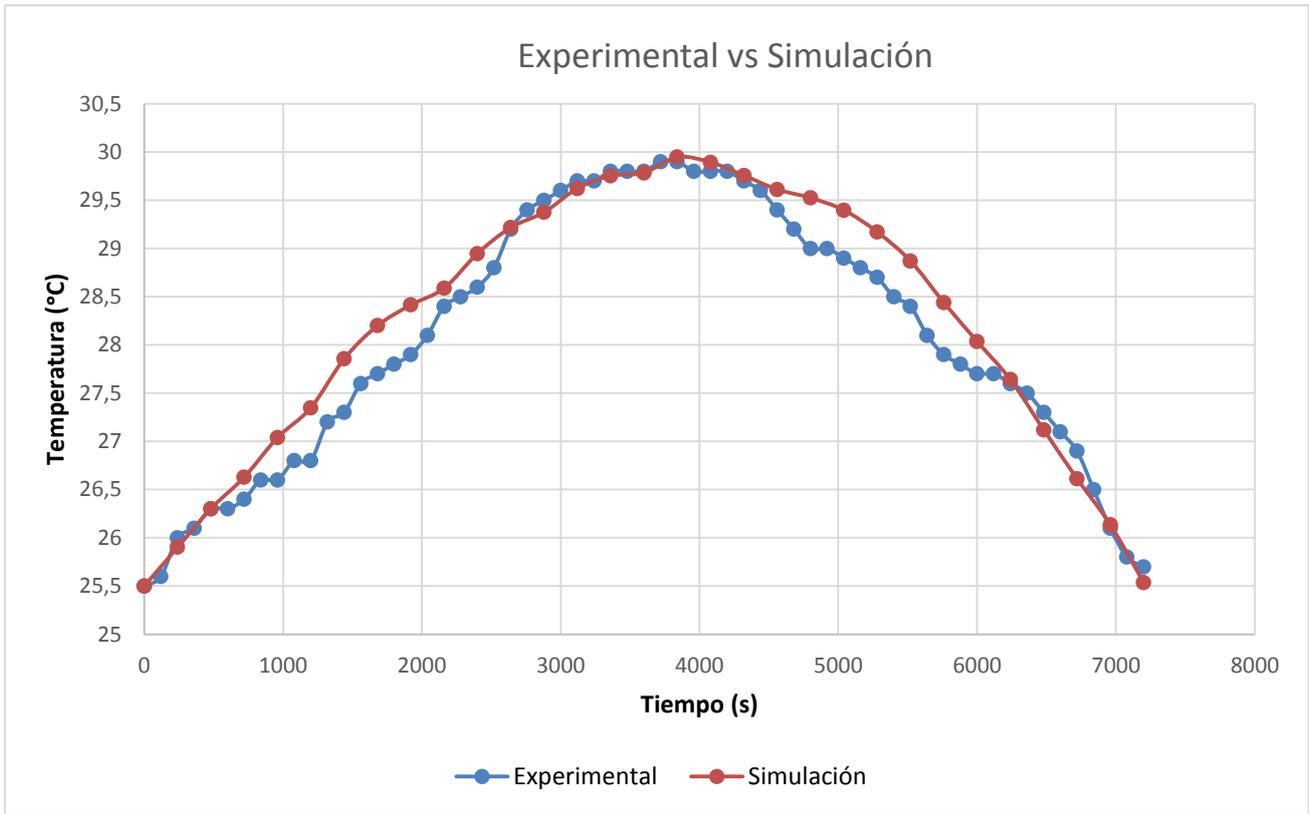


Figura 59. Simulación del Aula con el Sistema de Aire Acondicionado en un tiempo de 7200 s. FUENTE. AUTOR

**Tabla No. 23.** Comparación de resultados de datos experimentales y computacionales. Fuente. Autor

<b>Tiempo [s]</b>	<b>Computacional Temp[°C]</b>	<b>Experimental Temp[°C]</b>	<b>Error %</b>
0	25,50	25,5	2,35294E-05
240	25,90	26	0,374803846
480	26,30	26,3	0,010026616
720	26,63	26,4	0,867738636
960	27,04	26,6	1,652308271
1200	27,35	26,8	2,047
1440	27,86	27,3	2,037791209
1680	28,20	27,7	1,805187726
1920	28,41	27,9	1,845010753
2160	28,59	28,4	0,664359155
2400	28,95	28,6	1,214835664
2640	29,22	29,2	0,058965753
2880	29,37	29,5	0,424061017
3120	29,62	29,7	0,2606633
3360	29,75	29,8	0,157563758
3600	29,78	29,8	0,050342282
3840	29,95	29,9	0,159588629
4080	29,89	29,8	0,31504698
4320	29,76	29,7	0,194016835
4560	29,61	29,4	0,723244898
4800	29,52	29	1,809672414
5040	29,40	28,9	1,722460208
5280	29,17	28,7	1,642547038
5520	28,87	28,4	1,657038732
5760	28,44	27,9	1,936236559
6000	28,04	27,7	1,213783394
6240	27,64	27,6	0,145731884
6480	27,12	27,3	0,658820513
6720	26,61	26,9	1,064643123
6960	26,14	26,1	0,13691954
7200	25,54	25,7	0,632416342



**Figura 60.** Comparación de temperaturas con la experimental y con la simulación en la aula de fundición (F1). Fuente. Autor

## 6.2. Simulación del Sistema de aire acondicionado en condiciones de Techo Zinc

Para esta simulación se considera un sistema de aire acondicionado, para las condiciones iniciales, es decir, con un techo Zinc, la velocidad de entrada de aire es de **2m/s** y a una temperatura de **20°C**.

### 6.2.1. Dominio

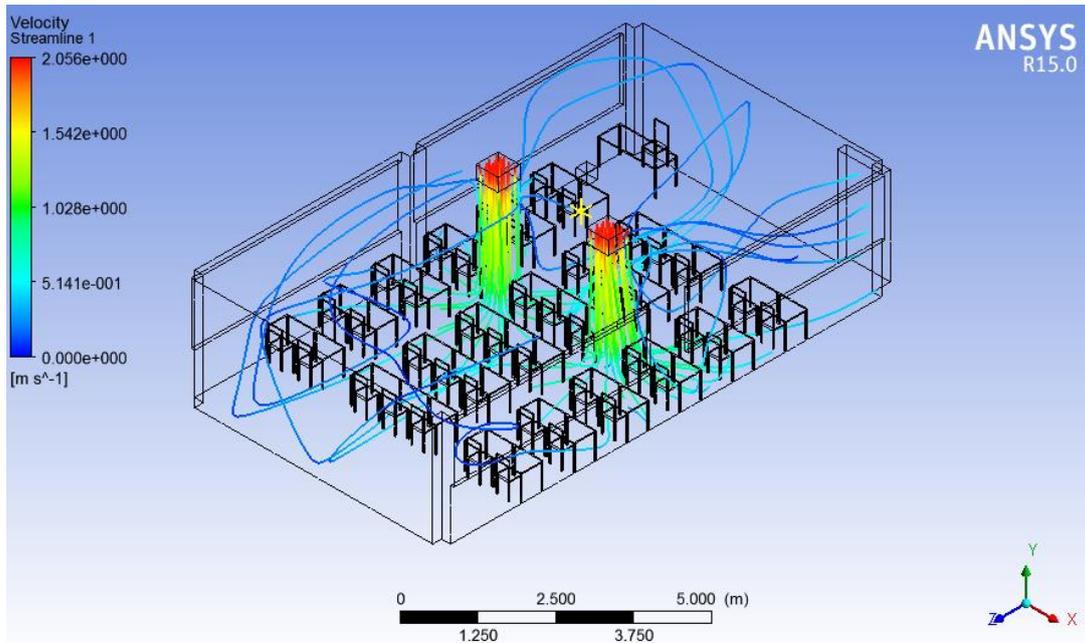


Figura 61. DOMINIO. FUENTE. AUTOR

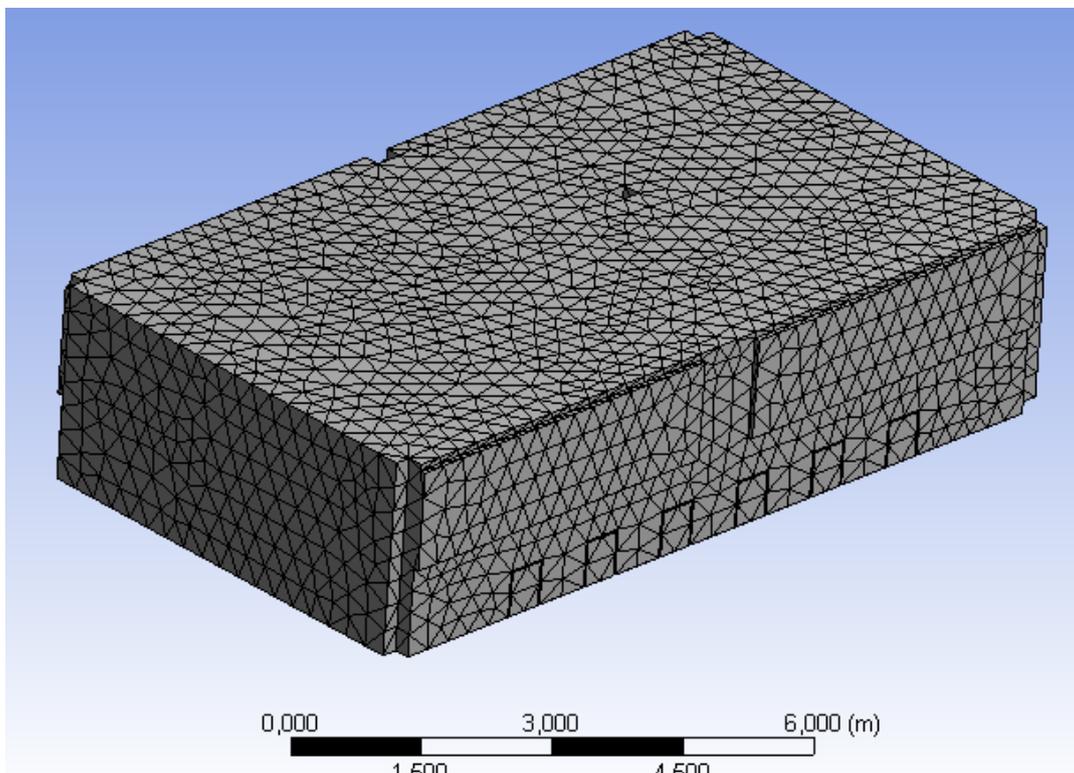


Figura 62. DOMINIO. FUENTE. AUTOR

### 6.2.2. Resultados de la Simulación del Sistema de aire acondicionado en condiciones de Techo Zinc

Se ha realizado registros de temperatura del aula cada 30 minutos, en las cuales se verifica una disminución de la temperatura del aula en un menor tiempo. (Figura 63, 64, 65, 66 y 67)



Figura 63. Simulación del Aula con el Sistema de Aire Acondicionado en un tiempo de 0 s. FUENTE. AUTOR

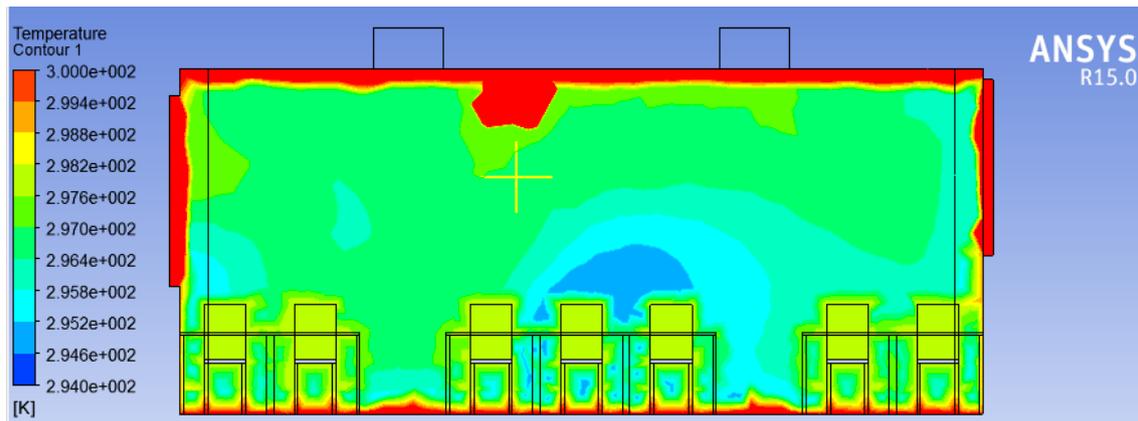


Figura 64. Simulación del Aula con el Sistema de Aire Acondicionado en un tiempo de 1440 s. FUENTE. AUTOR

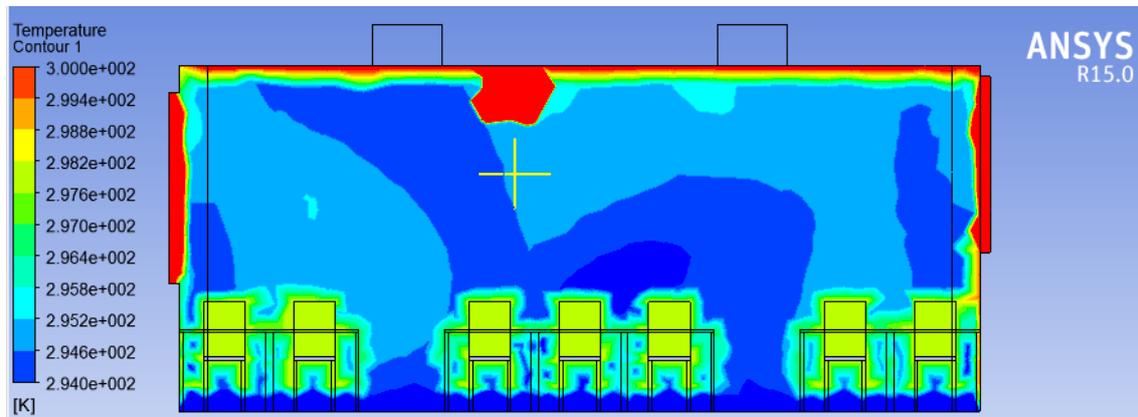


Figura 65. Simulación del Aula con el Sistema de Aire Acondicionado en un tiempo de 3600 s. FUENTE. AUTOR

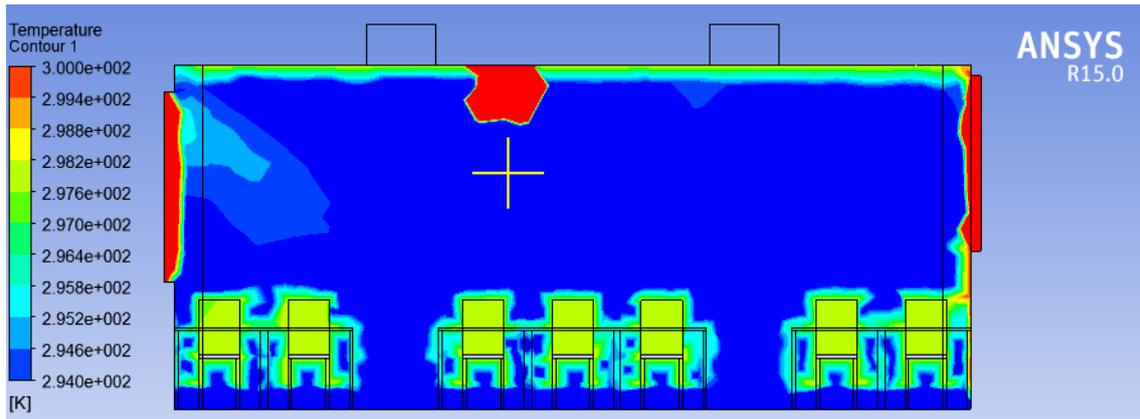


Figura 66. Simulación del Aula con el Sistema de Aire Acondicionado en un tiempo de 5280 s. FUENTE. AUTOR

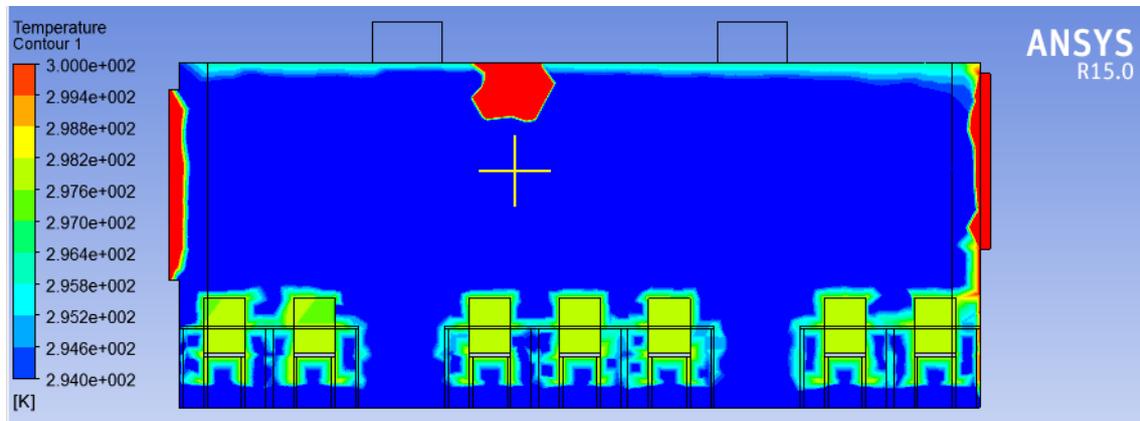


Figura 67. Simulación del Aula con el Sistema de Aire Acondicionado en un tiempo de 7200 s. FUENTE. AUTOR

### 6.3. Simulación del Sistema de aire acondicionado en condiciones de Techo con Aislamientos térmicos.

#### 6.3.1. Dominio.

Para esta simulación se considera un sistema de aire acondicionado, en condiciones de aislamiento térmico, la velocidad de entrada de aire es de **2m/s** y a una temperatura de **20°C**.

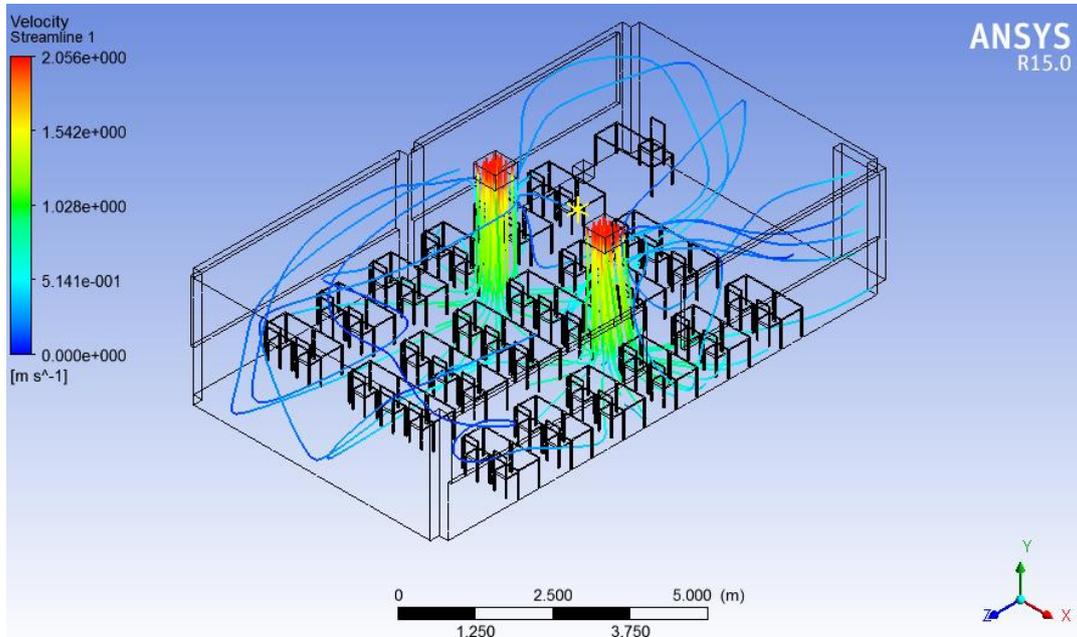


Figura 69. DOMINIO. FUENTE. AUTOR

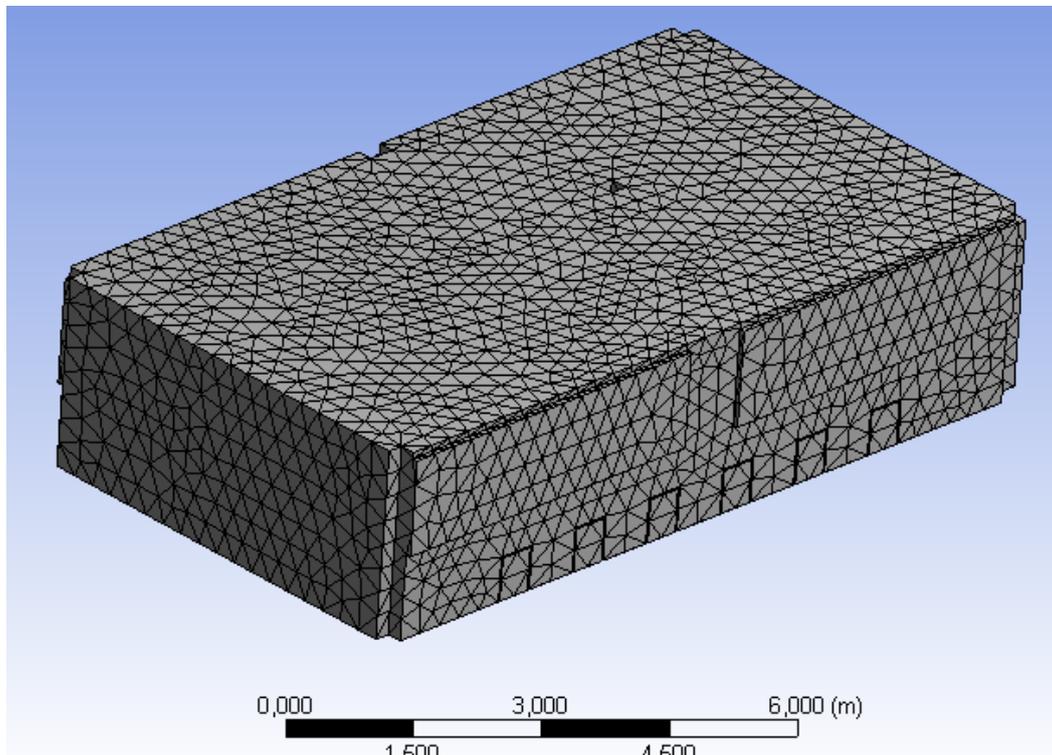


Figura 70. DOMINIO. FUENTE. AUTOR

### 6.3.2. Resultados de la simulación del Sistema de aire acondicionado en condiciones de Techo con Aislamientos térmicos.

Se ha realizado registros de temperatura del aula cada 30 minutos, en las cuales se verifica que al llegar a los primero 30 minutos ya alcanzamos condiciones de confort. (Figura 71, 72, 73, 74 y 75)



Figura 71. Simulación del Aula con el Sistema de Aire Acondicionado en un tiempo de 0 s. FUENTE. AUTOR

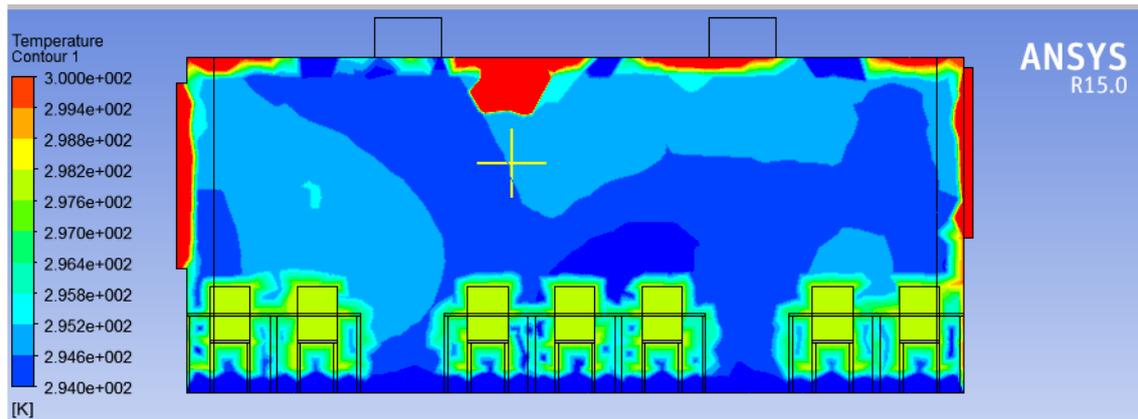


Figura 72. Simulación del Aula con el Sistema de Aire Acondicionado en un tiempo de 1440 s. FUENTE. AUTOR

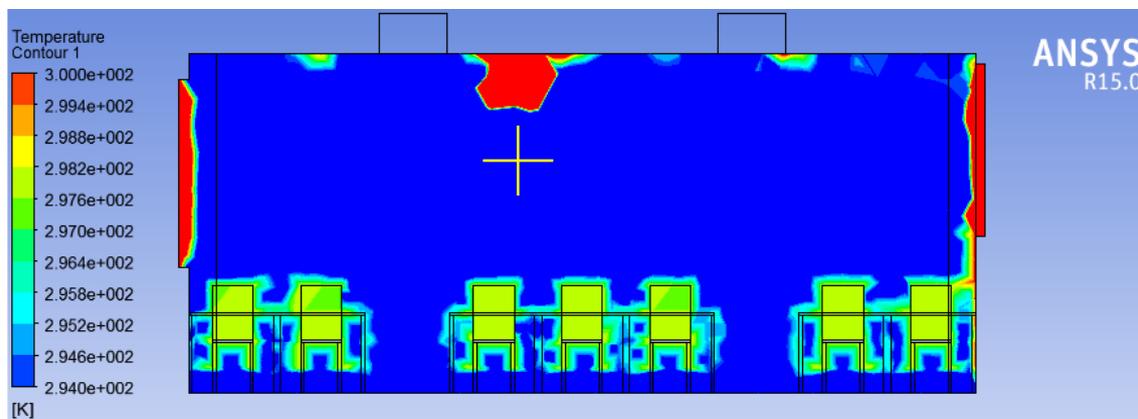


Figura 73. Simulación del Aula con el Sistema de Aire Acondicionado en un tiempo de 3600 s. FUENTE. AUTOR

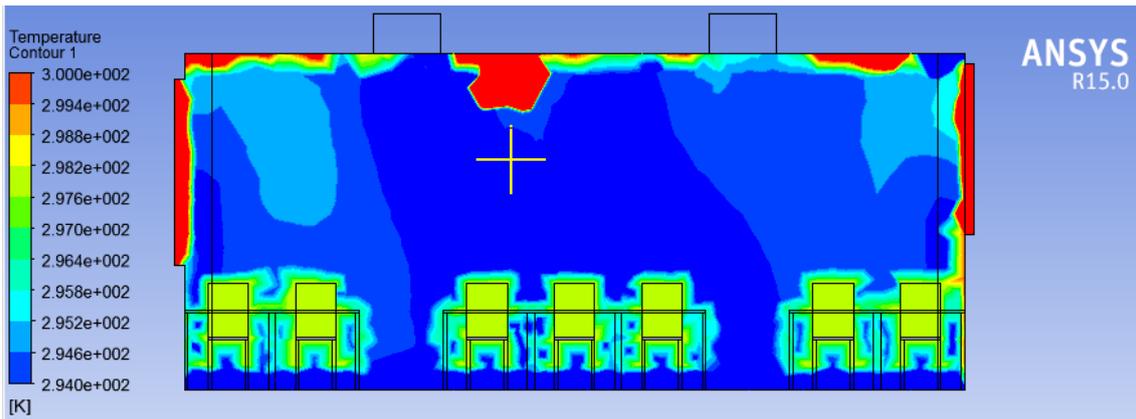


Figura 74. Simulación del Aula con el Sistema de Aire Acondicionado en un tiempo de 5280 s. FUENTE. AUTOR

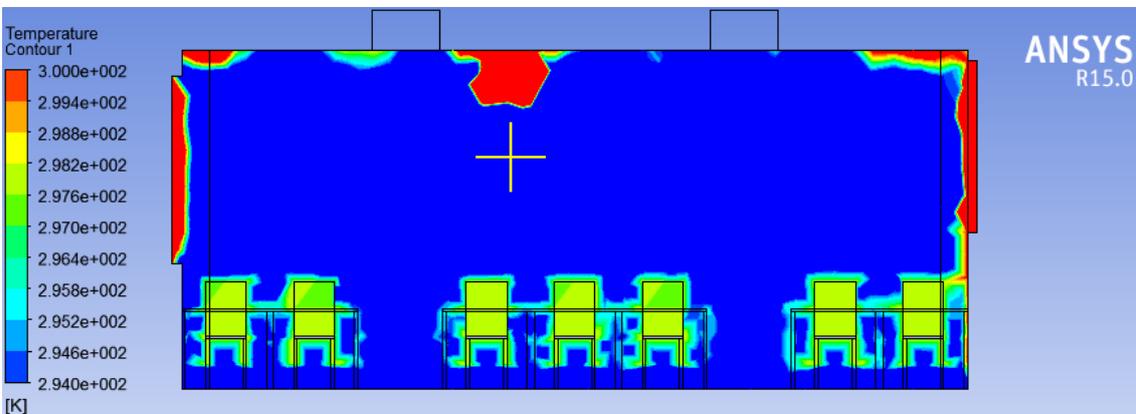


Figura 75. Simulación del Aula con el Sistema de Aire Acondicionado en un tiempo de 7200 s. FUENTE. AUTOR

## 7. CÁLCULOS

### 7.1. Cálculo de las ganancias de calor por conducción en la estructura del aula de fundición AF1

Las ganancias de calor por conducción se dan a través de paredes y techos, que dan al exterior y se calcula con la expresión siguiente: [41]

$$Q = U \cdot A \cdot DTCE$$

$Q$ = Ganancia neta del recinto por conducción a través del techo, paredes o vidrios; BTU/h

$U$ = Coeficiente general de transferencia de calor para techos, paredes o vidrios; BTU/h -  $ft^2 \cdot ^\circ F$

$A$ = Área del techo, paredes o vidrios;  $ft^2$

$DTCE$ = Diferencia de temperaturas para cargas de enfriamiento;  $^\circ F$

#### 7.1.1. Análisis de las áreas de paredes, techos y pisos

Los siguientes valores se determinaron según los planos arquitectónicos, el ancho y la altura de cada una de las paredes, piso, techo, puertas y su ubicación si estas son interiores o exteriores (Tabla 24).

Tabla No. 24. Área de las partes del aula de fundición AFI. Fuente. Autor

	Longitud (m)	Alto (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Ubicación
Pared calle	10,17	2,51	25,5267	EXTERIOR
Pared lab	10,17	2,51	25,5267	EXTERIOR
Pared pizarra	5,8	2,51	14,558	INTERIOR
Pared posterior	5,8	2,51	14,558	INTERIOR
Puerta	2,22	1	2,22	INTERIOR
Piso	10,17	5,8	58,986	
Techo	10,17	5,8	58,986	

## 7.2. Análisis de ganancias de calor por conducción

### 7.2.1. Coeficiente global de transferencia de calor U (BTU/h -ft<sup>2</sup>-°F)

En la siguiente ilustración podremos observar el coeficiente global de transferencia de calor por conducción y según el tipo de construcción.

Grupo No.	Descripción de la construcción	Peso, lb/ft <sup>2</sup>	Valor de U, BTU/(h-ft <sup>2</sup> -°F)	Capacidad calorífica, BTU/(ft <sup>2</sup> -°F)
<b>Ladrillo de vista de 4 in + (Ladrillo)</b>				
	C Espacio de aire + ladrillo de vista de 3 in	83	0.358	18.3
	D Ladrillo común de 4 in.	90	0.415	18.4
	C Aislamiento de 1 in o espacio de aire + ladrillo común de 4 in	90	0.174-0.301	18.4
	B Aislamiento de 2 in + ladrillo común de 4 in	88	0.111	18.5
	B Ladrillo común de 8 in	130	0.302	26.4
	A Aislamiento o espacio de aire + ladrillo común de 8 in	130	0.154-0.243	26.4
<b>Ladrillo de vista de 4 in + (Concreto pesado)</b>				
	C Espacio de aire + concreto de 2 in	94	0.350	19.7
	B Aislamiento de 2 in + concreto de 4 in	97	0.116	19.8
	A Espacio de aire o aislamiento + concreto de 8 in o más	143-190	0.110-0.112	29.1-38.4
<b>Ladrillo de vista de 4 in + (bloque de concreto ligero o pesado)</b>				
	E Bloque de 4 in	62	0.319	12.9
	D Espacio de aire o aislamiento + bloque de 4 in	62	0.153-0.246	12.9
	D Bloque de 8 in	70	0.274	15.1
	C Espacio de aire o aislamiento de 1 in + bloque de 6 u 8 in	73-89	0.221-0.275	15.5-18.5
	B Aislamiento de 2 in + bloque de 8 in	89	0.096-0.107	15.5-18.6
<b>Ladrillo de vista de 4 in + (azulejo de barro)</b>				
	D Azulejo de 4 in	71	0.381	15.1
	D Espacio de aire + azulejo de 4 in	71	0.281	15.1
	C Aislamiento + azulejo de 4 in	71	0.169	15.1
	C Azulejo de 8 in	96	0.275	19.7
	B Espacio de aire o aislamiento de 1 in + azulejo de 8 in	96	0.142-0.221	19.7
	A Aislamiento de 2 in + azulejo de 8 in	97	0.097	19.8
<b>Pared de concreto pesado + (acabado)</b>				
	E Concreto de 4 in.	63	0.585	12.5
	D Concreto de 4 in + aislamiento de 1 o 2 in	63	0.119-0.200	12.5
	C Aislamiento de 2 in + concreto de 4 in	63	0.119	12.7
	C Concreto de 8 in.	109	0.490	21.9
	B concreto de 8 in + aislamiento de 1 o 2 in	110	0.115-0.187	22.0
	A Aislamiento de 2 in + concreto de 8 in	110	0.115	21.9
	E Concreto de 12 in	156	0.421	31.2
	A Concreto de 12 in + aislamiento	156	0.113	31.3
<b>Bloque de concreto ligero y pesado + (acabado)</b>				
	F Bloque de 4 in + espacio de aire o aislamiento	29-36	0.161-0.263	5.7-7.2
	E Aislamiento de 2 in + bloque de 4 in	29-37	0.105-0.114	5.8-7.3
	E Bloque de 8 in	41-57	0.294-0.402	6.3-11.3
	D Concreto de 8 in + espacio de aire o aislamiento	41-57	0.149-0.173	8.3-11.3
<b>Azulejo de barro + (acabado)</b>				
	F Azulejo de 4 in	39	0.419	7.8
	F Azulejo de 4 in + espacio de aire	39	0.303	7.8
	E Azulejo de 4 in + aislamiento de 1 in	39	0.175	7.9
	D Aislamiento de 2 in + azulejo de 4 in	40	0.110	7.9
	D Azulejo de 8 in	63	0.296	12.5
	C Azulejo de 8 in + espacio de aire o aislamiento de 1 in	63	0.151-0.231	12.6
	B Aislamiento de 2 in + azulejo de 8 in	63	0.099	12.6
<b>Pared de lámina (cortina metálica)</b>				
	G Con o sin espacio de aire + 1, 2 o 3 in de aislamiento	5-6	0.091-0.230	0.7
<b>Pared de bastidor</b>				
	G Aislamiento de 1 a 3 in	16	0.081-0.178	3.2

Reproducido con permiso de 1985 *Fundamentals ASHRAE Handbook & Product Directory*

Figura 76. Descripción de grupo de paredes. Fuente [41]

Paneles verticales (ventanas exteriores, puertas corredizas de vidrio y particiones) Vidrio plano, tragaluz y lámina de plástico				Paneles horizontales — vidrio plano, tragaluz y domos de plástico			
Descripción	Exterior			Descripción	Exterior		
	Invierno	Verano	Interior		Invierno	Verano	Interior
Vidrio plano vidrio sencillo	1.10	1.04	0.73	Vidrio plano vidrio sencillo	1.23	0.83	0.96
vidrio aislante - doble espacio de aire de 1/4"*	0.58	0.61	0.49	vidrio aislante — doble espacio de aire de 1/4"*	0.65	0.54	0.59
espacio de aire de 1/2"*	0.49	0.56	0.46	espacio de aire de 1/2"*	0.59	0.49	0.56
espacio de aire de 1/2", recubrimiento de baja emisión <sup>2</sup>				recubrimiento de baja emisión <sup>2</sup>			
e = 0.20	0.32	0.38	0.32	e = 0.20	0.48	0.36	0.39
e = 0.40	0.38	0.45	0.38	e = 0.40	0.42	0.42	0.45
e = 0.60	0.43	0.51	0.42	e = 0.60	0.56	0.46	0.50
Vidrio aislante - triple <sup>4</sup> Espacio de aire de 1/4"*	0.39	0.44	0.38	Tragaluz* 11 x 11 x 3 in espesor con divisor de cavidad	0.53	0.35	0.44
espacio de aire de 1/2"*	0.31	0.39	0.30	12 x 12 x 4 in espesor con divisor de cavidad	0.51	0.34	0.42
ventanas dobles espacio de aire de 1" a 4"*	0.50	0.50	0.44	Domos de plástico <sup>1</sup> de pared sencilla de pared doble	1.15 0.70	0.80 0.46	-- --
Lámina de plástico sencilla				Factores de ajuste para paneles verticales y horizontales			
1/8" espesor	1.06	0.98	--	Descripción	Vidrio sencillo	Vidrio doble o triple	Ventanas dobles
1/4" espesor	0.96	0.89	--	Todas de vidrio	1.00	1.00	1.00
1/2" espesor	0.81	0.76	--	Marco de madera - 80% vidrio	0.90	0.95	0.90
unidad aislante - doble espacio de aire de 1/4"*	0.55	0.56	--	Marco de madera - 60% vidrio	0.80	0.85	0.80
espacio de aire de 1/2"*	0.43	0.45	--	Marco de metal - 80% vidrio	1.00	1.20 <sup>2</sup>	1.20 <sup>2</sup>
Tragaluz* 6 x 6 x 4 in espesor	0.60	0.57	0.46	Ventanas y puertas corredizas de vidrio	0.95	1.00	--
8 x 8 x 4 in espesor	0.56	0.54	0.44	Marco de madera	1.00	1.10 <sup>2</sup>	--
— con divisor del hueco	0.48	0.46	0.38	Marco de metal			
12 x 12 x 4 in espesor	0.52	0.50	0.41				
— con divisor del hueco	0.44	0.42	0.36				
12 x 12 x 2 in espesor	0.60	0.57	0.46				

\* vidrio de 1/8"  
 \* vidrio de 1/4"  
 \*recubrimiento en ambas superficies del vidrio que dan al espacio de aire  
 \*diseño de la ventana: vidrio de 1/4" - vidrio de 1/8" - vidrio de 1/4"  
 \*dimensiones nominales  
<sup>1</sup> basados en la superficie de la abertura  
<sup>2</sup> con aislamiento térmico

Figura 77. Descripción de grupos de ventanas. Fuente [41]

Construcción	Valor de U en BTU/h-ft <sup>2</sup> -°F	
	Verano	Invierno
TECHO - CIELO RASO (techo inclinado, marco de madera, cielo terminado en largueros) Sin aislamiento Aislamiento R-19 (5 1/2 a 6 1/2 in)	.28 .06	.29 .05
TECHO-TAPANCO-CIELO RASO (tapanco con ventilación natural) Sin aislamiento Aislamiento R-19 (5 1/2 a 6 1/2 in)	.15 .04	.29 .05
PISOS		
Piso sobre espacio no acondicionado, sin cielo raso Marco de madera: Sin aislamiento Aislamiento R-7 (2 a 2 1/2 in) Cubierta de concreto: Sin aislamiento Aislamiento R-7	.33 .08 .58 .10	.27 .08 .43 .09
PUERTAS Madera maciza: de 1 in de espesor de 1 1/2 in de espesor de 2 in de espesor Acero: de 1 1/2 in de espesor con relleno de lana mineral de 1 1/2 in de espesor con relleno de poliestireno de 1 1/2 in de espesor con relleno de espuma de uretano	.61 .47 .42 .58 .46 .39	.64 .49 .43 .59 .47 .40

Figura 78. Descripción de grupos de puertas. Fuente [41]

**Tabla No. 25.** Coeficiente global de transferencia de calor U. Fuente. Autor

coeficiente global de transferencia de calor (BTU/ft <sup>2</sup> F)	Descripción de la construcción
0,402	Bloque 8in + acabado G.E.
0,73	Vidrio plano Sencillo
0.73	Puerta de vidrio

### 7.2.2. Diferencia de temperatura para carga de enfriamiento – DTCE (°F)

Para realizar el cálculo de la DTCE se considera el coeficiente de corrección para latitud, color y mes (LM), corrección debido al color de la superficie (K), factor de corrección para ventilación de cielo raso ( $f=0,75$  en el caso que exista cielo raso, para los demás casos ocupar  $f=1$ ). A continuación, la ecuación de cálculo: [41]

$$DTCEe = [(DTCE + LM) \cdot K + (78 - tr) + (to - 85)] \cdot f$$

Dónde:

$DTCEe$  =valor corregido de  $DTCE$ ; °F

$DTCE$ = temperaturas de las tablas

$LM$ = correcciones para latitud al color y mes

**K= corrección debido al color de la superficie**

K= 1.0 para superficies oscuras o áreas industriales

K= 0.5 para techos de color, claros en zonas rurales

K= 0.65 para paredes de color claro en zonas rurales

$tr$ = Temperatura del recinto; °F

Temperatura del recinto = 21°C = 69.8°F

$to$ = Temperatura de diseño exterior promedio. °F

Temperatura ambiente = 25°C = 77°F

$f$ = factor de corrección para ventilación del cielo raso (solo para el techo)

$f= 0.75$  para ventiladores de entepiso (techo falso) en los demás casos  $f=1$

Los valores para DTCE se consideraron de la ilustración que se muestra a continuación, según el tipo de pared, es decir de **bloque de 8 in espacios de aire**, orientación y la hora con la mayor exposición solar.

Latitud norte, orientación de pared	Hora solar, h																								Hora de la DTCE máxima	DTCE mínima	DTCE máxima	Diferencia de DTCE
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24				
<b>Paredes grupo A</b>																												
N	14	14	14	13	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14	2	10	14	4
NE	19	19	18	17	17	16	15	15	15	15	15	16	16	17	18	18	18	19	19	20	20	20	20	22	15	20	5	
E	24	24	23	23	22	21	20	19	19	18	18	19	20	21	22	23	24	25	25	25	25	25	25	22	18	25	7	
SE	24	23	23	22	21	20	20	19	18	18	18	18	19	20	21	22	23	23	24	24	24	24	24	22	18	24	6	
S	20	20	19	19	18	18	17	16	16	15	14	14	14	14	14	15	16	17	18	19	19	20	20	23	14	20	6	
SW	25	25	25	24	24	23	22	21	20	19	19	18	17	17	17	17	18	19	20	22	23	24	25	24	17	25	8	
W	27	27	26	26	25	24	23	22	21	20	19	19	18	18	18	18	19	20	22	23	24	25	26	1	18	27	9	
NW	21	21	21	20	20	19	19	18	17	16	16	15	15	14	14	14	15	15	16	17	18	19	20	1	14	21	7	
<b>Paredes grupo B</b>																												
N	15	14	14	13	12	11	11	10	9	9	9	9	9	9	10	11	12	13	14	14	15	15	15	24	8	15	7	
NE	19	18	17	16	15	14	13	12	12	13	14	15	16	17	18	19	19	20	20	21	21	21	20	20	21	12	21	9
E	23	23	21	20	18	17	16	15	15	15	17	19	21	22	24	25	26	26	27	27	26	26	25	24	20	15	27	12
SE	23	22	21	20	18	17	16	15	14	14	15	16	18	20	21	23	24	25	26	26	26	26	25	24	21	14	26	12
S	21	20	19	18	17	15	14	13	12	11	11	11	12	14	15	17	19	20	21	22	22	22	21	22	11	14	26	11
SW	27	26	25	24	22	21	19	18	16	15	14	14	13	13	14	15	17	20	22	25	27	28	28	24	13	28	15	
W	29	28	27	26	24	23	21	19	18	17	16	15	14	14	14	15	17	19	22	25	27	29	29	30	34	14	30	16
NW	23	23	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	11	12	12	13	15	17	19	21	22	23	23	24	11	23	12	12
<b>Paredes grupo C</b>																												
N	15	14	13	12	11	10	9	8	8	7	7	8	8	9	10	12	13	14	15	16	17	17	17	16	22	7	17	10
NE	19	17	16	14	13	11	10	10	11	13	15	17	19	20	21	22	23	23	23	23	22	21	20	20	10	10	23	13
E	22	21	19	17	15	14	12	12	14	16	19	22	25	27	29	29	30	30	30	29	28	27	26	24	18	12	30	18
SE	22	21	19	17	15	14	12	12	12	13	16	19	22	24	26	28	29	29	29	29	28	27	26	24	19	12	29	17
S	21	19	18	16	15	13	12	10	9	9	9	10	11	14	17	20	22	24	25	26	25	25	24	22	20	9	26	17
SW	29	27	25	22	20	18	16	15	13	12	11	11	11	13	15	18	22	26	29	32	33	33	32	31	22	11	33	22
W	31	29	27	25	22	20	18	16	14	13	12	12	12	13	14	16	20	24	29	32	35	35	35	33	22	12	35	23
NW	25	23	21	20	18	16	14	13	11	10	10	10	11	12	13	15	18	22	25	27	27	27	26	24	22	10	27	17
<b>Paredes grupo D</b>																												
N	15	13	12	10	9	7	6	6	6	6	6	7	8	10	12	13	15	17	18	19	19	19	18	-6	21	6	19	13
NE	17	15	13	11	10	8	7	8	10	14	17	20	23	23	23	24	24	25	25	24	23	22	20	18	19	7	25	18
E	19	17	15	13	11	9	8	9	12	17	22	27	30	32	33	33	32	32	31	30	28	26	24	22	16	8	33	25
SE	20	17	15	13	11	10	8	8	10	13	17	22	26	29	31	32	32	32	31	30	28	26	24	22	17	8	32	24
S	19	17	15	13	11	9	8	7	6	6	7	9	12	16	20	24	27	29	29	29	27	26	24	22	19	6	29	23
SW	28	25	22	19	16	14	12	10	9	8	8	8	10	12	16	21	27	32	36	38	38	37	34	31	21	8	38	30
W	31	27	24	21	18	15	13	11	10	9	9	9	10	11	14	18	24	30	36	40	41	40	38	34	21	9	41	32
NW	25	22	19	17	14	12	10	9	8	7	7	8	9	10	12	14	18	22	27	31	32	32	30	27	22	7	32	25
<b>Paredes grupo E</b>																												
N	12	10	8	7	5	4	3	4	5	6	7	9	11	13	15	17	19	20	21	23	20	18	16	14	20	3	22	19
NE	13	11	9	7	6	4	5	9	15	20	24	25	25	26	26	26	26	26	25	24	22	19	17	15	16	4	26	22
E	14	12	10	8	6	5	6	11	18	26	33	36	38	37	36	34	33	32	30	28	25	22	20	17	13	5	38	33
SE	15	12	10	8	7	5	5	8	12	19	25	31	35	37	37	36	34	33	31	28	26	23	20	17	15	5	37	32
S	15	12	10	8	7	5	4	3	4	5	9	13	19	24	29	32	34	33	31	29	26	23	20	17	17	3	34	31
SW	22	18	15	12	10	8	6	5	5	6	7	9	12	18	24	32	38	43	45	44	40	35	30	26	19	5	45	40
W	26	21	17	14	11	9	7	6	6	6	7	9	11	14	20	27	36	43	49	45	40	34	29	20	6	49	43	
NW	20	17	14	11	9	7	6	5	5	5	6	8	10	13	16	20	26	32	37	38	36	32	28	24	20	5	38	33
<b>Paredes grupo F</b>																												
N	8	6	5	3	2	1	2	4	6	7	9	11	14	17	19	21	22	23	24	23	20	16	13	11	19	1	24	23
NE	9	7	5	3	2	1	5	14	23	28	30	29	28	27	27	27	27	26	24	22	19	16	13	11	11	1	30	29
E	10	7	6	4	3	2	6	17	28	38	44	45	43	39	36	34	32	30	27	24	21	17	15	12	12	2	45	43
SE	10	7	6	4	3	2	4	10	19	28	36	41	43	42	39	36	34	31	28	25	21	18	15	12	13	2	43	41
S	10	8	6	4	3	2	1	1	3	7	13	20	27	34	38	39	38	35	31	26	22	18	15	12	16	1	39	38
SW	15	11	9	6	5	3	2	2	4	5	8	11	17	26	35	44	50	53	52	45	37	28	25	18	18	2	53	51
W	17	13	10	7	5	4	3	3	4	6	8	11	14	20	28	39	49	57	60	54	43	34	27	21	19	3	60	57
NW	14	10	8	6	4	3	2	2	3	5	8	10	13	15	21	27	35	42	46	43	35	28	22	18	19	2	46	44
<b>Paredes grupo G</b>																												
N	3	2	1	0	-1	2	7	8	9	12	15	18	21	23	24	24	25	26	22	15	11	9	7	5	18	-1	26	27
NE	3	2	1	0	-1	9	27	36	39	35	30	26	27	27	26	25	22	18	14	11	9	7	5	9	-1	39	40	
E	4	2	1	0	-1	11	31	47	54	55	50	40	33	31	30	29	27	24	19	15	12	10	8	6	10	-1	55	56
SE	4	2	1	0	-1	5	18	32	42	49	51	48	42	36	32	30	27	24	19	15	12	10	8	6	11	-1	51	52
S	4	2	1	0	-1	0	1	5	12	22	31	39	45	46	43	37	31	25	20	15	12	10	8	5	14	-1	46	47
SW	5	4	3	1	0	0	2	5	8	12	16	26	38	50	59	63	61	52	37	24	17	13	10	8	16	0	63	63
W	6	5	3	2	1	1	2	5	8	11	15	19	27	41	56	67	72	67	48	29	20	15	11	8	17	1	72	71
NW	5	3	2	1	0	0	2	5	8	11	15	18	21	27	37	47	55	55	41	25	17	13	10	7	18	0	55	55

Reproducido con permiso del 1985 Fundamentals, ASHRAE Handbook & Product Directory.

Figura 79. Diferencias de temperaturas para cargas de enfriamiento (DTCE). Fuente [41]

Tabla No. 26. Valores de DTCE. Fuente. Autor

Orientación	DTCE grupo (E)
SE	37
NW	13

Los valores de LM se consideraron de la imagen que se presenta a continuación. Los valores según la orientación del local hacia el norte (24°N) y el mes en que las condiciones climáticas son críticas (ENE/NOV)

Latitud	Mes	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	HORA
0	Dic	-3	-5	-5	-5	-2	-0	3	6	9	-1
	Ene/Nov	-3	-5	-4	-4	-1	-0	2	4	7	-1
	Feb/Oct	-3	-2	-2	-2	-1	-1	0	-1	0	0
	Mar/Sept	-3	0	1	-1	-1	-3	-3	-5	-8	-1
	Abr/Ago	5	4	3	0	-2	-5	-6	-8	-8	-2
	May/Jul	10	7	5	0	-3	-7	-8	-9	-8	-4
	Jun	12	9	5	0	-3	-7	-9	-10	-8	-5
8	Dic	-4	-6	-6	-6	-3	0	4	8	12	-5
	Ene/Nov	-3	-5	-6	-5	-2	0	3	6	10	-4
	Feb/Oct	-3	-4	-3	-3	-1	-1	1	2	4	-1
	Mar/Sept	-3	-2	-1	-1	-1	-2	-2	-3	-4	0
	Abr/Ago	2	2	2	0	-1	-4	-5	-7	-7	-1
	May/Jul	7	5	4	0	-2	-5	-7	-9	-7	-2
	Jun	9	6	4	0	-2	-6	-8	-9	-7	-2
16	Dic	-4	-6	-8	-8	-4	-1	4	9	13	-9
	Ene/Nov	-4	-6	-7	-7	-4	-1	4	8	12	-7
	Feb/Oct	-3	-5	-5	-4	-2	0	2	5	7	-4
	Mar/Sept	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	0	0	-1
	Abr/Ago	-1	0	-1	-1	-1	-3	-3	-5	-6	0
	May/Jul	4	3	3	0	-1	-4	-5	-7	-7	0
	Jun	6	4	4	1	-1	-4	-5	-8	-7	0
24	Dic	-5	-7	-9	-10	-7	-3	3	9	13	-13
	Ene/Nov	-4	-6	-8	-9	-6	-3	3	9	13	-11
	Feb/Oct	-4	-5	-6	-6	-3	-1	3	7	10	-7
	Mar/Sept	-3	-4	-3	-3	-1	-1	1	2	4	-3
	Abr/Ago	-2	-1	0	-1	-1	-2	-1	-2	-3	0
	May/Jul	1	2	2	0	0	-3	-3	-5	-6	1
	Jun	3	3	3	1	0	-3	-4	-6	-6	1
32	Dic	-5	-7	-10	-11	-8	-5	2	9	12	-17
	Ene/Nov	-5	-7	-9	-11	-8	-4	2	9	12	-15
	Feb/Oct	-4	-6	-7	-8	-4	-2	4	8	11	-10
	Mar/Sept	-3	-4	-4	-4	-2	-1	3	5	7	-5
	Abr/Ago	-2	-2	-1	-2	0	-1	0	1	1	-1
	May/Jul	1	1	1	0	0	-1	-1	-3	-3	1
	Jun	1	2	2	1	0	-2	-2	-4	-4	2
40	Dic	-6	-8	-10	-13	-10	-7	0	7	10	-21
	Ene/Nov	-5	-7	-10	-12	-9	-6	1	8	11	-19
	Feb/Oct	-5	-7	-8	-9	-6	-3	3	8	12	-14
	Mar/Sept	-4	-5	-5	-6	-3	-1	4	7	10	-8
	Abr/Ago	-2	-3	-2	-2	0	0	2	3	4	-3
	May/Jul	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Jun	1	1	1	0	1	0	0	-1	-1	2
48	Dic	-6	-8	-11	-14	-13	-10	-3	2	6	-25
	Ene/Nov	-6	-8	-11	-13	-11	-8	-1	5	8	-24
	Feb/Oct	-5	-7	-10	-11	-8	-5	1	8	11	-18
	Mar/Sept	-4	-6	-6	-7	-4	-1	4	8	11	-11
	Abr/Ago	-3	-3	-3	-3	-1	0	4	6	7	-5
	May/Jul	0	-1	0	0	1	1	3	3	4	0
	Jun	1	1	2	1	2	1	2	2	3	2
56	Dic	-7	-9	-12	-16	-16	-14	-9	-5	-3	-28
	Ene/Nov	-6	-8	-11	-15	-14	-12	-6	-1	2	-27
	Feb/Oct	-6	-8	-10	-12	-10	-7	0	6	9	-22
	Mar/Sept	-5	-6	-7	-8	-5	-2	4	8	12	-15
	Abr/Ago	-3	-4	-4	-4	-1	1	5	7	9	-8
	May/Jul	0	0	0	0	2	2	5	6	7	-2
	Jun	2	1	2	1	3	3	4	5	6	1

Reproducido con permiso del 1979 ASHRAE Load Calculations Manual

Figura 80. Corrección del DTCE por latitud y mes. Fuente [41]

Tabla No. 27. Valores de LM. Fuente. Autor

Latitud	Mes	SE	NW
24°N	ENE/NOV	3	-8

Los valores K son debido a la corrección en función del color de la superficie es decir para nuestro caso K=0.65 para paredes de color claro.

### 7.2.3. Cálculo de las ganancias de calor por conducción paredes exteriores

Según lo obtenido en las secciones anteriores, procedemos a realizar el cálculo con la ecuación de DTCEe. [41]

$$DTCEe = [(DTCE + LM) \cdot K + (78 - tr) + (to - 85)] \cdot f$$

Tabla No. 28. Valores de DTCEe. Fuente. Autor

Cargas térmicas por conducción en paredes exteriores 24°N											
		longitud	alto	área	área efectiva	Área ft <sup>2</sup>	grupo	U	DTCE	LM	DTCEe
SE	pared calle	10,17	2,51	25,5267	12,5067	134,6208681	E	0,402	37	3	26.2
NW	pared lab	10,17	2,51	25,5267	14,1267	152,0583861	E	0,402	13	-8	3.45

**k= 0.65** por ser paredes de color claro.

Realizando la siguiente operación obtendremos los resultados de ganancia de calor por conducción a través de la **estructura exterior** del recinto. [41]

$$Q = U \cdot A \cdot DTCE$$

Tabla No. 29. Resultados de la ganancia de calor por conducción paredes exteriores. Fuente. Autor

Cargas térmicas por conducción en paredes exteriores 24°N												
		longitud	alto	área	área efectiva	Área ft <sup>2</sup>	grupo	U	DTCE	LM	DTCE	Q(BTU/h)
SE	Pared calle	10,17	2,51	25,5267	12,5067	134,6208681	E	0,402	37	3	26.2	1417.88
NW	Pared Lab.	10,17	2,51	25,5267	14,1267	152,0583861	E	0,402	13	-8	3.45	210.88

## 7.2.4. Cálculo de las ganancias de calor por conducción paredes, piso y puerta interiores

### 7.2.4.1. Conducción a través de la estructura interna

El calor que pasa desde los espacios interiores sin acondicionamiento hasta los espacios acondicionados a través de divisiones, pisos y cielos rasos se puede calcular con la siguiente expresión: [41]

$$Q = U \cdot A \cdot DT$$

Dónde:

$Q$ = velocidad de transferencia de calor a través de la división, piso o cielo raso, **BTU/h**

$U$ = coeficiente global de transferencia de calor para la división, piso o cielo raso, **BTU/h-ft<sup>2</sup>-°F**

$A$ = área de la división, piso o cielo raso, **ft<sup>2</sup>**

$DT$ = diferencia de temperatura entre el espacio sin acondicionar y los acondicionados, **°F**

#### Datos adicionales

Temperatura ambiente = 25°C = 77°F

Temperatura acondicionar = 21°C = 69.8°F

**Tabla No. 30.** Resultados de la ganancia de calor por conducción paredes, piso, puerta. Fuente. Autor

Cargas térmicas por conducción en paredes interiores, piso y puerta								
Orientación	Descripción	Longitud	Alto	Área	Área efectiva	Área ft <sup>2</sup>	U (Coeficiente global)	Q(BTU)
NE	wall blackboard	5,8	2,51	14,55	12,33	132,80	0,15	143,42
SW	wall posterior	5,8	2,51	14,55	14,55	156,70	0,15	169,23
	FLOOR	10,17	5,8	58,98	58,98	634,91	0,1	457,14
	DOOR	2,22	1	2,22	2,22	23,89	0,73	125,59

### 7.3. Análisis de ganancia de calor por radiación a través de los vidrios

Las ganancias de calor por radiación a través de los vidrios que se ubican hacia el exterior, se calculan con la expresión siguiente. [41]

$$Q = FGCS \cdot A \cdot CS \cdot FCE$$

Dónde:

$Q$  = Ganancia neta por radiación solar a través del vidrio; BTU/h

$FGCS$  = factor de ganancia máxima de calor solar; BTU/h-ft<sup>2</sup>

$A$  = área del vidrio; ft<sup>2</sup>

$CS$  = coeficiente de sombreado

$FCE$  = factor de carga de enfriamiento para el vidrio

#### 7.3.1. Análisis de las áreas de vidrios orientados al exterior

A partir de los planos arquitectónicos se obtuvieron las medidas y ubicación de las ventanas.

**Tabla No. 31.** Orientación y áreas de las ventanas exteriores. Fuente. Autor

		LARGO	ALTO	AREA	AREA FT <sup>2</sup>	UBICACION
SE	VENTANA 1	4,6	1,4	6,44	69,319516	EXTERIOR
SE	VENTANA 2	4,6	1,4	6,44	69,319516	EXTERIOR
NW	VENTANA 1	4,45	1,28	5,696	61,3111744	EXTERIOR
NW	VENTANA 2	4,45	1,28	5,696	61,3111744	EXTERIOR

### 7.3.2. Factor de ganancia máxima de calor solar – FGCS (BTU/h - FT<sup>2</sup>)

Los valores de FGCS se presentan en la siguiente ilustración, según la orientación del aula (24 grados al norte), el mes en que las condiciones ambientales son críticas (ENE/SEP).

0 Grados											16 Grados										
	NNE/	NE/	ENE/	E/	ESE/	SE/	SEE/	S	HOR		NNE/	NE/	ENE/	E/	ESE/	SE/	SEE/	S	HOR		
	N	NNW	NW	WNW	W	WSW	SW	SSW			N	NNW	NW	WNW	W	WSW	SW	SSW			
En.	34	34	88	177	234	254	235	182	118	296	En.	30	30	55	147	21	244	251	223	199	248
Feb.	36	39	132	205	245	247	210	141	67	306	Feb.	33	33	96	180	231	247	233	188	154	275
Mar.	38	87	170	223	242	223	170	87	38	303	Mar.	35	53	140	205	239	235	197	138	93	291
Abr.	71	134	193	224	221	184	118	38	37	284	Abr.	39	99	172	216	227	204	150	77	45	289
May	113	164	203	218	201	154	80	37	37	265	May	52	132	189	218	215	179	115	45	41	282
Jun.	129	173	206	212	191	140	66	37	37	255	Jun.	66	142	194	217	207	167	99	41	41	277
Jul.	115	164	201	213	195	149	77	38	38	260	Jul.	55	132	187	214	210	174	111	44	42	277
Agos.	75	134	187	216	212	175	112	39	38	276	Agos.	41	100	168	209	219	196	143	74	46	282
Sept.	40	84	163	213	231	213	163	84	40	293	Sept.	36	50	134	196	227	224	191	134	93	282
Oct.	37	40	129	199	236	238	202	135	66	299	Oct.	33	33	95	174	223	237	225	183	150	270
Nov.	35	35	88	175	230	250	230	179	117	293	Nov.	30	30	55	145	206	241	247	220	196	246
Dic.	34	34	71	164	226	253	240	196	138	288	Dic.	29	29	41	132	198	241	254	233	212	234

8 Grados											24 Grados										
	NNE/	NE/	ENE/	E/	ESE/	SE/	SEE/	S	HOR		NNE/	NE/	ENE/	E/	ESE/	SE/	SEE/	S	HOR		
	N	NNW	NW	WNW	W	WSW	SW	SSW			N	NNW	NW	WNW	W	WSW	SW	SSW			
En.	32	32	71	163	224	250	242	203	162	275	En.	27	27	41	128	190	240	253	241	227	214
Feb.	34	34	114	193	239	248	219	165	110	294	Feb.	30	30	80	165	220	244	243	213	192	249
Mar.	37	67	156	215	241	230	184	110	55	300	Mar.	34	45	124	195	234	237	214	168	137	275
Abr.	44	117	184	221	225	195	134	53	39	289	Abr.	37	88	159	209	228	212	169	107	75	283
May	74	146	198	220	209	167	97	39	38	277	May	43	117	178	214	218	190	132	67	46	282
Jun.	90	155	200	217	200	141	82	39	39	269	Jun.	55	127	184	214	212	179	117	55	43	279
Jul.	77	145	195	215	204	162	93	40	39	272	Jul.	45	116	176	210	213	185	129	65	46	278
Agos.	47	117	179	214	216	186	128	51	41	282	Agos.	38	87	156	203	220	204	162	103	72	277
Sept.	38	66	149	205	230	219	176	107	56	290	Sept.	35	42	119	185	222	225	206	163	134	266
Oct.	35	35	112	187	231	239	211	160	108	288	Oct.	31	31	79	159	211	237	235	207	187	244
Nov.	33	33	71	161	220	245	233	200	160	273	Nov.	27	27	42	126	187	236	249	237	224	213
Dic.	31	31	55	149	215	246	247	215	179	265	Dic.	26	26	29	1112	180	234	247	247	237	199

Figura 81. Radiación solar a través de vidrio FCE. Fuente [41]

Tabla No. 32. Valores de FGCS de los vidrios del aula AFI. Fuente. Autor

ORIENTACION			
	MES	SE	NW
VENTANA 1	SEPTIEMBRE	250	
VENTANA 2		250	
VENTANA 1			42
VENTANA 2			42

### 7.3.3. Coeficientes de sombreado – CS

Los valores de CS se muestran en la siguiente tabla a continuación los valores considerando si tienen o sombreado. [41]

	Tipo de vidrio	Espesor nominal de cada vidrio claro <sup>a</sup>	Transmisión solar <sup>b</sup>	Sin sombreado interior $h_o = 4.0$	Tipo de sombreado interior				
					Persianas venecianas		Persianas enrollables		
					Medio	Claro	Opacas	Translúcidas	Claro
VIDRIO SENCILLO	Sencillo	3/32 a 1/4	0.87-0.80	1.00					
	Claro	1/4 a 1/2	0.80-0.71	0.94					
	Claro	3/8	0.72	0.90	0.64	0.55	0.59	0.25	0.39
	Claro	1/2	0.67	0.87					
	Claro con figuras	1/8 a 9/32	0.87-0.79	0.83					
	Absorbente de calor, con figuras <sup>c</sup>	1/8		0.83					
	Absorbente de calor <sup>c</sup>	3/16 a 1/4	0.46	0.69					
	Absorbente de calor, con figuras	3/16 a 1/4		0.69	0.57	0.53	0.45	0.30	0.36
	Coloreado	1/8 a 7/32	0.59-0.45	0.69					
	Absorbente de calor, o con figuras		0.44-0.30	0.60	0.54	0.52	0.40	0.28	0.32
	Absorbente de calor <sup>c</sup>	3/8	0.34	0.60					
	Absorbente de calor, o con figuras	1/2	0.44-0.30	0.53	0.42	0.40	0.36	0.28	0.31
	Vidrio recubierto reflector		0.24	0.30	0.25	0.23			
			0.40	0.33	0.29				
			0.50	0.42	0.38				
			0.60	0.50	0.44				
VIDRIO AISLANTE	Doble <sup>d</sup>	3/32, 1/8	0.71*	0.88	0.57	0.51	0.60	0.25	0.37
	Claro afuera								
	Claro adentro	1/4	0.61*	0.81					
	Claro afuera								
	Claro adentro	1/4	0.36*	0.55					
	Absorbente de calor afuera				0.39	0.36	0.40	0.22	0.30
	Claro adentro			0.20	0.19	0.18			
Vidrio recubierto reflector			0.30	0.27	0.26				
			0.40	0.34	0.33				
Triple	Claro	1/4		0.71					
	Claro	1/8		0.80					

Figura 82. Coeficiente de sombreado para vidrios. Fuente. [41]

Tabla No. 33. Valores de CS de los vidrios del aula AFI. Fuente. Autor

TIPO	VALOR
VIDRIO SENCILLO 3/32 a 1/4 (PERSIANAS)	0,55
VIDRIO SENCILLO 3/32 a 1/4 (SIN SOMBREADO)	1

### 7.3.4. Factores de carga de enfriamiento para vidrio-FCE

Para tomar los valores de FCE de la siguiente tabla, consideramos la hora de máxima exposición solar, es decir, las 14H00.

**Nota:** Consideramos los datos del literal **L** debido a que la construcción del aula es de una pared exterior ligera y de piso de concreto.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	L	0.17	0.14	0.11	0.09	0.08	0.33	0.42	0.48	0.56	0.63	0.71	0.76	0.80	0.82	0.82	0.79	0.80	0.84	0.61	0.48	0.38	0.31	0.25	0.20
	M	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.34	0.41	0.46	0.52	0.59	0.65	0.70	0.73	0.75	0.76	0.74	0.75	0.79	0.61	0.50	0.42	0.36	0.31	0.27
	H	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.38	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.69	0.72	0.73	0.72	0.70	0.70	0.74	0.57	0.46	0.39	0.34	0.31	0.28
NE	L	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.23	0.41	0.51	0.51	0.45	0.39	0.36	0.33	0.31	0.28	0.26	0.23	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05
	M	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.21	0.36	0.44	0.45	0.40	0.36	0.33	0.31	0.30	0.28	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.09	0.08
	H	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.23	0.37	0.44	0.44	0.39	0.34	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.20	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10
E	L	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.19	0.37	0.51	0.57	0.57	0.51	0.42	0.36	0.32	0.29	0.25	0.22	0.19	0.14	0.12	0.09	0.08	0.06	0.05
	M	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.18	0.33	0.44	0.50	0.51	0.45	0.39	0.35	0.32	0.29	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08
	H	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.21	0.34	0.45	0.50	0.49	0.43	0.36	0.32	0.29	0.26	0.24	0.22	0.19	0.17	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10
SE	L	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.13	0.28	0.43	0.55	0.62	0.63	0.57	0.48	0.42	0.37	0.33	0.28	0.24	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07
	M	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.14	0.26	0.38	0.48	0.54	0.55	0.51	0.45	0.40	0.36	0.33	0.29	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10
	H	0.11	0.10	0.10	0.09	0.08	0.17	0.28	0.40	0.49	0.53	0.53	0.48	0.41	0.36	0.33	0.30	0.27	0.24	0.20	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12
S	L	0.08	0.07	0.05	0.04	0.04	0.06	0.09	0.14	0.22	0.34	0.48	0.59	0.65	0.65	0.59	0.50	0.43	0.36	0.28	0.22	0.18	0.15	0.12	0.10
	M	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07	0.08	0.11	0.14	0.21	0.31	0.42	0.52	0.57	0.58	0.53	0.47	0.41	0.36	0.29	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14
	H	0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	0.12	0.14	0.17	0.24	0.33	0.43	0.51	0.56	0.55	0.50	0.43	0.38	0.32	0.26	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15
SW	L	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.24	0.36	0.49	0.60	0.66	0.66	0.58	0.43	0.33	0.27	0.22	0.18	0.14
	M	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.23	0.33	0.44	0.53	0.58	0.59	0.53	0.41	0.33	0.28	0.24	0.21	0.18
	H	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.12	0.13	0.14	0.16	0.17	0.19	0.25	0.34	0.44	0.52	0.56	0.56	0.49	0.37	0.30	0.25	0.21	0.19	0.17
W	L	0.12	0.10	0.08	0.07	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.13	0.14	0.20	0.32	0.45	0.57	0.64	0.61	0.44	0.34	0.27	0.22	0.18	0.14
	M	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.19	0.29	0.40	0.50	0.56	0.55	0.41	0.33	0.27	0.23	0.20	0.17
	H	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.11	0.12	0.13	0.13	0.14	0.15	0.16	0.21	0.30	0.40	0.49	0.54	0.52	0.38	0.30	0.24	0.21	0.18	0.16
NW	L	0.11	0.09	0.08	0.06	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.19	0.23	0.33	0.47	0.59	0.60	0.43	0.33	0.26	0.21	0.17	0.14
	M	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.09	0.10	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.18	0.21	0.30	0.42	0.51	0.53	0.39	0.32	0.26	0.22	0.19	0.16
	H	0.14	0.12	0.11	0.11	0.10	0.11	0.12	0.13	0.15	0.16	0.18	0.19	0.19	0.22	0.30	0.41	0.50	0.51	0.36	0.29	0.23	0.20	0.17	0.15
HORA	L	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.07	0.14	0.24	0.36	0.48	0.58	0.66	0.72	0.74	0.73	0.67	0.59	0.47	0.37	0.30	0.24	0.19	0.16	0.13
	M	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.11	0.16	0.24	0.33	0.43	0.52	0.59	0.64	0.67	0.66	0.62	0.55	0.47	0.38	0.32	0.28	0.24	0.21	0.18
	H	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.15	0.20	0.27	0.36	0.45	0.52	0.59	0.62	0.64	0.62	0.58	0.51	0.42	0.35	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19

L = construcción ligera: Pared exterior de bastidores, losa de piso de concreto de 2 in, con aprox. 30 lb de material/ft<sup>2</sup> de piso.  
M = Construcción media: Pared exterior de concreto de 4 in, losa de piso de concreto de 4 in, con aprox. 70 lb de material de construcción por ft<sup>2</sup> de piso.  
H = Construcción pesada: Pared exterior de concreto de 6 in, losa de piso de concreto de 6 in, con aprox. 130 lb de material de construcción por ft<sup>2</sup> de piso.

Figura 83. Factores de cargas de enfriamiento para vidrios. Fuente [41]

Tabla No. 34. Valores de CS de los vidrios del aula AFI. Fuente. Autor

ORIENTACION	VALOR
SE	0,42
NW	0,23

### 7.3.5. Cálculo de la ganancia de calor por radiación a través de vidrios.

Con los datos que se encontraron anteriormente con respecto del aula F1 se procede a realizar el cálculo para determinar la ganancia de cada una de las ventanas. Y se calcula con la siguiente expresión. [41]

$$Q = FGCS \cdot A \cdot CS \cdot FCE$$

Por lo tanto, tenemos:

Que dos ventanas tendrán una orientación SE y dos ventanas con orientación NW.

**Tabla No. 35.** Valores de la ganancia por radiación a través de las ventanas AFI. Fuente. Autor

<b>Ganancia de calor por radiación a través de ventanas</b>									
		<b>LARGO</b>	<b>ALTO</b>	<b>AREA</b>	<b>AREA FT<sup>2</sup></b>	<b>FGCS</b>	<b>CS</b>	<b>FCE</b>	<b>Q</b>
SE	VENTANA 1	4,6	1,4	6,44	69,31	250	0,55	0,42	4003,20
SE	VENTANA 2	4,6	1,4	6,44	69,31	250	0,55	0,42	4003,20
NW	VENTANA 1	4,45	1,28	5,696	61,31	42	1	0,23	592,26
NW	VENTANA 2	4,45	1,28	5,696	61,31	42	1	0,23	592,26

## 7.4. Análisis de ganancia de calor por las personas

Las ganancias de calor por las personas se dan a través de la actividad que se realice dentro del recinto, se calcula según la expresión que tenemos a continuación, tanto para ganancia sensible como para latente. [41]

$$Q_s = q_s \cdot n \cdot FCE$$

$$Q_l = q_l \cdot n$$

Dónde:

$Q_s$  ,  $Q_l$ = ganancias de calor sensible y latente

$q_s$  ,  $q_l$ = ganancias de calor sensible y latente por persona

$n$ = número de personas

$FCE$ = factor de carga de enfriamiento para las personas

### 7.4.1. Ganancias de calor sensible y latente por personas Qs-Ql

Los valores de las ganancias de calor sensible y latente los podemos obtener de la siguiente ilustración:

Actividad	Aplicaciones típicas	Calor total por adulto masculino			calor total ajustado <sup>a</sup>			Calor sensible			Calor latente		
		Watts	Btuh	kcal/h	Watts	Btuh	kcal/h	Watts	Btuh	kcal/h	Watts	Btuh	kcal/h
Sentado en reposo	Teatro, cine	115	400	100	100	350	90	60	210	55	40	140	30
Sentado, trabajo muy ligero, escritura	Oficinas, hoteles, apartamentos	140	480	120	120	420	105	65	230	55	55	190	50
Sentado, comiendo	Restaurante	150	520	130	170	580 <sup>b</sup>	145	75	255	60	95	325	80
Sentado, trabajo ligero, mecanografía	Oficinas, hoteles, apartamentos	185	640	160	150	510	130	75	255	60	75	255	65
Parado, trabajo ligero o camina despacio	Tiendas minoristas, bancos	235	800	200	185	640	160	90	315	80	95	325	80
Trabajo ligero de banco	Fábricas	255	880	220	230	780	195	100	345	90	130	435	110
Caminando 3 mph trabajo libro		305	1040	260	305	1040	260	100	345	90	205	695	170
trabajo con máquinas pesadas	Fábricas	350	1200	300	280	960	240	100	345	90	180	615	150
Boliche		400	1360	340	375	1280	320	120	405	100	255	875	220
Baile moderado	Salón de baile	400	1360	340	375	1280	320	120	405	100	255	875	220
Trabajo pesado, trabajo con máquinas pesadas, levantar pesas	Fábricas	470	1600	400	470	1600	400	165	565	140	300	1035	260
Trabajo pesado, ejercicios atléticos	Gimnasios	585	2000	500	525	1800	450	185	635	160	340	1165	290

<sup>a</sup> Nota: Los valores de la tabla se basan en una temperatura de bulbo seco de 78°F. Para 80°F BS, el calor total queda igual, pero el valor del calor sensible se debe disminuir en aproximadamente 8% y los valores del calor latente se deben aumentar proporcionalmente.

<sup>b</sup> La ganancia total ajustada de calor se basa en el porcentaje normal de hombres, mujeres y niños en la aplicación que se menciona, bajo la hipótesis de que la ganancia por mujer adulta representa un 85% de la del hombre adulto, y la de un niño el 75%.

<sup>c</sup> Calor total ajustado para comer en un restaurant, que incluye 60 BTU/h del alimento por individuo (30 BTU sensibles y 30 BTU latentes).

<sup>d</sup> Para el boliche, se considera una persona por pista tirando y las demás sentadas (400 BTU/h) o paradas y caminando lentamente (970 BTU/h)

Reproducido con permiso del 1985 Fundamentals. ASHRAE Handbook & Product Directory.

Figura 84. Tasa de ganancia de calor según la actividad de las personas. Fuente [41]

**Tabla No. 36.** Valores de la ganancia de calor sensible y latente por personas. Fuente. Autor

Actividad	Aplicación	Calor sensible (qs) BTU/h	Calor latente (ql) BTU/h
sentado trabajo muy ligero, escritura	oficinas, hoteles y apartamentos	230	190

#### 7.4.2. Factores de cargas de enfriamiento para las personas – FCE

El factor de carga de enfriamiento para las personas se define en la siguiente ilustración:

	Horas totales en el recinto				Horas después de cada entrada al recinto																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
2	0.49	0.58	0.17	0.13	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
4	0.49	0.59	0.66	0.71	0.27	0.21	0.16	0.14	0.11	0.10	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
6	0.50	0.60	0.67	0.72	0.76	0.79	0.34	0.26	0.21	0.18	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
8	0.51	0.61	0.67	0.72	0.76	0.80	0.82	0.84	0.38	0.30	0.25	0.21	0.18	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04
10	0.53	0.62	0.69	0.74	0.77	0.80	0.83	0.85	0.87	0.89	0.42	0.34	0.28	0.23	0.20	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06
12	0.55	0.64	0.70	0.75	0.79	0.81	0.84	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92	0.45	0.36	0.30	0.25	0.21	0.19	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.08
14	0.58	0.66	0.72	0.77	0.80	0.83	0.85	0.87	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.47	0.38	0.31	0.26	0.23	0.20	0.17	0.15	0.13	0.11	0.11
16	0.62	0.70	0.75	0.79	0.82	0.85	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.49	0.39	0.33	0.28	0.24	0.20	0.18	0.16	0.16
18	0.66	0.74	0.79	0.82	0.85	0.87	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.50	0.40	0.33	0.28	0.24	0.21	0.21

Reproducido con permiso de 1985 *Fundamentals ASHRAE Handbook & Product Directory*.

**Figura 85.** Factores de calor para cargas de enfriamiento debido a personas. Fuente [41]

Para obtener el valor FCE, consideramos que el aula F1, se utiliza desde las 15H00 hasta las 17H00, que son las horas con mayor exposición solar, y esto nos genera un valor de **FCE=0.01**.

### 7.4.3. Cálculo de la ganancia de calor sensible y latente por personas.

Según lo determinado anteriormente se procede a calcular las ganancias que existen, tanto sensible como latente, con una cantidad de 30 alumnos.

#### 7.4.3.1. Ganancia de calor sensible

$$Q_s = q_s \cdot n \cdot FCE$$

$$Q_s = 230 \cdot 30 \cdot 0.01$$

**Tabla No. 37.** Valores de la ganancia de calor sensible por personas. Fuente. Autor

Ubicación	Calor sensible	# de personas	FCE	Q (BTU/h)
Aula de fundición AF1 segunda planta	230	30	0,01	69

#### 7.4.3.2. Ganancia de calor latente

$$Q_l = q_l \cdot n$$

$$Q_l = 190 \cdot 30$$

**Tabla No. 38.** Valores de la ganancia de calor latente por personas. Fuente. Autor

Ubicación	Calor latente	# de personas	Q (BTU/h)
Aula de fundición AF1 segunda planta	190	30	5700

## 7.5. Análisis de ganancia de calor infiltraciones a través de ventanas y puertas orientadas al exterior.

La infiltración de aire a través de fisuras en las ventanas o puertas ocasiona una ganancia de calor, tanto sensible como latente, en el aula. Los procedimientos y las ecuaciones para calcular las pérdidas de calor por infiltración se explicarán a continuación. Se usa el mismo procedimiento para calcular la ganancia de calor. Consideramos el método de las fisuras. [41]

$$Q_s = 1.1 \cdot CFM \cdot CT$$

$$Q_l = 0.68 \cdot CFM \cdot (W_e - W_i)$$

Dónde:

$Q_s, Q_l$  = cargas de calor sensible y latente debido al aire de ventilación, BTU/h

$CFM$  = flujo de aire de ventilación,  $ft^2/min$

$CT$  = cambio de temperatura entre el aire exterior e interior, °F

$W_e, W_i$  = relación de humedad exterior e interior, g de agua/lb de aire seco

### 7.5.1. Flujo de ventilación – CFM $ft^2/min$

#### 7.5.1.1. Método de las fisuras

Los CFM para esta sección se calcularon a través del método de fisuras que pretende calcular una tasa de infiltración por pie de fisura. [41]

La tasa de ventilación

**Tabla No. 39.** Tasas de ventilación para puertas y ventanas al exterior. Fuente. Autor

Componente	Tasa de infiltración
Ventanas	0,75 CFM/ FT de fisura
Puertas	1 CFM/ FT de fisura

7.5.2. Cambio de temperaturas y relaciones de humedad entre el aire exterior e interior – CT (°F) – W (g agua/lb)

El cambio de temperaturas y el cambio de las relaciones de humedad se determinaron mediante las condiciones de confort y las condiciones extremas, con la ayuda de la INER (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables) y la INAMHI.

Ayudados de la carta psicrométrica podemos obtener algunas condiciones importantes del aire exterior y aire de diseño interior que se menciona en las siguientes tablas.

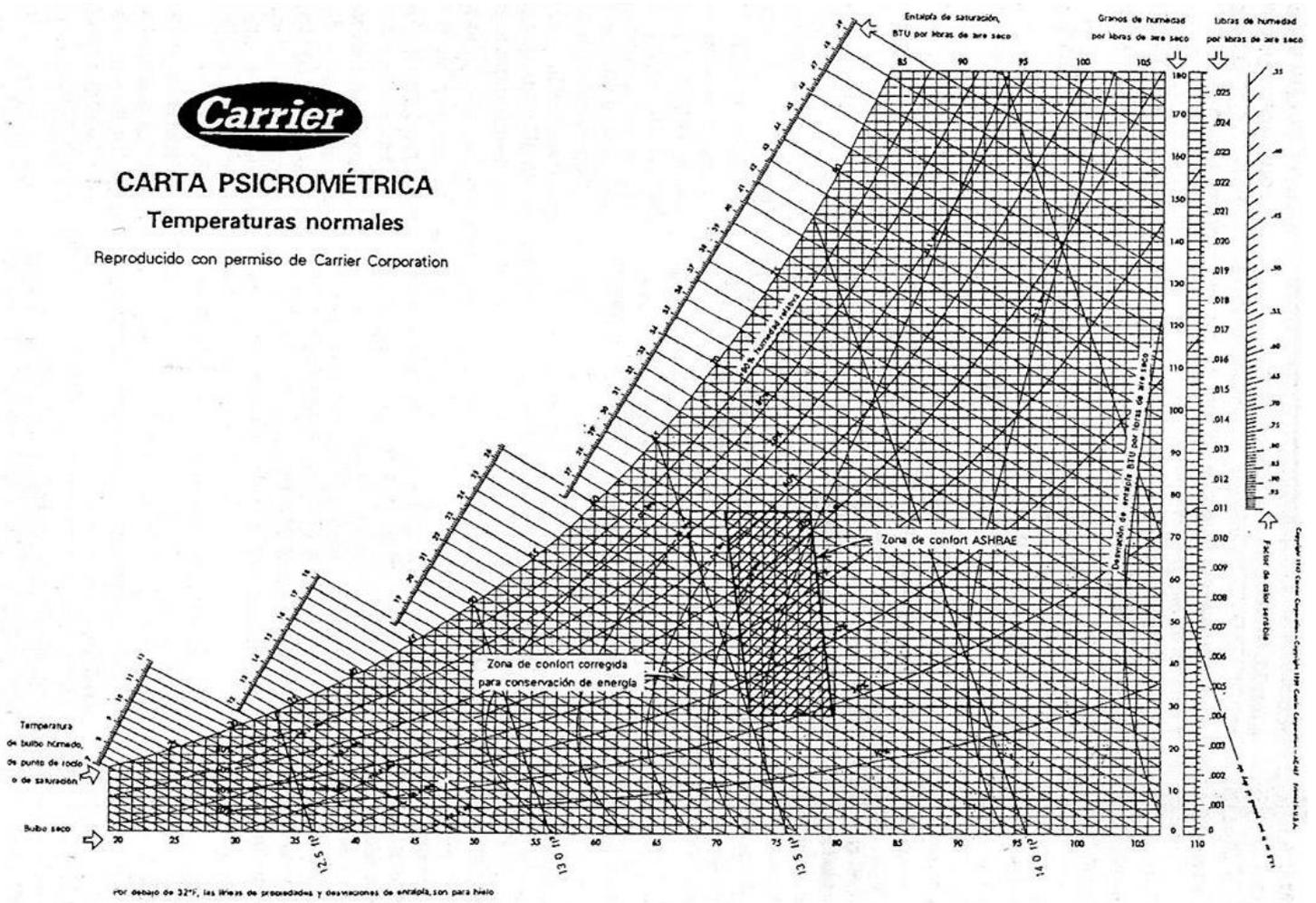


Figura 86. Carta Psicrometrica. Fuente [1]

Tabla No. 40. Condiciones de aire exterior (INER, INAMHI)

TB seco (°F-°C)	TB húmedo (°F-°C)	Humedad (%)	Relación de humedad -W (g agua/lb)	Entalpia constante h(BTU/lb)
77 - 25	73,4 - 23	60	84	31,5

**Tabla No. 41.** Condiciones de aire interior (diseño)

<b>TB seco (°F-°C)</b>	<b>TB húmedo (°F-°C)</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Relación de humedad -W (g agua/lb)</b>	<b>Entalpia constante h(BTU/lb)</b>
69,8 - 21	59 - 15	50	54	25

### 7.5.3. Cálculo de las ganancias sensibles y latentes por infiltración

A continuación, obtendremos las ganancias de calor tanto sensible como latente por infiltraciones.

#### 7.5.3.1. Ganancia de calor sensible

$$Q_s = 1.1 \cdot CFM \cdot CT$$

$$Q_s = 1.1 \cdot (0.75 \cdot \text{perimetro}) \cdot (77 - 69.8)$$

**Tabla No. 42.** Ganancia de calor sensible de puertas y ventanas al exterior. Fuente. Autor

<b>Descripción</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>perímetro (m)</b>	<b>perímetro (ft)</b>	<b>CFM/FT</b>	<b>CT</b>	<b>Q (BTU/h)</b>
ventana 1 (calle)	1,1	24	78,74	0,75	7,2	467,71
ventana 2 Lab	1,1	22,92	75,19	0,75	7,2	446,62
puerta	1,1	6,44	21,12	1	7,2	167,27

### 7.5.3.2. Ganancia de calor latente

$$Ql = 0.68 \cdot CFM \cdot (We - Wi)$$

$$Ql = 0.68 \cdot (0.75 \cdot \text{perimetro}) \cdot (84 - 54)$$

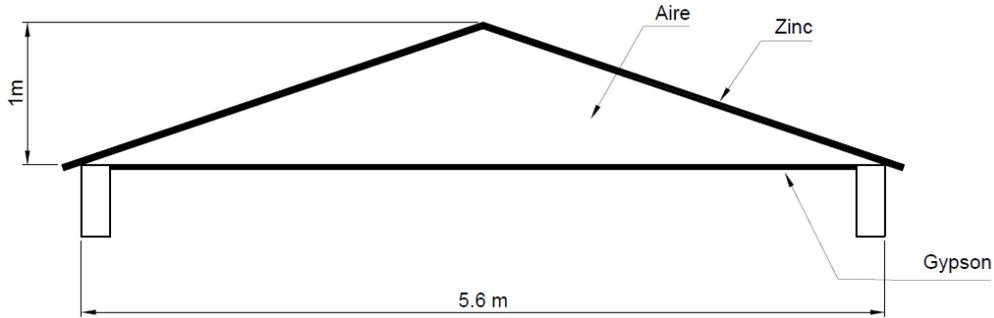
**Tabla No. 43.** Ganancia de calor latente de puertas y ventanas al exterior. Fuente. Autor

Descripción	Coefficiente	perímetro (m)	perímetro (ft)	CFM/FT	Wi-WE	Q (BTU/h)
ventana 1 (calle)	0,68	24	78,74	0,75	30	1204,72
ventana 2 Lab	0,68	22,92	75,19	0,75	30	1150,40
puerta	0,68	6,44	21,12	1	30	430,84

## 7.6. Análisis de ganancias de calor de techos

### 7.6.1. Área del Techo:

Tomamos en cuenta todos los aspectos estructurales y de construcción del aula, por lo cual comenzamos con el techo, cuyas medidas se detallan en la siguiente figura.



**Figura 87.** Cubierta aula de fundición F1. Medidas. Fuente. Autor

Para facilidad de cálculos el triángulo que se forma entre el techo y el Gypsu lo igualamos a una figura homogénea, como es un rectángulo.

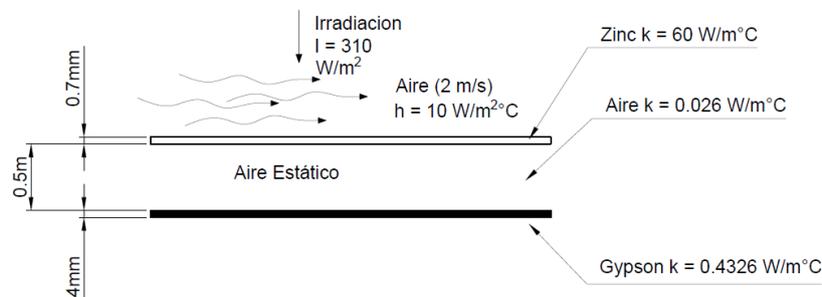
$$B_{\text{Triangulo}} = B_{\text{Rectángulo}}$$

$$\frac{b \cdot a}{2} = b \cdot a$$

$$\frac{5.6 \cdot 1}{2} = 5.6 \cdot a$$

$$a = \frac{5.6}{11.2}$$

$$a = 0.5 \text{ m}$$



**Figura 88.** IRRADIACION SOLAR AULA DE FUNDICION AF1. FUENTE. AUTOR

### 7.6.2. Obtención de los Q de calor.

Nuestro trabajo se enfoca en disminuir los efectos de los factores externos que aumentan la temperatura del aula F1.

En primera instancia un factor muy importante para el aumento de temperatura del aula es el techo ya que está constituido de planchas de Zinc y este material tiene muy poca resistencia térmica, y según los datos obtenidos del INER tenemos una irradiación media de  $310 \text{ W/m}^2$ .

$$\text{Irradiación solar} = 310 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Velocidad de aire} = 2 \text{ m/s}$$

$$h \text{ (Aire a temperatura ambiente)} = 10 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- **Zinc**

$$k = 60 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- **Aire**

$$k = 0.026 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- **Gypsum**

$$k = 0.4326 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

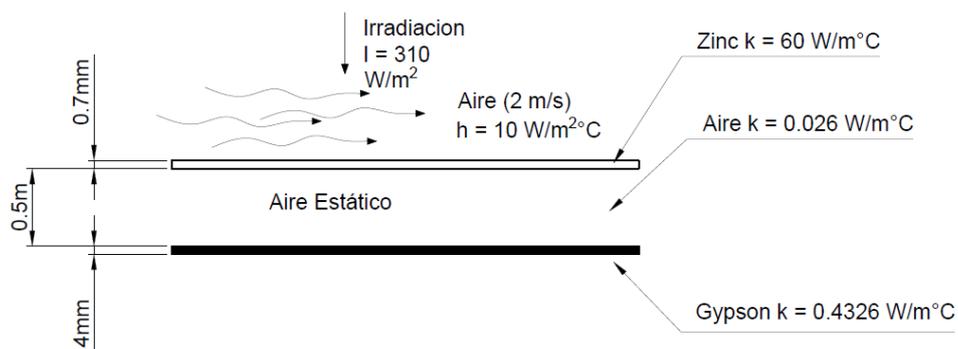


Figura 89. IRRADIACION SOLAR AULA DE FUNDICION AF1. FUENTE. AUTOR

### 7.6.3. Q del Zinc.

Luego de determinar los datos técnicos de los materiales presentes, determinamos el flujo de calor que absorbe la plancha de Zinc, tomando en cuenta la irradiación que se da en la Ciudad de Cuenca, la superficie de la cubierta del aula y la absorptividad del Zinc.

$$Q_{Zinc} = S \cdot I \cdot \alpha$$

Dónde:

S= Superficie en  $m^2$

I= Irradiación en  $W/m^2$

$\alpha$ = Absorptividad que es un numero adimensional

$$Q_{Zinc} = (57.12m^2) \cdot (310 W/m^2) \cdot (0.74)$$

$$Q_{Zinc} = 13103,32 w$$

### 7.6.4. Q del Aire.

Mediante las fotos termográficas pudimos determinar las temperaturas de elementos a condiciones exteriores comunes, como es el caso del Zinc y del Gypsum a una temperatura exterior de 20 °C.

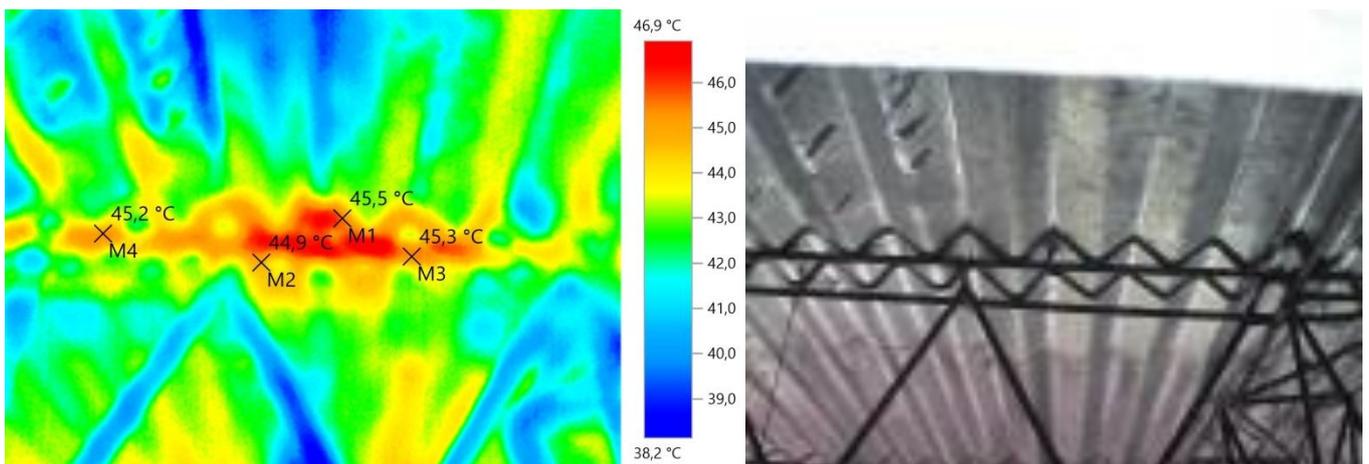
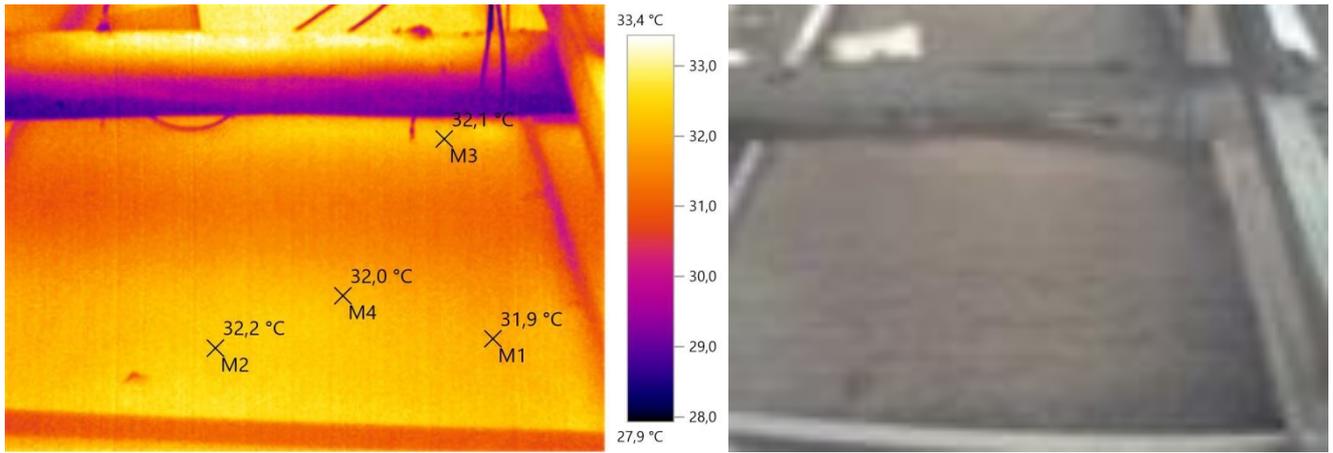


Figura 90. Foto termografica techo de Zinc. Fuente. Autor



**Figura 91.** Foto termografica de la plancha de Gympsu. Fuente. Autor

$$Q_{aire} = K_{aire} \cdot A \cdot \frac{T1 - T2}{L}$$

Dónde:

K= Conductividad térmica del material en W/m °C

A= Área en  $m^2$

L= el espesor de la capa de aire en m

T1= Temperatura del techo Zinc

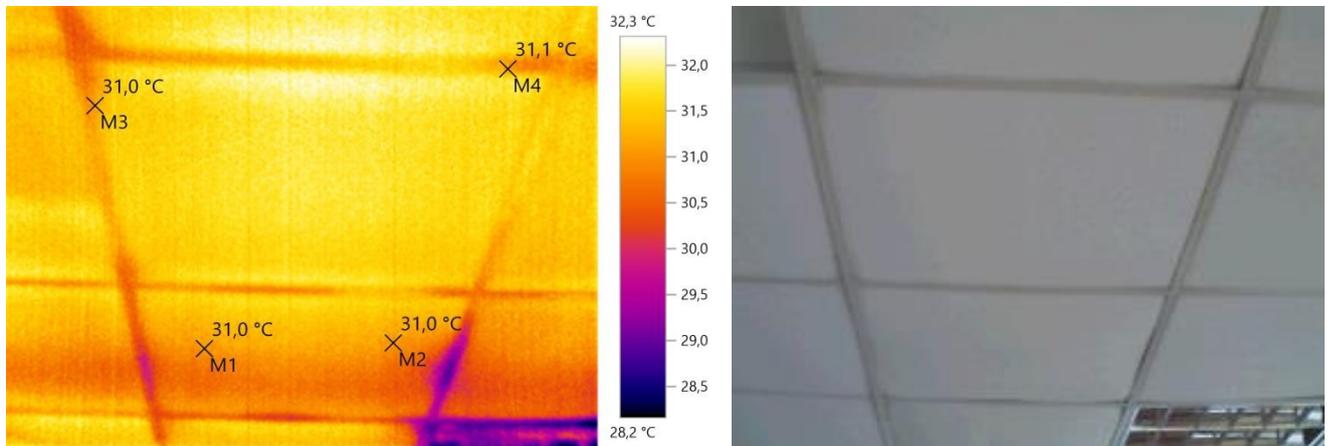
T2= Temperatura interna de la plancha de Gypsum

$$Q_{aire} = (0.026 \text{ W/m}^2 \text{ °C}) \cdot (57.12 \text{ m}) \cdot \left(\frac{45\text{°C} - 32\text{°C}}{0.5\text{m}}\right)$$

$$Q_{aire} = 38.61 \text{ w}$$

### 7.6.5. Q del Gypsum.

Gypsum superficie Externa: Temperatura de 31°C a condiciones exteriores de 20 °C.

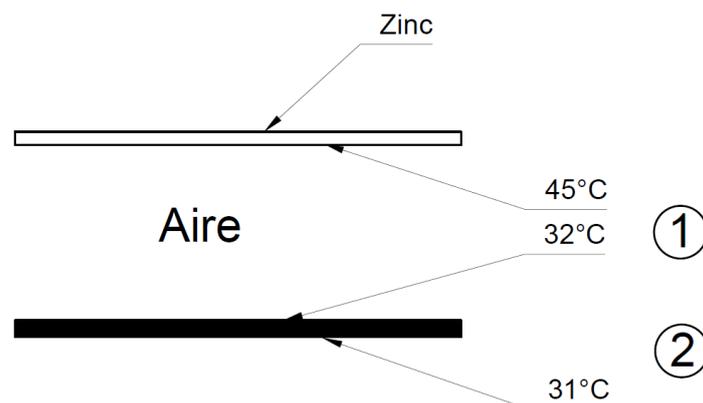


**Figura 92.** Foto termografica de la plancha de Gympsu. Fuente. Autor

$$Q_{gypsum} = K(gypsum) \cdot A \cdot \frac{T1 - T2}{L}$$

$$Q_{gypsum} = (0.4326 \text{ w/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}) \cdot (57.12 \text{ m}) \cdot \left(\frac{32^\circ\text{C} - 31^\circ\text{C}}{4 \times 10^{-3}\text{m}}\right)$$

$$Q_{Gympsus} = 6177.52 \text{ w}$$



**Figura 93.** TEMPERATURAS DE LOS MATERIALES AULA DE FUNDICION AF1. FUENTE. AUTOR

## 7.7. Obtención de las temperaturas de cada uno de los elementos.

### 7.7.1. Temperatura de la plancha de Zinc

Al determinar el calor absorbido podemos obtener la temperatura que se genera en la plancha de Zinc, ya que es la primera superficie que experimenta la radiación.

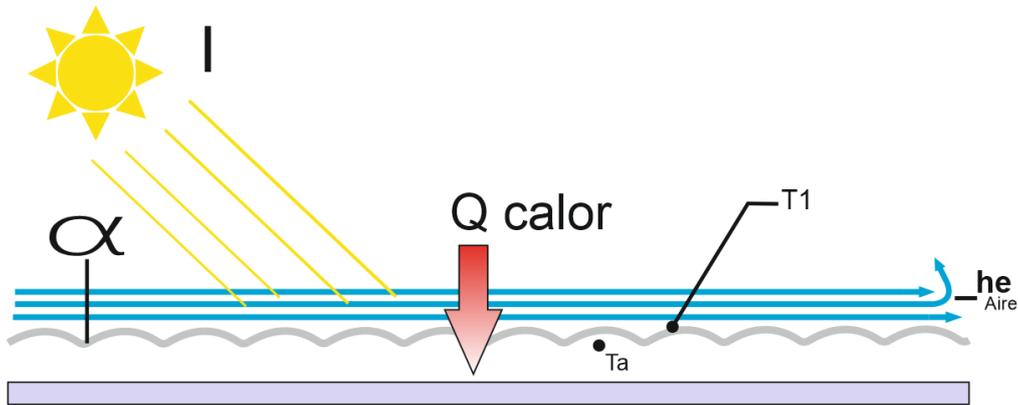


Figura 94. IRRADIACION SOLAR EN LA PLANCHA DE ZINC. FUENTE. AUTOR

$$Q_{zinc} = S \cdot he \cdot (T1(\text{Zinc}) - Ta)$$

$$\frac{Q_{zinc}}{S \times he} + Ta = T1(\text{Zinc})$$

$$T1(\text{Zinc}) = \frac{13103.32 \text{ w}}{57.12 \text{ m}^2 \times 10 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} + 45 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T1(\text{Zinc}) = 67.94 \text{ } ^\circ\text{C}$$

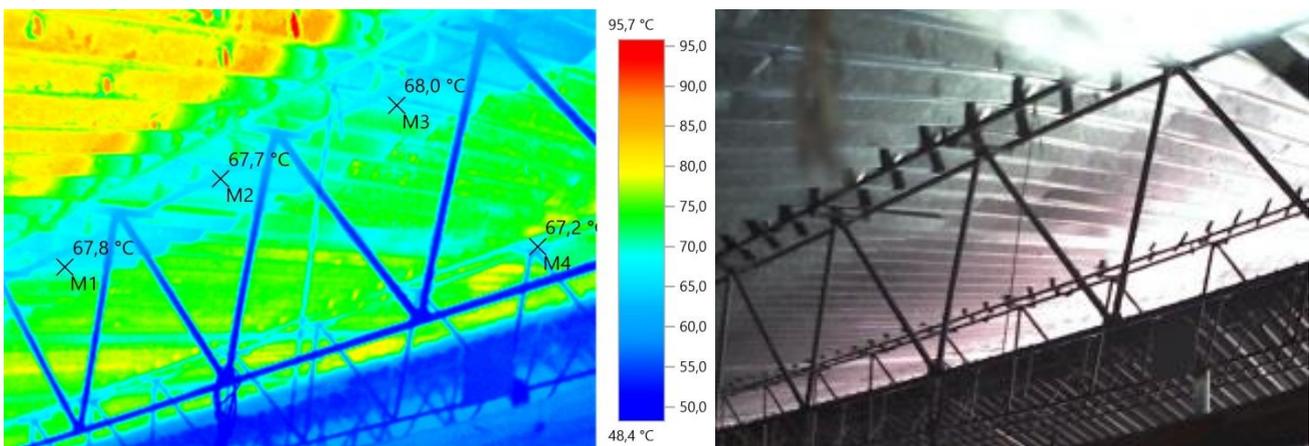


Figura 95. Foto termográfica Plancha de Zinc. Fuente. Autor

### 7.7.2. Temperatura de la plancha de Gypsum superficie Interna

$$Q_{Gym\text{psu } I.} = K_{Aire.} \cdot A \cdot \frac{T1(\text{Zinc}) - T2(\text{Gypsum Interna})}{L}$$

$$T1(\text{Zinc}) - \frac{Q_{Gym\text{psu } I.} \cdot L}{K_{Aire.} \cdot A} = T2(\text{Gypsum Interna})$$

$$67.94 \text{ } ^\circ\text{C} - \frac{38.61 \text{ w} \cdot 0.5 \text{ m}}{0.026 \text{ w/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot 57.12 \text{ m}} = T2(\text{Gypsum Interna})$$

$$T2(\text{Gypsum Interna}) = \mathbf{54.94 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

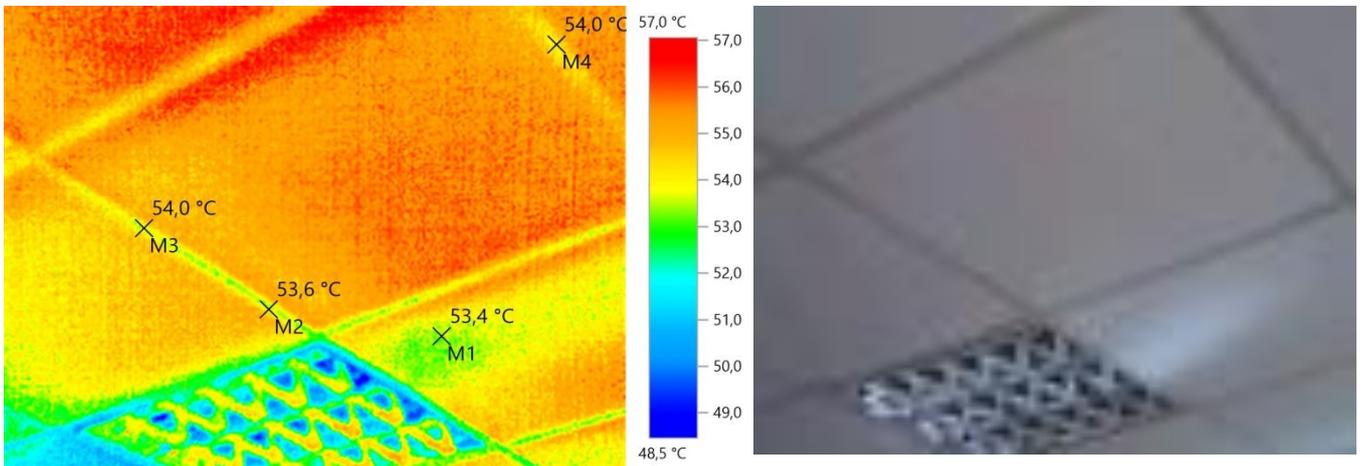
### 7.7.3. Temperatura de la plancha de Gypsum superficie Externa

$$Q_{Gym\text{psu } E.} = K_{Gym\text{psu } E.} \cdot A \cdot \frac{T2(\text{Gypsum Interna}) - T3(\text{Gypsum Externa})}{L}$$

$$T2(\text{Gypsum Interna}) - \frac{Q_{Gym\text{psu } E.} \cdot L}{K_{Gym\text{psu } E.} \cdot A} = T3(\text{Gypsum Externa})$$

$$54.94 \text{ } ^\circ\text{C} - \frac{8236.7 \text{ w} \cdot 4 \times 10^{-3}}{0.4326 \text{ w/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot 57.12 \text{ m}} = T3(\text{Gypsum Externa})$$

$$T3(\text{Gypsum Externa}) = \mathbf{53.50 \text{ } ^\circ\text{C}}$$



**Figura 96.** Foto termográfica Plancha de Gypsum. Fuente. Autor

## 7.8. Propuestas de Aislamiento

### 7.8.1. Propuesta de Aislamiento 1 Teja

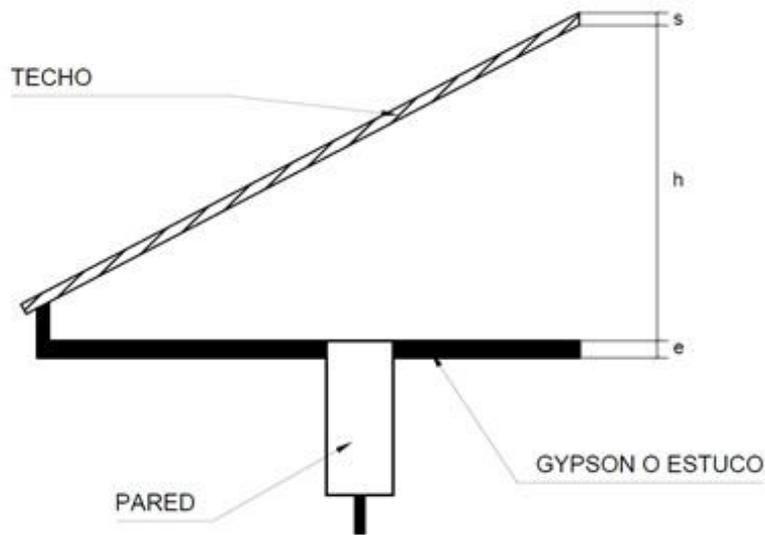


Figura 97. Esquema techo teja aula de fundición af1. Fuente. Autor

$$Q_{teja} = S \cdot I \cdot \alpha$$

$$Q_{teja} = 57.12 \cdot 318 \cdot 0.36$$

$$Q_{teja} = 6374.59 \text{ w}$$

$$Q_{teja} = S \cdot hc \cdot (T_{1teja} - T_a)$$

$$T_{1teja} = \frac{Q_{teja}}{S \cdot hc} + T_a$$

$$T_{1teja} = \frac{6374.59}{57.12 \cdot 10} + 45$$

$$T_{teja} = 56.16 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{2teja} = T_{1teja} - \frac{Q \cdot L}{K \cdot A}$$

$$T_{2teja} = 56.16 \text{ } ^\circ\text{C} - \frac{6374.59 \text{ w} \cdot 0.012}{0.10 \cdot 27.12}$$

$$T_{2teja} = 49.46 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{3 \text{ Gypsum int.}} = T_{2teja} - \frac{Q_{aire} \cdot L_{aire}}{K_{gypsum} \cdot A}$$

$$T_{3 \text{ Gypsum int.}} = 49.46 - \frac{38.61 \cdot 0.5m}{0.026 \cdot 57.12}$$

$$T3 \text{ Gypsum int.} = 36.46 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T4 \text{ Gypsum ext.} = T3 \text{ gypsum int.} - \frac{Q_{\text{gypsum}} \cdot L_{\text{gypsum}}}{K_{\text{gypsum}} \cdot A}$$

$$T4 \text{ Gypsum ext.} = 36.46 - \frac{82.36 \cdot 4 \times 10^{-3}}{0.43 \cdot 57.12}$$

$$T4 \text{ gypsum ext.} = 35.12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

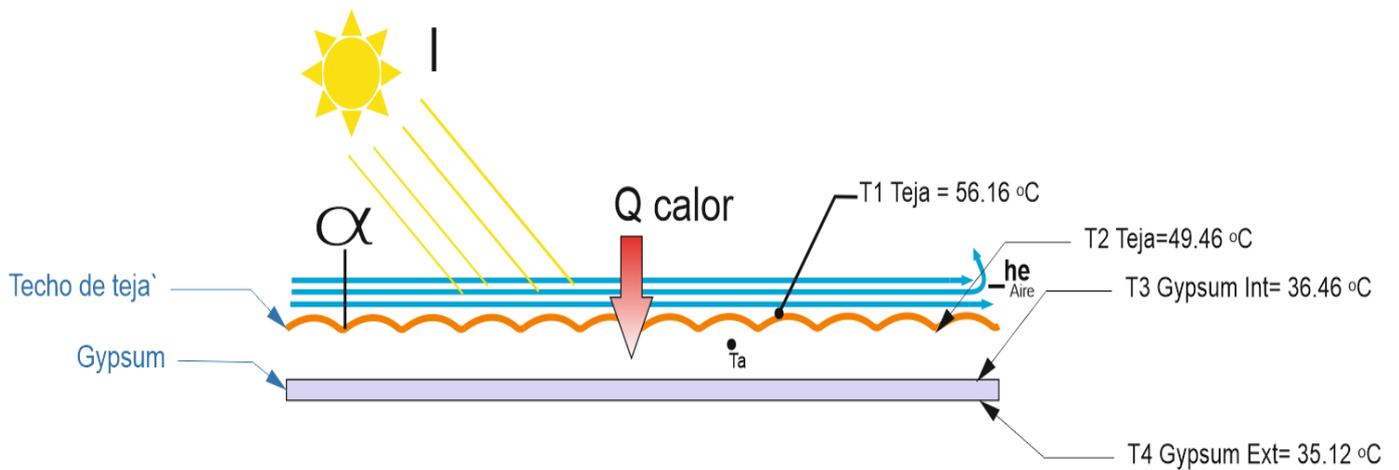


Figura 98. Resumen de temperaturas del aislamiento del aula F1. Fuente. Autor

Tabla No. 44. Ganancia de calor de techos. Fuente. Autor

Descripción	Q(w)	Q(BTU/h)
techo zinc	13103,32	44736,4
teja	6374.59	21751.003

## 7.9. Ganancias por equipos eléctricos.

Las ganancias de calor con respecto a los equipos se pueden calcular directamente consultando al fabricante o los datos que cada dispositivo tiene en sus placas, considerando uso constante o parcial.

### 7.9.1. Ganancias de calor por el Proyector

El equipo utilizado en el aula de fundición AF1 es una NEC NP-V260



Figura 99. Proyector NEC instalado en el aula de fundición AF1. Fuente autor

### Características

<b>Brightness:</b>	2,800 ANSI lumens	<b>Lamp Life (Full Power):</b>	4,000 hours
<b>Contrast (Full On/Off):</b>	3,000:1	<b>Lamp Life (eco-mode):</b>	6,000 hours
<b>Auto Iris:</b>	No	<b>Lamp Type:</b>	AC
<b>Resolution:</b>	800x600	<b>Lamp Wattage:</b>	200 Watts
<b>Aspect Ratio:</b>	4:3 (SVGA)	<b>Lamp Quantity:</b>	1
<b>Video Modes:</b>	720p, 1080i, 576i, 576p, 480p, 480i	<b>Display Type:</b>	1 cm DLP (1)
<b>Data Modes:</b>	MAX 1600x1200	<b>Color Wheel Segs:</b>	**
<b>3D Modes:</b>	PC 3D Ready	<b>Color Wheel Speed:</b>	**
<b>3D Glasses Type:</b>	Shutter	<b>Standard Zoom Lens:</b>	1.10:1
<b>Max Power:</b>	261 Watts	<b>Standard Lens Focus:</b>	Manual
<b>Voltage:</b>	100V - 240V	<b>Optional Lenses:</b>	No
<b>Size (cm) (HxWxD):</b>	9 x 26 x 25	<b>Lens Shift:</b>	No
<b>Weight:</b>	2.3 kg	<b>Throw Dist (m):</b>	1.3 - 11.8
<b>Connection Panel:</b>	Composite (RCA) VGA In (Dsub-15pin) HDMI RS232 (DB-9pin)	<b>Image Size (cm):</b>	76 - 762
		<b>Throw Ratio (D:W):</b>	1.94:1 - 2.17:1
		<b>Audible Noise:</b>	35.0 dB Eco-Mode: 33.0 dB
		<b>Speakers:</b>	7.0 W Mono
		<b>Digital Zoom:</b>	**
		<b>Digital Keystone:</b>	Vertical

Figura 100. Características del proyector del aula F1.

**Tabla No. 47.** Ganancia de calor del Proyector. Fuente. Autor

<b>Descripción</b>	<b>Q (w)</b>	<b>Q (BTU/h)</b>
Proyector NEC	261	890.56

### 7.10. Ganancia de calor total

Aquí obtenemos la ganancia de calor total sumando cada Q que se necesitó encontrar para la selección del sistema de aire acondicionado adecuado para el aula F1.

**Tabla No. 48.** Ganancia de calor total del aula de fundición AF1 con la cubierta de ZINC. Fuente. Autor

<b>Q total con techo ZINC</b>		
<b>Descripción</b>		<b>Q total (BTU/h)</b>
<b>Pared</b>	exterior calle	1417,88
	exterior lab	210,88
	pizarra	143,42
	posterior	169,23
	piso	457,14
	puerta	125,59
<b>Ventanas</b>	calle	8006,4
	laboratorio	1184,52
<b>Personas</b>	calor latente	5700
	calor sensible	69
<b>Infiltraciones calor sensible</b>	ventana calle	467,7
	ventana lab	446,6
	puerta	167,2
<b>Infiltraciones calor latente</b>	ventana calle	1204,72
	ventana lab	1150,4
	puerta	430,8
<b>Techo</b>	zinc	44736,4
<b>Equipos</b>	infocus	890.56
<b>TOTAL</b>		<b>67032.44</b>

**Tabla No. 49.** Ganancia de calor total del aula de fundición AF1 con la cubierta de TEJA. Fuente. Autor

<b>Q total con techo TEJA</b>		
<b>Descripción</b>		<b>Q total (BTU/h)</b>
<b>Pared</b>	exterior calle	1471,88
	exterior lab	210,88
	pizarra	143,42
	posterior	169,23
	piso	457,14
	puerta	125,59
<b>Ventanas</b>	calle	8006,4
	laboratorio	1184,52
<b>Personas</b>	calor latente	5700
	calor sensible	69
<b>Infiltraciones calor sensible</b>	ventana calle	467,7
	ventana lab	446,6
	puerta	167,2
<b>Infiltraciones calor latente</b>	ventana calle	1204,72
	ventana lab	1150,4
	puerta	430,8
<b>Techo</b>	teja	21751.003
<b>Equipos</b>	infocus	890.56
	<b>TOTAL</b>	<b>44047.043</b>

## 7.11. Cálculo de los CFM

Es una medida de caudal o flujo de un gas o líquido que indica el volumen, en pies cúbicos, que pasa por una sección determinada, en la unidad de tiempo. [41]

### 7.11.1. Aplicaciones

La unidad CFPM, se usan, por ejemplo, en:

- Compresores de aire y herramientas neumáticas.
- Refrigeración de computadoras.
- Máquinas de humo.
- Hidrología.
- Higiene industrial.
- Ventilación y climatización
- etc. [41]

### 7.11.2. Cálculo de los CFM del aula de fundición AF1

Dimensiones del aula de fundición AF1

- Largo=10.17
- Ancho= 5.8
- Alto=2.52

**Tabla No. 50.** CFM calculados con respecto a las dimensiones del aula de fundición AF1. Fuente. Autor

<b>Longitud</b>	<b>Ancho</b>	<b>Alto</b>	<b>m 3</b>	<b>ft 3</b>	<b>CFM</b>
10,17	5,8	2,52	148,64	5249,34	<b>437,45</b>

## 7.12. Dimensión de los ductos de ventilación

Para la selección de los ductos adecuados para el sistema de aire acondicionado utilizamos el método de igual fricción debido a que el método de recuperación estática se utiliza para sistemas de altas velocidades.

El método de igual fricción se basa en la Figura 101 que indica los **CFM** que serán necesarios para nuestro recinto y las pérdidas en (*in de H2O por 100 ft*). Las velocidades de aire recomendadas para nuestro recinto se indican en la figura 100

Realizaremos el cálculo respectivo de los ductos basados en el método de igual fricción.

**Tabla No. 51.** Datos referenciales para cálculos de los ductos de ventilación. Fuente. Autor

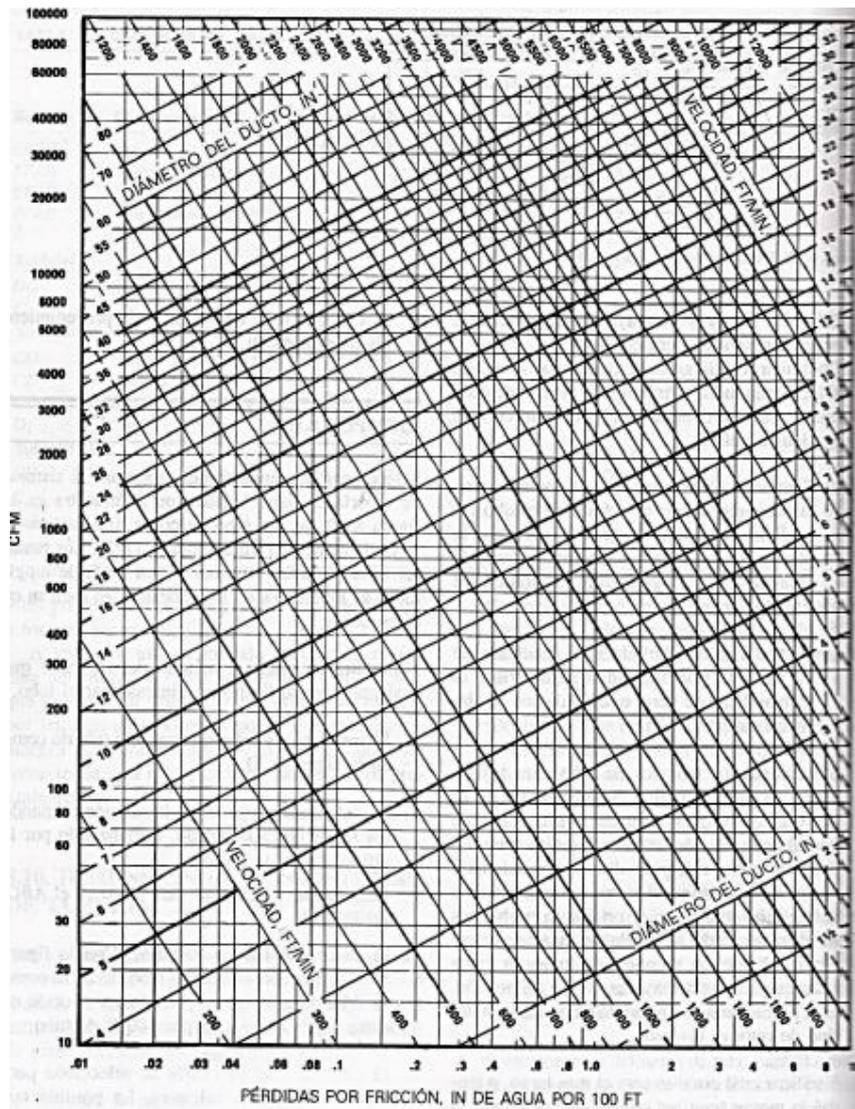
<b>Recinto</b>	<b>CFM de diseño</b>	<b>Velocidad recomendada (ft/min)</b>
aula de fundición AF1	438	1400

- La velocidad de 1400 ft/min es recomendada ya que no hace mucho ruido, tomando en cuenta la aplicación (Figura 100).
- Los CFM=438 (total) son cálculos con respecto al aula de fundición como lo podemos observar en el punto anterior.

Componente	Velocidades recomendadas, ft/min			Velocidades máximas, ft/min		
	Residencias	Escuelas, teatros, edificios públicos	Construcciones industriales	Residencias	Escuelas, teatros, edificios públicos	Construcciones industriales
Entradas de aire exterior <sup>a</sup>	500	500	500	800	900	1200
Filtros <sup>a</sup>	250	300	350	300	350	350
Serpentines de calentamiento <sup>a</sup>	450	500	600	500	600	700
Lavadores de aire	500	500	500	500	500	500
Conexiones de succión	700	800	1000	900	1000	1400
Descargas de ventilador	1000 – 1600	1300 – 2000	1600 – 2400	1700	1500 – 2200	1700 – 2800
Ductos principales	700 – 900	1000 – 1300	1200 – 1800	800 – 1200	1100 – 1600	1300 – 2200
Ductos de ramal	600	600 – 900	800 – 1000	700 – 1000	800 – 1300	1000 – 1800
Subidas de ramal	500	600 – 700	800	650 – 800	800 – 1200	1000 – 1600

<sup>a</sup> Estas velocidades son para toda la superficie de la cara, y no la superficie libre. Las demás velocidades son para superficie libre neta.  
Reproducido con permiso del "1967 Systems And Equipment ASHRAE Handbook & Product Directory"

**Figura 101.** Velocidades sugeridas en sistemas de acondicionamiento de aire con baja velocidad. Fuente [41]



*Figura. 102. Pérdidas por fricción para flujo de aire en ductos redondo de láminas galvanizada. Fuente [41]*

Por lo tanto, según las condiciones especificadas anteriormente se tiene una pérdida por fricción en ductos de alrededor de **0.4 in de H<sub>2</sub>O por 100 FT**.

Y a su vez, obtenemos el diámetro de un ducto circular de 7.5 in y que será transformado a un ducto rectangular. Pueden ser utilizados cualquier tipo de conducto circular o rectangular.

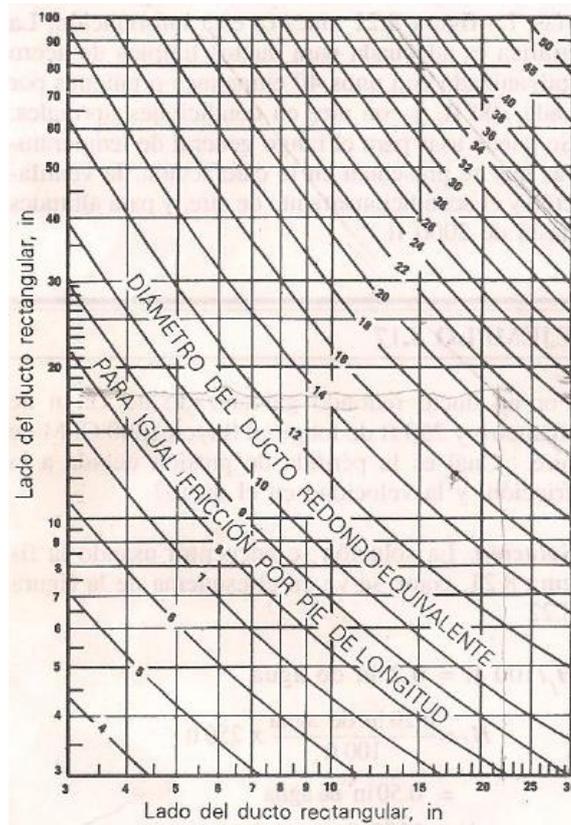


Figura 103. Diámetros de ductos redondos equivalente. Fuente [41]

Para la selección de los ductos rectangulares primero debemos imponernos la altura del ducto y la altura apropiada para el aula de fundición AF1 es de 5 in.

Según se indica en la figura 102, se obtiene un ducto rectangular de 5in de alto x 10in ancho.

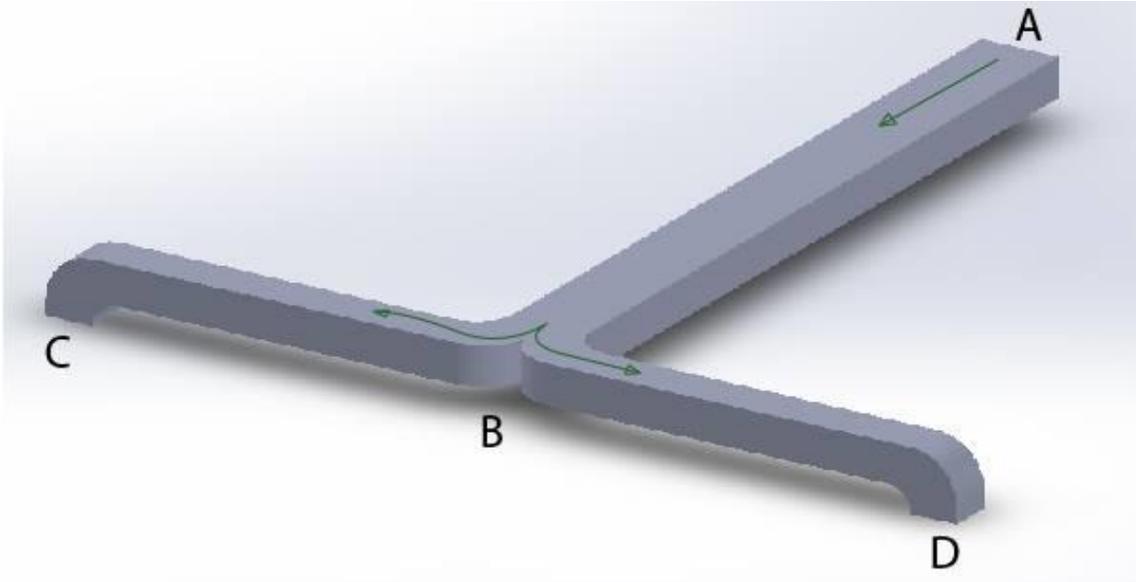
En la siguiente tabla tendremos ya las dimensiones de todos los ductos del aula de fundición.

Tabla No. 52. Resultado del cálculo de ductos. Fuente. Autor

Sección	CFM	velocidad ft/min	Pérdida por fricción in de agua por 100 ft	Diámetro in	Tamaño del ducto rectangular, in		Área ft
					Altura	Ancho	
AB	438	1251,43	0,4	7,5	5	10	0,35
BC	219	1042,86	0,4	5,9	5	6	0,21
BD	219	1042,86	0,4	5,9	5	6	0,21

Los 438 CFM son repartidos para cada sección

- Sección AB = 438 CFM
- Sección BC y BE = 219 CFM
- Sección CD y EF = 109.5 CFM



*Figura 104. Diseño de los ductos para el sistema de aire acondicionado.*

## 7.13. Elección de aire acondicionado

### 7.13.1. Primera condición con la cubierta de ZINC. (Aula normal)

**Tabla No. 53.** Requerimiento de BTU, para la primera condición. Fuente. Autor

CFM	BTU
437.45	67032.44

#### Datos Generales:

Descripción	Unidad	Valor
Capacidad (Enfriamiento, TR)	TR	5
Capacidad (Enfriamiento, Btu/hr)	Btu/h	60000
SEER	---	13
Voltaje / Fase / Frecuencia (V/Φ/Hz)	V/PH/HZ	208-230/1/60
Amperaje Nominal (Amp) (Interior)	Amp	3.9
Consumo De Energía (Enfriamiento, Watts) (Interior)	Watts	858
Flujo De Aire (interior)	CFM	1795/1695/1450
Peso Bruto	Kg	84.36
Dimensión Alto	Pulg	52 1/2
Dimensión Profundidad	Pulg	26
Dimensión Ancho	Pulg	21 7/8
Línea De Succión	Pulg	7/8
Línea De Líquido	Pulg	3/8
Motor Blower (Amperaje FLA)	Amp	3.9
Motor Blower (Potencia)	Hp	1/2

**Figura 105.** Equipo de aire acondicionado con respecto a las condiciones con techo zinc. Fuente [43], [44]

### 7.13.2. Segunda condición con la cubierta de techo CUBIERTA TEJA. (Mejora)

**Tabla No. 54.** Requerimiento de BTU, para la segunda condición. Fuente. Autor

CFM	BTU
437.45	44047.043

#### Datos Generales:

Descripción	Unidad	Valor
Capacidad (Enfriamiento, TR)	TR	4
Capacidad (Enfriamiento, Btu/hr)	Btu/h	48000
SEER	---	13
Voltaje / Fase / Frecuencia (V/Φ/Hz)	V/PH/HZ	208-230/1/60
Amperaje Nominal (Amp) (Interior)	Amp	3.9
Consumo De Energía (Enfriamiento, Watts) (Interior)	Watts	858
Flujo De Aire (interior)	CFM	1720/1685/1565
Peso Bruto	Kg	84.36
Dimensión Alto	Pulg	52 1/2
Dimensión Profundidad	Pulg	26
Dimensión Ancho	Pulg	21 7/8
Línea De Succión	Pulg	7/8
Línea De Líquido	Pulg	3/8
Motor Blower (Amperaje FLA)	Amp	3.9
Motor Blower (Potencia)	Hp	1/2

**Figura 106.** Equipo de aire acondicionado con respecto a las condiciones con techo asbesto. Fuente [43], [44]

## 8. Resultados.

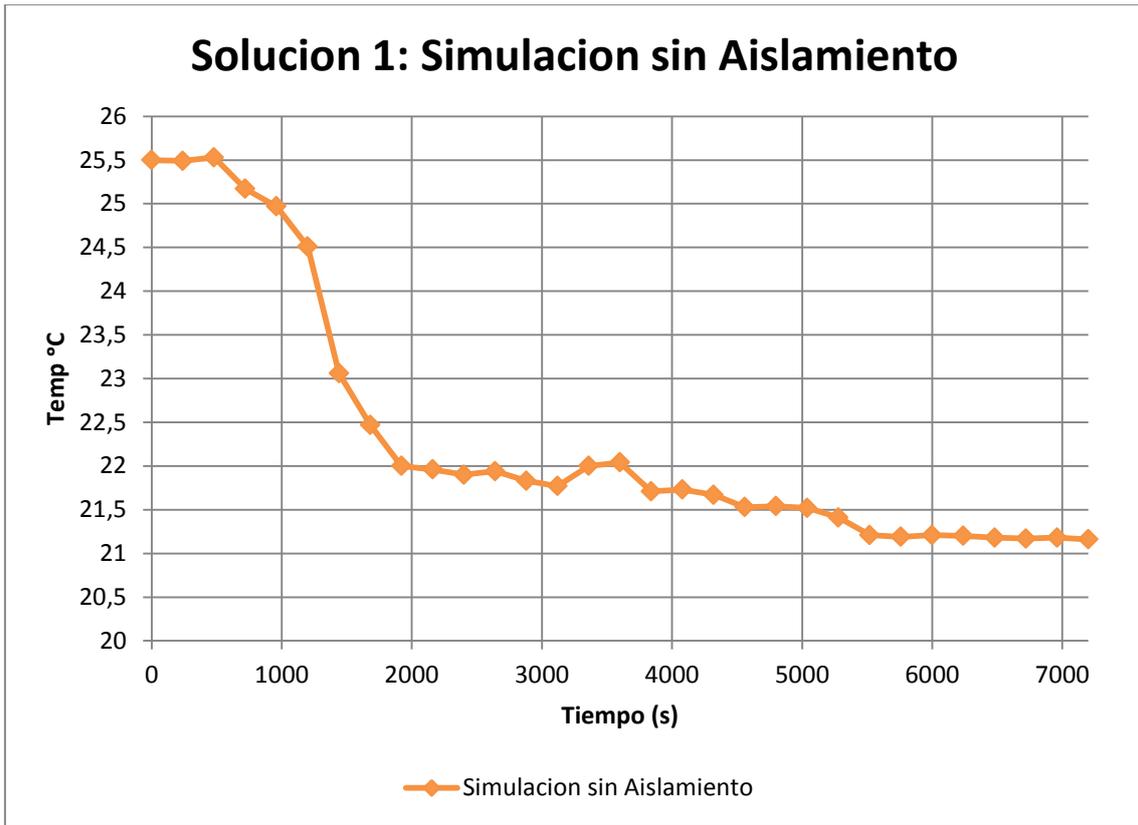
Con los resultados obtenidos en nuestro trabajo se ha determinado la posibilidad de dos soluciones, en cada una de las cuales varían la capacidad de los equipos de acondicionamiento de aire.

La primera solución que se validó fue en la cual encontramos las condiciones iniciales, es decir, el techo compuesto de planchas de zinc sin ningún tipo de aislamiento térmico e incorporamos un equipo de 60 000 BTU/h, y la simulación revela que se alcanza las condiciones de confort aproximadamente a los 35 min y luego alcanzamos temperaturas estables dentro de las zonas de confort (Tabla 59).

**Tabla No. 57.** Resultado de la simulación del Aula implementado el aire acondicionado, pero sin Aislamiento.

Fuente. Autor

Simulación sin aislamiento		
TIEMPO	Temp °K	Temp °C
0	298,65	25,5
240	298,64	25,49
480	298,68	25,53
720	298,32	25,17
960	298,12	24,97
1200	297,66	24,51
1440	296,21	23,06
1680	295,62	22,47
1920	295,15	22
2160	295,11	21,96
2400	295,05	21,9
2640	295,09	21,94
2880	294,98	21,83
3120	294,92	21,77
3360	295,15	22
3600	295,19	22,04
3840	294,86	21,71
4080	294,88	21,73
4320	294,82	21,67
4560	294,68	21,53
4800	294,69	21,54
5040	294,67	21,52
5280	294,56	21,41
5520	294,36	21,21
5760	294,34	21,19
6000	294,36	21,21
6240	294,35	21,2
6480	294,33	21,18
6720	294,32	21,17
6960	294,33	21,18
7200	294,31	21,16

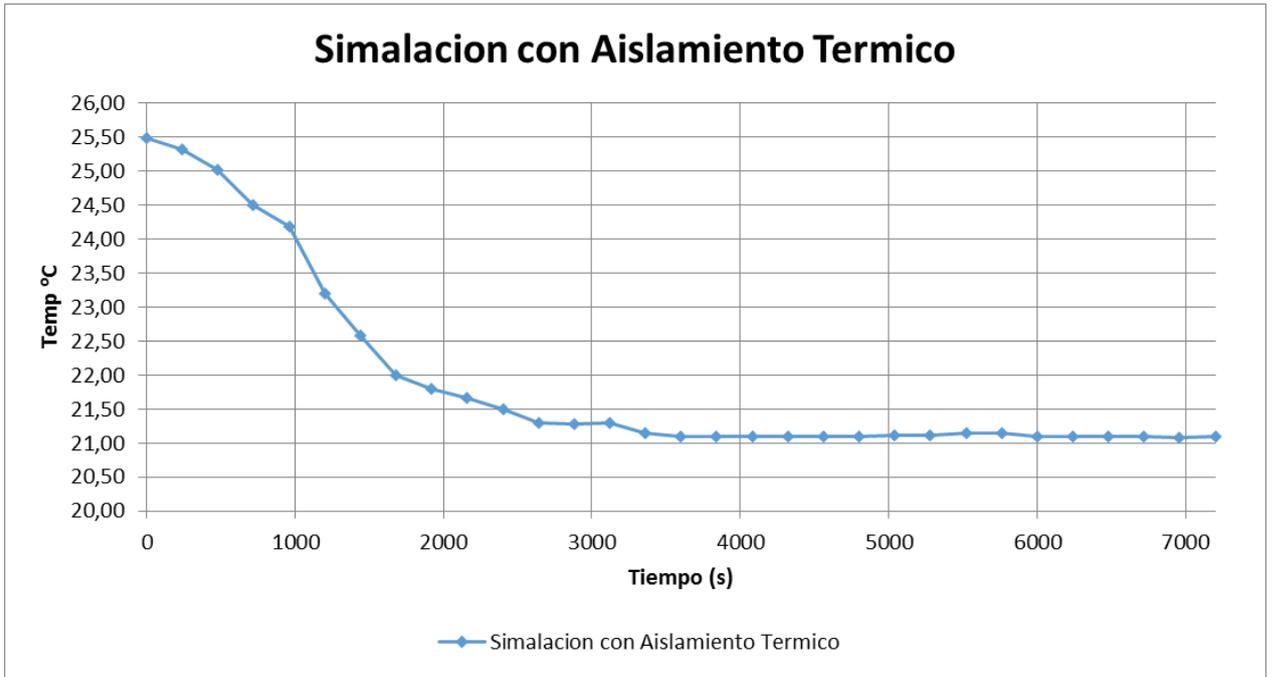


**Figura 109.** Resultados de la disminución de temperatura del aula (F1) con el sistema de aire acondicionado, pero sin aislamiento térmico. Fuente. Autor

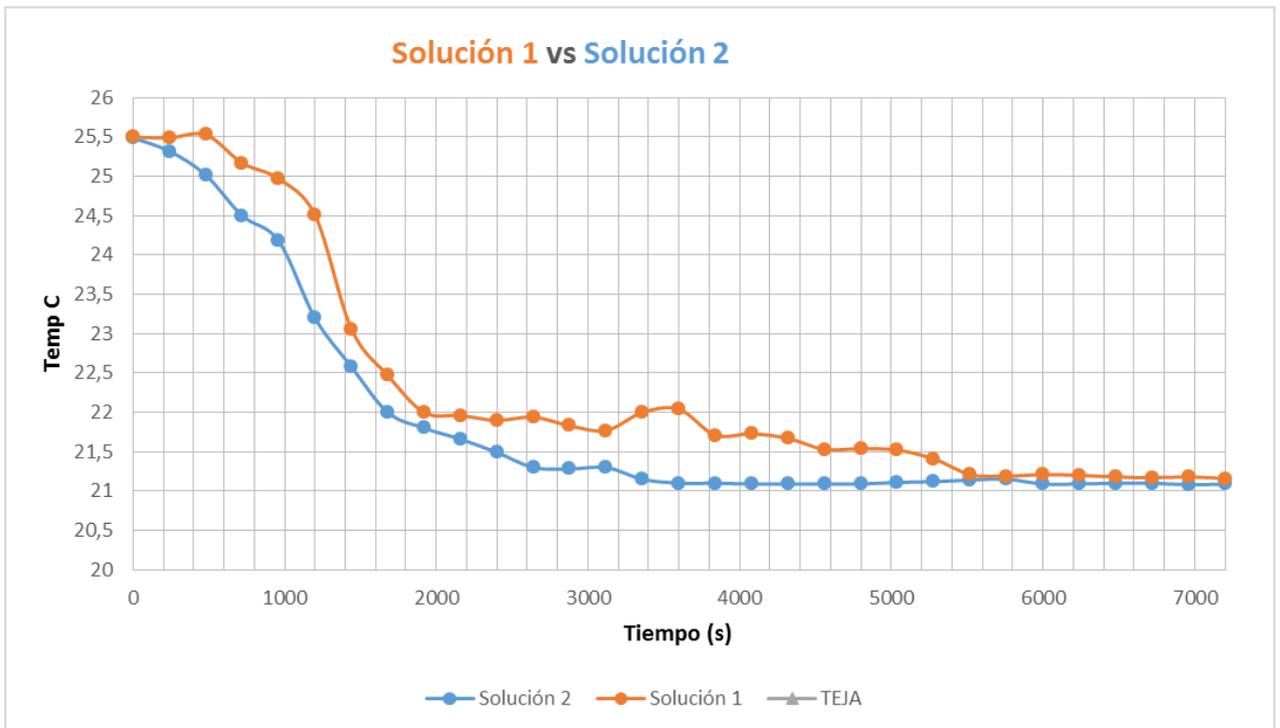
La segunda solución que se valida consta de la disminución de los efectos de los factores externos, es decir, acudir al aislamiento del techo en el cual se remplazaría las planchas de zinc por planchas de asbesto y se incorporaría un recubrimiento de poliuretano expandido de esta manera se elige un equipo de acondicionamiento de aire de una capacidad de 48 000 BTU/h, esta solución alcanza la temperatura de confort a los 24 min y luego mantiene temperaturas estables (Tabla 60).

**Tabla No. 58.** Resultado de la simulación del Aula implementado el aire acondicionado con Aislamiento térmico. Fuente Autor.

Simulación sin aislamiento		
TIEMPO	Temp °K	Temp °C
0	298,64	25,49
240	298,47	25,32
480	298,166	25,02
720	297,65	24,50
960	297,33	24,18
1200	296,35	23,20
1440	295,73	22,58
1680	295,15	22,00
1920	294,95	21,80
2160	294,81	21,66
2400	294,64	21,49
2640	294,45	21,30
2880	294,43	21,28
3120	294,45	21,30
3360	294,3	21,15
3600	294,25	21,10
3840	294,25	21,10
4080	294,24	21,09
4320	294,24	21,09
4560	294,24	21,09
4800	294,24	21,09
5040	294,26	21,11
5280	294,27	21,12
5520	294,29	21,14
5760	294,3	21,15
6000	294,24	21,09
6240	294,24	21,09
6480	294,25	21,10
6720	294,25	21,10
6960	294,23	21,08
7200	294,24	21,09



**Figura 110.** Resultados de la disminución de temperatura del aula (F1) con el sistema de aire acondicionado con aislamiento térmico. Fuente. Autor



**Figura 111.** Resultados de la disminución de temperatura del aula (F1). Fuente. Autor

## 9. Conclusiones.

Al concluir nuestro estudio, se determina que el factor crucial que afecta a las condiciones de confort del aula F1, es la irradiación solar ya que la orientación del aula accede que entre las horas 15H00 hasta las 17H00 el sol irradia de manera directa hacia las ventanas, este mismo factor conjugado con el techo de zinc que es un conductor térmico permite el aumento de temperatura en el aula.

Un factor adicional dentro de cualquier ambiente que se analice y este en una zona de confort es la recirculación del aire ya que de esta manera el calor se disipa del recinto mediante convección ya sea natural o forzada según sean las condiciones que se presentan, pero en nuestro ambiente de estudio fue un factor de gran incidencia para la acumulación de calor ya que existía una velocidad de aire de 0.2 m/s, es decir, casi nula.

Para alcanzar las condiciones de confort en el aula, se prevé una disminución de los efectos de la irradiación solar mediante aislamiento térmico en el techo, remplazando las planchas de zinc por Tejas de arcilla, con lo cual disminuirá la temperatura del recinto desde los 30°C hasta los 21°C.

Ante las necesidades presentes en el aula F1 y las soluciones planteadas y validadas se eligen dos sistemas de aires acondicionados: uno el cual tiene una capacidad de 60 000 BTU/h, ya que funcionara en las condiciones iniciales en las cuales todos los factores externos actúan directamente; el otro sistema posee una capacidad de 44000 BTU/h, ya que este actúa en el aula ya con las mejoras obtenidas mediante la teja. Por lo cual podemos recalcar la importancia de realizar estas mejoras ya que así reducimos costos de inversión en el sistema y costos de consumo eléctrico.

## 10. Recomendaciones.

Con referencias de nuestro trabajo de titulación, se recomienda para otros ambientes de estudios en los cuales exista el mismo problema en el cual no se cumplan las condiciones de confort establecidas por la norma vigente, se determina tomar las siguientes acciones para disminuir los efectos de los factores externos como es:

- Analizar la cubierta del ambiente en análisis es decir verificar que el techo sea de un material que posea resistencia térmica considerable de esta manera se disminuirá el aumento de calor por factores de radiación solar.
- Asegurar que dentro del ambiente existan las condiciones estructurales para que se pueda dar recirculación de aire ya que así garantizamos de esta manera que el calor que se genere se disipara mediante convección.
- Verificar que las orientaciones de los ventanales estén dispuestas de manera que el sol no irradie de manera directa hacia el interior del ambiente, y prever si fuese el caso de una gran incidencia de radiación solar se utilice vidrios de baja emisividad o dependiendo de los recursos disponibles persianas o cortinas, en las cuales se van a detener los rayos del sol. Pero en los cuales no se afecten las entradas y salidas de aire para la recirculación del aire.
- Precautelar que para implementar un sistema de acondicionamiento de aire se prevea el aislamiento térmico en los factores que tengan más afectación, ya que de esta manera reduciremos costos tanto en inversión inicial como en consumo eléctrico.

## 11. Referencias bibliográficas.

- [1] “REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES Y MEJORAMIENTO DEL MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO - Reglamento-de-Seguridad-y-Salud-de-los-Trabajadores-y-Mejoramiento-del-Medio-Ambiente-de-Trabajo-Decreto-Ejecutivo-2393.pdf.” [Online]. Available: <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/12/Reglamento-de-Seguridad-y-Salud-de-los-Trabajadores-y-Mejoramiento-del-Medio-Ambiente-de-Trabajo-Decreto-Ejecutivo-2393.pdf>. [Accessed: 04-Oct-2016].
- [2] “confort-termico.pdf.” [Online]. Available: <http://www.enquitoecuador.com/userfiles/confort-termico.pdf>. [Accessed: 04-Oct-2016].
- [3] F. Fernandez, “Clima y calidad ambiental - Reunión Nacional de Climatología - Google Libros.” UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID.
- [4] “tesis total - CD-0577.pdf.” [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/184/1/CD-0577.pdf>. [Accessed: 04-Oct-2016].
- [5] “4-ERGONOMÍA-ok.p65 - 4-ERGONOMÍA-ok.pdf.” [Online]. Available: <http://urepublicana.edu.co/ingenieria/wp-content/uploads/2014/09/4-ERGONOM%C3%8DA-ok.pdf>. [Accessed: 05-Oct-2016].
- [6] F. Kreith, R. M. Manglik, and M. S. Bohn, Principios de transferencia de calor. Cengage Learning Editores, 2012.
- [7] F. P. Incropera and D. P. DeWitt, Fundamentos de transferencia de calor. Pearson Educación, 1999.
- [8] “NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 495:2009.” .
- [9] José Gerardo Garza de León, “Estudio Del Uso de Enfriamiento Pasivo-Edición Única,” Tecnológico de Monterrey, 2004.
- [10] “Intercambio de calor entre el cuerpo humano y el ambiente.pdf.”
- [11] “testo-875-Manual-de-instrucciones.pdf.” .
- [12] “tesis total - CD-0577.pdf.” [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/184/1/CD-0577.pdf>. [Accessed: 04-Oct-2016].
- [13] “Fluke 568 - Termómetro Digital Infrarrojo y de Contacto con Software 800°C.” [Online]. Available: <http://www.cedesa.com.mx/fluke/termometros-digitales/infrarrojos/568/>. [Accessed: 13-Dec-2016].
- [14] “Termómetros por infrarrojos y de contacto Fluke 568 y 566.” [Online]. Available: <http://www.fluke.com/fluke/eces/termometros/fluke-568-566.htm?pid=56090>. [Accessed: 13-Dec-2016].
- [15] YUNUS A. CENGEL y AFSHIN J. CHAJAR, Transferencia de calor y masa. Fundamentos y Aplicaciones, Cuarta. MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2011.
- [16] Ing. Victorio Santiago Díaz y Ing. Rúl Oscar Berreneche, Acondicionamiento Térmico de Edificios, Primera. Buenos Aires: Nobuko, 2005.
- [17] E. H. Goríbar, Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración. Editorial Limusa, 1997.
- [18] “Vidrio baja emisividad | Ventanas aislantes | Ahorrar energía,” Carpintería | Cerramientos | Ventanas aluminio y PVC | Barcelona | Fenster, 03-Jun-2012. [Online].

- Available: <http://www.fenster.es/productos/vidrios-cristales-ventanas-climalit/baja-emisividad-ventanas-aislantes/>. [Accessed: 18-Feb-2017].
- [19] “Los vidrios de baja emisividad - 621.” [Online]. Available: <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/573/621>. [Accessed: 18-Feb-2017].
- [20] <http://www.construmatica.com/construpedia/Tejas>  
<http://www.aldino.com/imagenes/descargas/05.pdf>
- [21] “Laminas de Zinc, Acerolit y Asbesto,” Scribd. [Online]. Available: <https://www.scribd.com/doc/125892875/Laminas-de-Zinc-Acerolit-y-Asbesto>. [Accessed: 18-Feb-2017].
- [22] “ESAUD3-Cap4.pdf.” [Online]. Available: <http://www.arq.uson.mx/esaud/PDF/ESAUD3-Cap4.pdf>. [Accessed: 18-Feb-2017].
- [23] “Aislamiento térmico, tipos y recomendaciones (actualizado) | Grupo Unamacor.” [Online]. Available: <http://www.grupounamacor.com/?p=1147>. [Accessed: 15-Apr-2017].
- [24] “MATERIALES,” emaze presentations. [Online]. Available: <https://www.emaze.com/@AQOTZCWL>. [Accessed: 15-Apr-2017].
- [25] “untitled - AIPEX\_presentacion\_aislamiento\_termico\_edificacio\_CTE\_y\_calificacion\_energetica.pdf.” [Online]. Available: [http://www.aipex.es/panel/uploads/descargas/AIPEX\\_presentacion\\_aislamiento\\_termico\\_edificacio\\_CTE\\_y\\_calificacion\\_energetica.pdf](http://www.aipex.es/panel/uploads/descargas/AIPEX_presentacion_aislamiento_termico_edificacio_CTE_y_calificacion_energetica.pdf). [Accessed: 17-Apr-2017].
- [26] “ESAUD3-Cap4.pdf.” [Online]. Available: <http://www.arq.uson.mx/esaud/PDF/ESAUD3-Cap4.pdf>. [Accessed: 16-Apr-2017].
- [27] “Microsoft Word - RE 3582 E3.doc - RE3582\_E3.pdf.” [Online]. Available: [file:///C:/Users/Webcompu/Downloads/RE3582\\_E3.pdf](file:///C:/Users/Webcompu/Downloads/RE3582_E3.pdf). [Accessed: 15-Apr-2017].
- [28] “Microsoft Word - Anexos.doc - Anexos.pdf.” [Online]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/4548/Anexos.pdf>. [Accessed: 17-Apr-2017].
- [29] “Transmitancia.” [Online]. Available: <http://www.portalhuarpe.com.ar/Medhime20/Talleres/TALLERES%20CUIM/Taller%2010/T1002Instalaciones%201/Navegable/Transmitancia.html>. [Accessed: 15-Apr-2017].
- [30] “Untitled Document.” [Online]. Available: <http://www.aislantessh.com.ar/aislantes/14.5.htm>. [Accessed: 16-Apr-2017].
- [31] “OPT - dp5-poliuretano.pdf.” [Online]. Available: <file:///C:/Users/CyberUsuario/Downloads/dp5-poliuretano.pdf>. [Accessed: 18-Feb-2017].
- [32] “p1 - kutermico pu.pdf.” [Online]. Available: <http://www.kubiec.com/catalogos/kutermico%20pu.pdf>. [Accessed: 18-Feb-2017].
- [33] “Radiación solar.” [Online]. Available: <http://www.oni.escuelas.edu.ar/2008/CORDOBA/1324/trabajo/radiacionsolar.html>. [Accessed: 16-Apr-2017].
- [34] “ENERGÍA EÓLICA Y SOLAR – Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables.” .
- [35] R. M. HVAC and R, “Mejoras en la distribución de frío,” Mundo HVACR, 30-Mar-2015. .
- [36] “11\_esp\_cat\_bloques\_de\_mamposteria.pdf” . .
- [37] “Ficha Tecnica - Bloque de 4.pdf” . .

- [38] “Ficha Técnica Placa de Gypsum Gyplac”, Scribd. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/39215281/Ficha-Tecnica-Placa-de-Gypsum-Gyplac>. [Consultado: 17-may-2017].
- [39] Shan K. Wang, HANDBOOK OF AIR CONDITIONING AND REFRIGERATION, vol. segundo. United States: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [40] Econ. Diego Aulestia Valencia, “NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION (VIDRIO)”. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, DICIEMBRE-2014.
- [41] EDWARD, G. PITA. Principios y Sistemas de Acondicionamiento de Aire. Segunda Edición. Editorial CECSA, 2004.
- [43] “Product\_specifications\_CBX25.pdf.” [Online]. Available: [file:///C:/Users/Webcompu/Downloads/Product\\_specifications\\_CBX25.pdf](file:///C:/Users/Webcompu/Downloads/Product_specifications_CBX25.pdf). [Accessed: 22-Jun-2017].
- [44] “MANEJADORA CBX25 LENNOX.” [Online]. Available: [http://www.refrinorte.com/rnte/p\\_detalle1.php?equipo1=63&cate=10&subcate=50](http://www.refrinorte.com/rnte/p_detalle1.php?equipo1=63&cate=10&subcate=50). [Accessed: 22-Jun-2017].
- [45] “Definición de Sistema de aire acondicionado,” Definición ABC. [Online]. Available: <http://www.definicionabc.com/tecnologia/sistema-de-aire-acondicionado.php>. [Accessed: 03-Jul-2017].

## 12. Anexos.

### 12.1. Equipos de Acondicionamiento de aire seleccionados.

12.1.1. Equipo seleccionado para la primera condición con la cubierta de ZINC. (Aula normal)

**LENNOX**

**AIR HANDLERS**  
**CBX25UH**  
MERIT<sup>™</sup> Series  
R-410A - Upflow/Horizontal

**PRODUCT SPECIFICATIONS**

Bulletin No. 21 08 10  
November 2014  
Supersedes April 2014



**MODEL NUMBER IDENTIFICATION**

**CB X 25 UH - 030 - 230 - 01**

- Unit type: CB = Air Handler
- Refrigerant type: X = R-410A
- Series
- Configuration: UH = Upflow/Horizontal
- Miner Revision Number
- Voltage: 230 = 208/230V-1 phase-60Hz
- Normal Cooling Capacity:
  - 013 = 1.5 tons
  - 024 = 2 tons
  - 030 = 2.5 tons
  - 038 = 3 tons
  - 042 = 3.5 tons
  - 043 = 4 tons
  - 050 = 5 tons

12.1.2. Equipo seleccionado para la segunda condición con la cubierta de techo ASBESTO. (Mejora)



12.1.3. Equipo seleccionado para la tercera condición con la cubierta de techo ZINC + AISLANTE POLIURETANO. (Mejora)



12.1.4. Equipo seleccionado para la cuarta condición con la cubierta de techo ASBESTO + AISLANTE POLIURETANO. (Mejora)



## 12.2. Pruebas con los instrumentos de medición

### 12.2.1. Temperatura máxima en el aula de fundición AF1



Imagen 1. Temperatura máxima que alcanza en el aula de fundición AF. Fuente. Autor

### 12.2.2. Medición de velocidad de viento



Imagen 2. Velocidad de viento de la ventana hacia la calle. Fuente. Autor



Imagen 3. Velocidad de viento ventana laboratorio. Fuente. Autor



Imagen 4. Velocidad de viento entre el techo y el gypsum. Fuente. Autor



Imagen 5. Velocidad de viento en la calle de las Carretas. Fuente. Autor