



Control de temperatura en laboratorio de máquinas eléctricas, cálculo y selección de equipo

Ricardo Navarro Soto, María de Jesús Velázquez Vázquez, Juan Daniel Rivas Martínez, Martín Darío Castillo Sánchez*

RESUMEN

El objetivo de este trabajo se centró en el cálculo y selección de equipo de control de temperatura, así como, la selección de sensores y su ubicación dentro del laboratorio, con el fin de mantener una temperatura agradable dentro del mismo, el laboratorio está integrado principalmente por equipos eléctricos y electrónicos, los cuales generan calor durante su operación, aunado a esto en época de calor se vuelve incomodo el trabajar en esta situación, esto redundando en la productividad y desempeño de quienes ahí laboran, se realizaron mediciones de temperatura en los meses de enero a junio, se calculó la carga térmica de todos los equipos, personas, paredes, techos, en los cálculos se aplicaron criterios de la norma ASHRAE, se obtuvieron los datos, se hicieron cálculos que nos permitieron seleccionar los equipos y sensores, se ubicó y programó a los sensores para el adecuado funcionamiento de los equipos.

ABSTRACT

The aim of the present work focused on the calculation and selection of control equipment temperature, as well as the selection of sensors and their location within the laboratory, in order to maintain a pleasant temperature within it, the laboratory is mainly integrated by electrical and electronic equipment, which generates heat during its operation, coupled with this in hot weather it becomes uncomfortable to work in this situation, this results in the productivity and performance of those who work there, temperature measurements were made in the months from January to June, thermal load of all the equipment, people, walls, ceilings was calculated, the criteria of the ASHRAE standard were applied in this calculus, the data was obtained, calculus were made that allowed us to select the equipment and sensors, the located and programmed sensors for the proper functioning equipment.

Palabras claves: Control, fluido, sensores, carga térmica.

INTRODUCCIÓN

Se sabe que trabajar bajo situaciones no ideales causa trastornos en el cuerpo humano, debido a la problemática que existe en el laboratorio B08 de pesados de ICA ESIME Zacatenco, el presente trabajo está pensado en estas circunstancias actuales de dicho laboratorio, como bien se sabe el calor acumulado en un cuarto de control el Calor es un tipo de energía que se produce por la vibración de moléculas y que provoca la subida de la temperatura, la dilatación de cuerpos, la fundición de sólidos y la evaporación de líquido.

Se sabe que existen diferentes tipos de instrumentos para medir la temperatura generada por calor para ello en este trabajo se hace un estudio a fondo de las consecuencias que trajo consigo trabajar bajo las condiciones de incrementos de temperatura, así como el análisis del material con que dicho laboratorio está construido, también se muestra cuales con las mejores condiciones para trabajar. Haciendo uso de los materiales ya existentes en el mercado se hace un diseño y propuesta para mejorar las condiciones de trabajo y así lograr un incremento y mayor aprovechamiento de aprendizaje en los alumnos.

El aire acondicionado en el mercado existen una multitud de tipos de sistemas, por lo que aquí se tratara uno de los más comunes, explicando su forma y funcionamiento, detallando sus ventajas e inconvenientes. Para hacer el control de este sistema de aire acondicionado, se construyó un tablero de control, como se muestra en la figura 1 el cual permite manipular, de así requerirse este sistema, cuenta internamente con un Logo 8.1, así como su respectivo cableado y programación, y este será quien mande las señales de control para la activación de aire acondicionado así como también la activación del extractor de aire, el sensor colocado en el cuarto de control será quien determine la temperatura idea y mandara una señal al tablero para la desactivación del aire acondicionado este ciclo será repetido cuantas veces sea necesario.

Este trabajo está pensado en el beneficio de toda la comunidad de ESIME así que se esperan los mejores resultados y el mejor aprovechamiento posible.

* Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco, Departamento de Mecánica, Dr. Martín Darío Castillo Sánchez, C. Dr. María de Jesús Velázquez Vázquez, Ing. Juan Daniel Rivas Martínez, Correo electrónico: avinfer@hotmail.com



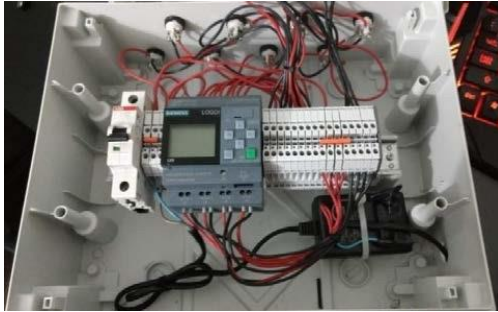


Figura 1: Tablero de control

DESARROLLO

La ESIME Unidad Zacatenco, cuenta con varios laboratorios para las diversas carreras que esta ofrece, en el caso de la carrera de Ingeniería en Control y Automatización, estos se ubican en los Laboratorios Pesados 1, los cuales se encuentran acondicionados para materias de electrónica (laboratorios A) o para las materias de máquinas eléctricas, comunicaciones industriales, control avanzado, manipuladores industriales, etc. En estos laboratorios, conocidos como los laboratorios B, se encuentra una gran cantidad de equipos tales como PLC's, PAC's, servo drivers, servomecanismos, motores, válvulas hidráulicas entre otros. Los laboratorios de la carrera de ICA están dentro en los laboratorios pesados 1, se ubica entre el edificio Z1 y la Dirección de Administración Escolar, como se observa en la Figura 2.

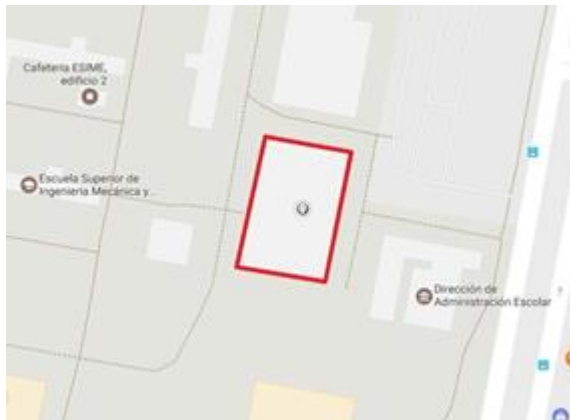


Figura 2: Ubicación de los laboratorios pesados 1 dentro de la ESIME Zacatenco

El laboratorio B8 del pesados 1 perteneciente a la carrera de ICA ESIME Zacatenco cuenta con equipos y diversos componentes principalmente eléctricos los cuales generan calor, aunado a las temperaturas ambientales altas, provocan incomodidad, sueño, malestar y ambientes tediosos; como consecuencia un bajo desempeño académico durante todo el año escolar.

Para determinar la necesidad de la implementación de un sistema de aire acondicionado para el laboratorio, se realizaron mediciones de temperatura durante los meses de Febrero a Junio teniendo

como promedio de 25.93°C con un pico de 30°C, considerando que la temperatura de confort para el humano oscila entre 21 y 26°C, se considera que dada a la cercanía del límite de temperatura de confort con la temperatura promedio calculada, es necesario aplicar un sistema que permita a alumnos y docentes trabajar en condiciones óptimas que permita un mejor desempeño (Carrier 2020).

Por esto se propone hacer una propuesta de un control de temperatura dentro de este, utilizando sistema de aire acondicionado únicamente controlado por medio de un PLC Logo, además basándonos en experiencias propias, determinamos que el calor que siente dentro de las instalaciones produce peores consecuencias que las escasas temperaturas bajas.

SELECCIÓN DE EQUIPOS

Sensores de temperatura, se seleccionó el LM35 dado a su respuesta de salida lineal y rango de operaciones.

Relevadores de 12 v con el fin de evitar daños a el LOGO Aire acondicionado solo frio de 24000 BTU/h.

5 Placas fenólicas de 5 x 10cm 4 Bornes de conexión de 2

10 Resistencias de 1.2 y 1 k

2 Extractores de aire de 150 m3/h. 10 OPAMP LM741

1 LOGO 6ed1052-1md00-0ba8

1 Tarjeta EA 6ED1055-1MM00-0BA2

1 Fuente de alimentación 24 VCD

Para realizar la selección de estos equipos, se tiene que hacer el cálculo de cargas terminas, el total, es la suma de los calores desprendidos por personas, maquinarias y por radiación por paredes y techos, en el caso de las cargas terminas por personas, se ocupa la norma ASHRAE, que especifica el calor desprendido por persona a temperaturas específicas, para el desprendido por maquinaria, se recurre a las hojas de datos de estas y para el calor por radiación de ocupa la ecuación 1 (Hernández 2007):

$$Q_{str} = K \cdot S \cdot (T_{ec} - T_i) \quad (1)$$

Dónde:

K: constante de la transmisión térmica del material. S: superficie del local expuesta al sol.

T_i: temperatura interna del local.

T_{ec}: temperatura extrema del local, que se calcula con la ecuación 2:

$$T_{ec} = 0.4T_{me} + 0.6T_{max} \quad (2)$$

Dónde:

T_{me}: temperatura media del local T_{max}: temperatura máxima del local.

Los valores obtenidos fueron los siguientes (tabla 1 y 2.):



Tabla 1: Carga térmica por personas. Rodríguez (2023).

Temperatura (°C)	Calor desprendido por persona (kcal/h)	Cantidad de personas	Total de calor desprendido (kcal/h)
26	55	31	1705
27	50	31	1550
28	45	31	1395

Tabla 2: Carga térmica por maquinaria.

Máquina	Calor desprendido (kcal/h)	Cantidad en el laboratorio	Subtotal de calor desprendido (kcal/h)
Motores	749.69	6.00	4,498.12
Variadores	320.59	6.00	1,923.54
PC	214.96	15.00	3,224.40
PAC fuente y procesador	5.16	6.00	30.95
PAC tarjetas	2.79	30.00	83.58
Iluminación	0.01	31.00	0.34
			9,760.93

Transmisión y radiación por paredes y techos $T_{me} = 22.7\text{ °C}$

$T_{max} = 29\text{ °C}$ $K = 0.72$ $S = 20\text{ m}^2$ $T_i = 23\text{ °C}$

$T_{ec} = (0.4 * 22.7\text{ °C}) + (0.6 * 29\text{ °C}) = 9.08 + 17.4 = 26.48\text{ °C}$ (3)

$Q_{str} = 0.72 * 20 * (26.48 - 23) = 0.72 * 20 * 3.48 = 50.112\text{ w}$ (4)

Convirtiéndolo a Kcal/h

$Q_{str} = 43.08\text{ Kcal/h}$ (5)

Obteniendo como total de cargas térmicas un calor de 11,653.67 Kcal/h.

De acuerdo a este valor de calor obtenido, se puede determinar que se requiere usar dos equipos de aire acondicionado de 2.5 TON, para seleccionar los extractores de aire, se requiere obtener el volumen del local, determinar la cantidad de renovación de aire por hora, usando las siguientes ecuaciones:

$$Q = V \times N \quad (6)$$

Dónde:

Q: caudal de aire [m³/hrs] V: volumen del local [m³]

N: número de renovaciones por hora.

Teniendo los siguientes valores calculados:

$$V = \text{ancho} \times \text{largo} \times \text{alto} = 8 \times 9 \times 2.4 = 172.8\text{ m}^3 \quad (7)$$

$$Q = V \times N = 172.8 \times 2 = 345.6\text{ m}^3/\text{h} \quad (8)$$

Teniendo este caudal y dadas las características del sistema que se desea realizar, se determina la necesidad de usar dos extractores de aire de 200 [m³/h] (Infraestructura Educativa 2014, Tricomi 2005).

FILOSOFÍA DE OPERACIÓN

Cada aire acondicionado trabajara con un extractor, sin embargo, estos extractores no actuaran de manera simultánea con los aire acondicionado puesto que se busca tener un ahorro de energía de manera que solo sean activados de acuerdo a las necesidades dentro del laboratorio, ésta selección se realiza por medio de 5 sensores de temperatura distribuidos dentro del laboratorio. Dado a que este tiene un rango de 0 a 10 volts de entradas analógicas, los sensores tienen una amplificación de señal de 23.5 veces, considerando el rango de temperaturas de confort, que se encuentra entre 21 y 26 °C, y que el sensor LM35 otorga 0.01v por grado detectado, se establece como rango mínimo una tensión de 4.935 y como rango máximo de 6.11 volts.

El LOGO recibe a sus entradas analógicas, las lecturas dadas por los sensores y realiza un promedio de las 5 entradas, si este es superior a los 6.11, mandara a activar ambos aire acondicionado y después de 10 segundos, sus respectivos extractores de aire.

Si el promedio de las 5 temperaturas es inferior a 6.11, se realizara un promedio entre los sensores 1, 4 y 5, si este es superior a los 6.11 volts, mandara a activar el aire acondicionado localizado en la parte delantera del laboratorio y después de 10 segundos, mandara activar el correspondiente extractor localizado frente a este.

Si el promedio de las 5 temperaturas es inferior a 6.11, se realizara un promedio entre los sensores 2 y 3, si este es superior a los 6.11 volts, mandara a activar el aire acondicionado localizado al fondo del laboratorio y después de 10 segundos, mandara activar el correspondiente extractor frente a este.

Si en el promedio de los 5 sensores tiene una temperatura inferior a los 4.935v mandara a desactivar tanto los aires acondicionados como los extractores de manera simultánea (Trejo 2009, Gámiz 2000).

PROGRAMACIÓN Y ESTRUCTURA DE SENSOR

El programa mostrado en la Figura 3, permite realizar la activación por secciones del sistema de aire acondicionado, donde las entradas 1, 4 y 5 corresponden a las salidas de los sensores colocados en la parte frontal del salón, y a su vez las salidas 1 y 2 corresponden a el aire acondicionado y el extractor respectivamente, la distribución es similar para las entradas 2 y 3, así como para las salidas 3 y 4, sin embargo estas corresponden a los equipos colocados al fondo del salón.

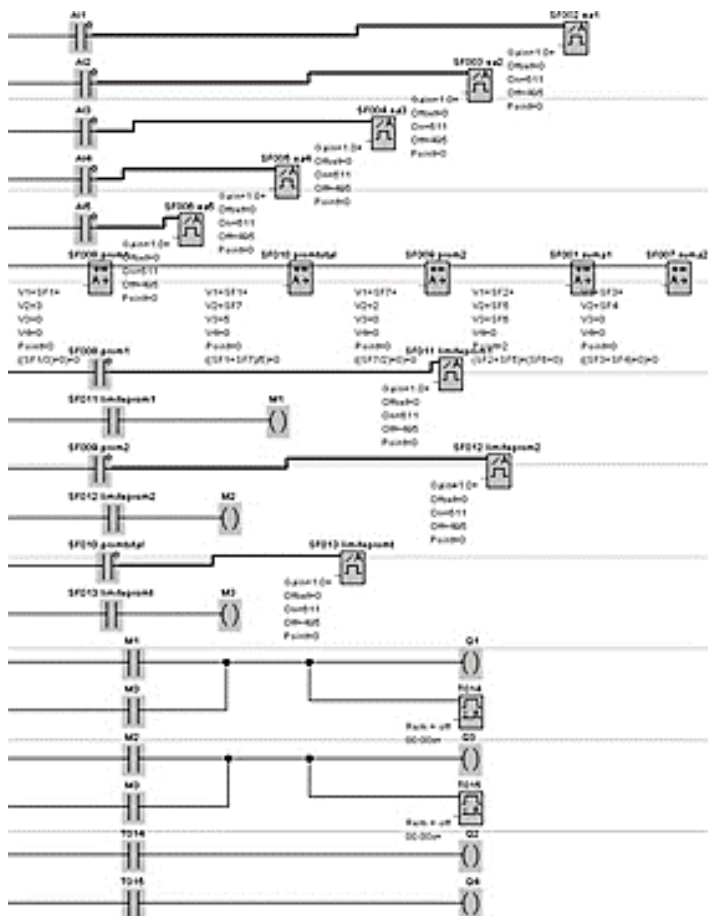


Figura 3: Programa realizado en LOGO V8

• Caso 1:

Se proponen las temperaturas siguientes, mostrada en la tabla 3.

Tabla 3. Temperaturas caso 1.

Sensor	Temperatura	Equivalente en mV
1	23	460
2	26	578
3	25	575
4	23	460
5	23	460

Por lo que los promedios serán los siguientes:

- Promedio 1 (sensores 1, 4 y 5): 23°C
- Promedio 2 (sensores 2 y 3): 25.5°C
- Promedio total: 23°C

De acuerdo a esta información, ninguno de los sistemas debe de comenzar a trabajar como se puede comprobar en la imagen donde se tiene que tomar en cuenta las salidas Q únicamente, y como se muestra en la figura 4 se encuentran apagadas.

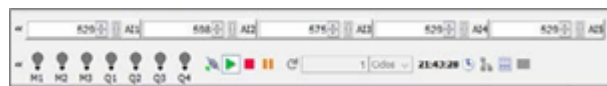


Figura 4: Reacción del sistema dentro de condiciones adecuadas de temperatura

• Caso 2:

Se proponen las temperaturas siguientes, mostradas en la tabla 4.

Tabla 4. Temperaturas caso 2.

Sensor	Temperatura	Equivalente en mV.
1	26	520
2	24	480
3	25	500
4	28	560
5	29	540

Por lo que los promedios serán los siguientes:

- Promedio 1 (sensores 1, 4 y 5): 26.66°C
- Promedio 2 (sensores 2 y 3): 24.5°C
- Promedio total: 25.8°C

De acuerdo a esta información, solo el AC y extractor de la parte frontal del salón deben de comenzar a trabajar como se puede comprobar en la imagen donde se puede apreciar que se encuentran activas solamente las salidas Q1 y Q2, como se muestra en la Figura 5.

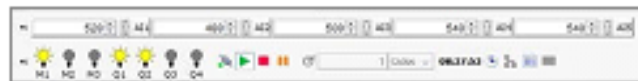


Figura 5: Reacción del sistema al tener temperaturas elevadas únicamente al frente del salón.

También se puede tener, en este caso que se den los valores donde los sensores del fondo del salón, muestren una temperatura superior a la deseada, por lo que se proponen las siguientes temperaturas, mostradas en la tabla 5.



Tabla 5. Temperaturas sensores de salón.

Sensor	Temperatura	Equivalente en mV
1	25	500
2	27	540
3	26	520
4	26	520
5	29	540

- Promedio 1 (sensores 1, 4 y 5): 25.33°C
- Promedio 2 (sensores 2 y 3): 26.5°C
- Promedio total: 25.8°C

De acuerdo a esta información, solo el AC y extractor de la parte frontal del salón deben de comenzar a trabajar como se puede comprobar en la imagen donde se puede apreciar que las salidas Q3 y Q4 se activan únicamente, como se muestra en la imagen 6 mientras que Q1 y Q2 se encuentran apagadas.



Figura 6: Reacción del sistema al tener temperaturas elevadas únicamente al fondo del salón.

Nota: para estos casos, se consideró que estos valores fueron detectados con condiciones previas donde se tenía la temperatura dentro de los valores requeridos y con los AC y extractores apagados.

- Caso 3:

Para este caso, se tienen que hacer 3 pasos para la comprobación, el primero será demostrando el funcionamiento al detectar un **promedio** de temperaturas superior a 26°C.

Segundo paso: demostrar que el sistema sigue trabajando aun en temperaturas adecuadas, es decir se encuentra en “modo enfriamiento”.

Tercer paso: Finalmente al tener el promedio de las entradas 1, 4 y 5 en una temperatura adecuada de temperaturas en el límite requerido (21°C) o menor, el AC y extractor de la parte frontal del laboratorio se apagaran, mientras que con las entradas 2 y 3 se apagara el AC y extractor del fondo.

Paso 1:

Para el accionamiento del sistema se proponen los valores mostrados en la tabla 6.

Tabla 6. Valores de temperatura accionamiento del sistema.

Sensor	Temperatura	Equivalente en mV
1	26	520
2	25	500
3	26	520
4	27	540
5	27	540

- Promedio 1 (sensores 1, 4 y 5): 26.66°C
- Promedio 2 (sensores 2 y 3): 25.5°C
- Promedio total: 26.2°C

De acuerdo a la información en cuanto a promedios, se puede predecir que el sistema accionara las 4 salidas, activando ambos AC y extractores como se puede apreciar en la figura 7.

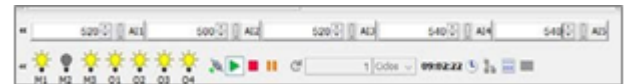


Figura 7: Reacción del sistema al tener un promedio de temperaturas elevadas dentro del salón

Paso 2: Para la simulación del proceso de enfriamiento se proponen las temperaturas siguientes (tabla 7).

Tabla 7. Valores de temperatura proceso de enfriamiento.

Sensor	Temperatura	Equivalente en mV
1	24	480
2	23	460
3	25	500
4	24	480
5	23	460

- Promedio 1 (sensores 1, 4 y 5): 23.66°C
- Promedio 2 (sensores 2 y 3): 24°C
- Promedio total: 23.8°C

Siguiendo la filosofía de control, el sistema continúa trabajando después de activado aun dentro de las condiciones deseadas (temperatura promedio de 21-26°C) como se puede observar en la figura 8.

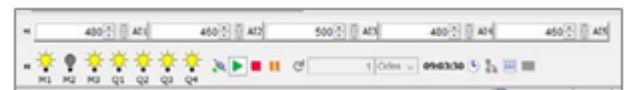


Figura 8: Reacción del sistema al estar enfriando el salón.



Paso 3:

Para la simulación del apagado de los sistemas se proponen las temperaturas siguientes (tabla 8).

Tabla 8. Valores de temperatura de apagado.

Sensor	Temperatura	Equivalente en mV
1	21	420
2	20	400
3	20	400
4	21	420
5	21	420

- Promedio 1 (sensores 1, 4 y 5): 21°C
- Promedio 2 (sensores 2 y 3): 20°C
- Promedio total: 20.6°C

De nuevo siguiendo la filosofía de control, se sabe que al tener todas las entradas con un valor igual o menor al límite mínimo de temperatura-voltaje (21°C o 420mV), se deberán apagar los 2 AC y extractores como se puede apreciar en la figura 9 y en la figura 10 se muestra la distribución de los sistemas de aire acondicionado (AC) en el laboratorio.

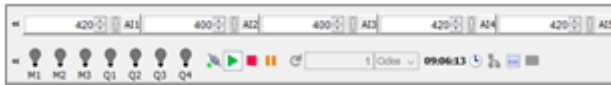


Figura 9: Reacción del sistema al llegar a la temperatura mínima deseada

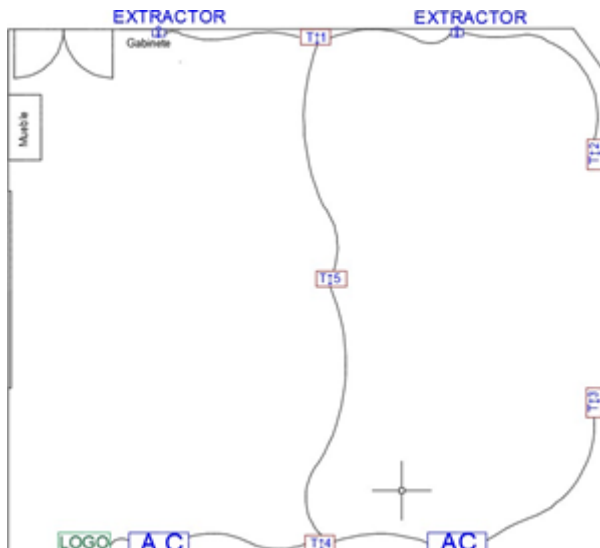


Figura 10: plano de distribución de equipos en el laboratorio

CONCLUSIONES

Las Investigaciones de condiciones ideales de confort del ser humano arrojaron que la humedad relativa oscila entre 30% y 70 % con una temperatura de 24 a 26 °C el ser humano está en confort. Recabando datos de temperatura y Humedad en la ciudad de México se encontró que era mínima la variación durante el año en comparación con otras ciudades con los cambios más bruscos. Por lo tanto, se decidió que añadir un control de humedad sería innecesario debido a que dentro del laboratorio B-08 no se llevan a cabo actividades que impliquen cambios en la humedad, porque solo se trabaja con equipos eléctricos, y así de igual forma disminuir el costo.

Al inicio del proyecto, se planteaba que solo era necesario el colocar un aire acondicionado, el cual se pensaba que era suficiente para mejorar las condiciones de temperatura dentro del laboratorio, conforme al desarrollo se obtuvo un resultado no esperado, y se tomó en cuenta que no solo inyectar aire mejoraría la temperatura ya que no se consideró el aire caliente que recirculaba dentro del laboratorio, se optó entonces por usar extractores que sacaran el aire caliente continuamente y mejorar el flujo de aire frío.

La distribución del aire acondicionado se planteó en un principio en “zigzag” para tener una corriente en todo el laboratorio, sin embargo debido a la estructura del laboratorio no era posible ya que las paredes son de tabla roca a excepción de la ubicada de frente a la puerta de acceso y el mini Split podría dañar la estructura de tabla roca por las vibraciones generadas debido a su funcionamiento.

Para la medición total de temperatura dentro del laboratorio se realiza por medio de 5 sensores los cuales cuentan con el sistema de amplificación de señal de manera inmediata, evitando que se genere pérdida de voltaje en la transmisión al controlador LOGO. Estos se encuentran distribuidos en el laboratorio a una altura de 1.20m dado a que es la altura de área de trabajo y por consiguiente es donde se pretende mantener el la temperatura adecuada.

El tablero de control tendrá la capacidad de encender y/o apagar los aires acondicionados dependiendo de la temperatura registrada en los sensores, así ahorrando energía ya que no es siempre necesario tener los dos aires acondicionados encendidos para cumplir las condiciones de confort, se encontrara ubicado en la parte delantera del salón específicamente junto a el escritorio de los profesores, donde este podrá tener fácil acceso a este para su mantenimiento.

En cuanto a los aires acondicionados y los extractores de aire se tienen dos de cada uno, instalados de la manera que se muestra anteriormente.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Carrier (2020). “Manual de Aire Acondicionado”. Ed. Marcombo. España.
- Hernández Goribar (2007). “Fundamentos de Aire acondicionado y Refrigeración”, LIMUSA, México.
- Rodríguez Galbarro Hermenegildo (2023). “Guía Para El Cálculo De Las Cargas Térmicas En Los Edificios”. En línea, obtenido de: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn255.html>



Infraestructura Educativa (2014). “*Instalaciones de Servicio, Aire Acondicionado*”. Tomo III, Volumen 5. SEP México.

Tricomi Ernest (2005). *ABC de Aire Acondicionado*. Ed. Marcombo, España.

Trejo García Pedro (2009). “*Cálculo y Selección del Equipo para Sistema de Aire Acondicionado para un Teatro*”. Tesis Ing. Mecánica IPN. México.

Gámiz Caro Juan (2000). “*Control de Sistemas de Aire Acondicionado*”. Ed. CEAC España.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Ricardo Navarro Soto: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, Maestro en Ingeniería Mecánica en energética, por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco, profesor investigador de tiempo completo y exclusivo en el IPN.

María de Jesús Velázquez Vázquez: Licenciada en Economía por la Escuela Superior de Economía del Instituto Politécnico Nacional, Maestría en ciencias en educación y especialista en finanzas, Candidata a Doctor en Ciencias en Ingeniería de Sistemas por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco, profesora investigadora de tiempo completo y exclusivo en el IPN.

Juan Daniel Rivas Martínez: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, Experto en Manufactura, profesor de tiempo completo en el IPN.

Martín Darío Castillo Sánchez: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, Maestría en Ingeniería Mecánica en diseño mecánico, por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco, Doctorado en ciencias en ingeniería mecánica por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco, profesor investigador de tiempo completo y exclusivo en el IPN.