

Universidad Autónoma Metropolitana



Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**

Licenciatura en Ingeniería Mecánica.

Nombre del Proyecto de Integración (PI): Análisis del comportamiento térmico en un vagón motriz de la línea 7 del Sistema de Transporte Colectivo Metro y propuesta de mejora

Modalidad: Proyecto de Investigación

Versión: Primera

Trimestre Lectivo: 18I

Datos de los Alumnos:

- **Nombre:** Jesús Ernesto Jaimes Rodríguez
Matricula: 2122009707
Correo: jesuer_32@hotmail.com

FIRMA



- **Nombre:** Irving Rubén Álvarez Martínez
Matricula: 2143070171
Correo: irving10dinho@gmail.com

FIRMA



Datos del asesor:

- **Nombre:** M. en I. Humberto Eduardo González Bravo
Categoría: Asociado A
Departamento: Energía
Teléfono: 5534955723
Correo: hegb@correo.azc.uam.mx

FIRMA

Datos del Co-asesor:

- **Nombre:** Ing. Luis Miguel Acosta Carrion
Teléfono: +58 424-2020812
Correo: acostaluis1001@gmail.com

FIRMA

22/Febrero/2018

Declaratoria

En caso de que el Comité de Estudios de la Licenciatura en Ingeniería Mecánica apruebe la realización de la presente propuesta, otorgamos nuestra autorización para su publicación en la página de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería.

Jesús Ernesto Jaimes Rodríguez

Irving Rubén Álvarez Martínez

M. en I. Humberto Eduardo González Bravo

Ing. Luis Miguel Acosta Carrion

1. Introducción

La movilidad es un tema fundamental en cualquier localidad, sin embargo, lo es más en una metrópoli tan concurrida como la Ciudad de México (CDMX), debido a que su población tiene como necesidad fundamental desplazarse constantemente a sus empleos, viviendas, centros educativos, culturales y comerciales, que cada vez están más distanciados entre sí.

El transporte público es uno de los servicios que determina una buena calidad de vida de la sociedad, pues, debe representar bienestar en términos de seguridad y eficiencia. En este contexto, el Sistema de Transporte Colectivo (STC) Metro es la obra civil y arquitectónica más grande y compleja de la Ciudad de México, además de ser uno de los medios más eficientes y económicos de transporte, con una cobertura territorial de 226,488 kilómetros de servicio, transportando según datos del STC Metro, en el 2015 a un promedio de 4,448,846 usuarios diariamente y tan solo en la línea 7 trasladó 257,017 usuarios [1].

Por lo anterior, en este proyecto se pretende aportar propuestas de mejora para resolver la problemática de confort térmico para los usuarios de un vagón motriz que circule en la línea 7 del STC Metro de la CDMX, cuando éste se encuentre a su máxima capacidad.

2. Antecedentes

En la tesis realizada por la Ingeniera Mecánica Gabriela Betancourt Santana en la Universidad Nacional Autónoma de México en el año del 2011, se efectuó una investigación acerca de los factores que deterioran el confort térmico en los vagones del metro de la Ciudad de México.

En dicho trabajo se realizó un estudio térmico de un vagón en operación con la finalidad de obtener los factores que deterioran las óptimas condiciones térmicas.

Se concluyó que hay cuatro factores que se pueden controlar para dar confort a las personas:

- La temperatura
- La humedad
- El movimiento del aire
- Las fuentes radiantes que interactúan con los ocupantes del recinto [2].

En febrero del 2015 la revista HVAC&R publicó un proyecto dirigido hacia el diseño de un sistema de climatización en trenes con el objetivo de crear un ambiente controlado y mantener el aire de cada vagón en condiciones adecuadas para la salud y el confort de los usuarios.

En este proyecto se realizó el cálculo de cargas térmicas dentro del vagón, y se concluyó que las diversas variables a considerar para un confort térmico adecuado era el número de personas, espacios por climatizar (en volumen), medio ambiente, altitud y latitud o zonas geográficas específicas; así mismo consideraron el flujo máximo de aire por mover, las condiciones higrotérmicas, la velocidad del aire por impulsar, aire de renovación, la cantidad de polvo o impurezas por filtrar, el tiempo de funcionamiento de los equipos y la velocidad del tren. Además de obtener las variables de demanda con pasajeros en horas pico [3].

En el trabajo elaborado por el Dr. Irving Rafael Méndez Pérez en el año 2012 se presentan resultados de perfiles térmicos y encuestas de bioclima humano en usuarios del metro de la ciudad de México.

Realizó dos campañas de mediciones de la percepción térmica de los usuarios del metro en lobby, andén y al interior del vagón. Las mediciones se efectuaron del 28 de febrero al 10 de marzo (periodo frío), y del 16 al 26 de mayo de 2011 (periodo cálido). Al analizar los resultados de su trabajo concluyó que la temperatura máxima que se registró en las instalaciones del metro fue de 36.2°C, presentándose después de las 16:00 horas tiempo local, con una sensación térmica de incomodo a muy incómodo. La mayor diferencia de temperatura registrada entre el interior del metro con el exterior ocurrió entre las 6 a 8 am y fue de 20.5°C. A partir de dichas mediciones se realizó una primera caracterización de las condiciones de confort térmico en los usuarios del metro [4].

3. Justificación

El STC Metro de la CDMX cuenta con un sistema de 7 ventiladores de aire de 75 watts de potencia al interior de cada vagón, que resulta inadecuado al recircular gran parte del aire, debido a la gran concentración de calor que se mantiene cuando los vagones se encuentran a su máxima capacidad de operación, por lo anterior, el calor que disipan todas las personas, aunado al calor suministrado por lamparas, accesorios, el disipado por los motores eléctricos y la radiación solar, hace posible el incremento de temperatura dificultando el confort en su interior. Dicho sistema de ventilación de aire tiene la misión de ajustar la calidad del aire interior en las condiciones del confort térmico, de tal forma que se cumplan los requisitos establecidos por The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). Los parámetros que definen las condiciones a satisfacer son:

- Temperatura del aire
- Humedad del aire
- Variaciones de presión admisibles
- Caudal mínimo
- Velocidad del aire

En esta propuesta se analizará la posibilidad de mejorar el confort térmico dentro del vagón motriz, realizando un análisis de las cargas térmicas, para determinar cuáles son

los factores que intervienen en el aumento de temperatura y así poder proponer una alternativa viable de ventilación con medidas de baja inversión.

Objetivos

OBJETIVO GENERAL:

Analizar teórica y experimentalmente el comportamiento térmico en un vagón motriz de la línea 7 del STC Metro cuando se encuentre a su máxima capacidad de usuarios para proponer estrategias que lo lleven al confort térmico.

OBJETIVOS PARTICULARES:

Medir las temperaturas de operación utilizando sensores en diferentes puntos del vagón mediante un sistema de adquisición de datos durante las horas pico.

Determinar las cargas térmicas dentro de un vagón motriz del metro mediante un análisis de transferencia de calor.

Elaborar un modelo de simulación en el software ANSYS para la determinación dinámica de las cargas térmicas dentro del vagón del metro.

Proponer mejoras para obtener un confort térmico en el interior del vagón.

Evaluar económicamente las medidas propuestas utilizando la metodología de valor presente neto y tasa interna de retorno.

4. Metodología

- I. Medición de la temperatura y humedad dentro del vagón motriz
- II. Realización los cálculos teóricos de las cargas térmicas
- III. Se efectuará una simulación de las condiciones de trabajo para la determinación dinámica de las cargas térmicas en el software ANSYS.
- IV. Se analizarán resultados
- V. Se propondrá una solución para lograr un confort térmico dentro del vagón

5. Cronograma de actividades

Trimestre 18-P													
Actividades		Semana											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Revisar y calibrar el equipo de medición	X											
2	Verificar la posibilidad de instalar una base de adquisición de datos para el registro de la temperatura en el interior del vagón	X	X										
3	Instalación de la base de adquisiciones datos		X	X									
4	Tomar las mediciones de temperatura y humedad			X	X	X							
5	Realizar el cálculo de las cargas térmicas						X	X					
6	Realizar la simulación en el software ANSYS							X	X	X	X		
7	Analizar los resultados											X	X
8	Elaboración reporte final	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

6. Entregables

- Reporte final del proyecto de integración.
- Hojas de cálculo de las cargas térmicas
- Modelo de simulación dinámica de cargas térmicas
- Reporte de los resultados del análisis experimental.

7. Referencias Bibliográficas

- [1] Sistema de Transporte Colectivo Metro, “Afluencia de estación por línea 2015” Disponible en: <http://metro.cdmx.gob.mx/operacion/mas-informacion/afluencia-de-estacion-por-linea/afluencia-de-estacion-por-linea-2015>. Consultado el 1 de febrero del 2018
- [2] G. Betancourt Santana; 2011, “Factores que deterioran el confort térmico en los vagones del metro”, Tesis para obtener el título de Ingeniero Mecánico de la Universidad Autónoma de México. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2305/Tesis.pdf?sequence=1>. Consultado el 01 de febrero del 2018.
- [3] Revista Mundo HVAC&R; 2015 “Diseño de un sistema de climatización en trenes. Caso muestra”. Disponible en: <https://www.mundohvacr.com.mx/2015/02/diseño-de-un-sistema-de-climatización-en-trenes-caso-muestra/>. Consultado el 01 de febrero del 2018
- [4] I.R. Méndez Pérez; 2012 “ Bioclima Humano en el metro de la Ciudad de México” Doctorante en Posgrado en Geografía de la Universidad de México. Disponible en: https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/8350/1/0084_VIII-2012-IR_MENDEZ.pdf. Consultado el 01 de febrero del 2018

8. Apéndices

No aplica

9. Terminología

(STC) Sistema de Transporte Colectivo

10. Infraestructura

Taller del STC Metro ubicado en Av. Ticomán No. 199, Gerencia de Ingeniería

Línea 7 del STC Metro

11. Estimación del costo

Partida			
$\left(\frac{\text{Sueldo base semanal}}{40 \text{ horas}}\right)$	Tiempo dedicado al proyecto (horas)	Estimación de la partida (\$/hora de trabajo)	Subtotal (\$)
Asesor	4 x 12 semanas = 48	68.28	3277.29
Co-Asesor	4 x 12 semanas = 48	68.28	3277.29
Otro personal de la UAM	-	-	-
Equipo específico	-	-	-
Software específico	Autodesk Autocad (licencia 1 año)		19533.20
Equipo de uso general	Instrumentos de medición		8584.00
Material de consumo	-	-	-
Documentos y publicaciones	Termodinámica, Yunus A. Cengel		507.00
	Calefacción, Ventilación y Aire A, McQuiston		1800.00
Otros	-	-	-
Total (\$)			36,978.78

12. Asesoría Complementaria

No aplica

13. Patrocinio externo

No aplica

14. Publicación o difusión de los resultados

7to Congreso Internacional de Ingenierías Mecánica, Eléctrica, Electrónica, Mecatrónica y Computacional (CIMEEM)