

BIOCLIMA HUMANO EN EL METRO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Irving Rafael MÉNDEZ PÉREZ¹, Adalberto TEJEDA MARTÍNEZ², Víctor Orlando MAGAÑA RUEDA³

¹ *Doctorante en Posgrado en Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México, México/Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana, México*

² *Grupo de Climatología Aplicada de la Universidad Veracruzana, México*

³ *Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México*

irmendez@uv.mx, atejeda@uv.mx, victormr@unam.mx

RESUMEN

Se presentan resultados de perfiles térmicos y encuestas de bioclima humano en usuarios del Metro de la Ciudad de México (2400 msnm). Se realizaron dos campañas de mediciones y encuestas al azar de la percepción térmica de los usuarios del Metro en tres estaciones: a gran profundidad, a profundidad media y media con ventilación natural. Dichas mediciones y encuestas fueron realizadas 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). La temperatura máxima que se registró en las instalaciones del Metro fue de 36,2°C. 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 estas mediciones se realiza una primera caracterización de las condiciones de confort térmico en los usuarios del Metro.

Palabras clave: confort térmico humano, perfiles térmicos, Metro, ciudad de México.

ABSTRACT

Results of air temperature profiles and human bioclimate surveys applied to users of Mexico city subway are presented. There were two measurement campaigns and random surveys of thermal perception of users of subway at three type of stations: great depth, average depth and average depth with natural ventilation. Measurement campaigns and surveys were conducted in lobby, platform and into the train wagon, during cold (february 28 - march 10, 2011) and warm (may 16-26, 2011) season. The highest temperature recorded in the facilities of the subway was 36.2°C. The major difference of temperature between inside and outside is recorded around 6-8 am. The maximum difference of temperature between inside and outside was 20.5°C. From these measurement campaigns a first characterization of the thermal comfort conditions of Mexico city subway users is performed.

Key words: human thermal comfort, temperatura profiles, Subway, Mexico city.

1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de México está ubicada en la parte central de la República Mexicana. Es el núcleo urbano más grande del país, ya que su área conurbada –llamada Zona Metropolitana del Valle de México– suma alrededor de 20 millones de habitantes (INEGI, 2007), y es la tercera metrópoli más poblada del mundo luego de Tokio y Delhi.

La demanda de viajes-persona en la Zona Metropolitana es de aproximadamente 13 millones al día, y se proyecta que para el 2020 sean 28 millones. Se estima que el 55% de estos viajes se realizan en microbuses y transporte público de hasta 13 personas llamada *combis*; el 17% en vehículos particulares; el 14% se hacen en el Metro, 9% en autobús, 5% en taxis y 1% en transporte eléctrico llamado *trolebús* (INEGI, 2007).

El Metro utiliza menos espacio en las avenidas y es menos perjudicial para el medio ambiente en comparación con el resto del servicio público. Sin embargo, existen algunas complicaciones a los usuarios de tipo biológico, químico, psicosocial y físico por ruido, vibraciones o altas temperaturas (Gershon *et al*, 2005).

Uno de los primeros estudios técnicos llevados a cabo en una estación de Metro fue en la Estación Metropolitana de Londres en 1897 a través de un Comité designado por la Junta de Comercio de Londres, integrado por eminentes científicos e ingenieros. Este Comité estudió métodos de ventilación y riesgos por contaminación (Soper, 1908).

Durante el periodo de agosto de 1903 a julio de 1904 se realizaron unas de las primeras mediciones térmicas en el sistema de transporte subterráneo. Se llevó a cabo en el Metro de la ciudad de Nueva York. Se reportó un rango de temperatura en el exterior de 2 a 94°F, mientras que en el interior de la estación del Metro de 22 a 66°F (Soper, 1908). A finales de la primavera de 1905, se reportó una diferencia de temperatura dentro de la estación del Metro de Nueva York con el exterior de 14°K (The New York Times, 1905).

En 1907 se realizó un estudio en el Metro de París. Se reportó que la temperatura en el interior del Metro era muy parecida a la de los andenes. Sin embargo, en invierno mientras que la temperatura en la calle era de 0°C en el interior del vagón era de 20°C (Soper, 1908).

Recientemente, Steiling y Pflitsch (2009) realizaron mediciones de temperatura de abril 2008 a mayo 2009. Encontraron una diferencia de temperatura entre el interior y exterior de hasta 25°C en el Metro de Nueva York, mientras que en Berlín de 15°C. En verano registraron temperaturas de 31 y 38°C en las estaciones de Berlín y Nueva York, respectivamente.

Ye *et al.* (2009) registraron una temperatura promedio de 23,7±1,8°C y una humedad relativa promedio de 54±7% en 16 estaciones del Metro de Shanghai. En el Metro de Budapest, en invierno la temperatura ambiente en las estaciones fue 5 a 10°C superior a la temperatura del exterior, mientras que en verano durante el día fue aproximadamente 5°C más baja (Ordody, 2000).

La ciudad de México se encuentra en una cuenca en la alta meseta del centro del país, a 300 kilómetros en línea recta de los océanos Pacífico y Atlántico, con una altitud de 2400 msnm. Tiene un clima subhúmedo tropical. La precipitación anual es de 850mm, y la temperatura media anual es de 15 a 16°C. Las temperaturas mínimas se presentan en el mes de enero cercano a los 0°C, mientras que las máximas en abril o mayo a unos 29°C (Jáuregui, 2000). La temperatura máxima histórica es de 33,9°C, ocurrida en mayo de 1998.

El Sistema de Transporte Colectivo Metro de la ciudad de México empezó a operar en septiembre de 1969. Actualmente cuenta con una extensión de red de aproximadamente 201,4 kilómetros, un total de 175 estaciones y transporta alrededor de 1490 millones de usuarios al año, es decir alrededor de 4 millones diariamente (Metro, 2012).

Este estudio preliminar muestra resultados de los perfiles térmicos al interior del Metro y el bioclima humano de usuarios en una época fría y cálida durante el 2011.

2. DATOS

Para este estudio, se realizaron mediciones térmicas en las instalaciones del Sistema de Transporte Colectivo de la ciudad de México. La primera campaña fue del 28 de febrero al 4 de marzo, y del 7 al 10 de marzo de 2011 a la cual se le denominó *periodo frío*; la segunda, del 16 al 20 y 23 al 26 de mayo del mismo año, llamado *periodo cálido*. En total se tienen 9 días por campaña.

Las mediciones se llevaron a cabo en tres tipos de estaciones subterráneas: de gran profundidad (aproximadamente 35 metros) llamada Refinería; profundidad media (10 metros) Zapata; y media con ventilación natural, Lázaro Cárdenas. Todas las mediciones se realizaron en lobby, andén y al interior del vagón en circulación, de las 6 am a las 6 pm. Se monitoreo la temperatura ambiente al interior del Metro (lobby, andén y vagón) y al exterior.

También se realizaron encuestas de confort humano a los usuarios del Metro (ver Figura 1). Se obtuvieron alrededor de 9500 encuestas completas. El 53% de los usuarios correspondió a hombres, y un 47% a mujeres. Los valores extremos de los encuestados fueron: de 7 a 98 años de edad, de 25 a 195 kilogramos de peso y de 1 a 2 metros de estatura. El 73% del total de los encuestados declaró utilizar el transporte del Metro diariamente.



ENCUESTA DE CONFORT TÉRMICO

Clave del Encuestador: _____ Fecha: _____ Folio: _____

Hora de inicio de entrevista: _____ Hora de finalización de entrevista: _____

Línea: _____ Estación: _____

Lugar: VAGON () ANDEN () LOBBY () EXTERIOR ()

OTRO (especifique): _____

DATOS

Sexo: Hombre _____ Mujer _____

Edad (años): _____ Peso aprox.(kg): _____ Estatura aprox. (cm): _____

Nivel de actividad: Sentado _____ Parado _____ Caminando _____

¿Qué tiempo tienes de permanecer en este lugar (minutos)? _____

Antes de esta entrevista, venias del: Exterior (calle) _____ Transbordando _____

Tipo de vestimenta: _____



¿En este momento utiliza ropa térmica (camiseta o bluse)? Sí _____ No _____

¿Cuál es la frecuencia de uso del Metro?

Diario _____ Una o dos veces por semana _____ A veces _____ Rara vez _____

CONFORT TÉRMICO

¿Cómo sientes la temperatura en este momento?

Frío _____ ⇒ Sólo frío _____ Mucho frío _____ Poco frío _____

Calor _____ ⇒ Sólo calor _____ Mucho calor _____ Poco calor _____

Ni frío ni calor _____

¿Cómo sientes la humedad en este momento?

Húmedo _____ ⇒ Sólo húmedo _____ Mucha humedad _____ Poca humedad _____

Seco _____ ⇒ Sólo seco _____ Muy seco _____ Poco seco _____

Ni húmedo ni seco _____

¿Cómo sientes el viento en este momento?

Mucho viento _____ algo de viento _____ poco viento _____ nada de viento _____

¿Cómo sientes en conjunto la temperatura, humedad y viento en este momento?

Muy incómodo _____ incómodo _____ algo cómodo _____ cómodo _____ muy cómodo _____

¿Qué temperatura consideras que existe en este momento? _____

Observaciones:

FIG. 1: Encuesta de confort térmico a usuarios del Metro.

3. MÉTODO

Se realizaron mediciones de temperatura ambiente al interior y exterior de las tres estaciones del Metro y la aplicación simultánea de una encuesta de confort térmico humano a los usuarios del Metro. Al interior se usó un monitor de estrés térmico QUESTemp 36 (Quest Technologies, 2004), colocado en lobby y andén en un tripie a una altura de 1,50m. Para el vagón, se adaptó una canastilla colocada a la altura de la cintura (ver Figura 2). El intervalo de registro fue cada un minuto, de las 6 am a 6 pm.

Para las mediciones al exterior se utilizó la Estación Meteorológica Automática del Servicio Meteorológico Nacional (EMA) más cercana a cada estación del Metro. La distancia promedio entre ellas fue alrededor de los 4 kilómetros en línea recta.

La encuesta de confort térmico constituye un instrumento de medición de tipo subjetiva que permite conocer la información diagnóstica del usuario promedio. La encuesta (Figura 1) utilizada se adaptó a partir del trabajo de Ruiz (2007) incluyendo el ISO 10551 (ISO, 1995). Consta de tres partes: la primera son datos de aplicación de la encuesta; la segunda, sobre la edad, peso, talla, tipo de vestimenta, tiempo de permanencia en el lugar, tipo de actividad llevada a cabo previo a la entrevista y frecuencia del uso del Metro y tercera, la percepción de temperatura, humedad, y viento. La aplicación de la encuesta se realizó al azar.



FIG. 2: *Equipo de medición y encuestas de confort térmico humano en el Metro.*

4. RESULTADOS

4.1. Análisis térmico

Se procedió a calcular los promedios diarios de temperatura al exterior de cada estación a partir de la EMA más cercana. El día más frío al exterior fue el día 10 de marzo con un promedio de 14,2°C, mientras que el más cálido al exterior con 24,5° fue el día 25 de mayo.

Las temperaturas máximas diarias encontradas en el Metro (Figura 3) ocurrieron al interior del vagón (entre 30,1 a 32,6°C en el periodo frío; y de 33,1 a 36,2°C en el periodo cálido). Para el andén, osciló desde los 25,6 a 33,4°C. En lobby, 22,1 a 26,9°C en el periodo frío, y de 28,0 a 30,4°C en el periodo cálido.

Las mayores diferencias de temperatura entre las mediciones al interior del Metro (lobby, andén y vagón) con respecto al exterior en el periodo frío y cálido se presentan en las Figuras 4a y 4b, respectivamente. Para el periodo frío, la máxima diferencia de temperatura entre el lobby y el exterior fue de 9,9°C; en andén, de 16,6°C; y con vagón de 20,5°C (esta última a las 7:20 horas). Para la campaña cálida, las máximas diferencias de temperatura entre el lobby y el exterior fue de 8,6°C; en andén y exterior de 13,5°C y vagón y exterior de 15,8°C.

Las mayores diferencias de temperatura entre el interior y el exterior en ambas campañas, se registraron entre las 6 a 8 am.

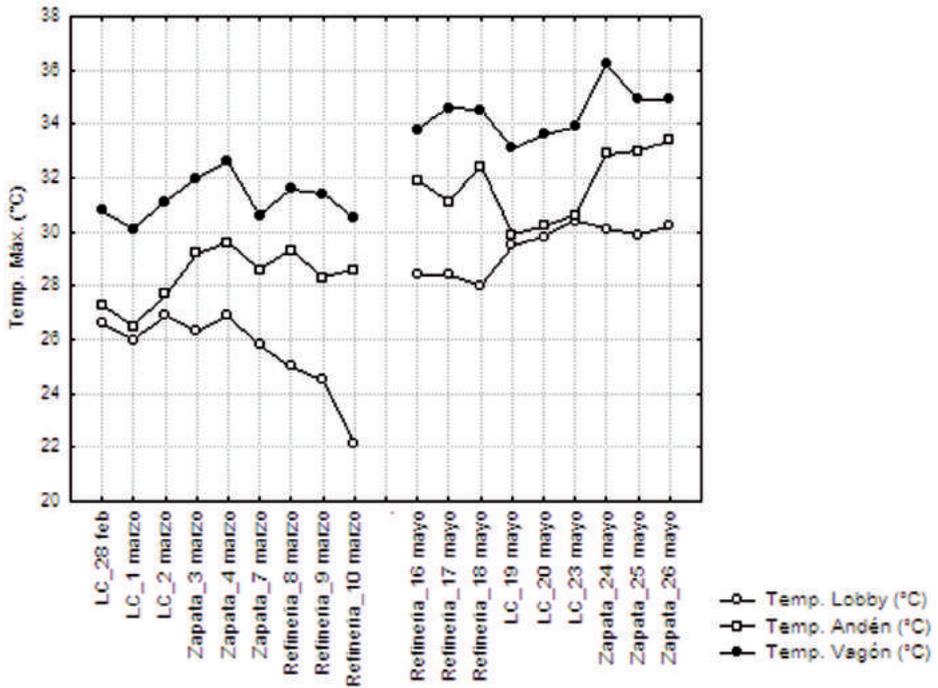


FIG. 3: Temperatura máxima diaria (°C) en lobby, andén y vagón. Campaña fría y cálida.

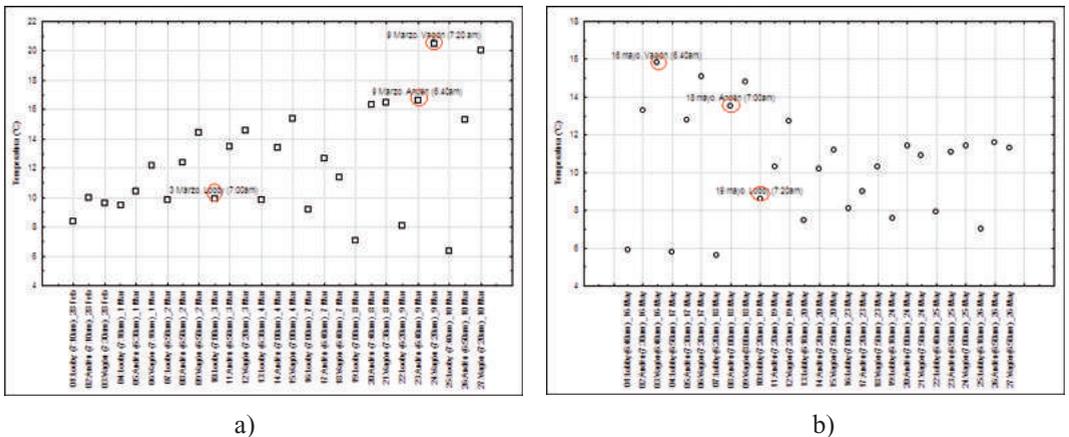


FIG. 4: Diferencia de temperatura al interior del Metro (lobby, andén y vagón) con el exterior a) en campaña fría; b) campaña cálida.

4.2. Bioclima

En general se puede comentar que en la campaña fría ya sea en lobby, andén o vagón en cualquiera de las tres estaciones (Refinería, Zapata y Lázaro Cárdenas), los usuarios manifestaron en mayor porcentaje sentirse cómodos (ver Tabla 1). De los tres lugares, el lobby es donde mayormente manifiestan comodidad (entre un 44 y 55%), en andén entre 42 y 45%, y en vagón entre el 32 y 46%.

Para la campaña cálida, en las tres estaciones pilotos nuevamente el lobby fue el lugar donde los usuarios manifestaron en mayor porcentaje sentirse cómodos (entre el 36 y el 58%), sin embargo, en andén y vagón declararon sentirse incómodos (Tabla 2).

	Lázaro Cárdenas			Refinería			Zapata		
	Lobby	Andén	Vagón	Lobby	Andén	Vagón	Lobby	Andén	Vagón
	%			%			%		
Muy incómodo	3	3	2	8	4	5	6	5	5
Incómodo	16	23	34	20	25	30	20	28	30
Algo cómodo	23	25	29	20	21	17	28	23	24
Cómodo	55	45	32	46	44	46	44	42	39
Muy cómodo	3	4	3	6	6	2	2	2	2

TABLA 1: Porcentaje de sensación térmica de usuarios en las tres estaciones para el periodo frío.

	Lázaro Cárdenas			Refinería			Zapata		
	Lobby	Andén	Vagón	Lobby	Andén	Vagón	Lobby	Andén	Vagón
	%			%			%		
Muy incómodo	7	13	11	4	8	13	8	13	12
Incómodo	21	35	46	11	41	39	31	44	45
Algo cómodo	10	16	13	19	25	18	20	14	15
Cómodo	58	35	28	54	25	29	36	26	27
Muy cómodo	4	1	2	12	1	1	5	3	1

TABLA 2: Porcentaje de sensación térmica de usuarios en las tres estaciones para el periodo cálido.

Se presentan los resultados de bioclima en el Metro para el día más frío y cálido de las campañas. Para el día más frío (10 de marzo) se encontró que en general los usuarios se sintieron cómodos tanto en lobby, andén como en vagón. Para el caso del lobby, el 50% de los encuestados estuvo en comodidad entre los 21,0 a 21,6°C; el 51% en andén entre los 24,1 a 25,9°C; y en vagón, el 47% entre los 27,0 y 28,9°C.

Para el día más cálido (25 de mayo), el lobby es el lugar donde los usuarios señalan mayormente comodidad (44%). Por su parte, en andén como en vagón, los usuarios declaran una sensación de incomodidad, 54 y 44%, respectivamente. En andén, el 50% de los usuarios declararon incomodidad entre los 31,0 a 32,8°C; mientras que en vagón el 52% entre los 30,0 y 32,7°C.

Las figuras 5a, 5c y 5e corresponden a la sensación térmica horaria de los usuarios del Metro para el lobby, andén y vagón durante el periodo frío. Mientras que 5b, 5d y 5f, al cálido.

5. COMENTARIOS FINALES

En vagón se registró la mayor temperatura alcanzando los 36,2°C; en andén los 33,4°C y en lobby 30,4°C, presentándose después de las 16 horas tiempo local, con una sensación térmica de incómodo a muy incómodo.

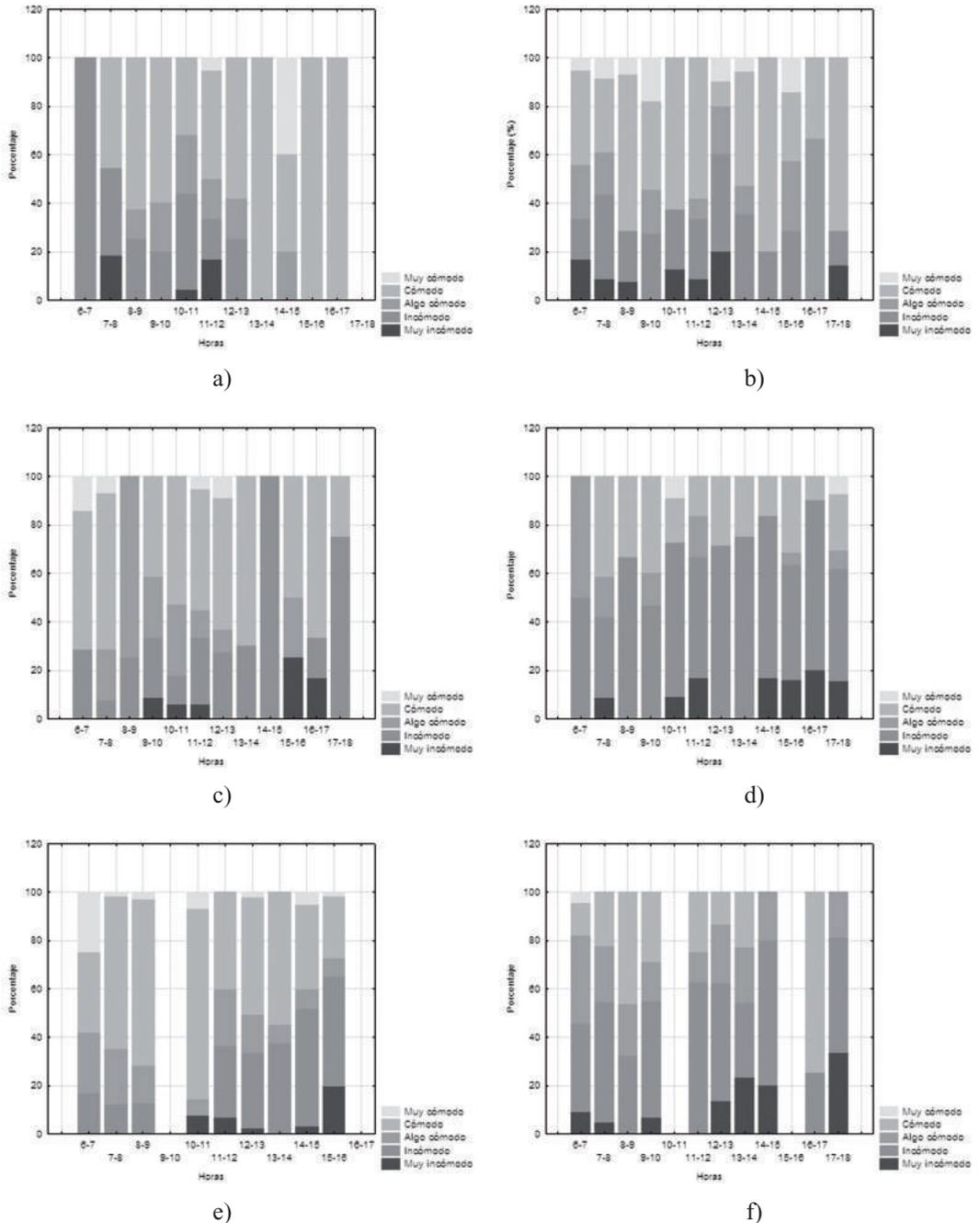


FIG. 5: Comparativo de confort térmico horario en lobby, andén y vagón en época fría a), c) y e) respectivamente; en periodo cálido, b), d) y f) respectivamente.

Entre las 6 y 8 am, se registró la mayor diferencia de temperatura entre el interior y el exterior para ambas campañas (fría y cálida). La mayor diferencia fue de 20,5°C (al exterior se midió 6,8°C, y en vagón 27,3° a las 7:20 am). Con estos datos se puede ejemplificar que el usuario del Sistema de Transporte Colectivo Metro manifiesta comodidad al interior del vagón, mientras que al exterior incomodidad por frío.

De acuerdo a las encuestas de percepción de los usuarios, en la época fría, aproximadamente el 45% del total manifiesta estar en condiciones de comodidad ya sea en lobby, andén o vagón en los tres tipos de estación. Se debe señalar que este resultado se desprende a partir de que 73% de los usuarios utiliza el Metro diariamente, es decir, puede estar en condiciones de aclimatación térmica.

Por su parte, en la época cálida, el mayor porcentaje (entre el 35 y el 46%) manifiesta estar en incomodidad en andén y en vagón. La incomodidad en andén se aligera a través de las corrientes de aire por el mismo tren en movimiento conocido como efecto pistón. Esta incomodidad puede repercutir en la salud de los usuarios ocasionando agotamiento y estrés por calor. La incomodidad térmica en vagón es mayor ya existe una ganancia principalmente por el calor metabólico de los usuarios. En horas pico alcanzan los 250 usuarios, es decir, 6 usuarios por metro cuadrado.

No obstante que no llega a un 50% el periodo de incomodidad en la época cálida, es un periodo suficientemente prolongado e intenso como para generar trastornos en la salud de los usuarios, razón por la cual es necesario buscar alternativas de climatización. En ese sentido, un paso es la cuantificación del balance de energía en las instalaciones del Metro considerando las cargas térmicas, por ejemplo: los trenes al frenar hace que los motores generen energía, el sistema de enfriamiento de los vagones generando calor al expulsar hacia el exterior, alumbrado en andenes, escaleras eléctricas y la misma carga metabólica de los usuarios, entre otros. También se está trabajando en la modelación estadística de pronóstico de temperaturas horarias al interior del Metro en función de las condiciones térmicas al exterior. Con estos trabajos concluidos, se podrá cuantificar la energía necesaria para implementar un sistema de enfriamiento para la confortabilidad de los usuarios del Metro, así como algunas alternativas tecnológicas para lograrlo.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del proyecto “Un diseño y construcción de un prototipo para generación de energía aprovechando el aire desplazado por los trenes en movimiento: generación eólica en túneles”, financiado por el Fondo Mixto Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y Gobierno del Distrito Federal (número 120829); al personal del Sistema de Transporte Colectivo Metro, por el apoyo brindado en las campañas de mediciones, así como a estudiantes de la Universidad Veracruzana en el levantamiento de encuestas.

REFERENCIAS

- Gershon, R., K. Qureshi, M. Barrera, M. Erwin y Goldsmith, F. (2005). Health and safety hazards associated with subway: A review. *Journal of Urban Health*. 82(1), 10-20.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Encuesta origen-destino de los residentes de la zona metropolitana del Valle de México 2007
- International Organization for Standardization (2002). ISO 10551:1995 Ergonomics of thermal environment – assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales. Ginebra: Autor.
- Jáuregui, E. (2000). El clima de la ciudad de México. Instituto de Geografía. Plaza y Valdés. México, D.F. 131pp.
- Metro (2012). Sistema de Transporte Colectivo Metro de la ciudad de México On-Line: <http://www.metro.df.gob.mx/>
- Ordoy, P., (2000). Thermal comfort in the passenger areas of the Budapest Metro. *Periodica Polytechnica Ser. Mech. Eng.*, 44(2), 309–317.
- Quest Technologies (2004). QUESTempo 36 Thermal Environment Monitor Operator’s Manual. Oconomowoc, WI 53066 USA.
- Ruiz, R. (2007). Estándar local de confort térmico para la ciudad de Colima. Tesis de Maestría en Arquitectura. Facultad de Arquitectura y Diseño. Coquimatlán, Col., 98 pp.
- Soper, G. (1908). The air and ventilation of subways. New York, J. Wiley & Sons. 244p.
- Steiling, B. y A. Pflitsch. (2009). Biometeorological situations in different subway systems. The Seventh International Conference on Urban Climate. Yokohama, Japan. 29 June-3 July 2009.
- The New York Times, 1905. Subway temperatures. En The New York Times. 12 junio 1905.
- Ye, X., Z. Lian, Ch. Jiang, Z. Zhou y Chen, H. (2009). Investigation of indoor environmental quality in Shanghai metro stations, China. *Environmental Monitoring and Assessment*. July 2009.