



Evaluación del confort térmico y lumínico en aulas universitarias en Tijuana, Baja California. Caso de estudio FCITEC, Valle de las Palmas

Thermal and luminic comfort assessment in university classrooms in Tijuana, Baja California. Case of study FCITEC, Valle de las Palmas

Maria Teresa de la Cruz Chaidez¹ , José Francisco Armendariz López¹ , Francisco José Martín del Campo Saray² , Miguel Isaac Sahagún Valenzuela¹ , María Cristina Castañón Bautista¹ , Carmen García Gómez³ 

¹Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Universitario 1000, Unidad Valle de las Palmas, 22260 Tijuana, Baja California, México

²Licenciatura de Arquitectura en Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica de El Grullo, Jalisco, México

³Facultad de Ciencias Antropológicas de la Universidad Autónoma de Yucatán; Mérida, Yucatán, México

Autor de correspondencia: Maria Teresa de la Cruz Chaidez, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Universitario 1000, Unidad Valle de Las Palmas, 22260 Tijuana, Baja California, México. E-mail: arqteredelacruz@gmail.com. ORCID: 0000-0002-4703-8626.

Recibido: 24 de Agosto del 2022

Aceptado: 21 de Diciembre del 2022

Publicado: 31 de Diciembre del 2022

Resumen: Con relación a 2022, los estudios sobre las condiciones ambientales al interior de las aulas se han incrementado debido a que se relacionan con el bienestar, el rendimiento y la productividad de los estudiantes en términos de concentración, atención y aprendizaje durante el horario escolar. Evaluar las condiciones del espacio educativo una vez habitado puede ser fundamental para identificar ajustes ambientales que puedan mejorar el rendimiento de los alumnos en los aprendizajes a través de estrategias de diseño en los equipamientos escolares de la localidad. Se presenta la evaluación de las condiciones térmicas y lumínicas de tres aulas diseñadas para funcionar con ventilación natural, en dos edificios de la Universidad Autónoma de Baja California, en Tijuana, México, durante el periodo de transición frío-cálido. Se realizaron mediciones físicas de los indicadores ambientales, incluyendo temperatura, humedad relativa y luz natural. Un total de 181 estudiantes completaron los cuestionarios de la encuesta sobre el ambiente interior. Este estudio tuvo como objetivo evaluar las condiciones ambientales del espacio y determinar la influencia en el confort de los ocupantes. Los resultados mostraron que más del 50% de los estudiantes se encontraban en una situación de incomodidad térmica cuando la temperatura estaba fuera del rango de 19.7°C - 27.7°C, consistente con la aplicación de las Zonas de Confort Adaptativo de ASHRAE. Los valores de luz natural de las tres aulas estuvieron por debajo del mínimo requerido de 300 Lux para aulas educativas [1, 2]. Los edificios con orientaciones Oeste y Sur registraron valores de iluminancia que podrían producir deslumbramiento y aumentar el malestar térmico debido a la alta radiación solar. Los resultados confirmaron la estrecha relación entre las condiciones ambientales y el confort de los estudiantes en las aulas.

Palabras clave: Confort ambiental; Confort térmico; Confort lumínico ventilación natural; Aulas universitarias.

Abstract: About 2022, studies on environmental conditions inside classrooms have increased because they are related to well-being, performance, and student productivity in terms of concentration, attention, and learning during school hours. Assessing the conditions of the educational space once inhabited can be fundamental to identifying environmental adjustments that could improve achievement in learning through design strategies in school facilities in the locality. The evaluation of the thermal and luminic conditions of three classrooms designed to function with natural ventilation, in two buildings of the Universidad Autónoma of Baja California, in Tijuana, Mexico, during the cold-warm transition period is presented. Physical measurements of environmental indicators were made, including temperature, relative humidity, and daylight. A total of 181 students completed the environmental survey questionnaires. This study aimed to evaluate the interior environmental space conditions and determine the influence on occupants' comfort. Results showed that more than 50% of the students were in a thermal discomfort situation when the temperature was out of range of 19.7°C -27.7° C, consistent with the application of the ASHRAE Adaptative Comfort Zones. Daylight values were below the minimum required of 300 Lux for educational classrooms specificity in [1, 2] of the three classrooms. Building's orientations, West and South registered illuminance values that could produce glare and increase thermal discomfort due to high solar radiation. The results confirmed the close relationship between environmental conditions and students' comfort in classrooms.

Keywords: Environmental comfort; Thermal comfort; Luminic comfort; Natural ventilation; University classrooms.



1. Introducción

La calidad ambiental en espacios educativos ha cobrado importancia debido a que se ha relacionado con el desempeño, bienestar y aprendizaje de los alumnos [3]. En estudios previos, los investigadores encontraron que la incomodidad de los ocupantes no está determinada por un solo factor ambiental, sino por varios factores que influyen de forma integral en los aspectos psicológicas y fisiológicos de las personas. Principalmente el térmico, lumínico, acústico y calidad del aire [4, 5] considerados por tener mayor impacto en la salud, bienestar, desempeño y logro académico de los alumnos [6]; y en el aspecto del rendimiento energético del edificio [7].

El ser humano se encuentra expuesto a los cambios de las variables del clima, por lo que busca mantener el interior de los espacios con el acondicionamiento ambiental adecuado para desarrollar sus actividades cotidianas de manera óptima.

El principal objetivo del diseño de edificios educativos es proporcionar espacios acondicionados que promuevan las actividades de aprendizaje de manera óptima [8]. De acuerdo con los resultados Panorama de la Educación 2017 de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), México se ubica en los últimos lugares con los resultados de aprovechamiento más bajo de los países pertenecientes a la organización. Los problemas en la infraestructura educativa ha sido una constante sobre todo en los países en desarrollo. En el diagnóstico de las escuelas presentado por la Secretaría de Educación Pública, establece que los universitarios no cuentan con servicios educativos de calidad para el desarrollo de sus actividades educativas [1, 8].

Evaluar las condiciones ambientales de los espacios educativos permite establecer las estrategias de diseño de futuras construcciones y, en el caso de las ya edificadas llevar a cabo las adecuaciones que permitan a los estudiantes realizar sus actividades de aprendizaje de manera apropiada [9].

El estudio del ambiente interior se ha realizado evaluando diferentes factores como Vilcekova et al. [5] que incluyeron en su estudio el ambiente térmico, acústico, lumínico, calidad del aire y CO₂. Encontraron que las condiciones ambientales no satisfacían el confort de los alumnos, además, encontraron muy alta concentración de PM₁₀ y CO₂; También, Peter Barret et al. [8] evaluó la luz natural, temperatura del aire, sonido y calidad del aire, demostrando que estos parámetros ambientales tenían un impacto en el aprendizaje de 50%; y Krüger y Zannin [6] consideraron el confort acústico, térmico y lumínico, donde los resultados mostraron la fuerte interdependencia entre los factores ambientales.

Esta investigación fue realizada durante y al término la contingencia sanitaria del COVID-19, donde fueron cerradas las escuelas. La Universidad Autónoma de Baja California (UABC) otorgó permiso a los autores para realizar la investigación dentro del campus Valle de las Palmas. La elección de las aulas se basó en la diferencia que presentaban en cuanto a la utilización de los materiales de construcción y a la orientación de la envolvente del edificio. Estas diferentes características físicas se encontraron en aulas de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología (FCITEC).

El estudio de campo inició en marzo del 2021 al mismo tiempo que se estableció la contingencia sanitaria. Por lo que la metodología se diseñó para realizar las mediciones de las variables



higrotérmicas interior y exterior en aulas desocupadas durante un año, encuestar a los alumnos en abril 2022, una vez que regresaron a la escuela y comparar los resultados con la normatividad ISO7730.

En este marco, se presenta esta investigación que tiene como objetivo evaluar las condiciones térmicas y lumínicas de tres aulas ventiladas naturalmente, localizadas en dos edificios del FCITEC durante el periodo de transición frío-

2. Revisión de la literatura

2.1 Confort térmico

El confort térmico es uno de los factores ambientales ampliamente estudiado por diferentes autores del mundo. Para evaluar el confort térmico de los ocupantes se ha utilizado el modelo racional utilizado en espacios interiores: el modelo racional de Fanger [10] utilizado en cámaras climáticas, considerando usuarios pasivos [11] y modelo adaptativo aplicados en espacios con ventilación natural, donde los ocupantes interactúan con el entorno, desarrollando una adaptación y preferencias térmicas [12].

Las edificaciones educativas, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, de la Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, Baja California, México, están diseñadas tomando en cuenta los estándares internacionales ASHRAE55:2004, EN 1525 aplicadas en aulas naturalmente ventiladas. La carta psicométrica de zonas de confort establece para Valle de las Palmas un rango de temperatura entre 19.7°C y 27.7°C y una Humedad Relativa del 50%

En México, la construcción de escuelas está regido por el Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (INIFED) bajo las Normas y Especificaciones para Estudios

cálido que permita entender la percepción ambiental subjetiva de los alumnos dentro del aula.

Los resultados de este estudio podrían utilizarse para establecer nuevas estrategias en el diseño de espacios educativos y en la identificación de ajustes o mejoras que se requieren en zonas climáticas como las de Tijuana, específicamente de Valle de las Palmas.

Proyectos Construcción e Instalaciones [13]. La cual recomienda para aulas una temperatura del aire de 18°C a 25°C, cuando la humedad relativa es 50% y la velocidad del aire de 0 a 0.2 m/s aire.

De acuerdo con la revisión de la literatura, se presenta en la Tabla 1 del Estado del Arte del confort térmico, los estudios previos que han evaluado el confort térmico interior en edificios educativos que sirvieron para realizar este estudio.

Anguita et al. [14] presentaron un estudio en dos aulas de Granada, bajo la norma ISO 7730, para comparar los valores obtenidos de las mediciones de campo y las respuestas de la encuesta de satisfacción térmica realizada a los alumnos. Los resultados mostraron que el porcentaje de incomodidad de los ocupantes se duplicó respecto al cálculo del PMV y PPD de acuerdo con la ISO 7730.

El-Darwish y El-Gendy [15] investigaron las condiciones ambientales térmicas de tres aulas en Behera, resultando que el 66% los estudiantes se encontraban térmicamente cómodos dentro de las aulas. No obstante, después de aplicar la encuesta, se encontró que solo la tercera parte de los ocupantes estaban satisfechos con las condiciones térmicas del espacio interior.



Fabozzi y Dama [16] realizaron una investigación en Milán, en aulas naturalmente ventiladas y con aire acondicionado, en la cual determinaron que un número considerable de estudiantes no aceptaban las temperaturas de confort adaptativas recomendadas por EN 15251.

Por otro lado, Jindal [17] descubrió que los estudiantes en Ambala tenían mayor tolerancia al calor, sintiéndose en una situación confortable estando fuera del rango de temperatura de confort establecido en las normas.

Los experimentos realizados permitieron conocer las condiciones térmicas ambientales de los espacios y el impacto en el confort de los estudiantes durante un periodo estacional. La adaptación de los usuarios a las condiciones térmicas en aulas naturalmente ventiladas fue diferente en cada localidad. Si bien, los datos no son suficientes para que sean utilizados como normatividad para el diseño de espacios educativos localmente, pueden servir como principio rector para el futuro de los estándares de cada zona como lo menciona Mishra y Ramgopal [18] en su estudio.

El confort térmico de los alumnos en aulas naturalmente ventilados ha sido evaluado a través del acercamiento objetivo (mediciones de campo) y subjetivo (entrevistas de satisfacción) permitiendo conocer la sensación, preferencia y aceptabilidad térmica de los ocupantes.

Corgnati et al. [19] investigaron el confort térmico en dos aulas universitarias ventiladas naturalmente en Turín, durante el periodo cálido. Aplicaron cuestionarios de confort térmico midiendo simultáneamente de los parámetros térmicos. Los resultados mostraron una tendencia de preferencia térmica ligeramente más cálido en invierno y neutra en temporada templada.

En la investigación de Nico et al. [20] los alumnos mostraron preferencia térmica por un ambiente más cálido. También, encontraron una ligera diferencia entre las respuestas de hombres y mujeres y una influencia del diseño espacial en las condiciones térmicas del aula.

Yao et al. [21] encontraron que, en China, los estudiantes preferían la temperatura más altas que la temperatura térmica neutra. Esto indicó que la preferencia por un ambiente térmico más cálido en condiciones climáticas cálidas y frías, mostrando alta tolerancia a las condiciones más cálidas.

Subhashini y Thirumaran [22] identificaron áreas con una diferencia de 4-5°C más alta que la temperatura neutra; la situación fue similar para Hwang et al. [23] donde propusieron rangos específicos para determinadas escalas del confort térmico. Liu et al. [24] estimó nuevos rangos de temperatura térmica, neutra y la de preferencia de los ocupantes.

Es fundamental resaltar que, además de las variables térmicas ambientales, los autores han considerado factores del diseño arquitectónico [14] que influyen en la percepción térmica de los estudiantes, como la orientación, el sistema constructivo y la geometría del espacio [20].

Obtener resultados de confort térmico diferentes a los estándares internacionales, se ha convertido en una preocupación común entre los investigadores que esperan poder verificarlos en contextos locales, por lo que han recomendado realizar un mayor número de estudios locales [25].

La comprobación de valores predeterminados por los estándares internacionales y locales en una zona determinada, por medio de acercamientos objetivos y subjetivos, revelan datos reales que pueden ser utilizados para



mejorar las condiciones de confort de los alumnos para que realicen sus las actividades de aprendizaje de manera óptima.

Tabla 1. Estado del arte confort térmico

Referencia	Autor (año)	Ciudad/ País	Clima	Aulas /espacios	Parámetros medidos					Número encuestas
					T _a	T _{mr}	HR	V _{aire}	Clima	
[11]	Aghniaey (2019)	Georgia, Estados Unidos	Húmedo subtropical	1	√	√	√	√	√	1336
[14]	Anguita (2018)	Granada, España	Mediterráneo y semiárido	2	√	√	√	√	√	119
[15]	El Darwish (2018).	Behera, Egipto	Árido caliente	3	√	√	√	√	*	N/A
[16]	Fabozzi (2020)	Milán Italia	Templado	16	√	√	√	√	√	985
[17]	Jindal (2018).	Ambala, India	Frio	*	√	√	√	√	√	40
[18]	Mishra (2015)	Kharagpur, India	Tropical	1	√	√	√	√	*	67
[19]	Corgnati (2009).	Turín, Italia	Continental y cálido	2	√	√	√	√	*	230
[20]	Nico (2015)	Bari, Italia	Mediterráneo	2	√	√	√	√	√	126
[21]	Yao (2010)	Chongqing, China		5 edificios	√	√	√	√	*	3000
[22]	Subhashini (2018).	Madurai, India	Cálido y frío	2	√	*	*	*	√	180
[23]	Hwang (2006)	Taiwán	Caliente y húmedo	4	√	√	√	√	√	40
[24]	Liu (2019)	Xi'an, China	Selva tropical	7	√	√	√	√	*	992
[25]	Buratti (2017)	Perugia, Italia	*	1	√	√	*	*	*	n/a
[27]	Zaki (2017)	Kuala Lumpur, Malaysia, Chikushi and Japón	Monzón	24	√	√	√	√	*	1428
[28]	Rincón (2017)	Ensenada, México	Semiárida y húmedo subtropical	2	√	√	√	√	√	126
[29]	Kong (2019)	Chongqing, China	Mediterráneo	Cámara controlada	√	√	√	√	√	24
[30]	Draganova (2019)	Toyohashi, Japón	Cámara controlada	Dormitorios	√	√	√	√	√	324

*No especificado.

Abreviaturas: Temperatura del aire (T_a), Temperatura media radiante (T_{mr}); Humedad Relativa (HR); Velocidad del aire (V_{aire})

Fuente: Elaboración propia.



2.2. Confort lumínico

El confort lumínico es el factor ambiental que permite conocer los niveles de luz natural para que el ser humano pueda realizar sus actividades cotidianas dentro de un espacio [26]. La luz natural es necesaria para que nuestro cuerpo funcione y realice correctamente las actividades físicas y mentales durante el día, ya que el ojo humano se siente más cómodo con luz natural [27]. En el caso de los edificios educativos, el diseño de la envolvente del edificio debe contemplar el aprovechamiento de la luz natural para garantizar la calidad del confort lumínico como necesidad imprescindible de los alumnos para el desarrollo de sus tareas de aprendizaje, la preservación de la salud, el bienestar, buen humor y la seguridad dentro del ambiente interior del aula [28].

Para establecer los requisitos de iluminancia interior en los centros de trabajo, la Secretaría del Trabajo y Previsión Social en la norma NOM-25-STEPS 2008 [1] y Normas y Especificaciones para Estudios Proyectos Construcción e Instalaciones [13] especifican las cantidades mínimas de Lux requeridas para cada actividad visual.

En el caso de las aulas educativas, se establece un mínimo de 300 Lux para que las actividades de enseñanza-aprendizaje se puedan realizar en un ambiente seguro y saludable [1]. Estos requisitos mínimos de iluminancia siguen la Norma UNE 12464.1 que pretende cubrir tres necesidades humanas básicas: el confort visual, el rendimiento visual y la seguridad (UNE 12464.1 2022).

Para el diseño y construcción de edificios educativos, el INIFED recomienda una orientación Norte-Sur [13], donde debe considerarse la geometría de las aulas y las aberturas de ventanas y puertas para la

penetración de luz natural. En México, los estudios sobre el confort lumínico son escasos aun cuando existe un gran potencial en el uso de la luz natural en los espacios educativos para mejorar los logros de aprendizaje de los alumnos. El confort lumínico del presente estudio tiene algunas similitudes con los estudios registrados en la Tabla 2 del Estado del Arte confort lumínico.

Corvalán [29] analizaron el nivel de iluminancia y de confort en aulas universitarias para verificar si los valores obtenidos cumplían con la normativa gubernamental. Los resultados mostraron que los puntos centrales de la cuadrícula de medición que coincidían con la luminaria, cumplían con los requerimientos, pero otros puntos apenas registraron el mínimo necesario.

Freewan [30] encontraron problemas de uniformidad y bajos niveles de iluminación natural, así como la dependencia de la luz artificial. El estudio se basó en simulación y mediciones de campo de iluminación y uniformidad. La simulación determinó que al potenciar algunos elementos de diseño podría mejorar 100% el nivel de luz natural en la parte posterior del aula y controlar el deslumbramiento.

Los problemas de sobrecalentamiento y deslumbramiento interior se han relacionado con la orientación de la envolvente del edificio. Esto cobra mayor importancia cuando se trata de espacios educativos donde los estudiantes mantienen una posición permanente durante la clase, lo que pudiera causar que pierda la concentración y resulten alteraciones visuales.

El estudio realizado por Galal [31] en aulas de la costa libanesa, mostro que las orientaciones noreste y noroeste podrían ser más adecuadas para obtener niveles adecuados de luz natural y



para la ganancia de calor, en lugar de la orientación sur determinada para las escuelas en la norma gubernamental.

En edificio educativos de Valle de las Palmas, se ha observado que la luz natural penetra con distinta intensidad según la trayectoria del sol y el tamaño de las ventanas. El tratamiento en ventanas interior, orientadas al Sureste, no ha sido suficiente para evitar la penetración de la luz solar directa. En un caso de estudio similar Secchi et al. [32] encontraron que las ventanas orientadas al Este causaban problemas de sobrecalentamiento y deslumbramiento. Propusieron el uso de persianas horizontales o verticales externas para uniformizar la cantidad de luz diurna y con ello reducir el uso de luz artificial.

Michael y Heracleous [33] indicaron que los niveles de iluminación natural eran suficientes en las aulas en todas las orientaciones y que la uniformidad de la luz diurna era aceptable. Sin embargo, en aulas orientadas al este y al oeste había deslumbramiento. Observaron que las lámparas permanecieron encendidas durante el

horario laboral, manteniendo las cortinas cerradas para controlar el deslumbramiento. Para mejorar el confort visual propusieron persianas verticales en fachadas orientadas al Este y al Oeste.

Ricciardi y Buratti [34] realizaron encuestas a los estudiantes sobre las condiciones ambientales dentro del aula. Incluyeron el confort térmico, acústico y lumínico, encontrando que el factor visual tenía más del 30% de importancia respecto a los otros factores ambientales. Korsavi et al. [35] evaluaron la percepción de confort visual de los estudiantes mediante la realización de una simulación. Los resultados mostraron que las métricas dinámicas no garantizaban el confort visual y que los valores más bajos y altos, no necesariamente causaban molestias visuales. Se encontró una fuerte correlación entre los valores medios de iluminancia y la percepción del confort visual.



Tabla 2. Estado del Arte confort lumínico

Referencia	Autor (año)	Ciudad/Países	Número aulas	Parámetros medidos				Consumo energético	Número encuestas
				I	U	D/R	Ta, HR, V _{aire}		
[29]	Corvalán (2015)	*	2	√		√	√	*	*
[30]	Freewan (2020)	Jordania	1	√	√	*	*	*	*
[31]	Galal (2019)	Trípoli, Líbano	*	√	√	√	√	*	*
[32]	Secchi (2015)	Chianti, Italia	2	√	√	*	√	*	*
[33]	Michael (2017)	Nicosia, Chipre	4	√	*	√	*	*	40
[34]	Ricciardi (2018)	Pavia, Italia	7	√	*	*	*	*	928
[35]	Korsavi (2015)	Kashan, Irán	2	√	√	*	√	*	126
[36]	Kritikou (2018)	Estocolmo, Suecia	6	√	*	*	√	√	242
[37]	Ferrara (2018)	Turín, Italia y Palermo, Sicilia	1	√	*	*	*	√	*
[38]	Zomorodian (2019)	Texas, E. U.	2	√	*	√	*	*	27

*No especificado

Abreviaturas: Iluminancia (I), Uniformidad (U); Deslumbramiento/Reflectancia (D/R);, Temperatura del aire (Ta), Humedad relativa (HR), Velocidad del aire (V_{aire})

Fuente: Elaboración propia.

Los investigadores han evaluado las condiciones lumínicas en espacios educativos en conjunto con otros factores ambientales como son el acústico, visual, el consume energético [36], confort térmico y visual [37]; el impacto del diseño arquitectónico en la percepción de los estudiantes, considerando la orientación y las diferencias entre los espacios físicos [38].

La revisión de la literatura mostró un número limitado de estudios realizados en México sobre confort térmico y lumínico. Al 2022, ninguno de ellos fue llevado a cabo en la localidad de Tijuana.

Tomando en cuenta que la respuesta que tienen las personas sobre las condiciones ambientales en espacios interiores varía dependiendo del clima, el diseño del espacio y la adaptación del

usuario, esta investigación tiene como objetivo evaluar las condiciones térmicas y lumínicas de tres aulas ventiladas naturalmente, que permita entender la percepción ambiental subjetiva de los alumnos dentro del aula durante el periodo de transición frío-cálido.

3. Caso de estudio

La Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Campus Valle de las Palmas se encuentra localizada en la parte Este en la periferia de la ciudad (32° 26' 07" N, 116° 40' 31" W) dentro de una parcela de aproximadamente 502,200 m². En la Fig. 1 se puede ubicar en la parte Sur, del campus UABC los edificios E y F de la Facultad de ciencias de la Ingeniería y Tecnología (FCITEC) donde se realizó esta investigación.



Figure 1. Ubicación de los edificios E y F del FCITEC de la UABC Valle de las Palmas.

3.1. Condiciones climáticas

El clima de Tijuana es predominantemente árido, templado y seco (BSk según la Clasificación climática de Köppen, modificado por García, Enriqueta, 1998). Este clima también llamado Mediterráneo, tiene veranos calurosos e inviernos con días lluviosos. Presenta una temperatura media anual de 21.5 °C. En verano, la media sube a 26°C; durante el invierno, las temperaturas medias mínimas rondan los 6° C, y la precipitación media anual es de 230 mm [39].

3.2. Sistema constructivo e instalaciones

El diseño de los edificios se resolvió de la siguiente manera: el edificio E con orientación Noreste-Suroeste, en dos niveles, con aulas a ambos lados de un vestíbulo central. El edificio

F fue orientado al Sureste, en tres niveles en una sola línea de aulas a lo largo de un pasillo interior. EL sistema constructivo fue a base de estructura de acero, concreto, losa de acero, muros de tablaroca principalmente.

Los edificios están ventilados naturalmente, no cuentan con sistema de aire acondicionado ni calefacción. En cada aula tienen un ventilador mecánico empotrado en la pared o plafón. Durante los meses más cálidos, la ventilación es de forma natural, la cual es controlada por los ocupantes, abriendo y cerrando puertas y ventanas. Las aulas seleccionadas, indicadas en la Fig. 2, están denominadas como E-01 y E-08 del edificios E ubicadas planta baja y el aula F-11 del edificio F, en el segundo nivel.

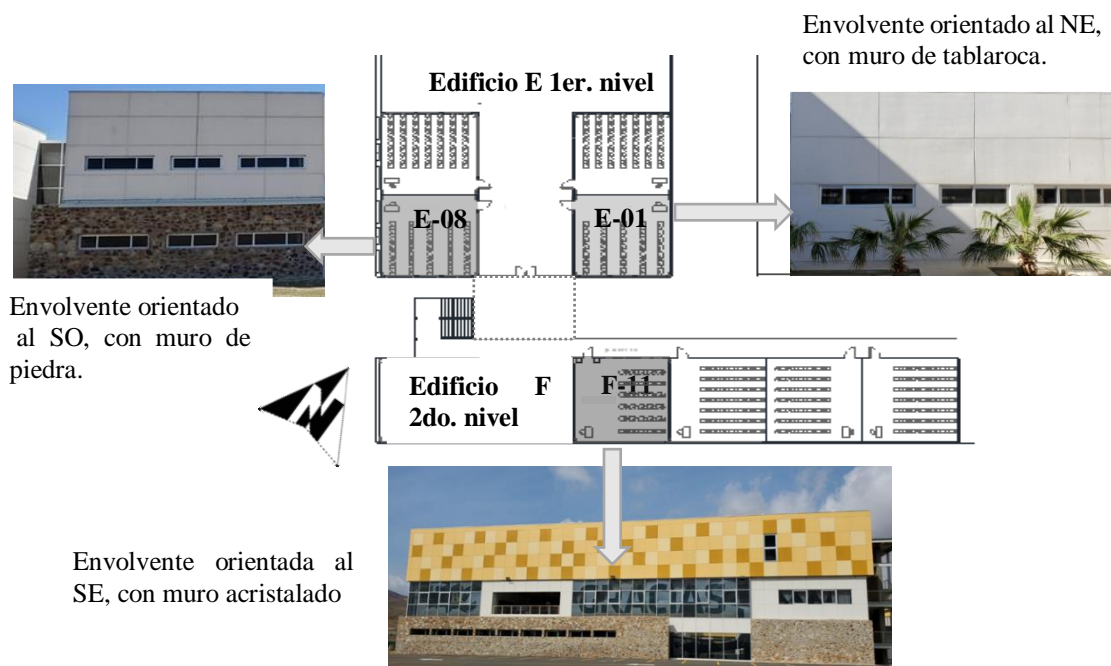


Figura 2. Característica de la envoltura de los edificios E y F del FCITEC y croquis de ubicación de las aulas seleccionadas E-01, E-08 y F-11 (elaboración propia, fotografías tomadas con cámara personal).

4. Metodología

Para cumplir con el objetivo señalado anteriormente se determinó la metodología

mostrada en la figura 3 en cinco apartados que se mencionan a continuación.

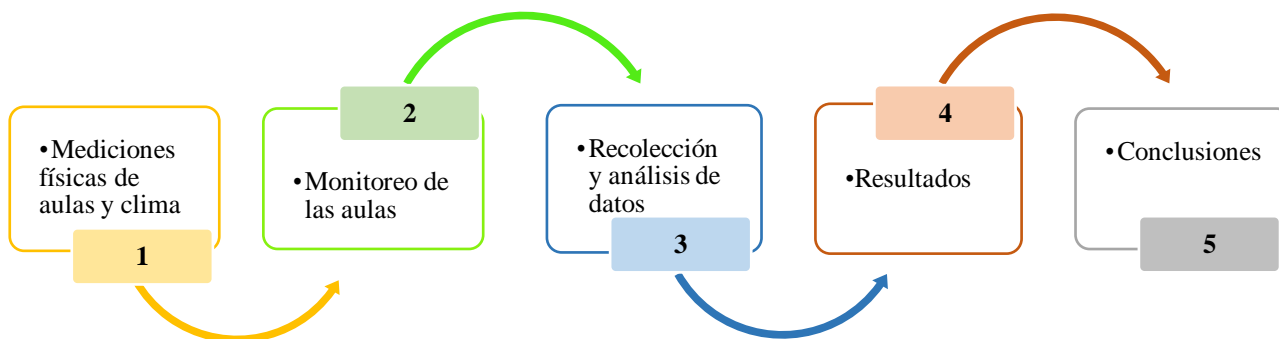


Figura 3. Proceso metodológico aplicado en esta investigación (elaboración propia).

4.1. Mediciones físicas de las aulas y clima

El aula prototipo, como se muestra en el croquis de la Fig. 4, tiene un área de 78 m² (8.82 x 8.90 m). Tiene una puerta y aperturas para ventanas

para dotarla con luz y ventilación natural. Presenta la típica distribución de mesabancos en filas frente al pizarrón para una capacidad de 30 a 35 estudiantes.

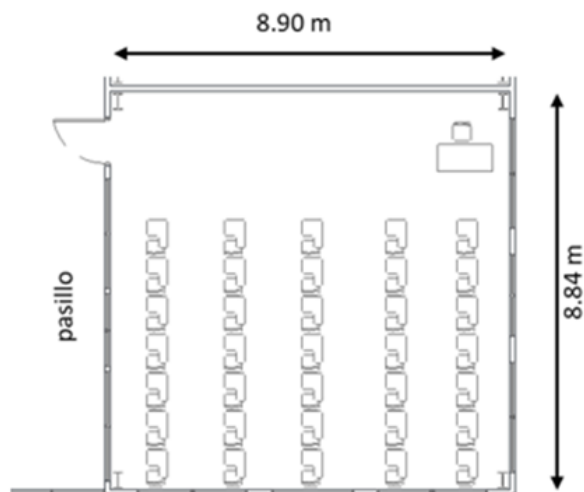


Figura 4. Planta prototipo de las aulas del FCITEC en los edificios E y F (elaboración propia).

En la tabla 3, se presentan los instrumentos de medición utilizados para los parámetros ambientales térmicos y lumínicos para esta investigación.

La temperatura del aire (T_a) y humedad relativa interior (HR) se midieron utilizando el registrador de datos ONSET Hobo U12-013 con rango de medición de temperatura de -20°C (-4° a 158°F), precisión de $\pm 0.35^{\circ}\text{C}$ de 0° a 50°C ($\pm 0.63^{\circ}\text{F}$ de 32° a 122°F). Para la humedad relativa el rango de medición es de 5% a 95% HR.

Para medir el estrés térmico se utilizó el instrumento WBGT Modelo HT30, marca EXTECH con un rango de temperatura de globo y bulbo húmedo (TGBH) de 0°C a 50°C (32°F a 122°F); Temperatura de globo negro (TG) -30°C a 550°C (-22°F a 1022°F); Temperatura del aire (T_a) 0°C a 50°C (32°F a 122°F); Humedad Relativa (HR) de 0 a 100%HR, precisión HR $\pm 3\%$ (@ 25°C , 10 a 95%RH) resolución $0.1^{\circ}\text{F}/^{\circ}\text{C}$; 0.1% HR Temperatura de operación 0°C a 50°C (32°F a 122°F) Humedad de operación Max. 80% HR. Para la velocidad del aire, se usó el anemómetro digital marca

Professional Instruments con un rango de 0-30 m/s, con un porcentaje de precisión de ± 5 .

El valor de la tasa metabólica se obtuvo de la Tabla 5.2.1.2. de valores metabólicos para actividades típicas del standard ANSI/ASHRAE55 [16], para actividad pasiva. Los valores de aislamiento de la ropa se obtuvieron con base en las respuestas del cuestionario y de acuerdo con la Tabla 5.2.2.2B de aislamiento de vestimenta (I_{clu}) [16].

Los datos de temperatura y humedad relativa exterior fueron obtenidos de la estación meteorológica del FCITEC, localizada dentro del campus y del Satélite Geoestacionario Operacional Ambiental (GOES) programa estadounidense del National Weather Service "NWS" de la NOAA por medio de la página de internet Meteored.





Para la medición de luz natural se utilizó el luxómetro medidor de luz digital Modelo GM1020, marca BENETECH con rangos de medición a escala completa: de 0~200,000 Lux con resolución 0.1, 1, 10 y 100 respectivamente, como se especifica en la Tabla 12, con precisión LED blanco de $\pm 3\%$ de lectura + 2 Lux hasta 500



lux y \pm (3% lectura) > 500 Lux. Lecturas de ft-cd con precisión de \pm (3% lectura + 3 Fc) hasta 46 Fc \pm (3% lectura) > 46 Fc. Opciones de muestreo entre 1 segundo y 1 hora. El instrumento de

medida y su distribución cumplen con la NOM-025-STPS-2008 [1].

Tabla 3. Instrumentos de medición utilizados en esta investigación (elaboración propia).

Instrumentos de medición	Índice	Unidad	Rango de medición	Presición medición /rango medición
 Registrador de datos HOBO U12-013, marca ONSET	Temperatura del aire (TA)	°C	-20°C a 70°C	$\pm 0.35^\circ\text{C}$ de 0° a 50°C (32°F a 122°F)
	Humedad relativa (HR)	%	5% a 95% HR	
 Medidor de estrés térmico WBGT Modelo HT30, marca EXTECH	Temperatura de globo y bulbo húmedo (TGBH), humedad relativa (HR)	°C	0°C a 50°C (32°F a 122°F)	Calculado de parámetros medidos
	Temperatura de globo negro (TG),	°C	-30°C a 550°C (-22°F a 1022°F),	$\pm 2^\circ\text{C}$
	Temperatura del aire (TA)	°C	0° a 50°C (32°F a 122°F)	$\pm 1^\circ\text{C}$ (1.8°F)
 Anemómetro digital	Humedad relativa (HR)	%HR	0 a 100%	$\pm 3\%$ @ 25°C, 10 a 95% HR
	velocidad del aire (Vaire)	m/s	0-30	$\pm 5^\circ\%$
 Medidor digital de iluminancia Marca BENETECH, Modelo GM1020	Temperatura del aire (TA)	°C	-10°C a 45°C (14°F a 113°F),	$\pm 2^\circ\text{C}$
	Luz natural	Lux	0 ~2000,000 Lux	\pm (3% lectura + 2 Lux) hasta 500 Lux \pm (3% lectura) > 500 Lux

Para la encuesta se diseñó un cuestionario a propósito partiendo de preguntas subjetivas, utilizando la escala de siete puntos de ASHRAE, para entender la percepción de los alumnos respecto al ambiente térmico y lumínico de las aulas.

El cuestionario fue desarrollado en seis secciones: introducción; información personal (género, peso, estatura y edad); datos generales (tipo de ropa, tipo de ventilación y zona donde se sienta habitualmente). Las siguientes dos secciones fueron sobre sensación, percepción, preferencia y tolerancia térmica y lumínica. Además, en el último apartado se incluyó una

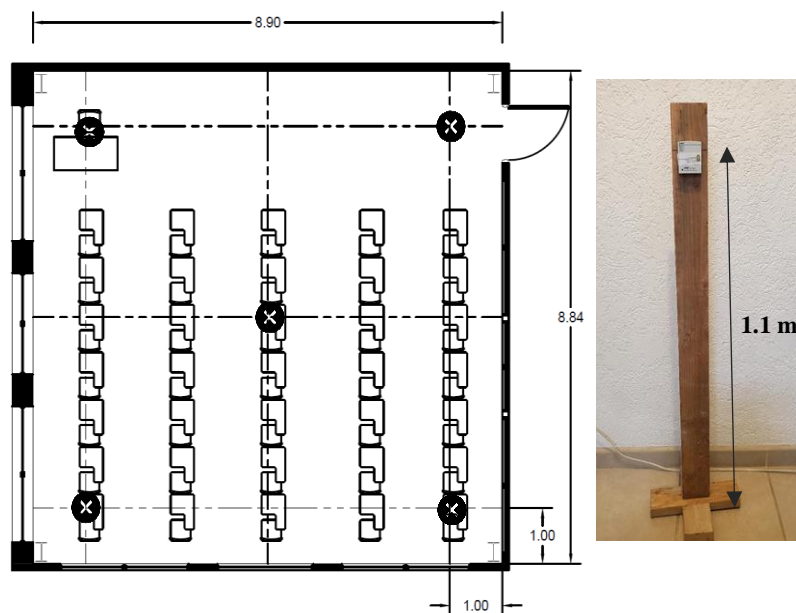


pregunta de opinión ¿Cuáles factores ambientales son los que más afectan en el desarrollo de sus actividades en el aula?

4.2 Monitoreo de las aulas

La aplicación de las herramientas de medición se llevó a cabo en las aulas seleccionadas denominadas E-01, E-08 ubicadas en el primer nivel del edificio E y el aula F-11 en segundo nivel del edificio F, destinadas para clases teóricas. Cuentan con una superficie aproximada de 80 m² con capacidad hasta 35 estudiantes por aula.

La selección y ubicación de los instrumentos dentro del aula fue con base en ISO 7726 [36] y ANSI/ASHRAE 55 [37]. En el croquis de la figura 5 se indica la ubicación de los puntos de medición: dos al frente, dos en la parte posterior del aula y uno al centro. Los instrumentos fueron colocados en cinco puntos del aula en soportes de madera a una altura de 1.1 m del piso, correspondiente a la altura de la cabeza de una persona que se encuentra en posición sentada y a un metro de distancia de los muros. Los datos se registraron cada 10 minutos de acuerdo con la ISO 7726.



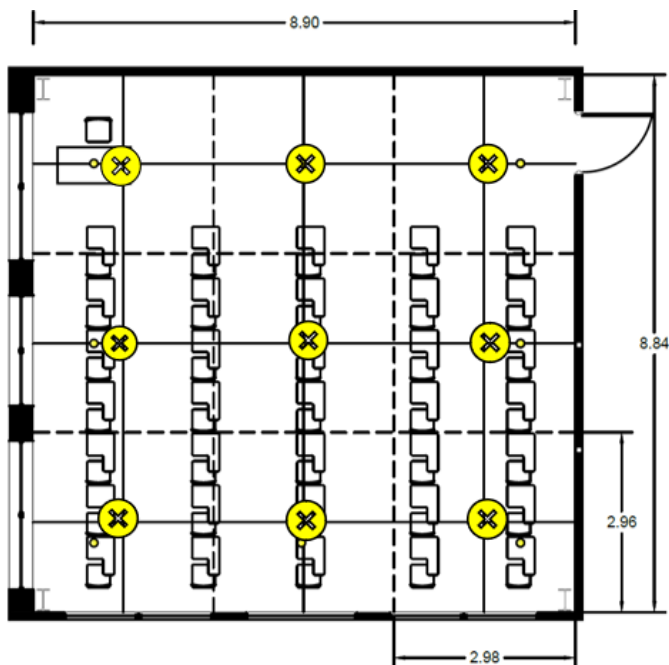
⊗ Registrador de datos Hobo

Figura 5. Croquis de ubicación de los puntos de medición de indicadores higrotérmicos: temperatura del aire y la humedad relativa interior (elaboración propia).

La determinación de los puntos de medición de la luz natural fue resolviendo la Ecuación 1 para el índice de área (IC) de la NOM-025-STPS-2008 [38], donde se obtuvo una retícula de nueve puntos, presentada en el croquis de la figura 6, para realizar las mediciones de luz natural dentro de las aulas.

$$IC = \frac{(x)(y)}{h(x)(y)} \quad (1)$$

Donde,
x, y dimensiones del área (ancho y largo) y h = altura



⊗ Puntos de medición de luz natural

Figura 6. Croquis con retícula (2.96 x 2.94 m) de ubicación de los nueve puntos de medición para luz natural (elaboración propia).

4.2.1. Cálculo del PMV y PPD

La sensación térmica del ser humano se vincula principalmente al balance térmico del cuerpo que depende de las temperaturas del aire y radiante, humedad relativa, velocidad del aire, el tipo de actividad física y el aislamiento térmico del arropamiento [39]. Con la obtención de estos datos, se puede calcular el Voto Medio Estimado (PMV) que determina el valor medio de los votos sobre una escala de sensación térmica de 7 puntos, indicada en la tabla 4. El balance térmico la ganancia o pérdida de calor provocada por el

metabolismo y el proceso fisiológico de termorregulación que reacciona ante los elementos externos del clima y el intercambio de calor que se produce entre la persona y el espacio donde realiza su actividad [40]. Los valores térmicos recomendados por la norma ISO 7730:2006 deben proporcionar bienestar térmico al 90% de los ocupantes. Por lo que se considera como personas insatisfechas aquellas que votaron la sensación térmica: mucho calor, calor, frío, mucho frío.



Tabla 4. Escala se sensación térmica

Sensación Térmica	Escala
Mucho calor	+ 3
Calor	+ 2
Algo de calor	+ 1
Ni frío ni calor	0
Algo frío	-1
Frío	-2
Mucho frío	-3

Fuente: ISO 7730.

El Porcentaje Estimado Insatisfechos (PPD), es una predicción cuantitativa del porcentaje de personas no satisfechas con las condiciones ambientales ya sea de frío de calor. La fórmula 2 se utiliza para calcular el PPD:

$$PPD=100-95. \exp^{(-0,03353oPMV4 -0,2179oPMV 2)} \quad (2)$$

4.2.2. Encuesta

La encuesta se realizó los días 4 y 7 de abril del 2022, durante el periodo de transición frío-cálido. Antes de la aplicación del cuestionario, se instaló el equipo higrotérmico que midió datos de las 8:00 a.m. a las 4:00 p.m. revisando que el Se consideró que la permanencia de los alumnos fuera mínima 40 minutos antes encuestar a los alumnos. Antes de responder el cuestionario se apagaron las luces y mantuvieron las cortinas cerradas en el aula F-11, respetando como utilizan el espacio los ocupantes durante el horario de clases . El cuestionario autodirigido se aplicó utilizando la aplicación en línea Google Forms para ser respondido en los celulares de los estudiantes durante el horario de clases.

Para el tamaño de muestra se utilizó el programa Sample Size Calculator considerando un nivel de confianza del 95% con un intervalo de confianza de ± 5 . El tamaño de la muestra resulto ser de 173 alumnos.

El cálculo del PMV y PPD se realizó utilizando la aplicación en línea Ergonautas con el método de Fanger para evaluar el confort térmico [14]. El valor de la tasa metabólica elegida fue $58 \text{ W/m}^2=1.0 \text{ met}$, para una actividad pasiva, donde el sujeto se encuentra sentado en reposo [41]. Los valores del aislamiento térmico para las diferentes combinaciones de ropa fueron obtenidos del Anexo C, tabla C.1 de la ISO 7730.

equipo funcionara correctamente. Las mediciones de la velocidad del aire, temperatura radiante y de iluminancia se llevaron simultáneamente durante la aplicación del cuestionario.

4.3. Recolección y análisis de datos

Se recolectaron 70,894 registros durante el período cálido (agosto 2021), frío (enero-febrero 2022), y dos periodos de transición de cálido a frío (octubre 2021) y transición frío-caliente (abril de 2022). Los datos cuantitativos obtenidos de los resultados de las variables fueron capturados y analizados por medio de un análisis estadístico descriptivo por medias, por intervalo de sensación térmica y lumínica. Se utilizó el análisis de regresión lineal multivariable de la información colectada acuerdo con el periodo de estudio y los indicadores. Para realizar la ponderación y correlación de variables se utilizó como herramienta el programa estadístico IBM Statistics SPSS 21, para la validación del muestreo.



5. Resultados

5.1. Resultados mediciones físicas

La Tabla 5 resume los resultados de las mediciones de las variables ambientales realizadas durante en el periodo cálido-frío, indicando los valores mínimos (min), promedio (prom) y máximos (máx.) de cada indicador. Se encontró una diferencia de T_{ext} promedio de $10^{\circ}C$ entre los días 1 ($21^{\circ}C$) y 2 ($31^{\circ}C$) y RH, 34% correspondiendo 43% el día 1 y 9% el día 2.

El día 1 hubo diferencias de temperatura promedio entre las aulas E-01 y E-08 de $2^{\circ}C$ y $1^{\circ}C$ entre la E-08 y F-11. En el día 2, la diferencia de temperatura promedio entre el aula E-03 y el E-08 fue de $3^{\circ}C$ y con el aula F-11 de $2^{\circ}C$. Entre el aula E-08 y F-11 se registró una diferencia de $5^{\circ}C$. La $T_{a\ int}$ más alta fue de $31^{\circ}C$ registradas en aulas E-08 y F-11, con una diferencia de $4^{\circ}C$ con la E-01 cuando la T_{ext} era de $31^{\circ}C$, con una HR

int máxima de 94% y 80% respectivamente y HR_{ext} de 94%. La T_{ext} y $Hr\ ext$ promedio en el periodo frío-cálido fue de $22^{\circ}C$ y 49% respectivamente.

Los valores de aislamiento de la ropa (Icl) variaron en tres aulas dependiendo de la $T_{a\ int}$. Se observó que cuando $T_{a\ int}$ estuvo entre $18-20^{\circ}C$ en el aula E-01, se obtuvo un valor de 1.0 clo; al subir la temperatura a $28^{\circ}C$ de 0.71 clo. Cuando la $T_{a\ int}$ del aula E-08 estuvo entre $18^{\circ}C$ y $25^{\circ}C$ correspondió a un valor de 0.84 clo, y entre $24^{\circ}C-25^{\circ}C$, Icl de 0.62 clo. En el aula F-11 registró una $T_{a\ int}$ entre $18^{\circ}C$ y $21^{\circ}C$ donde obtuvo un valor de 1.7 clo y entre $28^{\circ}C$ y $31^{\circ}C$ de 0.53 clo. Los valores para el tipo de arropamiento se obtuvieron de la respuesta de los encuestados. Resultaron valores diferentes en las tres aulas, observando que los valores más bajos y más altos de 0.53 y 1.7 clo correspondieron al aula F-11.

Tabla 5. Resultado de las variables medidas en el periodo de transición frío-cálido 2022

Aula	E-01		E-08		F-11	
Día/	1	2	1	2	1	
Índice	min, prom, máx.	min, prom, máx.	min, prom, máx.	min, prom, máx.	min, prom, máx.	min, prom, máx.
T_{ext} ($^{\circ}C$)	17, 21, 24	26, 31, 36	17, 21, 24	26, 31, 36	17, 21, 24	26, 31, 36
RH_{ext} (%)	20, 43, 71	7, 9, 12	20, 43, 64	7, 9, 12	20, 43, 66	7, 9, 12
TGBH ($^{\circ}C$)	15,16, 17	21, 21, 22	15, 15,15	23, 24, 25	16, 17, 17	*
TG ($^{\circ}C$)	18, 20, 21	28, 29, 29	18, 22, 22	24, 25, 26	20, 21, 22	28 ,31, 31
$T_{a\ int}$ ($^{\circ}C$)	18, 19, 20	28, 28, 28	18, 21, 25	24, 25, 25	18, 20, 21	28, 30, 31
RH_{int} (%)	61, 62, 63	12, 14 , 15	22, 44, 66	22, 23, 25	58, 59, 66	16, 17, 21
V_{aire} (m/s)	0	0.8	0	0	0	0.8
Tasa metabólica (met)	1	1	1	1	1	1
Icl (clo)	1	0.71	0.84	0.62	1.7	0.53
Iluminancia (lux)	74, 86, 91	74, 86, 91	77, 102, 172	77, 102, 172	104, 113, 213	104, 113, 213

Nota: * sin dato.

Abreviaturas: mínimo (min.), promedio (prom.) y máximo (máx.).

Temperatura exterior (Text)

Humedad Relativa exterior (HRExt),

Temperatura de globo y bulbo húmedo (TGBH)

Temperatura de globo (TG)

Velocidad del aire (Vaire)

Nivel de vestimenta (Icl)

Fuente: Elaboración propia.



5.2. Resultados confort térmico

Con base en la carta psicométrica para determinar la zona de confort en espacios naturalmente ventilados, en Valle de las Palmas se encuentra entre 19.7°C y 27.7°C y establece 50% HR (Climate consultant 5.5, 2014). La norma mexicana INIFED que determina para espacios educativos una temperatura de confort térmico entre 18°C y 25°C cuando la se tiene el 50% HR. Existe una diferencia de temperatura de 1.7°C en la temperatura más baja y de 2.7 en la más alta entre ambas estándares.

Los resultados obtenidos de $T_{a \text{ int}}$ fueron de 18°C-28°C y HR_{int} entre 12% y 63% en el aula E-01 (orientado al NE, muro de tablaroca); de 18°C -25°C y HR_{int} entre 22% y 66% en el E-08 (orientado al SO, muro de piedra) y 18°C-31°C, HR_{int} entre 16% y 66% en el F-11 (orientado al SE, muro acristalado). El rango de T_{ext} en los dos días fue de 17°C- 36°C con HR_{ext} entre 7% and 71%. Estos resultados se encuentran fuera de los rangos establecidos por las normas. La Velocidad del aire V_{aire} en el día 1 fue 0 m/s, el día 2 fue de 0.8 m/s debido al uso de ventiladores y las puertas y ventanas permanecieron abiertas.

Se obtuvieron 181 respuestas de los alumnos encuestado, de los cuales el 60% pertenecían al género masculino y el 40% restante al femenino.. El peso estuvo en el rango de los 60-79 kg ; la altura entre 160-179 cm y la edad entre los 19-22 años. El 74% de los encuestados eran originarios de Tijuana, de los cuales el 66% Vivian en la zona este la ciudad (donde se localiza la UABC). El 66% de los estudiantes tenía de dos a cinco años estudiando en FCITEC.

Para la tasa metabólica se estableció el valor de 1.0 met, correspondiente a la actividad pasiva. Los valores del nivel de vestimenta o arropamiento (Icl), obtenidos de las respuestas de los alumnos variaron en las tres aulas en los dos días en que se aplicó el cuestionario.

En el aula E-01 el Icl fue de 1.0 clo, cuando la $T_{a \text{ int}}$ estaba entre 18°C -20°C y de 0.71 clo a los 28°C. En el E-08 fue de 0.84 clo para una $T_{a \text{ int}}$ de 18°C-25°C y de 0.62 clo a los 24°C-25°C, en el aula F-11, cuando la $T_{a \text{ int}}$ estuvo en el rango de 58°C-66°C, el valor de Icl fue de 1,7 clo y para el rango entre 28°C-31°C fue de 0.53 clo.

Los resultados del Icl demuestran que los alumnos van ajustando su vestimenta para adaptarse a las condiciones térmicas del aula. La diferencia de 10°C en la T_{ext} durante los días en que se aplicó el cuestionario, la orientación y utilización de materiales de construcción son factores que pudieron influir en estos resultados.

De acuerdo con Ferrara [42], se puede decir que las diferentes orientaciones de las envolventes y diversos materiales de construcción de los edificios, como en este caso de estudio, presentaron diferentes valores de los índices medidos en cada una de las aulas.

5.2.1. Sensación Térmica (ST)

Durante aplicación del cuestionario, en dos días diferentes, los autores observaron el comportamiento de los alumnos donde el día 1, la $T_{a \text{ int}}$ oscilo entre 18°C-25°C, se mantuvieron las ventanas y puertas cerradas y el ventilador apagado. En el día 2, la $T_{a \text{ int}}$ registró 24°C-31°C, donde se mantuvieron puertas y ventanas abiertas y se prendió el ventilador en las aulas E-01 y F-11.

Además de los índices de T_a y HR, se registraron simultáneamente, además de la $T_{a \text{ int}}$ y HR_{int} , la Temperatura de globo negro y bulbo húmedo, así como la velocidad del aire (registrados en la Tabla 3). La ocupación de las aulas promedio en el aula E-01 fue de 17 alumnos sentados en la zona central del aula; en el E-08 de diez estudiantes los cuales seleccionaron la zona derecha frente al pizarrón y en el F-11, el promedio fue de 27 estudiantes ocupando los asientos de las diferentes zonas del aulas.



La gráfica de la figura 7 muestra los resultados de la ST obtenidos de la encuesta de satisfacción realizada a estudiantes en el período de transición frío-cálido, donde se utilizó una escala de 7 puntos de ASHRAE. El 35% de los estudiantes del aula E-01 respondió estar en una situación neutra *ni frío, ni calor*; el 23% con *algo de calor*;

el 18% con *calor* y 13% con *algo de frío*. En el aula E-08, el 50% de los ocupantes respondió *ni frío ni, de calor*; el 22% *algo de calor* y el 16% *algo de frío*. En el aula F-11, el 34% de los ocupantes respondió *ni frío, ni calor*; el 27% *algo de calor* y el 15% *algo de frío*. Se observó que ninguno eligió la situación ambiental *mucho frío*.

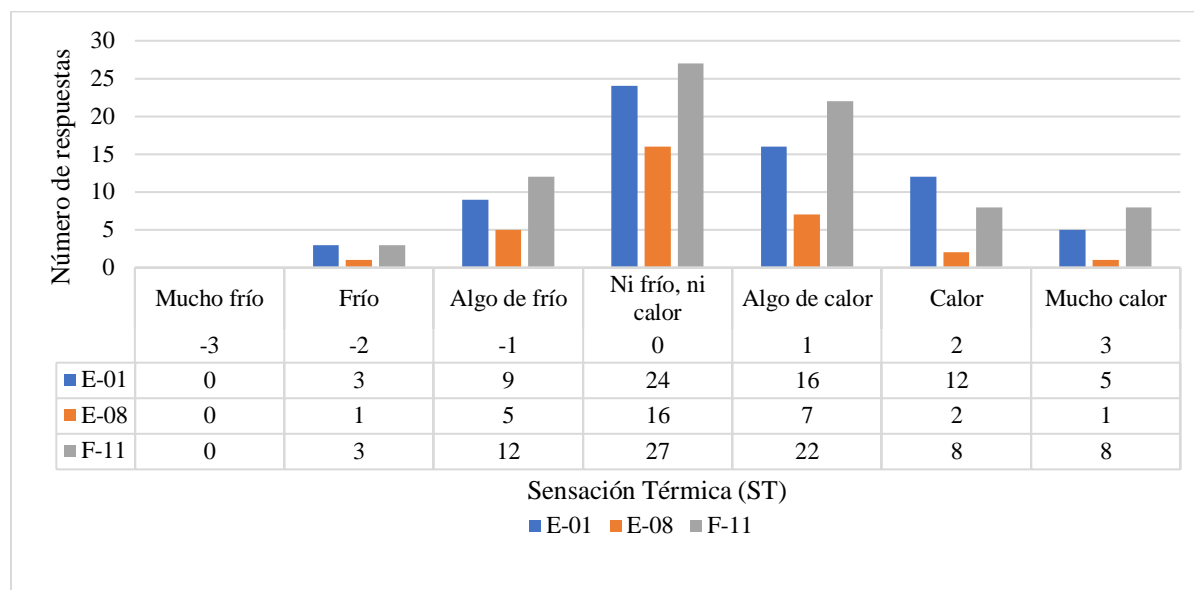


Figura 7. Resultados sensación térmica (ST) periodo frío-cálido (elaboración propia).

Del total de respuestas de sensación térmica, el mayor porcentaje fluctuó entre 35-50% correspondiendo a la situación *ni frío, ni calor*. Los resultados en las aulas oscilaron entre 1 y -1 en la escala de sensación térmica.

En la Tabla 6 se presentan los datos obtenidos del cálculo de PMV y PPD determinando un porcentaje inconformidad ambiental entre el 15.91 y el 24.06% .

Tabla 6. Resultados del calculo del PMV y PPD.

Dia	Aula	Tr	PMV	PPD%
4 abril 2022	E-01	20	-0.95	24.06
7 abril 2022	E-01	31	0.43	8.86
4 abril 2022	E-08	22	0.87	20.98
7 abril 2022	E-08	25	-0.35	7.55
4 abril 2022	F-11	21	0.27	6.51
7 abril 2022	F-11	33	0.72	15.91

Fuente: Aplicación en línea [Ergonautas](#).



Los resultados del análisis de varianza ANOVA y de coeficiente de Pearson permitieron determinar las diferencias entre las medias de las variables utilizadas en el periodo de transición frío-cálido.

En la Tabla 7, se observa que el valor estadístico r de Pearson correspondió a .299, encontrándose una correlación significativa positiva débil entre

ST y la Ta_{int} , además, existe una asociación negativa débil pero significativa entre el ST y la HR_{int} , $r = -.297$. El valor de $r = -.948$, es una correlación fuerte negativa entre la Ta_{int} y HR_{int} con significativa al nivel de 0.01 (bilateral), por lo que se puede afirmar con un 99% de confianza, que en el ámbito de estudio hay una correlación fuerte entre la variable Ta_{int} y la HR_{int} .

Tabla 7. Correlación de Pearson ST- Ta_{int} - HR_{int} periodo de transición frío-cálido

		Sensación Térmica (ST)	Temperatura del aire (Ta_{int})	Humedad Relativa (HR_{int})
Sensación Térmica	Correlación de Pearson	1	.299**	-.297**
	Sig. (bilateral)		.000	.000
	N	181	181	181
Temperatura del aire (Ta_{int})	Correlación de Pearson	.299**	1	-.948**
	Sig. (bilateral)	.000		.000
	N	181	181	181
Humedad Relativa (HR_{int})	Correlación de Pearson	-.297**	-.948**	1
	Sig. (bilateral)	.000	.000	
	N	181	181	181

** La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).
Fuente: Elaboración propia.

La figura 8 muestra el diagrama de dispersión de la ST, donde el valor estadístico r de Pearson resultó en una ecuación de regresión lineal para

ST en la forma de $y = 2.4429x + 49.914$, $R^2 = 0.0032$.

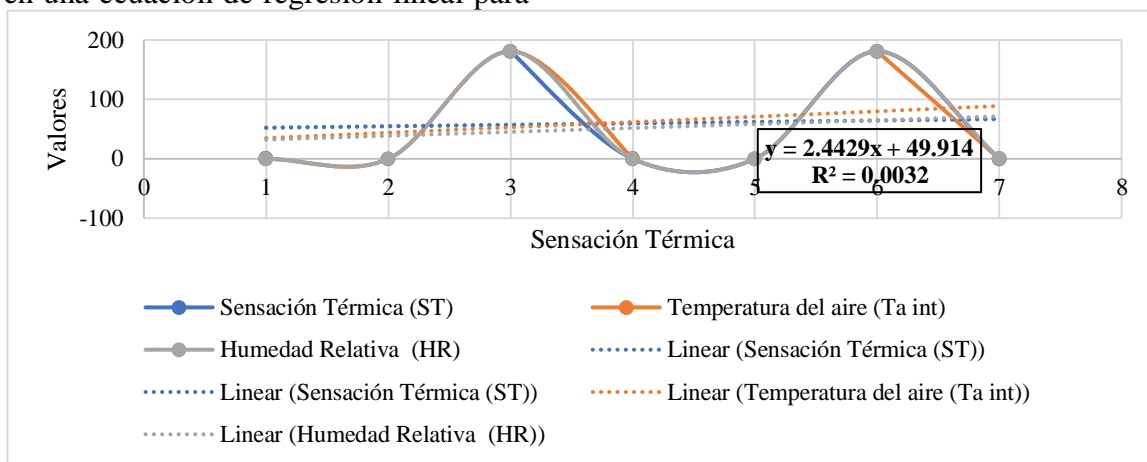


Figura 8. Correlación de Pearson ST- Ta_{int} - HR_{int} período de transición frío-cálido (elaboración propia).



5.2.2. Preferencia Térmica (PT)

La preferencia térmica (PT) se evaluó utilizando una escala de cinco puntos de Likert. La figura 9 resume los resultados de las respuestas de la PT de los estudiantes: en el aula E-01, el 52% preferían una situación térmica *mucho más fresca*; 26% *más fresco*; 13% *sin cambio*. En el

aula E-08, el 56% respondió *más fresco*; el 28% prefería *más cálido*; 16% *sin cambio*. En cuanto al aula F-11, el 65% prefirió *más fresco*; 13% *mucho más fresco* y 12% *más cálido*.

Se observó que la opción *mucho más cálido* no estuvo entre las preferencias de los alumnos en ninguna de las aulas.

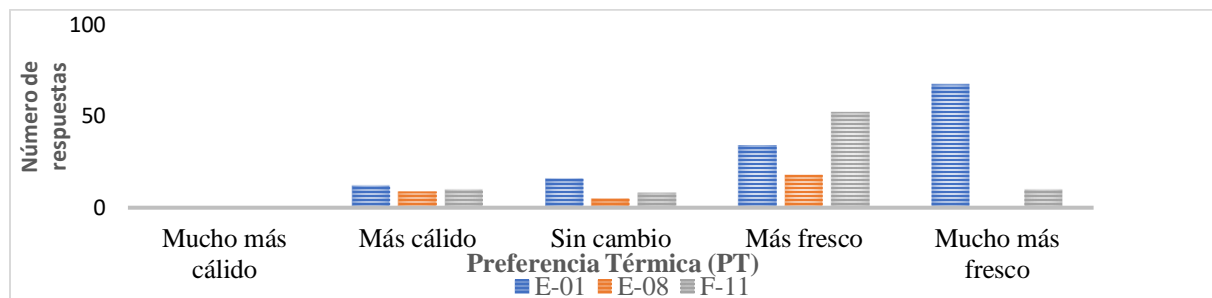


Figura 9. Resultados preferencia térmica (PT) periodo frío-cálido (elaboración propia).

En la Tabla 8, el valor estadístico r de Pearson es .274 entre PT y la Ta_{int} , encontrándose que es una correlación positiva débil significativa y un valor r -.221 entre PT y HR_{int} siendo una

asociación negativa débil significativa. También, se muestra el valor de r -.948, resultando una correlación fuerte negativa entre la Ta_{int} y HR_{int} con significativa al nivel de 0.01 (bilateral).

Tabla 8. Correlación de Pearson PT- Ta_{int} - HR_{int} periodo de transición frío-cálido

		Preferencia Térmica (PT)	Temperatura del aire (Ta_{int})	Humedad Relativa (HR_{int})
Preferencia Térmica (PT)	Correlación de Pearson	1	.274**	-.221**
	Sig. (bilateral)		.000	.003
	N	181	181	181
Temperatura del aire (Ta_{int})	Correlación de Pearson	.274**	1	-.948**
	Sig. (bilateral)	.000		.000
	N	181	181	181
Humedad Relativa (HR_{int})	Correlación de Pearson	-.221**	-.948**	1
	Sig. (bilateral)	.003	.000	
	N	181	181	181

** La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia.



En la figura 10 del gráfico de dispersión se establecen ecuaciones de regresión para TP en forma de $y=6.7168x + 31.897$ y $R^2=0.0367$.

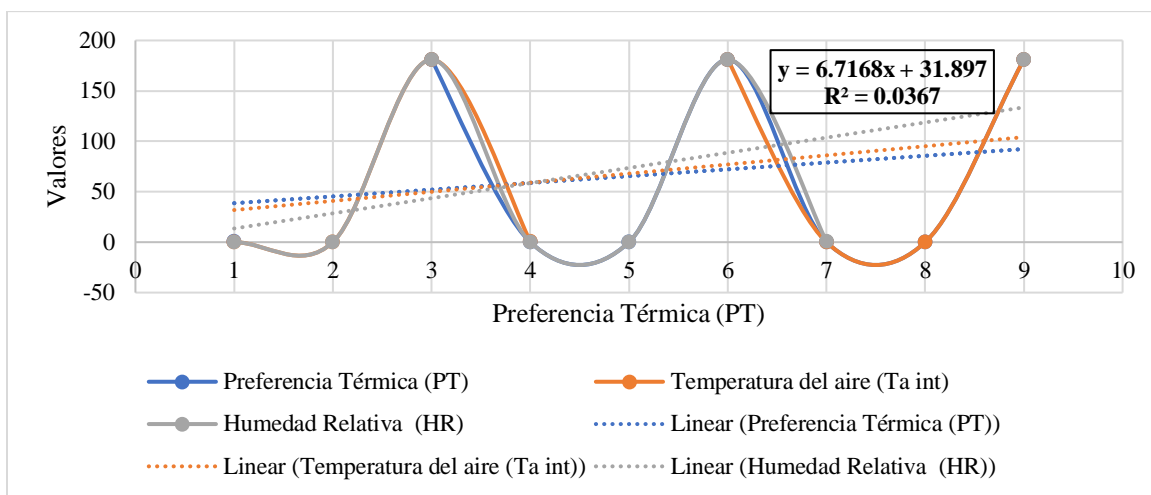


Figura 10. Correlación de Pearson PT- $T_{a\ int}$ - $HR_{\ int}$ período de transición frío-cálido (elaboración propia).

5.2.3. Tolerancia Térmica (TT)

Los resultados de las respuestas de TT se resumen en la figura 11, indicando que en el aula E-01 55% consideró *tolerable* la situación térmica; el 26% *ligeramente tolerable* y el 12% como *intolerable*. En el aula E-08, el 72% la

encontró *tolerable*; 16% *ligeramente tolerable* y 12% *intolerable*. En el aula F-11, el 58% de los usuarios se mostró *tolerante* ante las condiciones térmicas; el 16% respondió *levemente tolerable* y el 16% *intolerable* al TT.

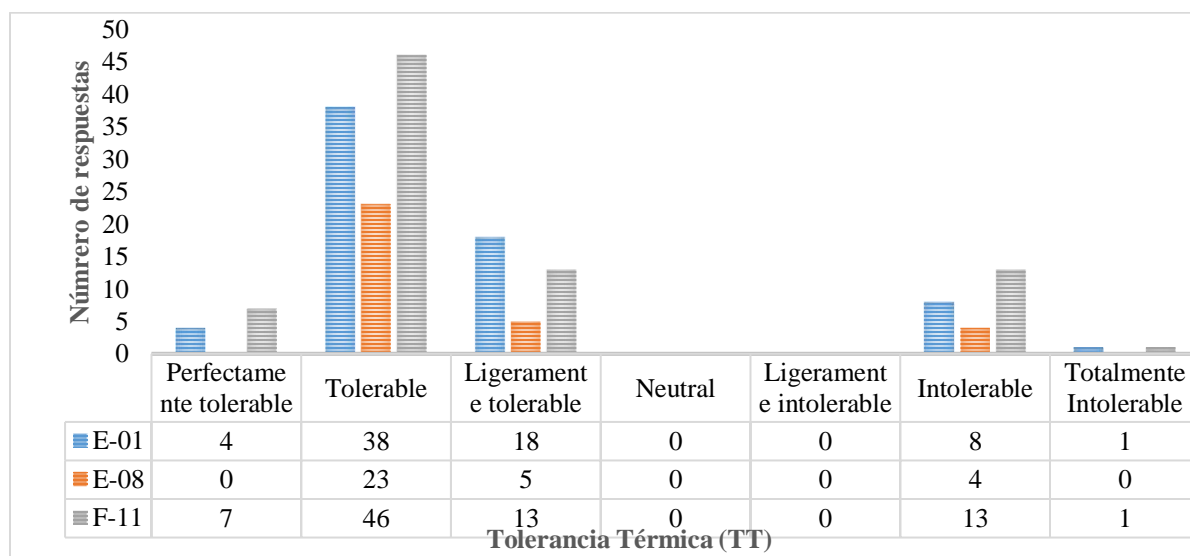


Figura 11. Resultados tolerancia térmica (TT) periodo frío-cálido (elaboración propia).



La tabla 9 de TT muestra que el valor estadístico de Pearson es .175; además, esta correlación es significativa. Por lo tanto, se puede afirmar con un 95% de confianza que existe una correlación

positiva *débil* entre las dimensiones TT y Ta_{int}. El coeficiente $r = -.182$ es una asociación significativa y una correlación negativa *débil* entre TT y HR.

Tabla 9. Correlación de Pearson TT- Ta_{int}-HR_{int} periodo de transición frío-cálido

		Tolerancia Térmica (TT)	Temperatura del aire (Ta int)	Humedad relativa (HR int)
Tolerancia Térmica (TT)	Correlación de Pearson	1	.175*	-.182*
	Sig. (bilateral)		.019	.014
	N	181	181	181
Temperatura del aire (Ta int)	Correlación de Pearson	.175*	1	-.948**
	Sig. (bilateral)	.019		.000
	N	181	181	181
Humedad relativa (HR int)	Correlación de Pearson	-.182*	-.948**	1
	Sig. (bilateral)	.014	.000	
	N	181	181	181

*. La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral).

**. La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia.

Las ecuaciones de regresión para TT, como determina el grafico de la figura 12, resultaron en la forma de $y = 6.7144 x + 31.898$, $R^2=0.0367$.

Además, $r = -.948$ es una correlación significativa al nivel 0.05 (bilateral). Existe una asociación fuerte negativa entre Ta_{int} y HR.

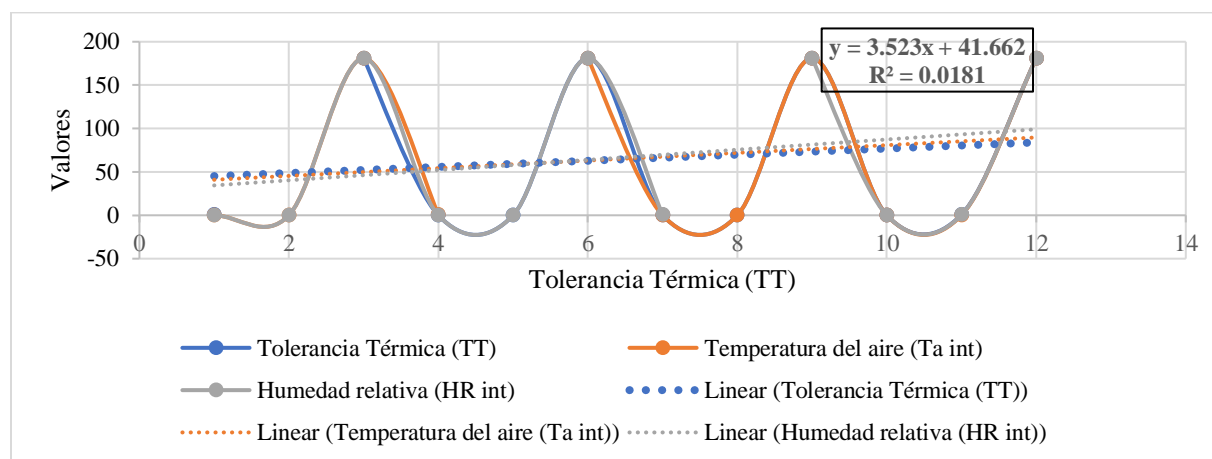


Figura 12. Correlación de Pearson TT- Ta_{int}-HR_{int} periodo de transición frío-cálido (elaboración propia).



5.3. Discusión confort térmico

Los resultados en esta investigación revelaron información importante sobre cómo los estudiantes perciben, prefieren y toleran las condiciones ambientales térmicas del aula para realizar sus actividades de aprendizaje durante las horas de clase.

Los valores de las encuestas aplicadas durante las clases presenciales mostraron que 50-66% de los estudiantes se encontraban en una situación de 24.06%, mientras que los porcentajes obtenidos de las respuestas de satisfacción correspondió entre el 5 y 19%. El día 2, el PPD fue 7.55 y 15.91% y los datos de la encuesta se elevaron excesivamente perteneciendo al 21 y 46%. Resumiendo, los valores obtenidos del cálculo

incomodidad. Este porcentaje fue consistente con las Zonas Adaptativas de Confort de ASHRAE, ya que los estudiantes sintieron el ambiente térmico *algo frío* cuando la temperatura estaba por debajo de los 19.7 °C y con *algo de calor* al incrementarse más de 27.7 °C.

Los porcentajes obtenidos del cálculo de PPD y los resultados de las encuestas son mostrados en la figura 13 de disconfort ambiental. El día 1 el PPD fue de 6.51 y

PPD fueron 15.91-24.06%, y de la encuesta 19-46 %. De acuerdo con la ISO 7730, para que las condiciones ambientales sean adecuadas el PMV debe estar entre -0.5 y 0.5, por lo tanto, la situación de las aulas es ambientalmente inadecuada.

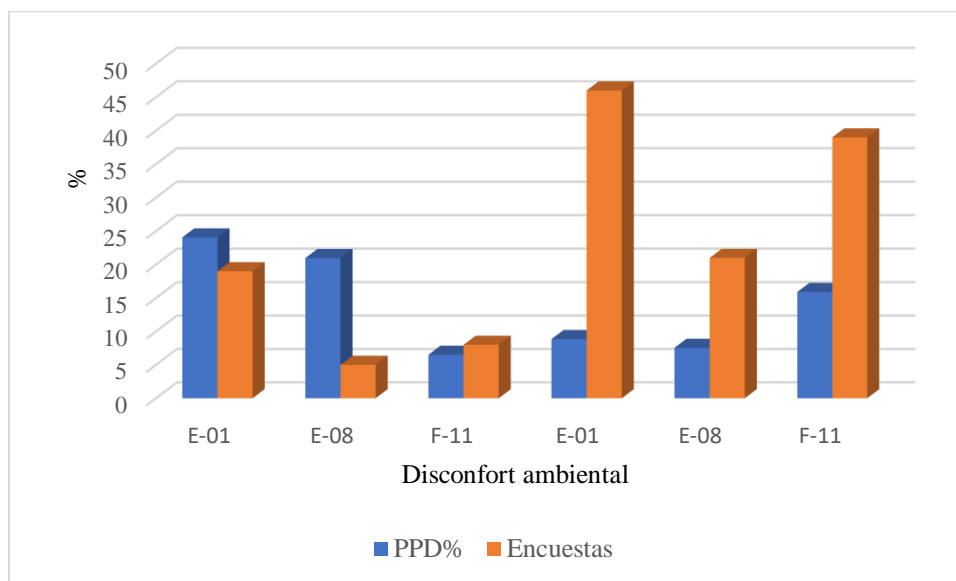


Figura 13. Resultados del cálculo PPD y respuestas de las encuestas de satisfacción (elaboración propia).

Se observó que la orientación y el sistema constructivo de los edificios influyeron considerablemente en la sensación térmica ambiental [14]. Al comparar los resultados de las tres aulas, los ocupantes del salón F-11 tuvieron el porcentaje más bajo de sensación neutra y

mostraron más sensibilidad cuando la temperatura aumenta que cuando disminuye.

Esta sensación térmica del aula F-11 podría deberse a la fachada sur acristalada que recibe 7 horas de radiación solar, dada la superficie de vidrio de piso a plafón en todo el muro, lo cual



podría causar la incomodidad térmica durante el horario de clase. También, podría influir que este ventanal no se puede abrir para permitir la circulación de aire directamente desde el exterior cuando los estudiantes permanecen tres horas consecutivas de clase.

La preferencia térmica en el aula F-11 resultó ser que 78% de los alumnos preferían temperaturas más bajas, correspondiendo el 65% a más fresco y 13% mucho más fresco. Esto puede deberse a que la temperatura exterior estuvo en un rango entre 28°C-31°C, superando en 3.3°C los rangos de confort. Además, debe considerarse que la ocupación fue la más alta, 20 alumnos promedio durante la aplicación del cuestionario. Esto pudiera ser un factor para considerar en las condiciones ambientales que difieren de las otras aulas.

Más del 50% de los encuestados consideró tolerable la situación térmica. El resultado podría corresponder a que el 48% de los estudiantes viven en zonas cercanas a la universidad y su adaptación al clima [18]. El resto del porcentaje se divide entre los que viven en zonas más cercanas al Océano Pacífico o nació en otra ciudad. Por lo tanto, las respuestas adaptativas de los ocupantes locales jugaron un papel significativo y positivo en el procedimiento para tolerar los parámetros ambientales interiores, a diferencia de los migrantes.

5.4. Resultados confort lumínico

En la figura 14 se muestran los resultados de las mediciones de luz natural que se llevaron a cabo los dos días de encuestas, considerando un horario 9:00 a.m. a 15:00 p.m. Los valores promedio obtenidos de la luz natural el 4 de abril, en horario de 9:00–11:00 a.m. resultaron ser para el aula E-01 de 158 lux, con un valor máximo de 243 lux; en el E-08 de 132 lux, con

De acuerdo con los resultados sobre la pregunta de opinión “¿Cuáles factores ambientales son los que más afectan en el desarrollo de sus actividades en el aula? El 45% de los estudiantes respondieron que el confort térmico.

Los resultados mostraron que abrir ventanas y puertas, así como usar el ventilador no es suficiente para cubrir las expectativas de los alumnos del ambiente térmico del aula ventilada naturalmente en la localidad de Valle de las Palmas.

Considerando que el periodo en que se realizó el estudio es de transición, donde las temperaturas no corresponden a las más bajas, ni las más altas de los periodos del año, se obtuvieron porcentajes de incomodidad ambiental en los alumnos para desarrollar sus actividades de aprendizaje.

Estudios similares argumentan que la orientación del edificio y al uso de los materiales influyen en la respuesta de los estudiantes [14]. Además de los parámetros climáticos debe considerarse también la adaptación de los estudiantes al ambiente térmico que depende del lugar de procedencia y sus expectativas [21], [43].

Todos estos factores ambientales deben considerarse en las estrategias de diseño para mejorar las condiciones térmicas de las aulas y el bienestar de los alumnos para que realicen sus actividades de aprendizaje de manera óptima.

un máximo de 154 lux y en el aula F-11 fue de 315 lux, con máximo de 362 lux. En el horario de la tarde, en el E-01 se obtuvieron 161 lux promedio con un valor máximo de 180 lux; en el E-08 fue de 270 lux y máximo de 276 lux; en el F-11 de 106 lux, máximo 102 lux.



Los valores promedio el 7 de abril, en horario de la mañana, resultaron ser en el aula E-01, 225 lux, con un valor máximo de 301 lux; en el E-08 de 142 lux, con un máximo de 173 lux y en el aula F-11 fue de 315 lux, con máximo de 374 lux. En el horario de la tarde, en el E-01 se obtuvieron 191 lux promedio con un valor máximo de 254 lux; en el E-08 fue de 264 lux y máximo de 293 lux; en el F-11 de 112 lux, máximo 188 lux. Se observó que los valores más altos, correspondían

a las mediciones registradas en puntos cercanos a las ventanas.

De acuerdo con las normas internacionales (ISO:2008) y mexicanas (INIFED 2011; NOM-025-STPS: 2008), casi el 90% de los valores de la luz natural se encuentran por debajo del mínimo requerido de 300 lux para aulas educativas.

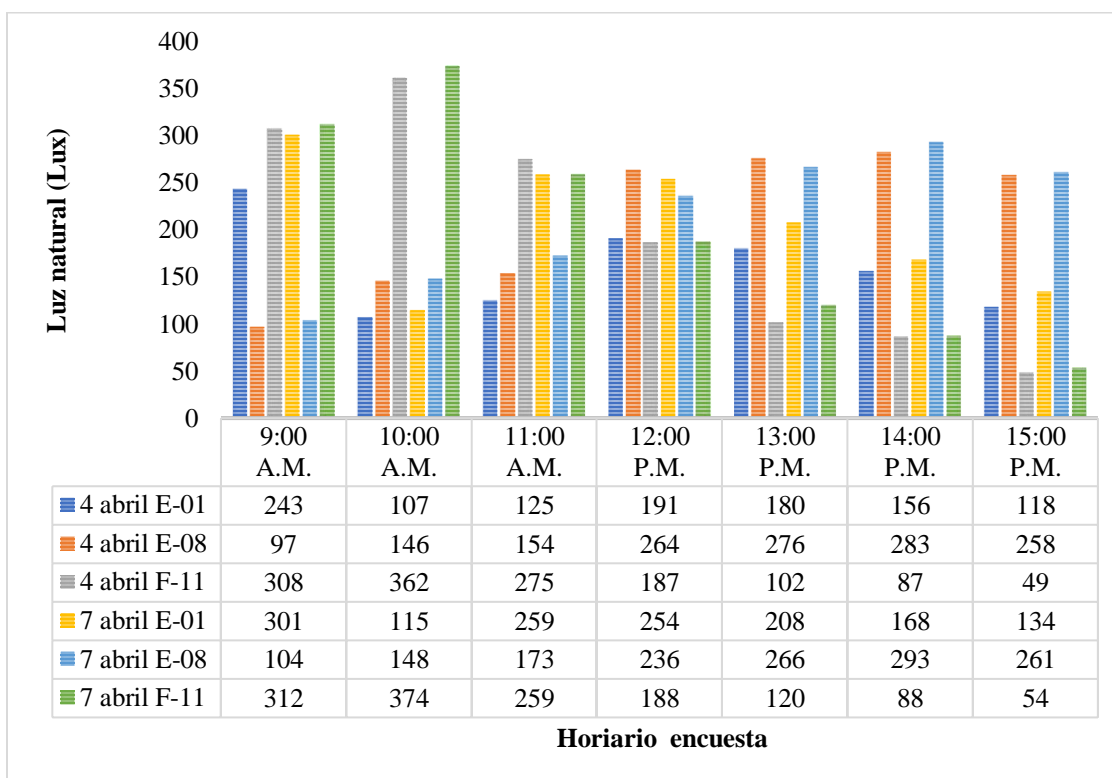


Figura 14. Resultados de iluminancia periodo de transición frío-cálido (elaboración propia).

5.4.1. Percepción Luz Natural (PLN)

La figura 15 resume los resultados de las respuestas de PLN, donde 30% de los estudiantes del aula E-01 perciben poca luz; 29% suficiente luz y 20% normal. El 38% de los alumnos del aula E-08 iluminada; 28% con poca luz y 22% con suficiente luz; y, el 39% de los encuestados

en el salón F-11 respondieron suficiente luz, 26% con iluminada, 15% con poca luz y 14% con mucha luz. En este caso, la respuesta poco oscuro y muy oscuro tuvo un tercio del total de las respuestas.

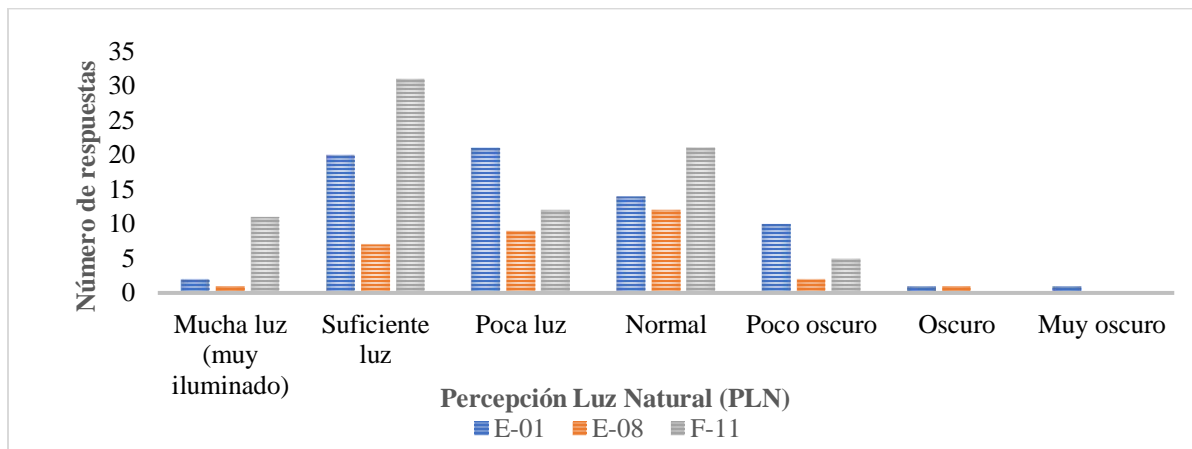


Figura 15. Resultados de percepción de luz natural (PLN) periodo de transición frío-cálido (elaboración propia).

5.4.2. Preferencia Lumínica (PL)

La figura 16 muestra el resultados de la (PL) de los encuestados, donde el 41% de los estudiantes en el aula E-01 respondieron *ningún cambio*; 39% *más iluminación* y 16% *mucho más iluminación*. En el salón E-08, el 53% de los

estudiantes seleccionó la situación *sin cambio*, y el 44% respondió *más luz*; en el salón F-11, el 49% de los usuarios prefirió *sin cambio*; 34% *más iluminación* y 14% *menos iluminación*. Más del 40 % de los estudiantes de las tres aulas prefirieron *sin cambio* en las condiciones de iluminación y más del 30 % *más iluminación*.

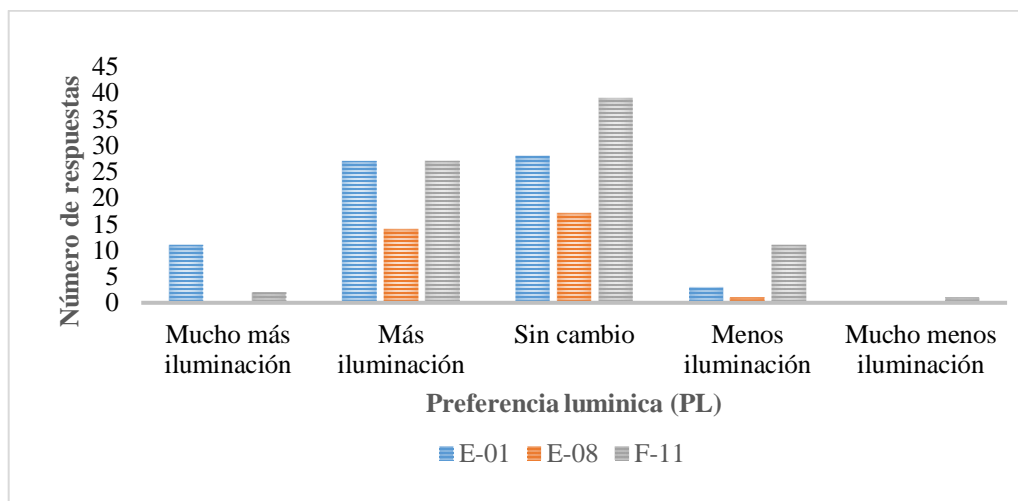


Figura 16. Resultados de preferencia lumínica periodo de transición frío-cálido (elaboración propia).

La Tabla 9 muestra que el coeficiente de Pearson es .136 y el valor de significancia bilateral es

0.01, lo cual es una correlación positiva muy débil entre las variables.



Tabla 9. Correlación de Pearson PL-NI periodo de transición frío-cálido

		Preferencia Lumínica (PL)	Nivel de Iluminancia (NI)
Preferencia Lumínica (PL)	Correlación de Pearson	1	.136
	Sig. (bilateral)		.068
	N	181	181
Nivel de Iluminancia (NI)	Correlación de Pearson	.136	1
	Sig. (bilateral)	.068	
	N	181	181

** La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico de la figura 17 se determina las ecuaciones de regresión para PL en la forma de $y = 16.94x + 8.2697$, $R^2 = 0.1085$.

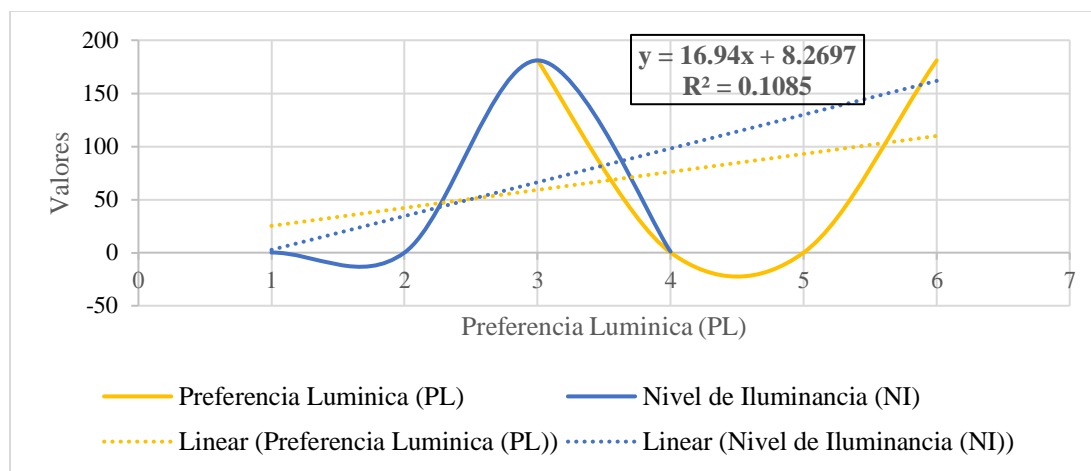


Figura 17. Correlación de Pearson PL-NI periodo transición frío- cálido.

5.4.3. Tolerancia Lumínica (TL)

Los resultados de la encuesta indicados en la figura 18 mostraron que el 66% de los estudiantes en el aula E-01 consideraron la situación *tolerable*; 16% respondió *poco tolerable*; y se obtuvo un 9% para cada una de las respuestas *intolerable* y *perfectamente tolerable*. El 81% de los alumnos del salón E-08 consideró la opción *tolerable*, el 16%

perfectamente tolerable y el 3% *poco tolerable*. En el aula F-11 el 63% respondió *tolerable* a la situación lumínica, 16% respondió *perfectamente tolerable*, y el 14% *poco tolerable*. Más del 67.4% de los estudiantes eligió *tolerable* las condición lumínica de las aulas.

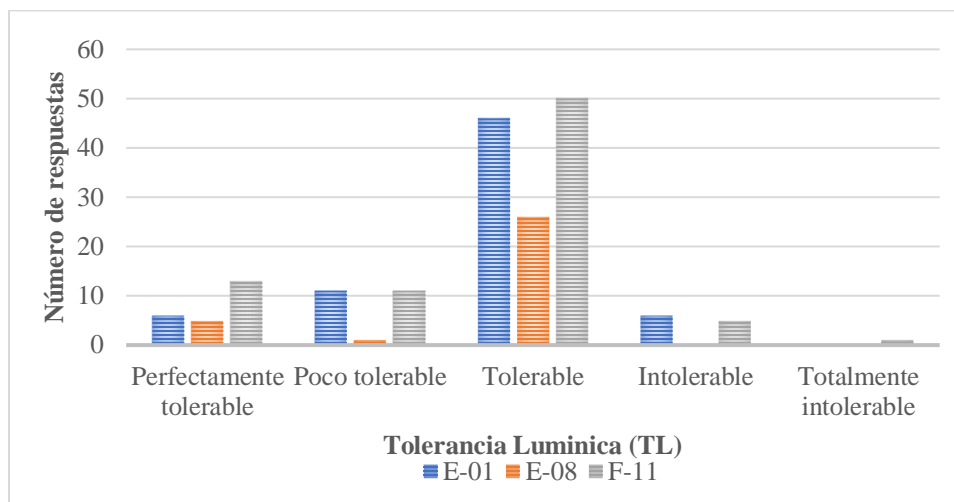


Figura 18. Tolerancia Lumínica (TL) periodo de transición frío-cálido (elaboración propia).

En la tabla 10 se observa que el coeficiente de correlación “r” de Pearson es -.124 es decir que existe una correlación negativa débil. Sin embargo, el valor de la significancia bilateral es

de .09 que es superior al 0.05 requerido para validar la asociación entre ambas variables por lo que se resume que no existe correlación entre las variables.

Tabla 10. Correlación de Pearson TL-NI periodo de transición frío-cálido.

		Tolerancia lumínica (TL)	Nivel Iluminancia (NI)
Tolerancia lumínica (TL)	Correlación de Pearson	1	-.124
	Sig. (bilateral)		.096
	N	181	181
Nivel luminancia (NI)	Correlación de Pearson	-.124	1
	Sig. (bilateral)	.096	
	N	181	181

Fuente: Elaboración propia

Además, el análisis no identificó diferencias estadísticamente significativas entre las variables PLN, PL o TL asociadas con el nivel de luz natural o variables higrotérmicas. En conclusión, no existe correlación entre estas variables.

5.5. Discusión confort lumínico

No obstante, que se seleccionaron dos días soleados para aplicar el cuestionario, las mediciones físicas registraron valores promedio de luz natural por debajo de los estándares en los nueve puntos de medición, 300 lux para aulas educativas. En aula E-08 se registraron más de 10,000 lux en puntos cercanos a las ventanas SO los cuales no fueron considerados por la



incidencia solar directa sobre el sensor. En un caso similar se obtuvieron más de 1500 Lux, lo que podría producir deslumbramiento y aumentar el malestar térmico debido a la alta radiación solar[6].

Según la percepción de más del 60% de los estudiantes, las aulas no cuentan con la iluminación de luz natural adecuada para llevar a cabo sus actividades de aprendizaje. Esto podría deberse al tipo de apertura y falta de tratamiento de ventanas que controlen la entrada de luz natural, así como a la orientación de la envolvente del edificio. Los resultados mostraron que 60% de alumnos que prefieren diferentes condiciones de iluminación a las existentes. Sin embargo, casi el 70% consideró tolerable la situación lumínica. Esto podría deberse a la edad de los estudiantes, entre 19-22 años, a la posibilidad de elegir donde sentarse, la movilidad dentro del aula y a que tienen la opción de tener el control de prender la luz eléctrica.

6. Conclusiones

En este estudio se evaluaron las condiciones ambientales térmicas y lumínicas en tres aulas universitarias de la UABC de Valles de las Palmas, Tijuana. Se obtuvieron 181 respuestas de los alumnos encuestados durante el horario de clase. Los resultados fueron comparados con las normas internacionales y nacionales.

Se observaron varios problemas relacionados con la incomodidad térmica y lumínica en las aulas durante el período de transición frío-calor, el cual presentó cambios climáticos drásticos.

La sensación térmica de los estudiantes se encontró entre -1 y +1 (algo de frío-algo de calor) a una temperatura mayor de 27.8°C, mostrando mayor sensibilidad térmica al aumentar la temperatura interior.

Los porcentajes del cálculo del PPD, de acuerdo con la norma ISO 7730, fueron distintos en los dos días de la aplicación de los cuestionarios debido a las condiciones ambientales de las aulas que variaron durante la investigación. Se encontró que los resultados de las encuestas de satisfacción difieren considerablemente en el día 2, donde se presentaron las temperaturas más altas, duplicando los porcentajes de insatisfacción del cálculo PPD. El día 1 el porcentaje fue menor en 3% que el de las encuestas.

Estas diferencias en la estimación pueden deberse a la no dependencia de sistemas de aire acondicionado y a la adaptación de los estudiantes al clima local, ajustando su vestimenta dependiendo de las condiciones térmicas del ambiente interior, a la orientación y uso de materiales de construcción en el edificio.

Las condiciones de iluminancia de las aulas no garantizan el nivel suficiente de luz natural en las aulas durante el periodo de transición frío-cálido ya que se registraron valores de luz natural por debajo del mínimo establecido por la normatividad de 300 lux en las tres orientaciones. En aulas con orientaciones SE y SO el exceso de penetración de luz directa causa falta de uniformidad, deslumbramiento y sobrecalentamiento en los asientos cercanos a las ventanas que dan al exterior.

Lo anterior ha provocado que se mantengan las cortinas cerradas en el aula F-11, lo que pudiera originar problemas visuales y privar a los estudiantes de la comunicación directa con el exterior. Además, se hace uso de la luz eléctrica durante todo el horario de clases, aun cuando los alumnos prefieren la luz natural para realizar sus tareas de educativas.

De los factores ambientales, los alumnos votaron al confort térmico con mayor impacto al momento de realizar su proceso de aprendizaje.



También, se concluye que existe una fuerte correlación negativa entre Ta_{int} y la HR_{int} , estableciéndose la ecuación de regresión para ST en la forma de $y=3.5013x+41.749$, además, se encontró una correlación positiva muy débil entre PL y NPL. Las ecuaciones de regresión para PL se establecieron como $y = 16.94x+8.2697$, $R^2=0.1085$. El análisis estadístico no identificó diferencias significativas entre las variables NPL, PL o TL asociadas a los niveles de iluminancia ni a las variables higrotérmicas, por lo que se determinó que no existe correlación entre estas variables. Con los datos obtenidos se cumplió el objetivo principal de evaluar las condiciones térmicas y lumínicas ambientales en aulas universitarias del FCITEC, permitiendo determinar que las condiciones ambientales presentan una situación ambientalmente inadecuadas para que los alumnos desarrollen sus actividades de aprendizaje de manera óptima.

La metodología de evaluación multicriterio aplicada en esta investigación se suma al enfoque holístico para estudio de la calidad ambiental en espacios educativos. La obtención de datos reales sobre las condiciones ambientales de las aulas puede ayudar a los profesionales de la arquitectura e ingeniería a establecer estrategias de diseño en términos de orientación, sistema constructivo y condiciones ambientales para nuevas edificaciones y mejoramiento de las ya existentes en Valle de las Palmas y otras localidades con las mismas características climáticas.

Para el edificio E y F del FCITEC, los autores recomiendan realizar estudios sobre un tratamiento eficaz en ventanas en todas las orientaciones, así como incluir otros factores ambientales como el acústico y la calidad del aire en diferentes periodos del año que permita conocer cuál es el impacto real en el aprovechamiento de los alumnos.

7. Reconocimiento:

Los autores agradecen el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) para la subvención otorgada para llevar a cabo esta investigación y de FCITEC para facilitar el acceso a las instalaciones.

8. Reconocimiento de autoría

María Teresa de la Cruz-Chaidez: Desarrollo y administración de la Investigación, Metodología, Análisis, Redacción. *José Francisco Armendáriz-López:* Dirección y coordinación de la investigación, Metodología, Redacción, Supervisión. *Francisco José Martín del Campo-Saray:* Dirección, Metodología, Análisis, Redacción. *Miguel Isaac Sahagún-Valenzuela:* Metodología, Redacción, Supervisión, Financiamiento. *Maria Cristina Castanón-Bautista:* Metodología. *Cármén García-Gómez:* Dirección, Metodología.



Referencias

- [1] Secretaría del Trabajo y Prevision Social, "Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008. Condiciones de iluminación en los centros de trabajo." pp. 1-13, 2008.
- [2] UNE 12464.1, "Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places." 2022.
- [3] P. Barrett, Zhang Yufan, Davies Fay, and Barrett Lucinda, "Clever Classrooms - Summary Report of the HEAD Project," Blackpool, Hampshire and the London Borough of Ealing., 2015. [Online]. Available: <http://usir.salford.ac.uk/35221/>.
- [4] S. S. Korsavi, A. Montazami, and D. Mumovic, "The impact of indoor environment quality (IEQ) on school children's overall comfort in the UK; a regression approach," *Build. Environ.*, vol. 185, no. June, p. 107309, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107309>
- [5] S. Vilcekova, et al., "Indoor environmental quality of classrooms and occupants ' comfort in a special education school in Slovak Republic," *Build. Environ.*, vol. 120, pp. 29-40, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.05.001>
- [6] E. L. Krüger and P. H. T. Zannin, "Acoustic, thermal and luminous comfort in classrooms," *Build. Environ.*, vol. 39, no. 9, pp. 1055-1063, 2004.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.01.030>
- [7] A. Merabtine, C. Maalouf, A. Al, W. Hawila, N. Martaj, and G. Polidori, "Building energy audit, thermal comfort, and IAQ assessment of a school building: A case study," *Build. Environ.*, pp. 1-33, 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.015>
- [8] P. Barrett, Y. Zhang, F. Davies, and L. Barrett, *Clever Classrooms - Summary Report of the HEAD Project*, no. February. 2015.
- [9] A. Sadick and M. H. Issa, "Assessing physical conditions of indoor space enclosing elements in schools in relation to their indoor environmental quality," *J. Build. Eng.*, vol. 20, no. August, pp. 520-530, 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.08.018>
- [10] ISO 7730:2005, "ISO 7730:2005. Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria." Suiza, p. 49, 2005.
- [11] S. Aghniaey et al., "Thermal comfort evaluation in campus classrooms during room temperature adjustment corresponding to demand response," *Build. Environ.*, vol. 148, pp. 488-497, Jan. 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.11.013>
- [12] R. De Dear, G. Brager, and D. Cooper, "Developing an adaptive model of thermal comfort and preference," *ASHRAE Trans.*, no. March, pp. 1-297, 1997, [Online]. Available: https://escholarship.org/uc/item/4qq2p9c6.pdf%5Cnhttp://escholarship.org/uc/item/4qq2p9c6.pdf%5Cnhttp://repositories.cdlib.org/cedr/cb/e/ieq/deDear1998_ThermComPref.



- [13] INIFED, "Normas y Especificaciones para Estudios Proyectos Construcción e Instalaciones," *Infraestruct. Educ. INIFED*, vol. 3, no. Tomo I. Diseño Arquitectónico, pp. 1-26, 2011, [Online]. Available: <https://www.gob.mx/inifed/acciones-y-programas/normatividad-tecnica>.
- [14] A. Anguita, J. Arco, and D. Hidalgo, "Estudio del confort térmico en las aulas de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación de la Universidad de Granada . Study of thermal comfort in the classrooms of the Technical School of Building Engineering of the University of Granada.," *An. Edif.*, vol. 4, pp. 55-64, 2018. <https://doi.org/10.20868/ade.2018.3853>
- [15] I. I. El-Darwish and R. A. El-Gendy, "Post occupancy evaluation of thermal comfort in higher educational buildings in a hot arid climate," *Alexandria Eng. J.*, vol. 57, no. 4, pp. 3167-3177, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.11.008>
- [16] M. Fabozzi and A. Dama, "Field study on thermal comfort in naturally ventilated and air-conditioned university classrooms," *Indoor Built Environ.*, vol. 29, no. 6, pp. 851-859, 2020. <https://doi.org/10.1177/1420326X19887481>
- [17] A. Jindal, "Thermal comfort study in naturally ventilated school classrooms in composite climate of India," *Build. Environ.*, vol. 142, no. May, pp. 34-46, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.05.051>
- [18] A. K. Mishra and M. Ramgopal, "A thermal comfort field study of naturally ventilated classrooms in," *Build. Environ.*, vol. 92, pp. 396-406, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.05.024>
- [19] S. P. Corgnati, R. Ansaldi, and M. Filippi, "Thermal comfort in Italian classrooms under free running conditions during mid seasons: Assessment through objective and subjective approaches," *Build. Environ.*, vol. 44, no. 4, pp. 785-792, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.05.023>
- [20] M. A. Nico, S. Liuzzi, and P. Stefanizzi, "Evaluation of thermal comfort in university classrooms through objective approach and subjective preference analysis," *Appl. Ergon.*, vol. 48, pp. 111-120, May 2015. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.11.013>
- [21] R. Yao, J. Liu, and B. Li, "Occupants' adaptive responses and perception of thermal environment in naturally conditioned university classrooms," *Appl. Energy*, vol. 87, no. 3, pp. 1015-1022, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.09.028>
- [22] S. Subhashini and K. Thirumaran, "A passive design solution to enhance thermal comfort in an educational building in the warm humid climatic zone of Madurai," *J. Build. Eng.*, vol. 18, pp. 395-407, Jul. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.04.014>
- [23] R. L. Hwang, T. P. Lin, and N. J. Kuo, "Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan," *Energy Build.*, vol. 38, pp. 53-62, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.05.001>
- [24] J. Liu, X. Yang, Q. Jiang, J. Qiu, and Y. Liu, "Occupants' thermal comfort and perceived air quality in natural ventilated



classrooms during cold days," *Build. Environ.*, vol. 158, no. May, pp. 73-82, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.05.011>

[25] C. Buratti, D. Palladino, and E. Moretti, "Prediction of Indoor Conditions and Thermal Comfort Using CFD Prediction of Indoor Conditions And Thermal Comfort Simulations: A Study Based on Experimental Data Simulations: A Case Study Based On," *Energy Procedia*, vol. 126, pp. 115-122, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.08.130>

[26] N. Giraldo, M. Longhinotti, F. O. R. Pereira, and A. Kuhnen, "Luminous and visual preferences of young children in their classrooms: Curtain use, artificial lighting and window views," *Build. Environ.*, vol. 152, no. September 2018, pp. 59-73, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.049>

[27] M. B. C. Aries, "Human Lighting Demands, healthy lighting in an office environment," *Tech. Univ. Eindhoven 2005*, no. 2005, p. 158, 2005. <http://dx.doi.org/10.6100/IR594257>.

[28] P. Barrett, F. Davies, Y. Zhang, and L. Barrett, "The impact of classroom design on pupils' learning: Final results of a holistic, multi-level analysis," *Build. Environ.*, vol. 89, pp. 118-133, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.013>

[29] R. E. Corvalán et al., "Iluminación y confort en las aulas y laboratorios de carreras técnicas de grado universitario," *Extensionismo, Innovación y Transf. Tecnológica*, vol. 2, no. June, pp. 98-105, 2015. <https://doi.org/10.30972/eitt.20292>

[30] A. A. Y. Freewan and J. A. Al Dalala, "Assessment of daylight performance of Advanced Daylighting Strategies in Large University Classrooms; Case Study Classrooms at JUST," *Alexandria Eng. J.*, vol. 59, no. 2, pp. 791-802, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2019.12.049>

[31] K. S. Galal, "The impact of classroom orientation on daylight and heat-gain performance in the Lebanese Coastal zone," *Alexandria Eng. J.*, vol. 58, no. 3, pp. 827-839, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2019.07.003>

[32] S. Secchi, F. Scurpi, L. Pierangioli, and M. Randazzo, "Retrofit strategies for the improvement of visual comfort and energy performance of classrooms with large windows exposed to East," *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 3144-3149, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.771>

[33] A. Michael and C. Heracleous, "Assessment of natural lighting performance and visual comfort of educational architecture in Southern Europe: The case of typical educational school premises in Cyprus," *Energy Build.*, vol. 140, pp. 443-457, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.087>

[34] P. Ricciardi and C. Buratti, "Environmental quality of university classrooms: Subjective and objective evaluation of the thermal, acoustic, and lighting comfort conditions," *Build. Environ.*, vol. 127, no. August 2017, pp. 23-36, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.10.030>

[35] Korsavi Sepideh S., Zomorodian Zahra Sadat, and M. Tahsildoost, "Visual comfort assessment of daylight and sunlit areas: A longitudinal field survey in classrooms in



Kashan, Iran," Energy Build., vol. 128, pp. 305-318, 2016.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.091>

[36] International Organization for Standardization, "Iso 7726:1998. Ergonomics of the thermal environment-Instruments for measuring physical quantities," Ergonomics, vol. 1998, 1998.

[37] C. Heracleous and A. Michael, "Experimental assessment of the impact of natural ventilation on indoor air quality and thermal comfort conditions of educational buildings in the Eastern Mediterranean region during the heating period," J. Build. Eng., 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100917>

[38] N.-025-S.-2008 Secretaria del Trabajo y Previsión Social, "NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.," 2008.

[39] I. Standard, "ISO 7726," Ergonomics, vol. 1998, 1998.

[40] J. A. Diego-Mas, "Evaluación del confort térmico con el método de Fanger." 2015.

[41] ISO 7730, "Moderate thermal environments: Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort," Management, vol. 2. p. 26, 1994.

[42] M. Ferrara, E. Sirombo, and E. Fabrizio, "Automated optimization for the integrated design process: the energy, thermal and visual comfort nexus," Energy Build., vol. 168, pp. 413-427, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.039>

[43] D. Yang and C. M. Mak, "Relationships between indoor environmental quality and environmental factors in university classrooms," Build. Environ., vol. 186, no. August, p. 107331, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107331>

Derechos de Autor (c) 2022 Maria Teresa de la Cruz Chaidez, José Francisco Armendariz López, Francisco José Martín del Campo Saray, Miguel Isaac Sahagún Valenzuela, María Cristina Castañón Bautista, Carmen García Gómez



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)