



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA ARQUITECTURA Y DISEÑO
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
MAESTRÍA Y DOCTORADO
EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO

**EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES TÉRMICAS Y LUMÍNICA EN
AULAS DE NIVEL SUPERIOR. CASO DE ESTUDIO: UABC VALLE DE
LAS PALMAS, TIJUANA, B. C.**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO
DE DOCTOR EN ARQUITECTURA PRESENTA

MARÍA TERESA DE LA CRUZ CHAIDEZ

Correo electrónico UABC: teresa.delacruz@uabc.edu.mx

Correo personal: arqteredelacruz@gmail.com

Identificador ORCID: 0000-0002-4703-8626

Director de tesis: Dr. José Francisco Armendáriz López

Identificador ORCID: 0000-0001-6705-4028

Codirector de tesis: Dr. Francisco José Martín del Campo Saray

Identificador ORCID: 0000-0001-7211-5366

Código QR vinculado al repositorio virtual del PMyDAUD

Tijuana, B. C., diciembre de 2022



FAD
Facultad de
Arquitectura
y Diseño



ECITEC
Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología
Universidad Valle de las Palmas

MYDAUD
MAESTRÍA Y DOCTORADO
EN ARQUITECTURA,
URBANISMO Y DISEÑO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA ARQUITECTURA Y DISEÑO
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
MAESTRÍA Y DOCTORADO
EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO

**EVALUACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO Y LUMÍNICO EN AULAS DE
NIVEL SUPERIOR. CASO DE ESTUDIO: UABC VALLE DE LAS
PALMAS, TIJUANA, B. C.**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO
DE DOCTOR EN ARQUITECTURA PRESENTA

MARÍA TERESA DE LA CRUZ CHAIDEZ

Correo electrónico UABC: teresa.delacruz@uabc.edu.mx

Correo personal: arqteredelacruz@gmail.com

Identificador ORCID: 0000-0002-4703-8626

Director de tesis: Dr. José Francisco Armendáriz López

Identificador ORCID: 0000-0001-6705-4028

Codirector de tesis: Dr. Francisco José Martín del Campo Saray

Identificador ORCID: 0000-0001-7211-5366

Revisor de tesis: Dra. María Cristina Castañón

Revisor de tesis: Dra. Carmen García Gómez

Revisor de tesis: Dr. Miguel Isaac Sahagún Valenzuela

Tijuana, B. C., diciembre de 2022

Contenido

Índice General

Índice General	3
Índice de Figuras	4
Resumen	11
Abstract	12
1. Introducción	14
1.1. Planteamiento del problema	15
1.2. Justificación y uso de los resultados	18
1.3. Pregunta de investigación	20
1.4. Objetivos	20
Objetivo general	20
Objetivos específicos.....	21
1.5. Alcances y limitaciones	21
2.1. Marco Conceptual	23
2.1.1. Confort térmico	23
2.1.2. Confort lumínico	26
2.2. Estado del Arte	27
2.2.1. Confort térmico	27
2.2.2. Confort lumínico	36
2.3. Marco Teórico	40
2.3.1. Confort Térmico.....	40
2.3.2. Confort lumínico	60
3. Metodología	71
3.1. Enfoque de estudio	71
3.2. Marco operativo	73
3.2.1. Definición de variables.....	73
3.2.1.Variable dependiente confort ambiental.....	74

3.2.2. Variable independiente diseño arquitectónico.....	75
3.3. Estrategia de verificación.....	76
3.3.1. Descripción del caso de estudio	76
3.3.2. Definición de la Unidad de Análisis.....	78
3.3.3. Técnicas para la recolección de datos	85
3.3.4. Instrumentos de medición para la recolección de datos ambientales.....	87
3.3.5. Aplicación de las herramientas de medición	96
3.3.6. Muestra y tamaño de la muestra.....	101
3.3.7. Procesamiento, análisis de datos	102
4. Resultados	111
4.1. Resultados de la medición de los elementos de diseño	111
4.2. Resultados de las mediciones de campo.....	113
4.3. Resultados encuesta C-1.....	120
4.3.1. Ambiente Higrotérmico	124
4.4. Resultados del periodo de transición frío-cálido.....	130
4.4.1. Resultado de mediciones de campo periodo de transición frío-cálido	130
4.4.2. Resultado encuestas periodo de transición frío-cálido	133
5. Conclusiones	160
6. Anexos	163
7. Bibliografía.....	178

Índice de Figuras

Figura 1	41
----------------	----

<i>Aspectos que influyen en la sensación y percepción térmica</i>	41
Figura 2	43
<i>Modelo de termorregulación</i>	43
Figura 3	45
<i>Factores que intervienen en el balance térmico</i>	45
Figura 4	48
<i>Parámetros físicos del ambiente térmico</i>	48
Figura 5	51
<i>Relaciones del PMV (voto de confort)</i>	51
Figura 6	53
<i>Bases del sustento del Modelo Adaptativo</i>	53
Figura 7	62
<i>Procesos controlados por la luz natural</i>	62
Figura 8	73
<i>Proceso metodológico</i>	73
Figura 9	77
<i>Campus universitario UABC, en Valle de las Palmas</i>	77
Figura 10	79
<i>Localización de los edificios “E” y “F” dentro del conjunto FCITEC</i>	79
Figura 11	80
<i>Envoltorio de los edificios “E” y “F” del FCITEC</i>	80
Figura 12	81
<i>Planta arquitectónica aula prototipo</i>	81
Figura 13	82
<i>Características físicas del aula E-01 del Edificio “E”</i>	82
Figura 14	83
<i>Características físicas del aula E-08 del Edificio “E”</i>	83

Figura 15	84
<i>Características físicas del aula F-11 del Edificio "F"</i>	<i>84</i>
Figura 16	92
<i>Instrumento de investigación encuesta del confort ambiental C-1</i>	<i>92</i>
Figura 17	98
<i>Croquis de ubicación puntos de medición de indicadores higrotérmicos</i>	<i>98</i>
Figura 18	99
<i>Ubicación de los instrumentos de medición higrotérmicos en aula E-08 del Edificio E ..</i>	<i>99</i>
Figura 19	100
<i>Croquis de ubicación de los puntos de medición para luz natural.....</i>	<i>100</i>
Figura 18	110
<i>Captura de la realización de correlaciones en el Programa SPSS 21.....</i>	<i>110</i>
Figura 19	115
<i>Resultado de los valores promedio de $T_{a\ int}$ y T_{ext} en los periodos del año.....</i>	<i>115</i>
Figura 20	116
<i>Resultado de los valores promedio de HR interior y exterior en los periodos del año..</i>	<i>116</i>
Figura 21	116
<i>Resultado de los valores promedio de luz natural en los periodos del año</i>	<i>116</i>
Figura 22	117
<i>Valores de luz natural en el centro del aula día soleado periodo de transición frío-cálido</i>	<i>117</i>
Figura 22	118
<i>Comportamiento de la penetración de luz natural periodo de transición frío-cálido....</i>	<i>118</i>
Figura 23	120
<i>Resultados C-1 Género periodos frío y cálido.....</i>	<i>120</i>
Figura 24	121
<i>Resultados C-1 Peso periodos frío y cálido</i>	<i>121</i>

Figura 25	121
<i>Resultados C-1 Estatura periodos frio y cálido</i>	121
Figura 26	122
<i>Resultados C-1 Edad periodos frio y cálido</i>	122
Figura 27	122
<i>Resultados C-1 Ciudad de origen periodos frio y cálido</i>	122
Figura 28	123
<i>Resultados C-1 Ciudad de origen periodos frio y cálido</i>	123
Figura 29	123
<i>Resultados C-1 Tipo de vestimenta periodo cálido</i>	123
Figura 30	124
<i>Resultados C-1 Tipo de vestimenta periodo frio</i>	124
Figura 31	125
<i>Resultados C-1 Sensación de Temperatura (ST) periodo cálido</i>	125
Figura 32	125
<i>Resultados C-1 Sensación de Temperatura (ST) periodo frio</i>	125
Figura 33	127
<i>Resultado C-1 Correlación entre ST-SH-SV-SR periodo cálido y frio</i>	127
Figura 34	127
<i>Resultados C-1 Preferencia de Temperatura (PT) periodo cálido</i>	127
Figura 35	128
<i>Resultados C-1 Preferencia de Temperatura (PT) periodo frio</i>	128
Figura 36	129
<i>Resultado C-1 Correlación entre ST-PH-PV-PR periodo cálido y frio</i>	129
Figura 37	132
<i>Correlación entre Ta int y el Icl periodo de transición frio-cálido</i>	132
Figura 38	133

<i>Resultados género periodo de transición frío-cálido</i>	133
Figura 39	134
<i>Resultados rangos de peso periodo de transición frío-cálido</i>	134
Figura 40	135
<i>Rangos de estatura periodo de transición frío-cálido</i>	135
Figura 41	135
<i>Rangos de edad periodo de transición frío-cálido</i>	135
Figura 42	136
<i>Ciudad de origen periodo de transición frío-cálido</i>	136
Figura 43	136
<i>Tiempo de cursar clases en FCITEC periodo de transición frío-cálido</i>	136
Figura 44	137
<i>Tipo de vestimenta periodo de transición frío-cálido</i>	137
Figura 45	137
<i>Sistema de ventilacion periodo de transicion frio-calido</i>	137
Figura 46	138
<i>Respuestas por edificio-aula periodo de transicion frio-calido</i>	138
Figura 47	139
<i>Ubicación del alumno dentro del aula periodo de transición frío-cálido</i>	139
Figura 48	140
<i>Sensacion Térmica (ST) periodo de transición frío-cálido</i>	140
Figura 49	141
<i>Sensacion de Humedad (SH) periodo de transición frio-cálido</i>	141
Figura 50	142
<i>Sensacion Radiacion (SR) periodo de transición frio-cálido</i>	142
Figura 51	143
<i>Condiciones Térmicas periodo de transición frio-cálido</i>	143

Figura 52.....	145
<i>Correlación de Pearson ST-Ta_{int}-HR período de transición frío-cálido</i>	<i>145</i>
Figura 53.....	145
<i>Preferencia Térmica (PT) periodo transición frío-cálido</i>	<i>145</i>
Figura 54.....	147
<i>Correlación de Pearson PT-Ta_{int}-HR período de transición frío-cálido.....</i>	<i>147</i>
Figura 55.....	147
<i>Tolerancia Térmica (TT) periodo transición frío- cálido.....</i>	<i>148</i>
Figura 56.....	149
<i>Correlación de Pearson TT PT-Ta_{int}-HR periodo transición frío- cálido</i>	<i>149</i>
Figura 57.....	152
<i>Resultados Iluminancia periodo transición frío-cálido</i>	<i>152</i>
Figura 58.....	153
<i>Percepcion Luz Natural (PLN) periodo transición frío- cálido.....</i>	<i>153</i>
Figura 59.....	153
<i>Percepcion Luz Natural (PLN) periodo transición frío- cálido.....</i>	<i>153</i>
Figura 60.....	154
<i>Causa de deslumbramiento periodo transición frío-cálido.....</i>	<i>154</i>
Figura 61 <i>Preferencia Luminica (PL) periodo transición frío- cálido</i>	<i>155</i>
Figura 62.....	156
<i>Correlación de Pearson PL-NI periodo transición frío- cálido.....</i>	<i>156</i>
Figura 63.....	156
<i>Preferencia del tipo de iluminación periodo de transición frío-cálido.....</i>	<i>156</i>
Figura 64.....	157
<i>Tolerancia Lumínica (TL) periodo de transición frío-cálido.....</i>	<i>157</i>
<i>Índice de Tablas</i>	
Tabla 1	31

<i>Estado del Arte del confort térmico</i>	31
Tabla 2	39
<i>Estado del Arte confort lumínico</i>	39
Tabla 3	44
<i>Tasa Metabólica típica para actividades educativas</i>	44
Tabla 4	47
<i>Valores de Aislamiento para conjuntos de ropa típica</i>	47
Tabla 5	59
<i>Preguntas base para determinar la sensación y ambiente térmico</i>	59
Tabla 6	74
<i>Variable dependiente confort ambiental</i>	74
Tabla 7	75
<i>Proceso de operalización confort térmico</i>	75
Tabla 8	75
<i>Proceso de operalización confort lumínico</i>	75
Tabla 9	76
<i>Variable independiente diseño arquitectónico</i>	76
Tabla 10	86
<i>Técnicas e instrumentos para recolección de datos</i>	86
Tabla 11	88
<i>Instrumentos de medición confort térmico</i>	88
Tabla 12	89
<i>Instrumentos para la recolección de datos del confort lumínico</i>	89
Tabla 13	97
<i>Periodos de las mediciones de campo</i>	97
Tabla 14	103
<i>Número de registros de los instrumentos de medición</i>	103

Tabla 15	104
<i>FR-1 Formato para las características físicas de las aulas</i>	104
Tabla 16	105
<i>FR-2 Formato para registro de datos de Ta y HR interior</i>	105
Tabla 17	106
<i>FR-3 para registro de temperatura y humedad relativa exterior</i>	106
Tabla 18	107
<i>FR-4 Formato para el registro de iluminancia</i>	107
Tabla 19	108
<i>Formato de registro FR-2 de mediciones higrotérmicas y lumínicas</i>	108
Tabla 20	109
<i>Formato de registro FR-6 resumen de resultados de los parámetros medidos</i>	109
Tabla 21	113
<i>Resultados medición elementos físicos de las aulas</i>	113
Tabla 22	114
<i>Resumen de los datos ambientales para el confort térmico y lumínico</i>	114
Tabla 23	131
<i>Resultados de mediciones de variables periodo de transición frio-cálido</i>	131
Tabla 24	144
<i>Correlación Sensación Térmica (ST) periodo frio-cálido</i>	144

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 ambiental 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 NOM-025-STPS: 2008; UNE 12464.1, 2022). 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 Adaptive Comfort Zones. Daylight values were below the minimum required of 300 Lux for educational classrooms specificity in (Secretaría del Trabajo y Previsión Social 2008; UNE 12464.1 2022) 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

Las condiciones ambientales de un espacio interior determinan la comodidad o incomodidad para que el ser humano desarrolle sus actividades de forma adecuada. Se ha comprobado en espacios educativos que el ambiente térmico y el lumínico tienen gran impacto en la salud, bienestar y aprendizaje de los alumnos (Barrett, et al. 2015).

El diseño de los edificios educativos debe cumplir el propósito de dotar a los estudiantes con espacios acondicionados ambientales confortables. Durante el proceso de proyecto se establecen las estrategias para lograrlo cumpliendo con la normatividad internacional y mexicana competente. No obstante, se ha detectado insatisfacción en los alumnos dentro de las aulas. Por ello, es importante evaluar las condiciones ambientales una vez habitadas para verificar que las estrategias y criterios aplicados proporcionan el confort ambiental para que los estudiantes mantengan la concentración y atención durante su proceso de aprendizaje (Sadick and Issa 2018).

Este documento contiene la investigación que se llevó a cabo tomando como muestra la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Campus Valle de las Palmas, ubicada al este de la ciudad de Tijuana. Tiene como objetivo evaluar las condiciones ambientales térmicas y lumínicas de aulas de nivel superior, para después comparar los resultados de satisfacción ambiental de los estudiantes.

Para ello, se realizó un estudio de campo mediante mediciones y registros de las condiciones físicas y ambientales de los espacios, apoyado de instrumentos de investigación aplicados a los alumnos.

El desarrollo de este estudio se presenta en cinco capítulos. El primero, incluye la introducción, planteamiento del problema, justificación y usos del resultado, pregunta de investigación, objetivos, alcances y limitaciones. El segundo, presenta los antecedentes que contienen el marco conceptual, estado del arte y el marco teórico con dos apartados: confort térmico y confort lumínico.

En el capítulo tercero se establece la metodología que incluye el marco operativo, la estrategia de verificación que incluye la elección del caso de estudio, la definición de la unidad de análisis, el proceso metodológico, las técnicas e instrumentos para la recolección de datos; la aplicación de las herramientas de medición y el estudio correlacional que determina la muestra y el tamaño de la muestra, así como el procesamiento y análisis de datos. En el capítulo cuarto se presentan resultados; el capítulo quinto se refiere a las conclusiones de la investigación y el último apartado del documento presenta la bibliografía.

El desarrollo de esta investigación se realizó durante la pandemia COVID19, lo que llevó a replantear la metodología diseñada para el estudio. Se determinó realizar las mediciones de campo en aulas desocupadas y aplicar el cuestionario vía internet, debido a la suspensión de las clases presenciales por la contingencia sanitaria. Posteriormente, una vez reiniciadas las clases presenciales se realizó el estudio en aulas ocupadas.

Esta práctica permitió, como parte de los resultados, considerar un estudio exploratorio sobre la pertinencia del uso de cuestionarios a distancia, basados en la memoria de los alumnos de “*como recordaban las condiciones ambientales dentro del aula*”, después de casi dos años sin asistir a clases presenciales. Esto puede servir de apoyo para realizar investigaciones donde se presenten las mismas circunstancias de este estudio referente a la pandemia COVID19.

1.1. Planteamiento del problema

El confort ambiental térmico y lumínico son factores que deben considerarse dentro de las estrategias del diseño, desde el inicio del proyecto, para que el edificio responda a la aceptabilidad y preferencias de comodidad de los usuarios.

Esta consideración se vuelve más relevante cuando se aplica a edificios escolares, que pertenecen a una categoría con alto nivel de confort ambiental (Bakó-Biró, 2011) debido a que los requerimientos y necesidades de estudiantes, que pasan un promedio de 8 horas en las aulas, deben ser satisfechos por medio de ambientes confortables para mejorar su desempeño en cuanto a concentración, atención y aprendizaje (Nico, 2015).

Las escuelas son edificios diseñados con el objetivo principal de proporcionar espacios acondicionados ambientalmente para que se realicen las actividades de aprendizaje de manera óptima. En estudios previos se ha detectado que la ausencia de confort térmico y lumínico dentro de las aulas puede influir en gran medida en la capacidad de aprendizaje, salud y bienestar de los estudiantes (Barrett, 2015).

Al 2022, los investigadores han obtenido resultados que muestran altos niveles de insatisfacción entre los estudiantes con respecto al confort ambiental dentro de las aulas (Mishra, 2017). Una vez construidas y ocupadas las escuelas se da por hecho que funciona adecuadamente, ya que fueron diseñadas bajo la normatividad, hasta que se manifiesta la incomodidad o el bajo rendimiento académicos de los estudiantes. En México, es una práctica poco común evaluar las condiciones de las aulas respecto al confort de los alumnos.

Esto ha sido una constante en los países en desarrollo, donde el aprovechamiento de los alumnos no es el esperado. 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. 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 (SEP 2017:12).

Investigaciones realizadas en diferentes países para evaluar confort ambiental en espacios educativos universitarios, se han enfocado principalmente en el confort térmico, aun cuando se ha comprobado que factores ambientales como el lumínico, acústico y calidad del aire, entre los más mencionados, forman parte integral del confort ambiental de los alumnos para realizar adecuadamente sus tareas de aprendizaje (Barret, 2015).

El estudio de la relación confort-ambiente interior es planteado por Hernández Vázquez (2010) por medio del concepto de habitabilidad educativa de las escuelas, en donde establece como espacios habitables todas las instalaciones donde se desarrollan las actividades educativas y el estado físico en que se encuentran. El documento propone desarrollar indicadores que permitan conocer las condiciones ambientales de las escuelas requeridas para que se den adecuadamente los procesos de aprendizaje.

En el caso de Suescún (2012) realizó una investigación sobre la calidad del confort ambiental en edificios educativos, teniendo como resultado productos de informes para gobierno que han servido para elaborar planes maestros, estableciendo nuevos lineamientos para la construcción y mejoramiento de las escuelas, optimizando el confort ambiental de manera sustentable.

También, se realizan consideraciones para que, en los nuevos edificios, se tomen en cuenta, desde su diseño arquitectónico y constructivo, las dimensiones espaciales del aula, para la ventilación y aprovechamiento de la luz natural (relación ventana- pared) y las propiedades de los materiales de construcción del edificio. Además, deben tomarse en cuenta los elementos naturales que puedan aprovecharse para proporcionar la iluminación y ventilación natural, que puedan reducir los costos de energía del edificio educativo (De Abru-Harbich, 2018).

En la revisión de literatura, se observó que los estudios de confort ambiental interior son titulados de esa manera independientemente si analiza uno o más factores ambientales o solo una de sus variables.

Para determinar el confort térmico de los ocupantes, los investigadores han utilizado las normas internacionales como la ISO 7730, EN15251 y ASHRAE Standard 55, que pueden

aplicarse al diseño de los espacios educativos, proporcionando índices de confort dentro de las aulas. Sin embargo, estudios previos, al verificar los resultados, han señalado diferencias entre las disposiciones de las normas antes mencionadas y la satisfacción de los alumnos (Mishra, 2017).

La Norma Mexicana Edificación Sustentable - Criterios y Requerimientos Ambientales Mínimos NMX-AA-164-SCFI, 2013, define la calidad del ambiente interior como “bienestar o confort para lograr una calidad en el conjunto de factores ergonómicos relativos al ambiente térmico, ambiente acústico, ambiente luminoso y al aire interior” (NMX-AA-164-SCFI-2013 Secretaría de Economía, 2013, pág. 11). Estos factores condicionan el espacio interior en cuanto al diseño de elementos que serán utilizados en la definición del espacio arquitectónico.

La construcción de escuelas en la ciudad de Tijuana se rige por la normatividad federal que establece la Secretaría de Educación Pública (INIFED) y la local en el Reglamento de Edificación para el Municipio de Tijuana, Baja California, que determinan los lineamientos para el diseño arquitectónico de los edificios educativos para los elementos naturales y artificiales, como son: orientación, temperatura, viento, dimensiones del aula, aberturas de ventanas y puertas, encaminados a proporcionar ambientes confortables óptimos desde el punto de vista térmico, lumínico, acústico y de la calidad del aire.

La normatividad maneja los mínimos requeridos para considerar un espacio habitable, sin especificar los rangos específicos de confort ambiental para la localidad. Tampoco considera evaluar las condiciones espaciales y ambientales una vez ocupadas las aulas, para verificar el buen funcionamiento del local, y en caso de no ser así, poder establecer los rangos reales de confort.

En la localidad, se han realizado estudios de bioclimatología humana, que tienen como principal objetivo la determinación de una zona de bienestar o confort térmico, analizando las temperaturas máximas clima de verano e invierno, obteniendo como resultado la percepción térmica de los estudiantes en ambos climas (Ramos, 2014). Sin embargo, en Tijuana no se ha encontrado información de estudios sobre confort ambiental que lo aborden de manera integral, desde el punto de vista del diseño arquitectónico y ambiental, considerando las condiciones del espacio e impacto en los factores ambientales en el confort de los ocupantes.

Durante el 2020-2021, el mundo se enfrentó a las restricciones sanitarias de la pandemia COVID19, donde las clases presenciales fueron restringidas y se realizaron clases virtuales que permitieron dar continuidad a la educación. De la misma manera, explorar alternativas para determinar herramientas que permitan realizar los estudios, en el caso de presentarse nuevas contingencias de salud.

Conocer las condiciones térmicas y lumínicas dentro de las aulas es imprescindible para establecer las estrategias de diseño, para la construcción de escuelas y el mejoramiento de las ya existentes que propicien la sensación de confort en los alumnos durante su proceso educativo (Sadick, 2018).

1.2. Justificación y uso de los resultados

Las condiciones ambientales térmicas y lumínicas tienen gran relevancia al estar relacionadas con el aprendizaje, productividad, salud y bienestar de los alumnos, esto debido a que desarrollan sus actividades de aprendizaje durante más de ocho horas dentro de las aulas ((Buratti et al. 2018), por lo que las consideraciones que se tomen durante el proceso de diseño pueden aportar estrategias para lograr el confort de los ocupantes.

En la Ciudad de Tijuana, el clima es de tipo Mediterráneo, caracterizado por veranos principalmente secos, con temperaturas de templadas a cálidas. En cierta época del año la temperatura puede superar los 30°C que, cuando se combina con la humedad relativa, resultan niveles de comodidad que oscilan entre bochornoso (22%) y opresivo (2%) durante los meses de mayo a octubre (EnergyPlus, 2014).

Durante esta temporada, se hace necesario el uso de sistemas mecánicos de enfriamiento o de ventilación en el salón durante el horario de clases para mantener la atención y concentración de los alumnos en sus tareas de aprendizaje.

La educación, como parte fundamental del crecimiento de los países, es el cuarto objetivo de la Agenda 20-30 de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). En 1998 decretó la Declaración Mundial Sobre La Educación Superior en el Siglo XXI: Visión y Acción y el Marco de Acción Prioritaria para el Cambio y el Desarrollo de la Educación Superior. La UNESCO, establece tres principios rectores, dentro de los cuales se encuentra la calidad ambiental térmica y lumínica en espacios educativos para garantizar el aprendizaje óptimo de los alumnos.

En México, el programa E010, Servicios de Educación Superior y de Posgrado, de la Secretaría de Educación Pública, detectó problemas en el mantenimiento a equipos e inmuebles de las universidades. Sin embargo, fueron referentes solo al equipamiento de los laboratorios y talleres (SEP, 2017), sin incluir las condiciones espaciales y ambientales en la evaluación de las aulas para conocer la satisfacción de los ocupantes al realizar sus actividades de aprendizaje.

En países desarrollados como Italia, Inglaterra, España, Japón, entre otros, se han llevado a cabo investigaciones sobre el confort ambiental de las aulas en diferentes zonas

geográficas y climáticas, en los tres niveles educativos, permitiendo conocer las condiciones en las que se encuentra el aula en cuanto a confort térmico, acústico, lumínico, de la calidad del aire y ergonomía del aula.

La obtención de datos ha sido utilizada para garantizar el confort ambiental de los alumnos a través de estrategias de mejoramiento de aulas existentes, considerando que las características del edificio tienen un impacto en el desenvolvimiento académico de los alumnos. En el caso de Barrett (2015) pudo comprobar que, al realizar cambios en el acondicionamiento espacial, mejoró 16 % el aprovechamiento de los alumnos; también Vilcekova, S. (2017) en su estudio tipo exploratorio evaluó el impacto del diseño y las condiciones ambientales espaciales en el confort y aprovechamiento de los estudiantes.

En su estudio Krüger (2004) analiza el confort ambiental incluyendo el confort térmico, lumínico, acústico y ergonómico, que permitieron conocer el funcionamiento de las aulas. Determina la importancia de la orientación solar, las dimensiones adecuadas para la ventilación y la abertura de las ventanas para la iluminación natural, así como la elección correcta de los materiales de acuerdo con las condiciones climáticas de la región.

Concluye que las molestias causadas por las aulas sobrecalentadas o demasiado frías pueden asociarse con el estrés físico y, por lo tanto, ser responsable de enfermedades y bajo rendimiento del alumno. También, determinó la fuerte interdependencia que existe entre los factores ambientales (Krüger, 2004)

Otros estudios han aportado la aplicación de nueva metodología de investigación (Corgnati, 2007), así como nuevos índices para la evaluación del confort ambiental teniendo en cuenta las características térmicas y lumínicas del espacio educativo (Burrati, 2018) para que los estudiantes no pierdan la concentración y atención en su proceso de aprendizaje, pero también para cuidar su salud y bienestar.

Como en el caso de Giraldo (2019) que evaluó los efectos de la penetración de la luz del día sobre la concentración y el rendimiento académico de los alumnos. Este tipo de estudios se venido manejando a la mano con el ahorro de energía, para lo cual se ha propuesto la concepción de una metodología replicable, que incluya las herramientas y métricas integradas. Esto con la idea de apoyar el diseño integrado de la envolvente del edificio y minimizar la energía total del edificio en un contexto de confort térmico y visual (Ferrara, 2018).

Estos estudios se han realizado utilizando diferentes metodologías de acuerdo con los factores ambientales analizados como son: la observación física, medición de parámetros del entorno térmico y lumínico, monitoreo de los parámetros físicos, simulaciones y encuestas. Al

término de su estudio, los autores han recomendado realizar un mayor número de investigaciones que permitan determinar el nivel de confort ambiental local.

Estas investigaciones avalan la necesidad de evaluar el confort ambiental dentro del aula, ya sea en uno de los factores o de manera integral, ya que han demostrado que impactan el bienestar, rendimiento y aprendizaje de los alumnos. Los estudios han obtenido datos objetivos (mediciones físicas) y de percepción subjetiva que han servido para comparar los datos de calidad estandarizada con las preferencias de los alumnos. Otras han establecido nuevas estrategias para ahorro de energía, a través de lineamientos para el diseño arquitectónico o para desarrollar nuevas metodologías que permitan conocer el impacto que tienen los factores ambientales el confort de los usuarios.

La información obtenida en este estudio puede ser utilizada para establecer estrategias de diseño de edificación en términos de orientaciones, sistema constructivo y condiciones ambientales en edificios educativos nuevos y ya construidos en la zona del Valle de las Palmas y otras zonas con las mismas características climáticas. Los resultados pueden incluirse en la normatividad local para considerar la mejora de las condiciones ambientales y el ahorro de energía en las escuelas.

1.3. Pregunta de investigación.

Ante la falta de información sobre las condiciones ambientales de las aulas universitarias en la ciudad de Tijuana, donde los alumnos desarrollan las actividades de aprendizaje, surge la pregunta de investigación ¿Cuáles son las condiciones ambientales de las aulas respecto al confort térmico y lumínico de los alumnos dentro del aula para desarrollar las actividades propias del aprendizaje?

1.4. Objetivos

Objetivo general

Para responder a las preguntas de investigación, el objetivo general de este estudio es evaluar las condiciones ambientales térmicas y lumínicas en aulas de nivel superior, para después comparar los resultados de satisfacción ambiental de los estudiantes.

Objetivos específicos

1. Evaluar las condiciones ambientales térmicas y lumínicas en aulas de nivel superior en clima mediterráneo en periodo cálido, frío y de transición frío-cálido.
2. Determinar el grado de aceptación del confort ambiental a largo plazo, después de dos años posterior la ocupación de las aulas.
3. Estimar el grado de aceptación del confort ambiental de forma presencial en las aulas.

1.5. Alcances y limitaciones

El estudio se realizó durante las restricciones de la pandemia COVID19 para tener clases presenciales, de marzo del 2021 a marzo del 2022. Por lo cuestiones de tiempo para realizar esta investigación, se realizan las mediciones de las variables ambientales en aulas desocupadas y el cuestionario es enviado a los alumnos vía internet durante el mes de noviembre del 2021. Como no se sabía cuándo se regresaba a clases presenciales, se incluyeron dos periodos, frío y cálido, en el cuestionario.

La participación de los estudiantes se limitó a 53 respuestas, aun cuando se les mandó recordatorio durante una semana para contestarla. Los resultados mostraron que el 20% de los estudiantes no habían estado nunca en las aulas, ya ingresaron cuando las clases ya estaban en la modalidad virtual, por lo que se consideraron solo 42 respuestas. Por esta razón, no se llevaron mediciones de forma simultánea, por lo que el análisis estadístico para conocer las correlaciones entre las variables se realizó basándose en las respuestas subjetivas de los ocupantes.

A finales de marzo del 2022 se aplicó del cuestionario presencialmente, esto fue durante el período de transición frío-calor y de forma simultánea se midieron y registraron las variables ambientales. Aun cuando este periodo no registra índices higrotérmicos más extremos del clima local, en los dos días que se encuesta registraron datos térmicos diferentes, el primer día con temperaturas más bajas que el segundo.

Por otro lado, la medición de las variables térmicas se limitó a temperatura, humedad relativa que fueron registradas durante un año en aulas desocupadas y luz natural se midió un día soleado en cada periodo estacional. El resto de las variables se midieron sólo durante la encuesta presencial.

El principal desafío de este estudio fue aplicar las encuestas en dos días diferentes a los mismos estudiantes. Antes de comenzar, fue fundamental explicarles claramente en qué consistía la encuesta, explicar los términos que no conocían y el objetivo del cuestionario. La

interacción participativa en preguntas y respuestas ayudó a la disponibilidad de los estudiantes para contestar la encuesta. A pesar de que todos los estudiantes tenían teléfonos celulares, el internet no funcionaba bien, esto generó tensión y les tomó más tiempo esperar que les compartieran datos otros compañeros. Por lo anterior, se recomienda tener impreso el cuestionario en estudios similares futuros.

2. ANTECEDENTES

2.1. Marco Conceptual

El confort se define en la Norma Mexicana de Edificación Sustentable - Criterios Requerimientos Ambientales Mínimos, NMX-AA-164-SCFI-2013, como “un estado físico de bienestar percibido por los usuarios, generado por el ambiente interior del edificio” (Secretaría de Economía, 2013, p. 11).

En la relación comodidad-ambiente interior, según la Norma Mexicana Escuelas - Calidad de la Infraestructura Física Educativa-Requisitos, NMX-R-021-SCFI-2013, el ambiente es el “conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados (Secretaría de Economía, 2013).

Determinado lo anterior y de acuerdo con la definición de calidad del ambiente interior, de la Norma Mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013 los factores ergonómicos que proporcionar confort para lograr una calidad ambiental son los térmicos, lumínico, acústico y al aire interior” (Secretaría de Economía, 2013, pág. 11).

Al 2022, la mejora de las condiciones ambientales en los edificios sigue siendo considerada como una prioridad para lograr el confort del ser humano, por lo que esta investigación considera las condiciones que proporcionan comodidad a las personas dentro de un espacio determinado, como son: el confort y el confort lumínico.

2.1.1. Confort térmico

En la búsqueda de la definición de confort térmico, la mayoría de los autores refieren a la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado, ASHRAE (en inglés, *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) que lo define como “esa condición mental que expresa satisfacción con el entorno térmico y se valora mediante una evaluación subjetiva” de parámetros ambientales como son: la temperatura del aire, velocidad del aire, humedad relativa y temperatura media radiante (ANSI/ASHRAE Standard 55 2017).

Para Auliciems (2007), el confort térmico es una condición previa del bienestar humano en términos de productividad y salud. Parece ser el logro de un equilibrio armonioso entre la

minimización de las respuestas fisiológicas y la maximización de aclimatación. Mayorga (2005) lo define como el fenómeno que se manifiesta a través de la sensación térmica, en la que se puede obtener una opinión cognoscitiva y por medio de la preferencia térmica una opinión afectiva.

2.1.1.1. Temperatura del aire

La temperatura del aire es uno de los índices principales para determinar el grado de confort térmico de un espacio y se refiere básicamente al estado térmico del aire a la sombra. Para poder determinar si las personas sienten frío o calor en un lugar es necesario contar con los datos de temperatura y humedad. Además, con estos datos se puede determinar si un espacio concreto se mantiene dentro de rangos adecuados o no.

En un espacio habitable, la temperatura es un factor que beneficia o perjudica la sensación de confort y la salud del ocupante. El aire está formado por partículas diferentes que tienen masa y también temperatura (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2018), la cual no es estable debido a la influencia de los cambios que se producen a lo largo del día, ya que el calentamiento producido por el sol a las masas de aire lo calientan y por la noche, al no recibir la energía solar, lo enfrían, teniendo su punto mínimo la temperatura poco antes del amanecer.

Para Cortes, C. (2014) la temperatura es un factor fundamental dentro de la investigación porque determina los máximos y mínimos necesarios para establecer los parámetros de confort térmico y los ambientes más adecuados que bajo estudios cuantitativos admitan determinar.

El Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), señala que la temperatura es un “índice indicativo del calentamiento o enfriamiento del aire, resultado del intercambio de calor entre la atmósfera y la tierra. La temperatura indica en valores numéricos el nivel de energía interna de un lugar en un momento determinado” (INIA 2020). La temperatura del aire se mide con un termómetro (mercurio o electrónico) en Grados Celsius (°C) o Fahrenheit (°F).

2.1.1.2. Velocidad del aire

La normatividad considera la velocidad del viento como “la tasa de movimiento del aire en un punto, sin importar la dirección” (ANSI/ASHRAE Standard 55 2017, pág 2). Heracleous y Michael (2019) consideran que la velocidad del aire es un parámetro importante en el diseño de los edificios, debido a que tiene repercusiones en el confort humano afectando la salud, la capacidad y el rendimiento del ser humano.

Para un buen funcionamiento y un máximo confort en los locales arquitectónicos, la velocidad del aire es un factor que debe tomarse en cuenta como recurso muy valioso que produce corrientes que pueden ser aprovechadas para refrescar o calentar los espacios (Anguiano, 1983, pág. 234). La velocidad del aire se expresa en m/s (metro/segundo) y se mide con diversos tipos de anemómetros

2.1.1.3. Humedad Relativa

ASHRAE (2011) define la humedad relativa (HR) como la relación de la presión parcial (o densidad) del vapor de agua en el aire con la presión de saturación (o densidad) del vapor de agua a la misma temperatura y presión total. Cuando la cantidad de vapor de agua contenida en una masa de aire se aproxima el valor al 100%, más húmedo está.

La humedad presente en el aire influye de manera distinta en las personas, si es muy baja tiende a extraer la humedad del cuerpo, reseándolo, mientras que si es muy alta (próxima a la saturación) tiende a transferir humedad, humedeciéndolo.

Por esta razón, la humedad relativa es otro de los parámetros de importancia para determinar el nivel de confort térmico ya que afecta en gran medida la sensación térmica.

2.1.1.4. Temperatura media radiante

La temperatura media radiante (T_{mr}) se define “como la temperatura superficial uniforme de un recinto negro imaginario en el que un ocupante intercambiaría la misma cantidad de calor radiante que en el espacio no uniforme real” (ANSI/ASHRAE Standard 55 2017:4) . La T_{mr} tiene en cuenta el calor emitido por radiación de los elementos del entorno.

Con base en ISO 7730:2005 los ocupantes de un espacio pueden sentir incomodidad causada cuando se presenta un calentamiento o enfriamiento local del cuerpo no deseado, esto sucede cuando existen diferencias de T_{mr} (superficies frías o cálidas), cuando todas las superficies de un entorno se encuentran a la misma temperatura de manera uniforme se produce el mismo equilibrio de calor radiante neto que en el ambiente considerado con diferentes temperaturas superficiales.

La T_{rm} de un ambiente es la suma total de las temperaturas de las paredes, el suelo y el techo teniendo en cuenta el ángulo sólido que forman cada una de ellas desde el punto de medición. La T_{rm} se mide con el termómetro de globo negro en Grados Celsius (°C) o Fahrenheit (°F).

2.1.1.5. Nivel de Vestimenta

El nivel de vestimenta “es la mayor resistencia a la transferencia de calor sensible obtenida al agregar una prenda individual que mide el aislamiento térmico proporcionado por prendas y conjuntos de ropa” (ASHRAE STANDARD, 2011, p. 3).

El ser humano ha venido utilizando diferentes tipos de vestimenta de acuerdo con el tipo de clima que prevalezca en su localidad. En la actualidad, eso ha cambiado, para las personas que permanecen en edificaciones con clima artificial, donde no tienen control del clima interior y necesitan adaptarse al cambio de temperatura exterior y la interior, lo que puede causar incomodidad en los ocupantes por enfriamiento o exceso de calor.

La unidad usada para medir el aislamiento de ropa es el Clo, pero la unidad más técnica es $\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$. También se ve frecuentemente ($1 \text{ Clo} = 0.155 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$). El clo mide la influencia de la ropa en el confort térmica de las personas reduciendo la pérdida de calor del cuerpo (ISO 7730:2005 2005).

2.1.1.6. Actividad Metabólica

La actividad metabólica “es la tasa de transformación de la energía química en calor y trabajo mecánico por actividades metabólicas dentro de un organismo, generalmente expresada en términos de área unitaria de la superficie corporal total” y su unidad de medida es met, la cual “es utilizada para describir la energía generada dentro del cuerpo debido a la actividad metabólica” (ASHRAE STANDARD 2011:3).

El nivel de actividad es un indicador que influye en la evaluación de la tasa metabólica o la producción de calor del cuerpo humano, que tiene que ver con el estrés mental y vigor físico de la persona al realizar una actividad determinada y es usada como una unidad de medida (met).

Para Anguita et al. (2018) el nivel de actividad es un indicador que considera el peso de la persona para conocer la sensación térmica que tienen dentro de un espacio. Mishra y Ramgopal (2015) consideran que es un indicador que permite estudiar el comportamiento adaptativo de una persona mientras realiza actividades dentro de un espacio que pueden ayudar o dificultar la adaptación térmica de acuerdo con su tasa metabólica.

2.1.2. Confort lumínico

La Sociedad de Ingeniería de Iluminación de América del Norte, IESNA (2000) define el confort lumínico como un requerimiento para que el humano desempeñe sus actividades de

forma saludable y segura; además, como mencionan Barret, P. et. al. (2015) también puede influir en el estado de ánimo de las personas y la atmósfera ambiental.

El confort lumínico es uno de los factores que se contemplan desde la concepción de la idea para el diseño de un edificio tomando en cuenta la iluminación interior, ya sea luz natural o artificial. De acuerdo con Giraldo, N. (2019) es el factor ambiental que permite conocer las necesidades de iluminación de las personas dentro de un espacio, considerando las actividades que se realizan dentro de un determinado espacio, teniendo en cuenta la luz diurna que penetra por las aperturas en muros o techos o iluminación artificial por medio de lámparas eléctricas.

2.2. Estado del Arte

Para este apartado, se llevó a cabo una revisión crítica de la literatura para seleccionar los textos que abordaran el confort térmico y el confort lumínico dentro de espacios educativos. Los estudios tienen diez o menos años de antigüedad y se mencionan de acuerdo con la relevancia con el caso de estudio. El Estado del Arte de los factores ambientales de interés son presentados de forma independiente para su mejor entendimiento.

Además, se presentan tablas de confort térmico y lumínico que contienen el nombre del autor y la fecha de publicación, lugar donde se realizaron las investigaciones, el tipo de clima de la región, número de aulas o espacio utilizado para el estudio, parámetros medidos y el número de personas encuestadas.

2.2.1. Confort térmico

El confort térmico es uno de los factores ambientales ampliamente estudiado por investigadores alrededor del mundo. Tomando en cuenta los estándares internacionales de confort térmico, existen dos modelos para evaluar el confort de los ocupantes en espacios interiores: el modelo racional de Fanger (ISO 7730:2005 2005) utilizado en cámaras climatizadas, considerando usuarios pasivos y el modelo adaptativo bajo las normas ASHRAE 55 y EN 15251, utilizado en espacios con ventilación natural, donde los ocupantes interactúan con el entorno, desarrollando una adaptación y preferencias térmicas (De Dear, Brager, and Cooper 1997).

El modelo adaptativo de acuerdo con los estándares ANSI/ASHRAE Standard 55, 2004 “relaciona temperaturas de diseño de interiores o rangos de temperatura aceptables con parámetros meteorológicos o climatológicos en exteriores”(ANSI/ASHRAE Standard 55 2004). Este método toma en cuenta factores como el contexto del usuario, la localización geográfica y demográfica; los mecanismos de aclimatación; y el psicológico, considerando al usuario como

“un actor activo que interactúa con el ambiente adaptándose y modificándolo según sus preferencias y comodidad” (Molina, C. y Veas, L., 2012).

Este estudio sigue la línea del enfoque adaptativo en aulas con ventilación natural, considerando el proceso de adaptación de las personas, cuando se produce transferencia de calor con el ambiente a nivel físico y fisiológico, permitiendo identificar las variantes de los factores personales y las condiciones térmicas adecuadas que satisfaga a la mayoría de los ocupantes en un espacio interior. Los estudios que evaluaron el confort térmico interior se muestran en la Tabla 1 del Estado del Arte, de acuerdo con el orden de aparición en el texto.

Las edificaciones educativas, están diseñadas tomando en cuenta las normas internacionales y nacionales, no obstante, en estudios previos se ha encontrado que, en diferentes localidades del mundo, las preferencias térmicas de los alumnos dentro de las aulas no corresponden a los valores establecidos en los estándares internacionales.

Por ejemplo, Aghniaey et al. (2019), realiza una investigación en un aula universitaria orientada norte-sur, con climatización mecánica, con el objetivo de evaluar la sensación térmica de los ocupantes y su capacidad de adaptación al aumentar la temperatura de enfriamiento. Encontraron el promedio de votos medios reales (AMV) en las diferentes áreas del aula, se mantuvo en el rango de confort de ASHRAE, la aceptabilidad térmica resultó mayor del 80%, la cual se redujo por debajo del 80% al haber aumento de 2° C en la temperatura.

Anguita et al. (2018), presentaron un estudio llevado a cabo en dos aulas de Granada, utilizando la 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 estudio de Fabozzi y Dama (2020) realizado en Milán, consideró aulas con ventilación natural y con aire acondicionado. Los resultados mostraron que la sensación térmica de los ocupantes estaba bajo los modelos adaptativo y de Fanger, pero determinaron que un número considerable de estudiantes no aceptaban las temperaturas de confort adaptativas recomendadas por EN 15251.

En un caso similar, Jindal (2018) encontró que la tolerancia al calor de los estudiantes en Ambala, era más alta que los estándares, quienes se sentían en una situación confortable estando fuera del rango de temperatura de confort establecido en las normas. En la misma región, Mishra y Ramgopal (2015) mostraron que había una tendencia en la preferencia de los alumnos hacia una sensación térmica más fría y desviaciones del lado más frío de neutral a más tolerable. Se propuso aumentar la zona de confort en 9 °C.

Estos resultados demostraron que los estándares internacionales no son comprobados en todos los casos. La adaptación a las condiciones térmicas de los usuarios en aulas naturalmente ventiladas fue diferente en cada localidad.

Los experimentos realizados en campo presentaron diversos resultados de temperaturas neutras y preferentes. Por ejemplo, en el caso de Subhashini y Thirumaran (2018) identificaron áreas con 4 a 5 °C más, que la temperatura neutra pronosticada de 28.6 °C para Madurai. Zaki Sheikh Ahmad et al. (2017) encontraron diferencias entre el comportamiento adaptativo del estudiante de Malasia y Japón. La temperatura operativa fue de 25.1 °C y 25.6 °C, respectivamente.

Liu et al. (2019) indicaron que los rangos de temperatura eran de 19.5 °C a 21.8 °C, la temperatura neutra térmica de 20.6 °C y la temperatura de preferencia de los ocupantes de 22.78 °C. En su estudio Rincón et al. (2017) estimaron un rango de confort térmico de los alumnos entre 16.8 °C y 23.8 °C durante el período frío.

Estos estudios se llevaron a cabo en diversas ciudades aplicando diferentes metodologías y periodos del año. Esto permitió conocer las condiciones de los espacios y el impacto en el confort térmico de los estudiantes durante un periodo estacional. 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 (2015) en su estudio.

El confort del ambiente térmico de los alumnos en aulas naturalmente ventilados ha sido evaluado a través del acercamiento objetivo (mediciones de campo) y subjetivo por medio de entrevistas de satisfacción a los alumnos. Esto ha permitido conocer la sensación, preferencia y aceptabilidad térmica dentro del aula de los usuarios para realizar las actividades de aprendizaje adecuadamente.

En las mediciones de campo, los investigadores han considerado los parámetros ambientales, especificados en la Tabla 1 que son: la temperatura del aire (T_a) y la humedad relativa (HR) interior y exterior, la temperatura media radiante (T_{mr}) y la velocidad del aire (V_{aire}).

El-Darwish y El-Gendy (2018) llevaron a cabo un estudio en Behera, realizando mediciones de campo de la T_a y HR, T_{mr} y V_{aire} interior y la simulación por computadora. Los datos de la simulación determinaron que el 66% de los ocupantes se encontraban térmicamente cómodos. Sin embargo, después de aplicar la encuesta, resultó que sólo la tercera parte de los ocupantes estaban satisfechos con las condiciones térmicas del espacio interior.

Yao et al. (2010) encontraron que los estudiantes, en aulas con ventilación natural en Chongqing, preferían la temperatura más alta que la temperatura térmica neutra. Esto indicó que

los estudiantes preferían un ambiente térmico más cálido en condiciones climáticas cálidas y frías. Además, los estudiantes mostraron alta tolerancia a las condiciones más cálida

Corgnati, et al. (2009) investigaron el confort térmico de estudiantes universitarios en dos aulas con ventilación natural en Turín, con un clima cálido. Los parámetros de confort térmico se midieron aplicando cuestionarios sobre las condiciones térmicas de las aulas. Los resultados mostraron una tendencia de preferencia térmica por un ambiente levemente cálido en invierno, y neutral en la estación templada. En la misma región, Nico, et al. (2015) presentaron un estudio realizado en dos aulas con clima Mediterráneo. Encontraron que los valores PMV y el PPD fueron similares a las respuestas de los alumnos, mostrando preferencia por condiciones térmicas más cálidas. Además, los resultados presentaron una ligera diferencia entre las respuestas de hombres y mujeres y la influencia del diseño del espacio en las condiciones térmicas del aula.

Es fundamental resaltar que, además de las variables térmicas ambientales, otros investigadores han considerado los factores del diseño arquitectónico (Anguita et al. 2018) que influyen en la percepción térmica de los estudiantes, como la orientación, el sistema constructivo y la geometría del espacio.

Combinando diferentes metodologías para evaluar la sensación de confort térmico, Buratti et al. (2017) utilizaron la simulación fluidodinámica computacional CFD (en inglés *Computational Fluid Dynamics*). Encontraron que los valores de PMV simulados eran muy cercanos a los experimentales para ambos sexos, obteniendo una sensación ligeramente cálida con ambas metodologías.

En su estudio Kong et al. (2019) compararon los niveles de adaptación climática entre residentes locales y migrantes. Los resultados mostraron diferencia para adaptarse a los cambios de humedad entre los habitantes que venían de regiones con humedad baja y alta. Draganova, et al. (2019) condujo un estudio en dormitorios universitarios en Japón para investigar las diferencias entre las respuestas sobre el confort térmico de los ocupantes japoneses y de nacionales internacionales. Encontraron que las preferencias térmicas dependían de la nacionalidad, pero no la sensación térmica.

Esta información es relevante en el caso de la UABC, debido a que se encuentra ubicada en un zona que permite el traslado de alumnos de ciudades pertenecientes a la Zona Metropolitana de Tijuana, que incluye a Tecate y Playas de Rosarito, con características climatológicas diferentes entre ellas. Además, recibe estudiantes de otras partes del país y de otras nacionalidades que deben ser considerados en la evaluación del confort térmico dentro de las aulas.

La comprobación de valores predeterminados por los estándares internacionales y locales en una zona determinada, por medio de acercamientos objetivos y subjetivos, muestran datos reales que pueden ser utilizados para mejorar las condiciones de confort de los alumnos en la realización de sus actividades educativas de manera óptima.

Otros estudios se han llevado con diversos objetivos y en diferentes escenarios, considerando otras variables que amplían el conocimiento sobre el tema que interesa.

Uno de los estudios en los que se pudo comprobar como el ambiente interior de las aulas impacta el aprendizaje de los alumnos fue el realizado por Barrett et al. (2015). El estudio se realizó de forma holística a través de la experiencia práctica en 153 aulas de 27 escuelas primarias en Inglaterra.

Para ello, desarrollaron un nuevo modelo de organización, bajo la postura de incluir lo que impacta a los sentidos (multisensorial) basado en los principios de diseño: naturalidad (iluminación, temperatura, sonido y calidad del aire), individualización (apropiamiento, flexibilidad y conexión del espacio) y estimulación (nivel apropiado de complejidad y uso del color). Para la evaluación física y subjetiva establecieron 34 nuevos índices medidos en campo y aplicación encuestas de sensación de tipo psicológica basada en una escala subjetiva respecto al ambiente interior.

Tabla 1

Estado del Arte del confort térmico

Autor (Año de publicación)	Ciudad/País	Clima	No. Aulas/ espacio	Parámetro medido					Número de encuestas
				Ta	Tmr	RH	V aire	Clima	
Aghniaey (2019)	Georgia, USA.	Húmedo subtropical	1	√	√	√	√	√	1336
Anguita et al. (2018)	Granada, España	Mediterráneo y semiárido	2	√	√	√	√	√	119
Fabozzi y Dama (2020)	Milán, Italia	Templado	16	√	√	√	√	√	985
Jindal (2018)	Ambala, India	Frío	*	√	√	√	√	√	40
Mishra (2015)	Kharagpur, India	Tropical	1	√	√	√	√	*	67
Subhashini (2018)	Madurai, India	Cálido y frío	2	√	*	*	*	√	180
Zaki et al. (2017)	Kuala Lumpur, Malaysia y Chikushi, Japón	Monzón	24	√	√	√	√	*	1428
Liu et al. (2019)	Xi'an, China	Selva tropical	7	√	√	√	√	*	992

Rincón et al. (2017)	Ensenada, México	Semiárido y húmedo subtropical	2	√	√	√	√	√	126
El-Darwish (2018)	Behera, Egipto	Árido caliente	3	√	√	√	√	*	N/A
Yao et al. (2010)	Chongqing, China		5 edificios	√	√	√	√	*	3000
Corgnati et al. (2009)	Turín, Italia	Continental y cálido	2	√	√	√	√	*	230
Nico, et al. (2015)	Bari, Italia	Mediterráneo	2	√	√	√	√	√	126
Buratti et al. (2017)	Perugia, Italia	*	1	√	√	*	*	*	n/a
Kong et al. (2019)	Chongqing, China	Mediterráneo	Cámara climática	√	√	√	√	√	24
Draganova et al. (2019)	Toyohashi, Japón	Cámara controlada	Dormitorios universitarios	√	√	√	√	√	324
Barrett et al. (2015)	Inglaterra, Reino Unido	Marítimo templado	153	√	√	*	*	*	3,766
Sadick (2018)	Manitoba, Canadá	Clima controlado	52	√	√	*	*	*	180
Vilcekova et al. (2017)	Kosice, República de Eslovaquia	*	5	√	√	√	√	√	39
Yang, (2021)	Hong Kong, China	*	8	√	*	√	√	√	*
Yu, X. et al. (2017)	Chongqing, China		2 Edificios Universitarios	*	*	*	*	*	484
Young, B. et al. (2021)	Colorado, Estados Unidos		47 escuelas	*	*	*	*	*	18,322
Sarbu (2015)	Timisoara, Rumania	Templado	2	*	*	*	*	*	40

*No especificado.

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de datos fue realizado en dos pasos: se manejó por separado la influencia de cada uno de los parámetros en el aprendizaje mediante análisis bivariado y posteriormente se llevó a cabo un análisis multinivel de los efectos combinados. Los resultados mostraron que los índices ambientales, incluyendo los factores térmico, lumínico y acústico representaron aproximadamente el 50% en el impacto en el aprendizaje; la individualización y estimulación el 25% cada uno. El estudio demostró clara evidencia que el diseño del aula impacta aumentando 16% el aprovechamiento de los estudiantes.

El estudio de Barrett et al. (2015), estableció nuevos índices para evaluar la aplicación de los principios de diseño que impactan el aprendizaje de los alumnos.

En la ciudad de Manitoba, Canadá, Sadick, Abdul-Manan e Issa, M. (2018), realizaron un estudio en 32 escuelas, en 52 aulas para evaluar el estado físico del espacio interior (incluyendo aulas nuevas, renovadas y no renovadas) relacionado con la calidad ambiental interior.

La investigación fue desarrollada en dos etapas, la primera involucró la elaboración de encuestas de satisfacción y bienestar para profesores y la evaluación de las condiciones ambiental es de las aulas. La segunda etapa se centró en la implementación, definición y validación de las encuestas con las mediciones de campo.

La consideración de los autores de valorar la condición en la que se encontraban los elementos constructivos es importante al evaluar el confort térmico, ya que depende de la estructura y diseño del edificio. Los autores consideraron que el estudio podría complementarse realizando una intervención para mejorar los elementos dañados y volver a realizar la medición para comparar el impacto real que tuvieron las mejoras en el confort ambiental interior y la satisfacción de los alumnos.

Vilcekova, S., et al. (2017), desarrollaron en Kosice, República de Eslovaquia, un estudio de tipo exploratorio en 5 aulas de una escuela primaria, para evaluar el impacto del diseño y las condiciones ambientales de la escuela en el confort y rendimiento de alumnos de manera holística. Las mediciones de campo de los factores ambientales consideraron la temperatura, humedad relativa, PM, concentraciones de CO, niveles de sonido y condiciones de iluminación.

El análisis de los elementos del diseño incluyó la capacidad del espacio, superficie, altura, volumen, acabados en pisos, muros y plafón, tipo de ventilación, superficie y apertura de ventanas; pizarrón, número de plantas. Las evaluaciones subjetivas se llevaron a cabo aplicando cuestionarios a profesores y alumnos para determinar cómo influye la calidad del ambiente en el confort interior. El cuestionario se centró en las condiciones de salud, principalmente las alergias y la prevalencia de los síntomas del edificio enfermo.

El objetivo principal de este trabajo fue explorar el impacto del diseño de la escuela y las condiciones ambientales en el confort y el rendimiento de los estudiantes de aprendizaje lento y los diagnosticados con trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH). El análisis fue en dos etapas, lo que permitió identificar primero el conjunto de impresiones afectivas en la evaluación global de aula para después, obtener la relación entre los elementos del diseño y las impresiones afectivas de los alumnos.

Los resultados mostraron que la estructura afectiva de los estudiantes para evaluar sus aulas con sus propias palabras, comprendieron seis 6 factores que manifestaron el 64% de variabilidad en la percepción de la muestra.

En el caso de Yang, Da y Mak, C. (2021), realizaron un estudio en ocho aulas universitarias en Hong Kong, China, utilizando un sistema de evaluación integral de múltiples capas basado en las matemáticas. La investigación consistió en la aplicación de cuestionarios a 224 alumnos, además, realizaron mediciones en campo para luego proponer fórmulas de

predicción con el objetivo de mostrar la relación entre la calidad y los factores del ambiente interior (térmico, calidad del aire, iluminación y acústica).

El análisis de los resultados permitió efectuar una ponderación partiendo del proceso de jerarquía analítica. Los autores consideraron que, con estos dos métodos, se pueden llevar a cabo propuestas para el mejoramiento de la calidad ambiental interior y el diseño de ambientes interiores.

Yu, Xiaoping, et al. (2017), en la ciudad de Chongqing, China, realizaron estudios de campo en dos edificios del campus universitario que fueron clasificados Platinum de liderazgo en energía y diseño ambiental (LEED), con el objetivo de evaluar el impacto de los factores ambientales en la satisfacción de los usuarios. La investigación se basó en los hábitos de consumo de energía, el estilo de vida y el manejo del control ambiental al utilizar aparatos de clima artificial de los estudiantes dentro del edificio.

La metodología consistió en aplicar cuestionarios en línea incluyendo: el tiempo de residencia; tipo de equipo mecánico y tiempo de funcionamiento; configuración del aire acondicionado y la evaluación integral de la calidad del ambiente interior, donde consideraron cuatro indicadores: ambiente térmico (temperatura y humedad del aire interior); calidad del aire (concentración de CO₂); ambiente acústico (ruido) y visual (calidad lumínica).

Para el análisis estadístico de resultados de mediciones subjetivas sobre la satisfacción de los usuarios y la calidad ambiental interior, los investigadores aplicaron un enfoque de evaluación posterior a la ocupación (POE). Con ello, pudieron comparar el resultado de los requerimientos e identificaron parámetros que afectaban la satisfacción de los alumnos.

La relevancia de este estudio es la aplicación POE, que puede ser aplicado en casos donde la encuesta no se realiza de forma presencial, como es el caso de esta investigación que se ha realizado durante y termino de restricciones higiénicas debido a la pandemia de COVID-19, donde los alumnos no asistieron a clases teóricas presenciales debido a la pandemia de COVID-19.

En el caso de Young, Bonnie N., et al. (2021), Colorado, Estados Unidos, presentaron un estudio POE realizado en 47 escuelas en niveles de primaria y secundaria, donde evaluaron el impacto de la calidad ambiental de las aulas en el rendimiento académico de los alumnos. Simultáneamente, examinaron el ausentismo estudiantil como mediador potencial en esta asociación.

Por su parte, Sarbu, Ioan y Pacurar, C. (2015), en la ciudad de Timisoara, Rumania del Este, realizaron un estudio en dos aulas universitarias con el objetivo de evaluar el confort térmico. El método utilizado requirió dos enfoques, el cuantitativo (objetivo), para medir las

condiciones del microclima según EN ISO 7730: temperatura del aire interior, humedad relativa, velocidad del aire, temperatura de globo negro y concentración de CO₂. La temperatura media radiante se calculó de acuerdo con la ecuación adoptada de EN ISO 7726.

El segundo enfoque fue el cualitativo (subjetivo), basado en un cuestionario de acuerdo con el estándar EN ISO 10551, con una escala numérica de 5 puntos para evaluar la percepción del ambiente interior. El cuestionario fue estructurado en tres partes: datos generales de los alumnos (edad, sexo, vestimenta, tipo de actividad); percepción de confort ambiental interior (temperatura, velocidad del aire, humedad, iluminación, ruidos y calidad del aire (CO₂); la última parte contenía los datos sobre el clima exterior.

La metodología para la predicción del rendimiento escolar de los estudiantes en relación con la calidad ambiental interior fue realizar experimentos dentro del aula, durante la temporada que se requiere aire acondicionado, en tres escenarios: sin aire acondicionado, con aire acondicionado y ventilación natural y con aire acondicionado con una temperatura establecida de 23.3 °C.

Los alumnos cumplían con las características físicas, de edad, talla, masa, superficie corporal y aislamiento de la ropa y hábitos de salud preestablecidas. En cada sesión, los estudiantes realizaron una actividad de aprendizaje. Simultáneamente, fue monitoreado el microclima. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios para los tres escenarios.

Finalmente, desarrollaron un modelo de simulación de Sistemas Transitorios TRNSYS (en inglés, *Transient Systems Simulation*), como herramienta para evaluar el PMV-PPD en aulas con aire acondicionado, considerando diferentes formas de operación y para la demanda de energía de los aparatos de clima artificial en aulas con ventilación natural.

Para las mediciones subjetivas, diseñaron un cuestionario basado en ASHRAE 55, ISO 7730 y en la encuesta del Centro para el entorno construido CBE IEQ (en inglés, *Center for The Built Environment*,). Las preguntas fueron sobre la satisfacción de la calidad ambiental interior respecto al confort térmico, visual, acústico y calidad del aire interior. Encuestaron a 144 estudiantes dentro del aula y realizaron mediciones de campo de los índices del confort térmico (temperatura del aire, temperatura media radiante humedad relativa, velocidad del aire); acústico, lumínico y calidad del aire interior.

Consideraron, además, ISO 6781, para determinar las áreas potenciales de defectos de aislamiento, fugas de aire, puentes térmicos y pérdida de calor en el edificio

Los resultados medios del PMV mostraron un contraste entre las fachadas no remodeladas y las actualizadas, debido a la incomodidad estacional por ventanas con vidrio sencillo. Establecieron una fuerte correlación entre la ventilación natural y el confort de los

usuarios. Los autores recomendaron que antes de realizar una remodelación se realice una planificación que equilibre los elementos estructurales del edificio y el rendimiento energético para mejorar la calidad ambiental interior e incluir el aspecto de la salud de los usuarios.

En relación con lo anterior, se coincide con la necesidad de utilizar la tecnología para POE para como herramienta para evaluar las condiciones ambientales de las aulas que pudieran influir en el desempeño de los estudiantes, además de mejorar el desempeño energético del edificio.

La literatura revisada en este apartado evaluó los factores del confort térmico interior de edificios educativos y su impacto en el desempeño académico, salud y bienestar de los alumnos, considerando solo el confort térmico o de manera holística incluyendo otros factores ambientales y del diseño arquitectónico.

Como se ha visto en las investigaciones previas sobre el confort térmico, los estudios se han desde diferentes puntos de interés del autor: normatividad, periodos estacionales, clima, cantidad y tipo de espacios educativos, aspectos constructivos y diseño de cuestionarios, entre otros. En México, aun no se tiene una guía propia que determine cuales son los indicadores e índices para evaluar el confort térmico en escuelas educativas, para ser incluida en la reglamentación local para el diseño y el mejoramiento de las aulas.

2.2.2. Confort lumínico

El confort lumínico es el factor ambiental que permite conocer las necesidades lumínicas de las personas para realizar actividades de luz diurna dentro de un espacio (Giraldo et al. 2019). 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 (Aries 2005). 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 (Barrett, Zhang, et al. 2015).

Para establecer los requisitos de iluminancia interior en los centros de trabajo, la norma mexicana NOM-25-STEPS 2008 (Secretaría del Trabajo y Prevision Social 2008) y el INIFED (INIFED 2011) 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 (Secretaría del

Trabajo y Prevision Social 2008). Estos requisitos 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).

La penetración de la luz natural depende de la orientación del edificio, la geometría de las aulas y las aberturas de las ventanas. La orientación para el diseño y construcción de escuelas en el país debe ser Norte-Sur (INIFED 2011).

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 estudiantes. El confort lumínico del presente estudio tiene algunas similitudes con los estudios registrados en la Tabla 2.

Los autores han estudiado el confort lumínico desde diferentes dimensiones. El caso de Corvalán et al. (2015) analizaron el nivel de iluminancia y confort en espacios universitarios según la normatividad nacional. El estudio de campo consistió en mediciones de iluminancia, temperatura y velocidad del aire para verificarlas con los estándares establecidos para un salón de clases. Realizaron medidas físicas tanto en ventanas como en puertas. Los hallazgos mostraron que todos los puntos centrales, de la cuadrícula para medición, que coincidían con la luminaria, cumplían con la normativa, pero otros puntos se encontraban en los límites mínimos determinados. Consideraron que la falta de uniformidad de iluminancia puede provocar incomodidad en los alumnos para realizar sus actividades educativas.

Freewan y Al Dalala (2020) 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 (ventanas superiores en pasillo y material translúcido), pueden aumentar los niveles de iluminación y controlar el deslumbramiento, lo que podría mejorar el nivel de luz natural, especialmente en la parte posterior del aula, en un promedio de más de 100 %

La orientación del edificio se ha relacionado con problemas de sobrecalentamiento y deslumbramiento interior. En los espacios educativos, esto cobra mayor importancia debido a que la posición permanente del estudiante, durante el horario de clases, puede causar pérdida de concentración y alteraciones visuales. El estudio de Galal (2019) en las aulas de la costa libanesa encontró que las orientaciones noreste y noroeste podrían ser las más adecuadas para la ganancia de calor y los factores de iluminación, en lugar de la orientación sur determinada por decreto gubernamental para las escuelas.

En edificios 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 sur, no ha sido suficiente, por lo que se ha colocado un material de placa de espuma para evitar la penetración de la luz solar directa. En un caso de estudio similar, Secchi et al. (2015) encontraron que las ventanas orientadas hacia el este causaban sobrecalentamiento y problemas de deslumbramiento y propusieron usar persianas externas verticales u horizontales para estandarizar la cantidad de luz natural y reducir el consumo de energía.

Michael and Heracleous (2017) realizaron mediciones de campo de los niveles de iluminación y la uniformidad de la luz. Utilizaron la simulación y la encuesta basada en cuestionarios. Descubrieron 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. El uso de luz artificial permaneció durante todo el horario de la jornada laboral, manteniendo las cortinas cerradas para controlar el deslumbramiento. Propusieron persianas verticales para las fachadas este y oeste para mejorar el confort visual.

Ricciardi and Buratti (2018) aplicaron encuestas a los estudiantes sobre las condiciones de los factores ambientales, incluyendo el confort térmico, acústico y lumínico. Encontraron que el factor visual tenía más del 30% de importancia. Korsavi et al. (2016) investigaron dos aulas de secundaria para evaluar 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*

Autor (año)	Ciudad/País	No. aulas	Parámetro medido				No. de encuestas
			Iluminancia	Uniformidad	Deslumbramiento/ reflectancia	Ta. HR Vaire	
Corvalán (2015)	n/e	2	√		√		
Freewan (2020)	Jordania	1	√	√			*
Galal (2019)	Trípoli, Líbano	*	√	√	√	√	
Secchi (2015)	Chianti, Italia	2	√	√		√	
Michael (2017)	Nicosia, Chipre	4	√		√		40
Ricciardi (2018)	Pavia, Italia	7	√				928
Korsavi (2015)	Kashan, Irán	2	√	√		√	126
Kritikou (2018)	Estocolmo, Suecia	6	√			√	√ 242
Ferrara (2018)	Turín, Italia y Palermo, Sicilia	1	√				√ *
Zomorodian (2019)	Texas, E. U.	2	√		√		27

*No especificado

Fuente: Elaboración propia.

Varios investigadores han considerado evaluar las condiciones lumínicas en espacios educativos incluyendo otros factores ambientales: consumo de energía de confort acústico, visual y térmico (Kritikou 2018), confort térmico y confort visual (Ferrara et al. 2018) el impacto del diseño arquitectónico basados en las respuestas de los estudiantes, considerando la orientación de la envolvente y las diferencias de espacio físico (Zomorodian and Tahsildoost 2019) que se considera deben ser considerados en futuros estudios.

Aunque el confort lumínico se ha considerado fundamental en los edificios educativos, la literatura es limitada, a diferencia del confort térmico. La revisión de literatura mostró un número reducido de estudios de confort térmico y lumínico en México. Ninguno de ellos se realizó en la región de Tijuana para edificios educativos.

2.3. Marco Teórico

Los fundamentos teóricos del confort térmico y lumínico interior se basan en la comprensión de la sensación térmica y la percepción de la luz conocida; el confort térmico y lumínico en sí mismos, los modelos desarrollados y la normativa vigente.

La sensación y la percepción de estos factores ambientales son analizados en función de aspectos personales y la influencia del contexto, también se revisa las condiciones ambientales del espacio y la adaptación térmica y lumínica de los ocupantes.

Con el objetivo de establecer las variables y proceso metodológico de este estudio se realizó una revisión de las consideraciones de diseño que fueron tomados en cuenta en los modelos de confort térmico y lumínico. Además, se analizó la normatividad para ambos factores ambientales, que establecen los mínimos necesarios, el proceso de aplicación y sus limitaciones. Las bases teóricas se presentan de forma independiente para su mejor entendimiento.

2.3.1. Confort Térmico

El confort térmico es “esa condición *mental* que expresa *satisfacción* con el entorno térmico y se valora mediante una evaluación subjetiva (ANSI/ASHRAE Standard 55 2017). Profundizando en esta definición, se encuentra que lo *mental* está relacionado con la mente, que es un fenómeno emergente responsable del entendimiento, la capacidad de crear pensamientos, el aprendizaje, la percepción, la emoción, la memoria y otras habilidades cognitivas más. La *satisfacción*, es el sentimiento de bienestar o placer que tiene una persona cuando se ha colmado un deseo o cubierto una necesidad.

2.3.1.1. Sensación térmica

Para Mayorga (2005) el confort térmico se manifiesta a través de la sensación y preferencia térmica. Por medio de la sensación se puede obtener una opinión cognoscitiva y de la preferencia se obtiene una opinión afectiva, como se puede ver en la Fig.1. ambas dependen de aspectos personales del individuo, como son: los biológicos, psicológicos y sociales; además de la influencia del contexto donde se desenvuelve el ser humano, como es el ambiente natural, el construido y el social.

Figura 1

Aspectos que influyen en la sensación y percepción térmica



Fuente: Elaboración propia a partir de Mayorga, 2015.

En la opinión afectiva se consideran factores internos como son motivaciones, experiencias pasadas, necesidades y el ambiente cultural y en los factores externos, la intensidad y tamaño del estímulo, el contraste en las situaciones y la repetición de cosas o sucesos, entre otros.

La opinión cognoscitiva es un procesamiento sensorial que pone al ser humano en contacto con el medio ambiente (interno y externo) a través de órganos sensoriales. Depende de las expectativas de la persona; de las condiciones del clima exterior: la estación del año y la hora del día, el asoleamiento; la iluminación y la calidad del aire interior, así como el diseño arquitectónico del espacio.

El propósito de esta sección es presentar un análisis del proceso que realiza el ser humano para percibir la sensación térmica, en la cual intervienen tanto los aspectos personales como el contexto. Las variables interrelacionadas que afectan la sensación térmica son: el metabolismo, la termorregulación, balance, ambiente y adaptación térmicos.

2.3.1.2. *Metabolismo*

Para entender como los aspectos personales biológicos entran en juego en el confort térmico, es importante saber que el cuerpo humano tiene un sistema regulador de temperatura, que, para mantenerlo a 37 °C involucra un número importante de órganos que realizan diferentes funciones para lograrlo.

El ser humano tiene sensores que identifican si tiene frío o calor. Cuando la temperatura del centro del cuerpo excede de 37°C, el sensor del hipotálamo activa la función de enfriamiento

del cuerpo, e inicia el proceso de vasodilatación, que permite que aumente el flujo de sangre a través de la piel para sudar, tomando la energía requerida para evaporarse.

Cuando la temperatura baja de los 34°C, los sensores de la piel inician la defensa del cuerpo contra el enfriamiento, por medio del proceso de la vasoconstricción, reduciendo el flujo de sangre a través de la piel y con el aumento de la producción de calor interior estimulando a los músculos, causando el estremecimiento o tiriteo.

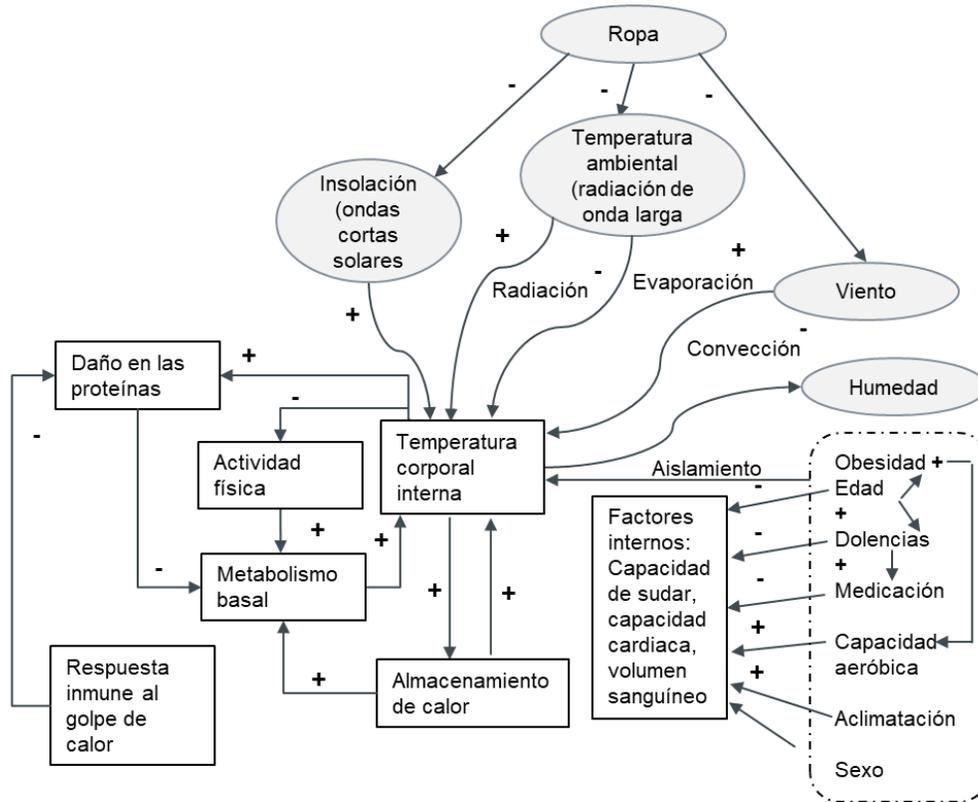
2.3.1.3. Termorregulación

La termorregulación se refiere a la capacidad de una persona para regular y mantener la temperatura del cuerpo dentro de ciertos rangos con los cuales el organismo puede funcionar, incluso cuando la temperatura ambiente tiene variaciones. La temperatura normal del cuerpo humano fluctúa entre los 36,5 y los 37,2 °C. Estas diferenciaciones se deben a la actividad física o del estado fisiológico del cuerpo.

La condición de confort térmico desde el punto de vista fisiológico es un estado de equilibrio expresado por el equilibrio térmico, que se refiere a la pérdida o ganancia de energía en el cuerpo humano provocada por el proceso químico del metabolismo y el proceso fisiológico de termorregulación, la respuesta a los elementos externos del clima y al intercambio de calor que se produce entre la persona y el espacio en el que desarrolla sus actividades (Instituto sindical de Trabajo, 2019).

El modelo de termorregulación de la Fig. 2 muestra como fluye el calor en el cuerpo humano, así como la interrelación entre los factores fisiológicos y externos que afectan la termorregulación. El metabolismo produce la energía necesaria para mantener el cuerpo vivo y activo a partir de los alimentos y del oxígeno que, a lo largo de complejas reacciones químicas, se va convirtiendo en calor. El metabolismo varía de acuerdo con la edad, sexo, peso, altura y otras causas psicofisiológicas de las personas.

Figura 2
Modelo de termorregulación



Fuente: Instituto sindical de Trabajo, 2019.

El nivel de actividad metabólica es un indicador que influye en la evaluación de la tasa metabólica o la producción de calor del cuerpo humano tiene que ver con el estrés mental y vigor físico de la persona al realizar una actividad determinada y es usada como una unidad de medida (met).

La tasa metabólica de una persona sentada relajada es un (1) Met, donde

$$1Met = 58W/m^2(356Btu/h) \quad (1)$$

El área de superficie media del cuerpo humano es de aproximadamente 1.8 m² (19.4 pies²). El calor metabólico total para un cuerpo medio se puede calcular al multiplicarlo con el área. En la Tabla 3 se muestran los valores de la energía requerida para desarrollar diversas actividades. En el caso de actividades educativas, cuando los ocupantes se encuentran sentados

relajadamente, la tasa metabólica equivale a 58 W / m²; para la actividad sedentaria en escuelas como moverse dentro y hacia el aula se considera 70 W / m².

Tabla 3

Tasa Metabólica típica para actividades educativas

Actividad	W / m ²	Unidad met
Sentado relajado	58	1.00
De pie en reposo	70	1.20
Actividad sedentaria (oficina, vivienda, escuela, laboratorio)	70	1.00
De pie, actividad ligera (compras, laboratorio, industria ligera)	93	1.70
Profesor	95	1.60
Caminando sobre el nivel, 2 km / h.	110	1.90

Nota: 1.8 m² (19.4 pies²).

Fuente: ISO 7730:2006.

La literatura sobre el nivel de actividad (met) es limitada en cuanto a la evaluación del confort térmico interior. Aun cuando los datos que arroja en las encuestas son importantes en los resultados de los análisis, sirven para calcular el PMV y saber cuál es el número de personas insatisfechas.

La edad y los cambios hormonales son factores metabólicos que se han considerado en estudios previos del confort térmico, como el estudio de Buratti et al. (2017) para evaluar la sensación térmica interior considerando ambos sexos, donde los resultados no mostraron diferencias en la sensación térmica. En el caso de Nico, et al. (2015) los resultados mostraron una ligera diferencia en las respuestas masculinas y femeninas.

Existen afectaciones a la salud frente a estimulaciones de exceso de frío o de calor debido a que el organismo responde con una serie de mecanismos fisiológicos de regulación térmica dependiendo del ambiente térmico.

2.3.1.4. Balance térmico

El balance térmico de una persona permite evaluar la sensación térmica, considerando la relación entre diversas variables, propuestas en modelos para evaluar el confort térmico. Fisiológicamente, la condición del confort térmico se refiere a 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 sus actividades (Diego-Mas 2015).

De acuerdo con Chávez del Valle (2002) son dos las condiciones que deben cumplirse para mantener el confort térmico:

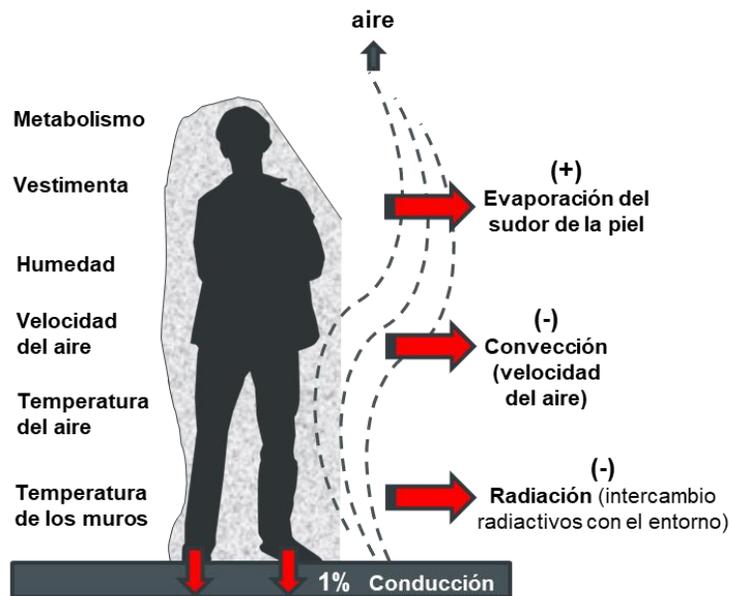
1- Que la combinación instantánea de temperatura de la piel y la temperatura del centro del cuerpo proporcione una sensación de neutralidad térmica. Lo que significa que la persona no se siente demasiado calurosa ni demasiado fría.

2- El cumplimiento del balance de energía del cuerpo: el calor producido por el metabolismo debe ser igual a la cantidad de calor perdida por el cuerpo.

Para lograr la sensación térmica de confort, el balance térmico debe tener un valor cero. Para ello, se requiere de una serie de factores que intervienen en el balance térmico mostrados en la Fig. 3, como son: la producción o pérdida de calor que dependen de los procesos metabólicos; del desprendimiento de calor por evaporación, la radiación y la convección que se dan entre el cuerpo humano y los elementos que conforman el entorno inmediato. Además, se señalan las condiciones del entorno que generan pérdidas de temperatura (-) que son consideradas como sensación térmica fría y las que generan ganancia (+), como sensación térmica de calor.

Figura 3

Factores que intervienen en el balance térmico



Fuente: Elaboración propia a partir de Chávez (2002).

La evaporación, convección y radiación son las principales maneras en que el ser humano y el medio ambiente interactúan en el intercambio térmico y funcionan de la siguiente manera:

La evaporación resulta de la pérdida de calor de una persona, derivando en sudor; tal pérdida de calor está en función del movimiento del aire y su diferencia con la presión parcial de la saturación en el aire.

En el proceso de convección se presenta un flujo de intercambio térmico entre la temperatura del aire y la superficie del cuerpo del ser humano. La velocidad del aire como un factor de movimiento de aire hacia el sujeto es determinante en la percepción de la sensación térmica

La radiación genera cuando una fuente de calor interactúa con la piel de una persona, dando como resultado el intercambio térmico.

La velocidad del aire es incluida en los cálculos de la sensación térmica, debido a que, en las proximidades de la piel, se crea una capa de aire inmóvil que mantiene una temperatura cercana a la de la piel y una humedad relativa alta. Como se muestra en la Fig. 3, el movimiento del aire desplaza ese aire y permite un intercambio de calor más efectivo con el ambiente y un mejor rendimiento de la evaporación del sudor, lo que modifica las condiciones térmicas del cuerpo.

El balance térmico se calcula con la fórmula de Fanger (1972):

$$M \pm W \pm R \pm C - E \pm C_{res} \pm E_{res} - E_d \pm C_{cond} = C_{cond.clo} = A \quad (2)$$

Donde,

M: Energía calórica producida por el organismo

W: Trabajo mecánico desarrollado

R: Intercambio de calor por radiación

C: Intercambio de calor por convección

E: Pérdida de calor por evaporación del sudor

C_{res}: Intercambio de calor por convección respiratoria

E_{res}: Intercambio de calor por evaporación respiratoria

E_d: Pérdida de calor por difusión del vapor

C_{cond}: Intercambio de calor por conducción

C_{cond.clo}: Conducción a través del vestido

A: Ganancia o pérdida de calor por el cuerpo

Es de vital importancia mantener la temperatura corporal estable debido a que una temperatura corporal interna muy alta podría inactivar las proteínas del cuerpo, inclusive, podría modificar su estructura provocando una desnaturalización de estas, inhibiendo su

funcionamiento. Mientras que una temperatura demasiado baja puede provocar arritmias, inactivar las proteínas y causar la muerte. La temperatura media de la piel varía según actividad metabólica, la vestimenta y las condiciones ambientales del espacio interior.

La función de la vestimenta es reducir la pérdida de calor del cuerpo, por ello se ha realizado una clasificación de las prendas a partir de su aislamiento térmico. La unidad para medir la influencia de la ropa en el confort térmico de las personas es el clo (ISO 7730:2005 2005). En la Tabla 4 se describe la vestimenta, el tipo y número de prendas del atuendo y el valor clo asignado. La escala clo parte de un clo = 0, que corresponde a una persona desnuda, siendo directamente proporcional a la suma total de prendas que lleva puesta la persona. A este valor se incluye los materiales de los asientos que también reducen la pérdida de calor del cuerpo.

Por ejemplo, clo = 1 corresponde al valor de aislamiento de la ropa necesaria para mantener cómoda a una persona cuando está sentada en reposo en una habitación a 21 °C (70 °F) con un movimiento de aire de 0.1 m / s y una humedad inferior al 50%, generalmente se considera a una persona con traje de negocios en un edificio de oficina (ANSI/ASHRAE Standard 55 2004). En la Tabla 4, se describe la vestimenta, el tipo y número de prendas del atuendo y el valor clo asignado.

Tabla 4

Valores de Aislamiento para conjuntos de ropa típica

Descripción vestimenta	Prendas	1 cl. (clo)
Pantalones	1) Pantalones, blusa o camisa de manga corta	0.57
	2) Pantalones, blusa o camisa de manga larga	0.61
	3) # 2 más saco	0.96
	4) # 2 más saco, chaleco, camiseta	1.14
	5) # 2 más suéter de manga larga, camiseta	1.01
	6) #2 más chaqueta de traje, pantalones largos de ropa interior	1.30
Faldas y vestidos	7) Falda hasta la rodilla, blusa de manga corta (sandalias)	0.54
	8) Falda hasta la rodilla, blusa de manga larga totalmente	0.67
	9) Falda hasta la rodilla, camisa de manga larga medio slip, suéter de manga larga	1.10
	10) Falda hasta la rodilla, blusa de manga larga, chaqueta de traje	1.04
	11) Falda hasta el tobillo, blusa de manga larga, chaqueta de traje	1.10
Pantalones cortos	12) Pantalones cortos para caminar, camisa de manga corta	0.36
Ropa deportiva	16) Pantalones para ejercitar, sudadera de manga larga	0.74

Elaboración propia. Fuente: Datos son recopilados del Capítulo 9 del 2009 ASHRAE Handbook-Fundamental 3.

El cálculo del aislamiento térmico de la ropa se puede realizar a partir de las combinaciones habituales de la ropa o bien, mediante la selección personalizada de prendas que

utilizan los alumnos, tomando en cuenta, además, considerando si se encuentran sentados al desarrollar la actividad, para agregar al aislamiento calculado de la ropa el proporcionado por el asiento.

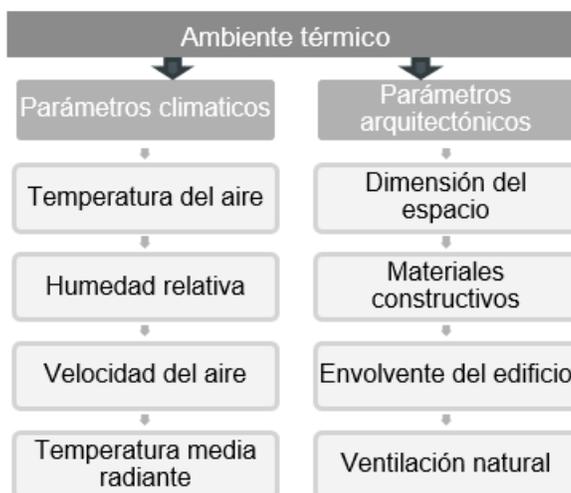
Para determinar la sensación térmica y el aislamiento de la ropa Ter Mors et al. (2011) tomaron en cuenta los diferentes tipos de vestimenta usados en la mañana y en la tarde, en días regulares de clase utilizaron valores de ISO 7730 para las diferentes prendas de vestir.

2.3.1.5. Ambiente térmico interior

El mejoramiento de las condiciones exteriores en espacios interiores ha sido una prioridad del ser humano para lograr el confort de los ocupantes al realizar sus actividades cotidianas. Las condiciones térmicas del ambiente es un parámetro de gran importancia al establecer estrategias de para el diseño de edificios. Para determinar el ambiente térmico interior intervienen, además de los parámetros fisiológicos, los parámetros físicos: climáticos y arquitectónicos mostrados en la Fig. 4, los cuales influyen en la sensación térmica de las personas (Olgyay 1998).

Figura 4

Parámetros físicos del ambiente térmico



Fuente: Elaborada a partir de Olgyay, 1998.

De los parámetros climáticos, se considera que la humedad relativa determina la capacidad del aire y la velocidad del viento determina el intercambio de calor por convección del cuerpo y están directamente relacionados con la transpiración de la piel. También, la sensación térmica se ve afectada por efectos radiantes.

Los parámetros climáticos pueden ser medidos cuantitativamente, estableciendo rangos y valores estándar dentro de los cuales se pueden mantener unas condiciones de bienestar para el individuo. Un ambiente térmico inadecuado puede causar reducciones de los rendimientos físico y mental, irritabilidad, incremento de la agresividad, de las distracciones, de los errores, incomodidad por sudar o temblar, aumento o disminución del ritmo cardiaco e incluso la muerte.

Los parámetros arquitectónicos consideran las características de los edificios, el dimensionamiento del espacio interior. En un edificio, el dimensionamiento de los elementos constructivos (muros, ventanas, puertas, superficie construida y volumen del aula) son datos requeridos para determinar la sensación y percepción térmica de las personas.

Las propiedades físicas de los materiales interactúan con los diferentes factores ambientales generando un flujo de calor por conducción, a través de la cual se transfiere calor (NMX-AA-164-SCFI-2013).

La envolvente del edificio es el elemento crítico en la relación del espacio interior con el exterior. Aisla de condiciones ambientales adversas y también regula la captación o disipación de energía ambiental. La envolvente térmica de un edificio es la piel que lo protege de la temperatura, aire y humedad exteriores.

La norma ISO 7730:2005 establece un periodo de 30 minutos de variación del sistema de termorregulación para una actividad pasiva.

En el aspecto cultural, la forma de vida, costumbres y conocimiento empírico del clima influyen en la tipología de los edificios. Además, el aspecto social entra en juego para determinar el tipo de vestimenta adecuado para la convivencia social, que depende de la actividad y tiempo de duración de esta, influyendo en la sensación térmica de las personas, repercutiendo en el proceso de aclimatación.

La aclimatación es un factor de tipo personal importante en el análisis de las respuestas fisiológicas del hombre al clima, ya que puede incidir en la producción metabólica de calor durante el período en que se está expuesto ante determinadas condiciones de frío o calor. Sin embargo, es un aspecto para el que no se han establecido valores que puedan ser utilizados en las fórmulas de estimación del índice de confort.

El hombre al ser expuesto a elevadas o bajas temperaturas, en un primer momento, muestra un aumento considerable de su metabolismo basal, pero con el tiempo puede ir reduciendo la producción de calor al acostumbrarse o aclimatarse a ciertos valores de temperatura, llegando incluso a modificar sus niveles de confort.

Para determinar la sensación térmica de las personas dentro de un espacio, existen modelos de confort térmico que consideran solo la parte fisiológica, mientras que los que se basan en el enfoque adaptativo incluyen también los aspectos psicofisiológicos.

2.3.1.6. Modelos de Confort térmico

El propósito de esta sección es presentar los fundamentos de investigación del confort térmico, que tienen sus principios en el conocimiento de sus aspectos generales, los cuales fueron utilizados para identificar los enfoques de investigación estático y adaptativo, con sus modelos teórico-conceptuales, así como sus ventajas y desventajas.

Modelo estático

Fanger y Toftum (2002) estudiaron el comportamiento del cuerpo sano, adulto y sedentario al estar en estado de confort y lo relacionaron con la temperatura superficial de la piel. Percibieron que al variar cualquiera de estas, la temperatura de confort variará, produciendo en el cuerpo respuestas fisiológicas en forma proporcional a la incomodidad térmica percibida.

La ecuación de Fanger, que convierte la carga térmica acumulada en el cuerpo a un valor posible de voto, establece el índice para determinar el confort térmico: voto medio previsto (en inglés, *Predicted Mean Vote*, PMV). Además, al comparar los resultados de estudios similares desarrolló el índice de porcentaje previsto de insatisfechos (en inglés, *Predicted Percentage Dissatisfied*, PPD) que complementa el resultado.

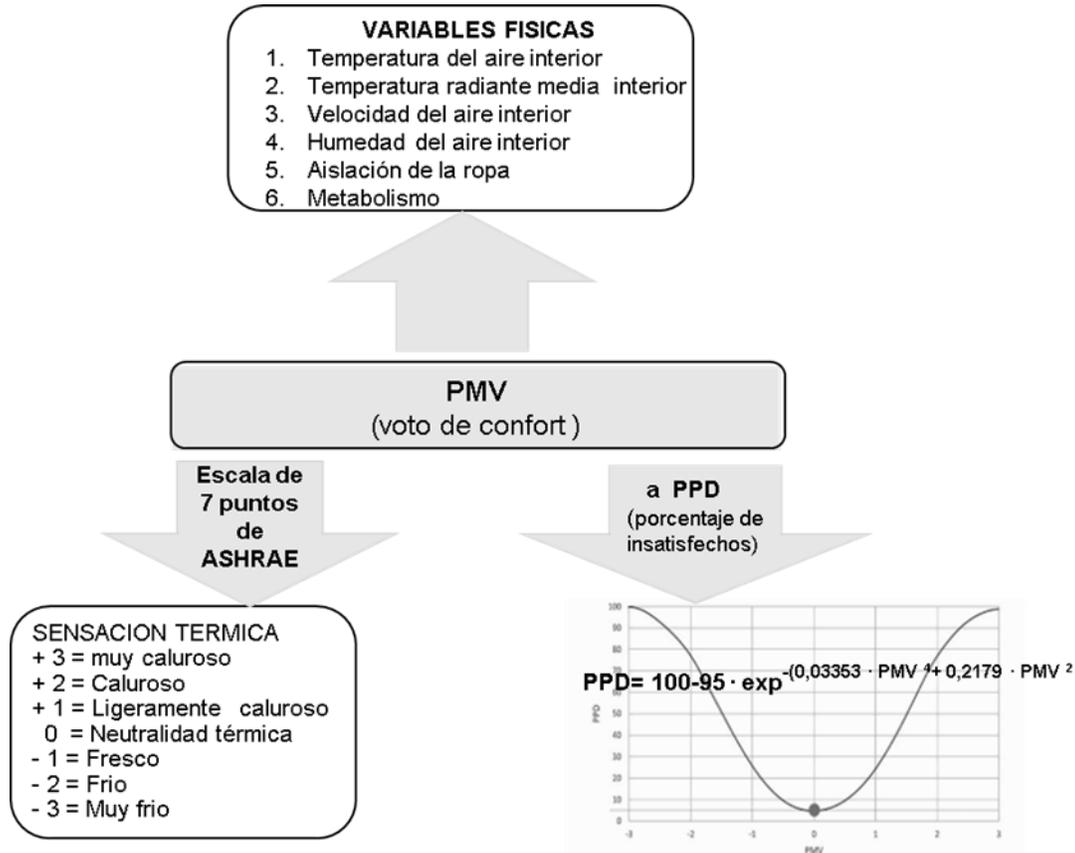
El enfoque PMV-PPD tiene como ventaja que, en los resultados de su ecuación, no representa significancia la nacionalidad, sexo, edad y hora del día. La desventaja es que solo se aplica en espacios donde se utiliza aparatos de aire acondicionado y calefacción.

Este método es la base de los estándares que son utilizados actualmente en la práctica: ISO 7730 y ASHRAE 55, donde define una escala subjetiva de siete puntos, que van de +3 a -3 considerando el 0 como neutro, como se puede ver en la Figura 5, lo cual permite cuantificar el PMV para obtener el voto de sensación térmica de los ocupantes (Arballo, et al., 2016).

Los estudios basados en el modelo de Fanger consideran dos variables para calcular el PMV: las físicas (clima interior) y las personales (arropamiento y actividad metabólica) de las cuales se analizan seis índices, como muestra la Fig. 5, que influyen en las condiciones de confort térmico interior de los edificios (ASHRAE STANDARD, 2011).

Figura 5

Relaciones del PMV (voto de confort)



Fuente: Elaborada a partir de Van Hoof, 2010

El índice PPD predice cuantas personas van a sentirse incomodas térmicamente debido a las condiciones ambientales de un espacio interior. La incomodidad puede causar sofocos, mucho frio o mucho calor. Para conocer el PPD, Fanger determinó un mínimo de 5% de insatisfacción cuando se encuentra a una temperatura de neutralidad "0" (cero) considerando 25.6 °C. El PPD se puede obtener del PMV por medio de la siguiente fórmula:

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp^{-(0.03353 \cdot PMV^4 + 0.2179 \cdot PMV^2)} \quad (3)$$

Donde:

PPD = porcentaje previsto de personas insatisfechas.

PMV = voto medio previsto. (Ole Fanger y Toftum, 2002)

El modelo de Fanger es uno de los más usados en las investigaciones para evaluar el confort térmico ya que se encuentra soportado por una normatividad internacional ASHRAE 55-

2014, que se ha estado actualizando para cubrir con las necesidades que el diseño de los edificios requieren para establecer estrategias para lograr el confort térmico interior.

Inicialmente, los estudios realizados por Fanger en cámaras climatizadas fueron desarrollados en edificios con climatización mecánica. Posteriormente se generalizó su aplicación para todo tipo de edificios y climas. Por esta razón, se ha puesto en duda que un estándar desarrollado en cámaras térmicas pueda aplicarse universalmente, considerando que no toman en cuenta las variables del contexto que pudieran servir para determinar las respuestas en determinadas condiciones térmicas ambientales (de Dear Richard y Brager G. S. 1998).

Varios investigadores han encontrado discrepancias con el modelo de Fanger. Nematchoua et al. (2014) realizaron un estudio en 290 edificios, con un total de 1120 cuestionarios sobre sensación térmica, concluyendo que el PMV no siempre muestra una buena correlación en edificios con ventilación natural. Anguita et al. (2018) obtuvieron resultados donde el PPD se duplico respecto al cálculo del PMV y PPD. De Dear y Brager realizaron un estudio en más de 300 edificios, con participación de 21,000 ocupantes, encontrando diferencias entre el PMV y los valores de votos medios actuales (AMV) en especial en espacios ventilados naturalmente, que presenta condiciones mucho más variables que los aclimatados mecánicamente (de Dear y Brager 1997).

Para estudios realizados en edificios educativos, este modelo omite en sus rangos a la personas menores edad, usuarios que acuden a las aulas desde kínder a preparatoria, tampoco considera a los alumno con capacidades diferentes, solo considera a personas sanas (Vilcekova, S. 2017).

Modelo adaptativo

El modelo adaptativo sustenta sus bases en la obtención de datos resultado de los estudios de campo, donde el ocupante se estudia en el espacio donde desarrolla sus actividades. Toma en cuenta cómo reacciona para aclimatarse fisiológicamente y cuáles son sus reacciones psicológicas de adaptación, tolerancia y expectativas. Las condiciones de prueba tienen variación continua, ya que se considera al ocupante como receptor activo que busca el equilibrio dinámico con el ambiente que lo rodea, por lo que los resultados tienen variaciones dependiendo del lugar, aspectos socioculturales e incluso se presentan entre una persona y otra, por lo que se establece una temperatura de neutralidad o de confort sobre la temperatura media exterior (Brager y de Dear, 2003)

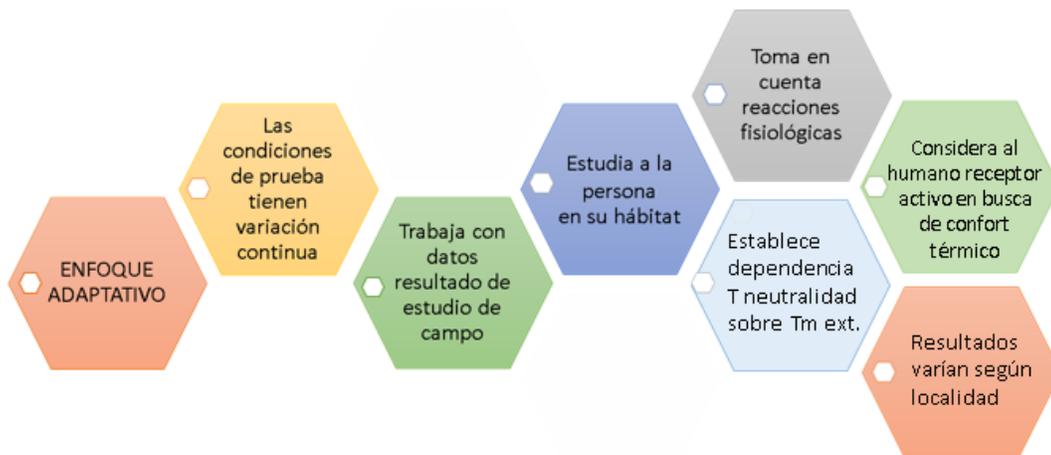
En cuanto al modelo adaptativo, Arballo et al. (2016) lo diferencian del modelo de Fanger por la interacción dinámica que tiene el usuario con el espacio naturalmente ventilado, el nivel de

adaptabilidad del ocupante cuando hay un cambio de temperatura, entre el interior y el exterior y la reacción que tiene para restaurar su situación de confort. Establecen que las adaptaciones de conducta, fisiológica y psicológica del usuario en espacios ventilados naturalmente son más amplias que cuando se encuentran en espacios donde se utilizan aparatos mecánicos.

Los estudios que utilizan el modelo adaptativo, como se ve en la Fig. 6, se basan en estudios de campo aplicados en edificaciones reales con ventilación natural (Kim & Dear, 2018; Liu et al., 2019) donde las condiciones de prueba tienen variaciones continuas debido a la interacción activa que tienen los ocupantes con el sistema del entorno. Por lo que se busca una retroalimentación de la percepción térmica del ser humano en un espacio determinado, considerándolo receptor activo en busca del confort térmico basado en experiencias pasadas ambientales térmicas, culturales y prácticas técnicas (G. S. Brager & de Dear, 1998).

Por otro lado, la hipótesis básica del concepto de confort adaptativo de Nicol y Humphreys (2002) es que “si ocurre un cambio que general discomfort, las personas reaccionan llevando a cabo acciones para volver al estado de confort”. De tal forma que las condiciones de confort térmico dependerán de la interacción que tenga la persona con el entorno y su capacidad de adaptarse al ambiente de acuerdo con sus requerimientos.

Figura 6
Bases del sustento del Modelo Adaptativo



Fuente: Elaborada a partir de Brager y de Dear, 1998.

El modelo planteado por De Dear y Brager (2002), es utilizado por el estándar ASHRAE 55, se expresa mediante la siguiente formula:

$$T_{conf} = 17.6 + (T_{p.exp} \times 0.31) \quad (4)$$

Donde:

T_{conf} = Temperatura de confort o neutralidad térmica

$T_{p. ext}$ = Temperatura promedio exterior de bulbo seco

Teniendo en cuenta lo anterior, puede adjudicarse a las personas tres procesos diferentes del confort térmico: ajuste conductual, en donde el ocupante realiza acciones para restablecer su estado de confort tales como abrir las ventanas y puertas, prender los ventiladores, entre otros; climatización fisiológica, referente al ajuste de vestimenta, alimentación y aclimatación del usuario; y habituación o expectativa psicológica en relación a las condiciones climáticas interiores y exteriores del edificio. (G. S. Brager y de Dear, 1998).

En el modelo adaptativo se consideran tres variables principales:

1.- El clima. Las características del clima influyen en la adaptación fisiológica de las personas respecto a su entorno. El clima es uno de los factores más importantes en la toma de decisiones para el diseño de los edificios, dado que determina las condiciones ambientales de un espacio interior y por ende puede afectar la respuesta de las personas a esas condiciones térmicas del edificio.

2.- El edificio. Las características del edificio (materiales de construcción, la envolvente y dimensiones de los elementos de diseño, entre otros) pueden permitir llevar a cabo determinadas acciones para cambiar las condiciones de confort de los ocupantes, por ejemplo, abrir ventanas o manipular tratamiento en ventas.

3.- El tiempo. El tiempo que las personas llevan realizando una actividad en un espacio determinado debe considerarse, dado que su respuesta a las condiciones ambientales tiene un marco temporal, lo que puede provocar cambios continuos para establecer su situación de confort.

En suma, el modelo adaptativo del confort térmico determina los rangos máximos de temperatura exterior para establecer la temperatura máxima interior para lograr el confort de los ocupantes (Molina y Veas, 2012), tomando en cuenta la capacidad de adaptación de las personas en espacios naturalmente ventilados, sobre todo cuando tienen el control para modificar las condiciones ambientales que resulte en una situación de confort.

Las ventajas que presenta el modelo adaptativo son la practicidad en su aplicación y en la interpretación de resultados. Además, considera las respuestas de los ocupantes a través de encuestas sobre el confort térmico del espacio interior ventilado naturalmente. Este modelo considera importante el control que pueden tener los ocupantes sobre las condiciones térmicas interiores.

La desventaja es que, para determinar el confort térmico en un espacio interior, los resultados varían de acuerdo con el clima local, también se basan en la subjetividad. Debido a que la temperatura neutral no es puntual, puede ser que los ocupantes estén cercanos a esa temperatura sin que sientan confort, por lo que se han establecido nuevos rangos de confort específicos para la zona de estudio.

Estudio correlacional

Los modelos estadísticos de confort térmico se sustentan en el enfoque adaptativo para establecer temperaturas interiores con la que el mayor número de los ocupantes se sentiría en confort. Generalmente, estos modelos se derivan de estudios de campo realizados en edificios reales, donde se cuestiona a los ocupantes sobre su sensación térmica respecto a una escala previamente establecida.

Además, simultáneamente se registran las características de la persona, su vestimenta, considerando el tipo de actividad que realiza, así como las condiciones climáticas al interior y exterior del edificio. También, deben registrarse cuales son las acciones que los usuarios realizan para tratar de mantenerse en confort, como es el ajuste de vestimenta, abrir o cerrar ventanas y puertas y encender o apagar ventiladores.

El cálculo para establecer la temperatura de un espacio interior es a partir de las temperaturas exteriores locales. La temperatura establecida suele extenderse aumentando o disminuyéndola para establecer la zona de confort, dado a que las diferencias importantes en que los usuarios se ven afectados por las condiciones climáticas. La zona de confort define un rango de temperaturas donde la mayoría de los ocupantes, de forma previsible, se pudieran sentir en estado de confort.

Una de las desventajas de este modelo es que los cambios simultáneos en muchas de las variables observadas dificultan generalizar los resultados. La otra, es que no toma en cuenta el condicionamiento histórico y cultural de las personas. En su estudio Kong et al. (2019) consideraron residentes locales y migrantes para conocer la preferencia térmica, encontrando que esta dependía de la nacionalidad, pero no así, la sensación térmica.

El estudio correlacional incluye varios procesos de investigación inductivos múltiples que tratan diversos factores del fenómeno simultáneamente para determinar si dos variables están correlacionadas o no. Si el aumento o disminución en una variable es coincidente con el aumento o disminución en la otra variable.

El método de investigación de tipo correlacional con enfoque adaptativo es el siguiente:

1.- Caso de estudio. Se define por la población objeto con la que se realiza la investigación considerando el clima, tipo de espacio interior, edad género y nivel de actividad

2.- Variables a estudiar. Se definen con respecto al sujeto o grupo de análisis y de tipo meteorológico.

3.- Instrumentos de medición. Seleccionados de acuerdo con las variables a medir.

4.- Diseño de cuestionario. Debe corresponder al objetivo del estudio. Las preguntas que establecen sensación térmica serán basadas en una escala subjetiva determinada en la norma ISO 10551.

5.- Diseño de la muestra. Considera el tipo de muestreo y el tamaño de la muestra.

6.- Aplicación en campo. Etapa donde se recopila la información de las variables obtenidas de los instrumentos de medición, cuestionario y método de muestreo.

7.- Análisis de datos y resultados. Establecer modelo de regresión por correlación de acuerdo con el modelo estadístico a desarrollar.

El método estadístico convencional se basa en la regresión lineal de los pares de datos obtenidos en el estudio de campo, que constituyen la respuesta de las personas respecto a su sensación térmica y el valor de la temperatura ambiente registrado simultáneamente.

En el análisis de datos, el coeficiente de determinación (r^2) es un valor de referencia para determinar la validez de los modelos de regresión obtenidos. De acuerdo con el fenómeno analizado, cuando r^2 se encuentra entre 0 y 1, existe una variación en los rangos de aceptación. Cuando se toma como base la temperatura neutral, tienen mayor validez los valores próximos a uno.

2.3.1.5. Normatividad

La importancia del estudio de confort térmico en espacios interiores se observa con el desarrollo de las normas ISO 7730: 2005, ANSI/ASHRAE 55:2004 e ISO 10551: 1995.

La normatividad nos permite conocer los alcances y limitaciones que tienen respecto a los ocupantes, en que modelos de confort térmico están basadas y las consideraciones de los parámetros considerados y del tipo de edificio en los que pueden ser aplicadas.

ISO 7730:2005

La Organización Internacional de Estandarización (por sus siglas en inglés, *International Standardization Organization*, ISO) desarrolló la norma 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* que utiliza como base de análisis el modelo de balance térmico de Fanger.

La norma ISO incluye determina cuatro factores que pueden producir insatisfacción en la sensación térmica local: corriente de aire, diferencia térmica vertical del aire, radiación asimétrica y temperatura operativa del espacios de estudio. La ISO determina un valor para cada uno de los factores para calcular PPD de acuerdo con unas condiciones ambientales dadas.

Esta norma fue diseñada para un ocupante tipo de oficina con patrones de actividad repetitiva. Sin embargo, el PMV se puede ser calculado para diferentes combinaciones de las variables físicas, sin que los coeficientes de la ecuación que se presentan no se modifiquen.

Las limitaciones de esta norma son que no considera actividades moderadas a intensas como son las deportivas y recreativas. Respectivo a la vestimenta, la norma no considera el efecto conductivo y convectivo de la ropa en periodos cálidos o fríos. Otro aspecto es que la norma solo se aplica en espacios con sistemas de climatización mecánicos, sin considerar los espacios naturalmente ventilados.

ANSI/ASHRAE 55:2004

El Instituto Nacional Americano de Estándares Nacionales (en inglés, *American National Standards Institute*, ANSI) y la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (en inglés, *American Society of Heating, Refrigerating, Air Conditioning Engineers*, ASHRAE), publicaron en el 2004 la versión actualizada de la ANSI/ASHRAE 55:1992 *Condiciones ambientales térmicas para ocupación humana* (en inglés, *Thermal Environmental conditions for Human Occupancy*), la cual determina las condiciones donde un porcentaje determinado de los ocupantes sentirá un ambiente térmicamente aceptable.

El propósito de este estándar es detallar combinaciones de factores térmicos ambientales y personales con los cuales la mayoría de los ocupantes estarán en condiciones térmicas ambientales aceptables dentro de un espacio interior, principalmente en edificios de oficinas.

Esta norma es la primera que considera dos enfoques de estudio para evaluar el ambiente térmico que pueden aplicarse en edificios con sistema de aire acondicionado y calefacción (Modelo de Fanger), y también los ventilados naturalmente (Modelo adaptativo) para evaluar

ambientes térmicos en espacios interiores para los que se incluyen cálculos con el método del PMV/PPD, así como el concepto de adaptación considerando aspectos tratados en las normas ISO 7730 e ISO 7726.

El estándar propone aplicar el modelo adaptativo para determinar los requerimientos del confort térmico, siempre y cuando se cumplan las siguientes condiciones:

- a) Los ocupantes deben controlar el sistema de acondicionamiento
- b) El espacio debe contar con ventanas operables
- c) Puede utilizarse ventiladores
- d) Los ocupantes deben realizar una actividad sedentaria (1-1.3 met)
- e) Los ocupantes puedan adaptar su vestimenta en función del clima interior y exterior
- f) La temperatura operativa debe estar entre 10°C y 33.5°C

Las variables que considera para evaluar la sensación térmica y la interacción con el ambiente térmico son la temperatura, humedad relativa, velocidad del aire y radiación térmica. La norma está diseñada para aplicarse a una altitud superior a 3000 m, los ocupantes deben ser adultos saludables, además, que hayan permanecido mínimo 15 minutos dentro del espacio interior.

Una de las contradicciones que presenta esta norma respecto a la adaptación del ocupante al ambiente térmico es que no considera el aislamiento de la ropa, ni la actividad metabólica. En el caso de edificios educativos, donde los ocupantes son menores de edad con condiciones físicas y aprendizaje diferentes, pueden tener el mismo nivel de actividad, pero la tasa metabólica es diferente al igual que sus requerimientos térmicos ambientales.

Al considerar que el usuario debe estar realizando una actividad sedentaria, no considera que los usuarios tienen movilidad dentro del espacio para llevar a cabo diferentes tareas dentro de un espacio interior. Como en el caso de los alumnos, que se levantan al pizarrón, al baño, tomar agua, para cumplir con alguna actividad motora, por mencionar algunas.

El considerar en la norma un apartado para espacios ventilados naturalmente, fue una aportación de gran importancia.

ISO 10551:1995

La norma *Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales* es un estándar sobre confort térmico que utiliza el enfoque de adaptación en el diseño de cuestionarios. Se utilizan preguntas cerradas, usando escalas de juicio, para recolectar la percepción que tienen los ocupantes sobre la sensación térmica en un espacio interior. La validez de los resultados subjetivos considera dos aspectos:

1. La obtención de datos subjetivos se logra con mayor facilidad que los datos objetivos. Aun no se ha comprobado cuál de los dos resultados tiene mayor veracidad.

2. Con la comunicación directa del ocupante al aplicar la encuesta, se obtiene información de primera mano en un espacio real. En cámaras controladas, no se pueden claramente la diferencia entre los datos subjetivos y objetivos.

Para evaluar el confort térmico de forma subjetiva, se proponen cinco tipos de juicio personal con preguntas que pueden tener entre dos y nueve niveles en la escala de valor para el objeto de juicio: sensación y el ambiente térmico que en la Tabla 5 están especificados.

Tabla 5

Preguntas base para determinar la sensación y ambiente térmico

Objeto de juicio	Tipo de juicio	Pregunta base	Niveles	Escalas
Sensación térmica	Perceptual	¿Cómo se siente usted en este preciso momento?	7 o 9	a. Extremadamente frío 1. Mucho frío 2. frío 3. Algo de frío 4. Ni calor, ni frío 5. Algo de calor 6. Calor 7. Mucho calor b. Extremadamente caliente
	Evaluación afectiva	¿Cómo se encuentra usted en este momento?	4 o 5	1. Confortable 2. Ligeramente inconfortable 3. Inconfortable 4. Muy inconfortable 5. Extremadamente inconfortable
	Preferencia térmica	¿Cómo preferiría usted sentirse en este momento?	7 o 3	a. Mucho más fresco b. más fresco 1. Un poco más fresco 2. Sin cambio 3. Con un poco más de calor 4. Ni calor, ni frío c. Con un poco más de calor d. Mucho más caluroso
Ambiente térmico	Aceptación personal	¿Cómo considera el ambiente (clima local) en lo personal?	2	1. Generalmente aceptable 2. Generalmente inaceptable
	Tolerancia personal	¿Qué tan tolerable le parecen las condiciones del ambiente en este momento?	5	1. Perfectamente tolerable 2. Tolerable 3. Ligeramente intolerable 4. Intolerable 5. Extremadamente intolerable

Fuente: ISO 10551, 1995.

El diseño de la norma establece, como complemento, la utilización de instrumentos de medición de las variables climáticas (temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del aire, radiación solar). Para evaluar el ambiente térmico considera una actividad pasiva menor o igual a 70 W/m², vestimenta de 0.5 a 1.2 clo y que el usuario tenga 30 minutos mínimos de permanencia dentro del espacio interior. La edad de los entrevistados debe estar en el rango de los 12 años, cuando se está consiente para tomar decisiones y a los 65 años, antes de que se presenten problemas de salud, ya que considera solo personas sana.

2.3.2. Confort lumínico

El confort lumínico es la percepción que las personas tienen de luz a través del sentido de la vista. Se ha comprobado que el rendimiento, bienestar y aprovechamiento de los alumnos está estrechamente relacionado con el confort lumínico (Barrett, et al. 2015). Para el análisis del confort lumínico los índices a cuantificar son la luz natural y la luz artificial en el interior del aula (Giraldo et al. 2019).

Además de estos índices, se debe pensar el diseño arquitectónico de la escuela en cuanto a las dimensiones del espacio y de las ventanas, así como la orientación del edificio (Secchi et al. 2015), ya que de acuerdo con la cantidad de luz natural que reciba un espacio será la necesidad de iluminación artificial requerida, lo que impacta directamente al gasto energético del edificio (Ferrara et al. 2018) que, en las últimas décadas, ha ido aumentando debido a que las personas permanecen la mayor parte del día en espacios interiores (Korsavi Sepideh S. et al. 2016).

Desde el punto de vista arquitectónico, la luz natural y el diseño del edificio se fusionan para generar confort lumínico de los ocupantes en el interior de los espacios (Galasiu & Reinhart, 2008). En el caso de los edificios educativos, el diseño de la envolvente del edificio debe considerar aprovechar al máximo la luz del día para garantizar confort lumínico dentro del espacio interior, cubriendo una necesidad esencial de los alumnos para realizar las tareas propias del aprendizaje, preservar la salud, bienestar, seguridad y el buen estado de ánimo dentro del ambiente (Aries, 2005; Barrett et al., 2015).

2.3.2.1. Luz natural

La luz es energía electromagnética que puede ser visible por el ojo humano en el rango de longitud de onda que va del rojo (780 nm) al violeta (380 nm), que forma el espectro visible que nos permite ver los objetos por medio de la luz natural con color. Ahora bien, los colores que

tiene el arco iris se distribuyen de forma continua cuando la energía en cada longitud de onda es similar a la luz solar y el conjunto se capta como luz blanca.

Cuando las radiaciones tienen una longitud de onda, dan como resultado las luces monocromáticas. Si las fuentes térmicas de luz emiten radiación en todas las longitudes de onda de rango visible se tienen un espectro continuo; si las luces de descarga emiten radiación en longitudes de onda del rango visible, se tiene un espectro discontinuo. De acuerdo con el Comité Español de Iluminación (CEI) e Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) (2005), la luz es una fuente luminosa eficaz para cubrir todo el espectro visible, debido a esto, las personas perciben de forma perfecta las variaciones de intensidad, color y distribución de luminancias.

La luz del día es una fuente de energía gratuita que solo puede aprovecharse una parte del día. Por esta razón, tiene gran importancia que, durante el proceso de diseño del edificio, se consideren espacios arquitectónicos con vanos de ventanas bien orientados y materiales constructivos adecuados para que la luz diurna sirva en el desarrollo de las actividades de los usuarios.

La luz natural es necesaria para que nuestro organismo funcione correctamente y desarrolle sus actividades físicas y mentales correctamente durante el día. La visión es básicamente el proceso por medio del cual se transforma la luz en impulsos nerviosos, capaces de generar sensaciones. El órgano que hace estas funciones fisiológicas es el ojo humano, el cual se encuentra más cómodo con la luz diurna (Aries, 2005).

Se ha comprobado que la luz natural tiene un impacto positivo en la salud y bienestar de las personas controlando varios procesos fisiológicos y psicológicos mostrados en la Fig. 7, que impactan positivamente la salud en la cura de enfermedades: aumentando la lucidez de las personas, mejorando los patrones de sueño y también en el estado de ánimo, disminuyendo el riesgo de depresión. También tiene control del reloj biológico e influye en la realización de actividades de las personas. Además, la luz diurna es un factor emocional muy importante que conecta al ser humano de manera visual con el exterior (CEI e IDAE 2005).

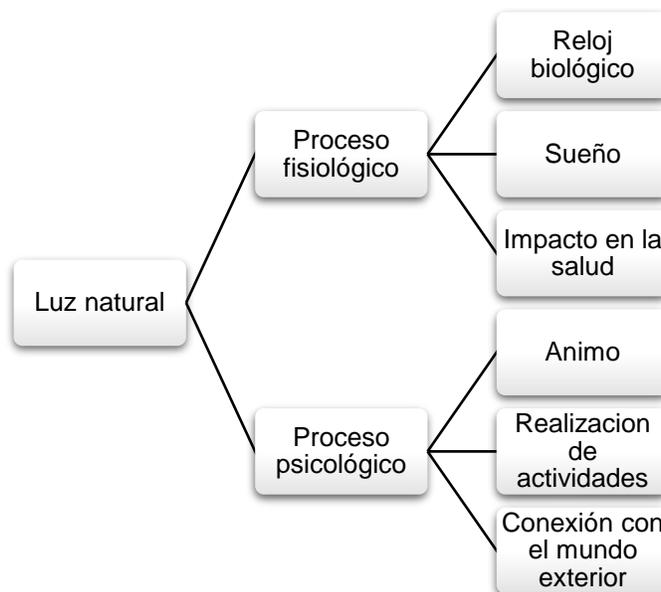
Por lo anterior, se debe asegurar que los usuarios están cómodos con la cantidad de luz natural para realizar sus tareas y actividades cotidianas. Producto de una mala iluminación interior se presentan problemas en el sueño, fatiga, motivación reducida, entre otros, por lo que se debe considerar alternativas de iluminación artificial que sea dinámica, de tal forma que pueda simular las condiciones óptimas de la luz natural (CEI e IDAE 2005).

También existen efectos térmicos que deben considerarse en la propuesta arquitectónica de vanos de ventanas e iluminación de un edificio. El aprovechamiento de la luz natural puede

disminuir las aportaciones caloríficas y con ello a disminuir el gasto energético en refrigeración. En un espacio sin usuarios, el control térmico y de iluminación con luz natural están relacionados en cuanto a ganancias de calor ya que durante el día pueden utilizarse barreras para evitar que penetre el sol que calienta el espacio y durante la noche abrirlas para enfriar el área por radiación y viceversa en invierno.

Figura 7

Procesos controlados por la luz natural



Fuente: Elaborada a partir de Comité Español de Iluminación e Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía 2005.

La iluminación E se mide en lúmenes por m^2 o lux. Las actividades cotidianas requieren niveles de iluminación que son menores que los mínimos exteriores, estos varían entre los 1000-2000 lux en un día gris y los 100.000 lux de un día soleado. Existen actualmente tecnologías que pueden igualar y hasta superar los efectos beneficiosos de la luz natural. Estos datos deben considerarse para iluminar las diferentes áreas donde se realizan las diversas actividades para poder dotar de una luz saludable y dinámica.

Por último, se tiene el efecto que tiene la luz sobre los objetos y las superficies. Existen efectos negativos que se genera cuando los objetos están expuestos a la luz natural por largos periodos, como el desgaste y deterioro a causa de la emisión de radiación infrarroja que incide sobre los mismos. Esto se puede evitar utilizando filtros en ventanas o en las lámparas eléctricas. La radiación infrarroja es la causante principal del calentamiento de los espacios interiores,

provocando un desequilibrio térmico en verano causando la utilización de aire acondicionado, aumentando el consumo energético del edificio (CEI e IDAE 2005).

Para la obtención de un buen aprovechamiento de la luz natural existen criterios a considerar como son:

1.-Los parámetros de diseño, los cuales deben considerarse desde el inicio del proyecto. es importante considerar el campo de trabajo, que considera un diámetro de 30° aproximadamente, donde el ojo tiene una buena agudeza visual del entorno y puede apreciar la profundidad mediante la visión estereoscópica. Asimismo, debe tomarse en cuenta que las personas son sensibles a la intensidad de la luz (luminancia) que procede fuentes de luz, como son las lámparas o pantallas de televisión o computo, o que pueden llegar también como luz reflejado en superficies iluminadas del entorno que les rodea.

Considerando ambientes con diferentes niveles de iluminación, se ha comprobado que el ojo puede adaptarse a una visión desde 100,000 lux en días soleados, hasta menos de 0.1 lux a la luz de la luna. Normalmente hay variaciones bruscas durante el día con factores que van entre 1/100. Cuando la luz es excesiva, las personas pueden llegar a sentir dolor, lo que produce una adaptación rápida a niveles altos de iluminación; contrario a la poca iluminación, que no causa molestia, pero la adaptación es más lenta.

De acuerdo con el cuadro de niveles de iluminación (Monroy, 2006, p. 25) los niveles de iluminación recomendados para una tarea visual es en relación 1/1.5, tomando en cuenta que la visión humana se adapta con eficacia, las variaciones en esta proporción pueden ser casi imperceptibles.

En general, durante el proceso de diseño de un edificio deben plantearse los objetivos que cubran los requerimientos de iluminación interior y exterior, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

A. Factor de iluminación natural (FIN)

$$FIN = E_i/E_e \times 100 (\%) \quad (5)$$

Donde,

E_i = el nivel de iluminación de cada punto interior del local

E_e = nivel de iluminación difusa horizontal al exterior del espacio

B. Estabilidad temporal. Cuando se trata de iluminación natural existe una estabilidad temporal del nivel luminoso exterior que irá cambiando al transcurrir el día, de acuerdo con la nubosidad, por lo que se recomienda utilizar un factor de 1/3 respecto al nivel medio. Monroy, M.

(2006) recomienda que predomine la luz difusa en los espacios para mantener estable la luz natural de la bóveda celeste, evitando la luz directa por medio de diseño de parasoles.

C. Zonificación y transición: La iluminación irá variando en base a las actividades que se desarrollan en los espacios. Por lo que es importante considerar durante la zonificación de las áreas, los espacios de transición que existen en el recorrido para llegar a ellas. Por ejemplo, la luz requerida en un pasillo es de 100 lux, mientras en espacios para desarrollar tareas educativas es de 400 lux.

D. En general, durante el proceso de diseño de un edificio deben plantearse los objetivos que cubran los requerimientos de iluminación interior y exterior, teniendo en cuenta las diferentes zonas que se crean dentro del edificio como son las circulación y áreas de transición para llegar a estas áreas.

2.-La tipología de los espacios para conocer la interacción del espacio abierto con el cielo luminoso, así como la relación entre el edificio y el espacio interior que es dotado de la luz exterior. Es importante considerar la forma e implantación del edificio, teniendo en cuenta las características del lugar, si existe mucha contaminación, ya sea atmosférica o por ruido, la profundidad del edificio y su altura, donde se establecen límites a la profundidad del edificio para que tenga una iluminación óptima.

También debe considerarse la línea sin cielo que es aquella a partir de la cual no se recibe luz del cielo directa; y la orientación del edificio, que influye en la ubicación de las ventanas en relación con sol que pueda afectar la ganancia solar y la cantidad de luz que va a penetrar.

3.-Los componentes de captación de luz natural, donde abra que cuidar las condiciones térmicas y de iluminación de algunos componentes, para elegir cual es el efecto más importante considerar. Ejemplos de estos componentes son la galería, el patio, porche, atrio, conductos de luz y solar; muro cortina, pared traslucida, claraboya, techo traslucido, cúpula, envolvente de membrana. Con las nuevas tecnologías existen nuevos sistemas automatizados para controlar la luz natural del día que consisten en sensores o detectores colocados en los techos que mide la radiación total sobre una superficie.

Además de los factores anteriores, también debe considerarse los materiales y acabados en el diseño interior, donde también deben considerarse los colores que se van a aplicar; el tipo de acristalamiento que existe una gran variedad de vidrios para aplicarlos según sea el caso y los requerimientos funcionales.

Desde el inicio de la planificación del diseño de un edificio debe tomarse en cuenta de manera integral la iluminación natural y artificial, que va a condicionar el diseño en cuanto a su funcionalidad, tanto de distribución, como de forma. La luz natural es un recurso natural que se

debe aprovechar para evitar el consumo eléctrico en lo posible, pero lo más importante, es tener en cuenta los beneficios psico-fisiológicos que se pueden obtener al tener una iluminación natural adecuada en los espacios interiores al momento de realizar cualquier tarea.

Con base en lo anterior, los investigadores han evaluado la luz diurna para conocer las diferentes métricas de la luz natural y confort lumínico (Zomorodian & Tahsildoost, 2019), en el caso de Ferrara et. al. (2018) su interés se concentró en la disminución de la demanda energética del edificio; para Korsavi S., et. al. (2015) su objetivo fue identificar las preferencias de los alumnos en entornos luminosos por medio de la aplicación de encuestas; y para Michael y Heracleous (2017) el enfoque fue el rendimiento de la iluminación natural dentro de las aulas educativas.

Todos estos estudios se basaron en la normatividad local de los países donde se realizaron los estudios. En esta investigación, para realizar la evaluación de la Habitabilidad Lumínica dentro del aula, se tendrá en cuenta la normatividad del Instituto Nacional de Infraestructura Educativa (INIFED, 2011), que presenta los índices de cociente diurno y luz reflejada, estimando que la luz interior es dependiente de la exterior, tener en cuenta su ubicación, dimensionamiento y características de las ventana, así como los árboles o edificios aledaños que bloquean la entrada de luz.

Para conocer el nivel de confort lumínico dentro del aula, Giraldo, N., et. al. (2019) realizaron un estudio para conocer las preferencias lumínicas de los alumnos dentro del aula, para ello, aplicaron cuestionarios a los alumnos y realizaron simulaciones estáticas y dinámicas para evaluar el confort visual. Los resultados indicaron que los alumnos pudieron diferenciar las necesidades de iluminación de acuerdo con las actividades que estaban realizando y mostraron preferencia por luz natural.

La dotación de luz natural, según Secchi, S., et. al. (2015) tiene relación con diseño del edificio en cuanto al dimensionamiento y aberturas del espacio (puertas y ventanas) y por la orientación del edificio, principalmente (Secchi et al., 2015). También, Michael, A. y Heracleous, C. (2017) en su estudio de campo en aulas, establecieron que la penetración de luz natural varía de acuerdo con la orientación del edificio. El aula orientada al norte tuvo el 94% de luz efectiva, el oeste y sur el 85% y el este el 72% de las horas ocupadas del año (Michael & Heracleous, 2017).

Estos resultados coinciden con lo recomendado por la normatividad mexicana del Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (INIFED) respecto a la orientación norte-sur. También establece un cociente diurno mínimo (D) y luz reflejada para evaluar la luz natural dentro del aula. Considera que la cantidad del luz interior depende de la luz exterior; la ubicación;

dimensionamiento y estructura de las ventanas; la ubicación de los árboles y construcciones aledaños y el ángulo de penetración de luz.

La norma establece que la intensidad luminosa durante el día puede variar entre 100 a 3,000 luxes, por lo que es importante considerar para la evaluación de la luz diurna en el aula los porcentajes de luz reflejada en los elementos construidos, donde se tienen para el plafón 75%, en muros 55%, mobiliario 50% y en el pizarrón el 20% en relación con los muros. (INIFED, 2011, Vol. 3, Tomo 1, pp 4-5).

La iluminación cenital proporciona el cociente diurno (D), puede obtenerse por medio de la ecuación:

$$D = \frac{\text{intensidad luminosa interior}}{\text{intensidad luminosa exterior}} \quad (6)$$

Donde, D es expresada en por ciento (%). El cociente oscila en relación con el ángulo de penetración de los rayos solares. En clases escolares se recomienda que el cociente sea 4% mínimo y que la luz proveniente del lado izquierdo de los alumnos, orientados preferentemente al norte (INIFED 2011). Para lograr uniformidad en la iluminación natural debe considerarse que la superficie de las ventanas sea un tercio del aula.

2.3.2.2. Luz artificial

La luz natural, como solo es aprovechada una parte del día, se complementa con la luz artificial. El cálculo y diseño de la luz artificial es de gran valor en aulas educativas donde se realizan los trabajos de lectura y escritura tanto en pizarrón, mesabanco, escritorio o computadora para no afectar la vista y confort de los ocupantes (Corvalán et al., 2015).

A través de la evaluación de la iluminación natural interior se puede saber cuáles son las instalaciones de alumbrado artificial que se requieren para complementar las demandas de iluminación que no puede garantizar la luz del día. La guía técnica CEI e IDAE (2005) establece los criterios que deben considerarse para determinar el ambiente luminoso, que son:

Distribución de luminancias. Es la energía luminosa emitida o reflejada en dirección al ojo de un observador medida en cd/m². El equilibrio en la iluminancia aumenta la agudeza visual, la sensibilidad al contraste y la eficiencia de las funciones oculares. La distribución de luminancias debe evitar que estén demasiadas elevadas, debido a que puede provocar deslumbramiento; evitar que los contrastes de luminancia demasiado altos, pues pueden causar fatiga ocular; y

tampoco colocar las luminancias muy bajas, así como los contrastes demasiado bajos lo que puede crear espacios poco estimulantes.

Para un equilibrio aceptable de luminancias entre el objeto, la actividad o tarea que vaya a realizarse y el espacio circundante las proporciones varían entre la tarea y entorno más oscuro de 3:1 hasta objetos muy iluminados para enfatizarlos 50:1.

En cuanto a los márgenes de reflectancia que se pueden utilizar en superficies de espacios interiores se tiene en el techo de 0.6 a 0.9; en paredes de 0.3 a 0.8, en planos de trabajo de 0.2 a 0.6 y en el piso de 0.1 a 0.5. Se debe tener en cuenta que las luminancias menores a 1 cd/m² se perciben como objetos negros y las que tienen mayor a 500 cd/m² se consideran deslumbrantes.

La iluminación recomendada en áreas de trabajo, que puede ser horizontal, vertical o inclinada, deben ajustarse a las normas, las cuales consideran factores como los aspectos psicofisiológicos en cuanto confort visual y bienestar, los requerimientos para realizar las tareas, la ergonomía, visual, la experiencia práctica, la seguridad y lo económico.

Uniformidades de iluminación. Debe considerarse en el área donde se desarrollan las tareas y circundantes iluminarlas lo más uniforme posible.

Deslumbramiento. Es una sensación que se produce cuando el ojo humano se encuentra con superficies u objetos brillantes y puede percibirse como molesto o hasta perturbador, produciendo fatiga que puede concluir en errores y accidentes en el trabajo.

Color en el espacio visual. El órgano de la visión humano se encuentra conectado al cerebro para poder interpretar las imágenes, de esta forma puede diferenciar los distintos colores.

Efectos perjudiciales sobre la visión. Los efectos más comunes que provoca el sistema de iluminación artificial en el ojo humano son el parpadeo que causa distracción y dolor de cabeza en algunas personas y el efecto estroboscópico que puede producir situaciones de peligro por no percibir el cambio de movimiento.

Los investigadores como Zomorodian y Tahsidoost (2019) han analizado la luz natural para estudiar los pros y contras de diferentes métricas de luz diurna y comodidad visual dentro de las aulas. Utilizaron la entrevista, por medio de la aplicación de encuestas a los alumnos donde el diseño del cuestionario incluyó la disponibilidad de luz natural en el escritorio; el grado de deslumbramiento al mirar por las ventanas; distribución de luz diurna en el aula; ocurrencia de deslumbramiento problemático y satisfacción con la comodidad visual general

En el cuestionario consideraron 6 niveles de satisfacción: moderadamente insatisfecho, ligeramente insatisfecho, ni cómodo ni incómodo, satisfecho, moderadamente satisfecho y muy satisfecho (Zomorodian and Tahsildoost 2019).

En el caso de Ferrara et, al. (2018) utilizaron la encuesta con el objetivo de conocer saber cómo disminuir la demanda energética del edificio; para Korsavi, et al. (2015) identificar las preferencias de los alumnos en entornos luminosos y en el caso de Michael y Heracleous (2017) el rendimiento de la iluminación natural.

Por otro lado, Michael y Heracleous (2017) llevaron a cabo un estudio de campo en cuatro aulas con orientaciones diferentes (norte, sur, este y oeste); para la validación de datos realizaron simulaciones; para medir la iluminación de las aulas, apagaron las luces y abrieron las cortinas de las aulas sin ocupantes. Con los resultados pudieron demostrar las variaciones de penetración de luz natural según la orientación del aula, el resultado de luminancia osciló entre 100 y 2000 lx en el horario de clase durante todo el año.

Los autores Korsavi,S., et. al. (2016) creen que existen diferencias en la forma en que los usuarios perciben el confort visual en diferentes regiones con diferentes cantidades de luz solar y en espacios con diferentes configuraciones y vistas espaciales, por lo que recomendaron considerarlo en los próximos documentos para evaluar el confort lumínico.

Para poder lograr obtener resultados más consistentes en el confort lumínico, los autores recomiendan evaluar la luz natural considerando la ubicación geográfica del edificio, las expectativas y comportamientos de los alumnos dentro del aula, las diferencias en la percepción de la cantidad de luz solar necesaria, la geometría y dimensionamiento de los espacios además de las aberturas para penetración de luz diurna del espacio educativo (Michael and Heracleous 2017; Secchi et al. 2015).

Una iluminación óptima, no solo impacta el rendimiento y aprovechamiento de los alumnos (Barrett, Zhang Yufan, et al. 2015), sino también provoca un ahorro significativo de electricidad cuando se toma en cuenta en el diseño y mejoramiento de los edificios educativos (Ferrara et al. 2018).

La luz artificial aplicada a los edificios educativos universitarios se relaciona con un gran número de lámparas al tener grandes espacios áulicos. La cantidad adecuada de luz artificial es de gran importancia en talleres de dibujo arquitectónico para que los alumnos puedan realizar cómodamente sus actividades visuales educativas (Corvalán et al. 2015).

El estudio realizado sobre la calidad de iluminación artificial dentro de aulas universitarias aplicando cuestionarios sobre la percepción que tenían los alumnos respecto a las condiciones de iluminación dentro del aula y por medio de mediciones de campo (Buratti et al., 2018)

mostraron que los valores medios de iluminancia eran 200–300 luxes, parámetros que se encontraban por debajo del mínimo recomendado, los cuales fueron comparados con las respuestas de los alumnos en donde la iluminación representó el 30.1% en cuanto a importancia de confort respecto a los otros aspectos el confort ambiental.

La luz artificial ha sido cuantificada para evaluar la efectividad de tipologías de vidrios de alto rendimiento y sombreado externo por medio de monitoreo, simulaciones y cuestionarios aplicados a los alumnos sobre preferencias lumínicas (Secchi et al. 2015), considerando las características del edificio en cuanto a su sistema constructivo, dimensiones y orientación. Los resultados obtenidos fueron que el sombreado externo reduce la demanda de iluminación eléctrica reduciendo el consumo de energía en días soleados y para los días nublados se puede usar un vidrio selectivo.

Para evaluar el confort lumínico a través del rendimiento de la iluminación de aulas educativas (Michael and Heracleous 2017) realizaron un estudio de campo por medio de encuesta aplicada a los alumnos y simulaciones considerando dos orientaciones diferentes, teniendo como resultado que, sin importar la orientación, la iluminación artificial era utilizada todo el año, durante todas las horas de ocupación del espacio aun cuando contaban con cortinas para evitar el deslumbramiento y los problemas de iluminación natural.

Por otro lado, los métodos de retro adaptación de luz diurna pasiva fueron estudiados (Al-Khatatbeh, Baraa J., Nouh Ma'bdeh 2017) con la finalidad de bajar el costo de energía del edificio por gasto de iluminación. La simulación por computadora para evaluar las propuestas de iluminación pasiva en aulas orientadas al norte, considerando la iluminación, el deslumbramiento, el confort térmico y el consumo de energía, donde resultó que, aplicando estrategias de aperturas de iluminación con dirección al sur, el uso de iluminación artificial en el aula fue 38% ayudando a disminuir el consumo energético en un 16.3%.

La iluminación artificial es de gran importancia para proporcionar la luz necesaria para que los alumnos desarrollen con precisión sus trabajos dentro del aula, por lo que se debe tomar en cuenta durante el desarrollo del diseño arquitectónico, la normatividad del lugar y el aprovechamiento máximo de la luz natural para que el uso de la luz artificial no aumente el consumo de energía eléctrica del edificio (Korsavi Sepideh S. et al. 2016).

2.3.2.3. Normatividad

De acuerdo con Krüger y Zannin (2004) los parametros de las normatividades de diferentes países coinciden en los rangos de valor del índice de iluminación establecidos para aulas educativas que fluctúan entre 300-500 luxes. La Sociedad de Ingeniería de Iluminación de

Norteamérica, IESNA (en inglés *Illuminating Engineering Society of North America*) y las Normas europeas CEN (Comité Europeo de Normalización) son la base de la mayoría de los códigos. Las dos normas recomiendan 300 luxes de iluminancia en el área de trabajo de los alumnos y 500 luxes en el pizarrón (EN 12464-1).

El INIFED (2011) y la Norma Mexicana para la Condiciones de Iluminación en los Centros de Trabajo (NOM-025-STPS-2008, p. 4) establecen una intensidad lumínica que deben incidir en el plano de trabajo en aulas educativas coincide con las normas internacionales de 300 luxes mínimo para poder realizar las actividades adecuadamente.

De acuerdo con el INIFED (INIFED 2011, p. 5) el porcentaje mayor en color que las superficies reflejan la luz es el color blanco con un 75%, seguido por el amarillo claro con 60% y el verde claro con 50%, que son los que generalmente utilizan las escuelas.

Los requisitos mínimos para la luz natural forman parte del Reglamento de Edificación para el Municipio de Tijuana, 2015, que en el Artículo 151 establece que los edificios educativos deben contar con iluminación natural de acuerdo con lo siguiente:

I. Las aulas deben estar iluminadas y ventiladas por medio de ventanas ubicadas hacia la vía pública o patios;

II. La superficie total de ventanas que iluminen, será de 1/5 parte de la superficie total del piso del aula, la iluminación proveniente de las ventanas deberá incidir del lado izquierdo de la ubicación de los estudiantes. Este apartado difiere con la norma (INIFED 2011) que contempla un 1/3 de la superficie de aula.

IV. Las ventanas deben incluir por lo menos la longitud total de uno de los muros más largos.

La normatividad local para lograr el confort lumínico dentro de las aulas no incluye todas las consideraciones establecidas por el gobierno federal, que, en el caso de escuelas públicas no presenta problemas por estar observadas por el gobierno, pero en las escuelas privadas, el permiso de construcción se basa solo en el reglamento de la ciudad de Tijuana, por lo que pudieran cumplir o no con normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcción e instalaciones de planteles educativos del INIFED.

3. Metodología

La escuela es el lugar donde los estudiantes pasan el mayor tiempo después de su casa, cursando clases teóricas de 1 a 3 horas continuas, esto enfatiza la importancia de proveer espacios áulicos que tengan la calidad del confort ambiental que les permita realizar las actividades propias del aprendizaje (Korsavi et al. 2016). Las condiciones ambientales térmicas y lumínicas del aula afectan el bienestar, productividad y salud de los alumnos (Barrett, Zhang Yufan, et al. 2015; Ricciardi y Buratti 2018), además de las variables físicas que determinan una sensación de confort o incomodidad en el espacio interior (Mishra y Ramgopal 2015).

Debido a lo anterior, es de vital importancia obtener datos que permitan conocer como el diseño arquitectónico incide en la calidad del confort ambiental en aulas de nivel superior, ya que se han detectado altos niveles de insatisfacción de los alumnos; considerando que la preferencia de los estudiantes no refleja con precisión las disposiciones de la normatividad aplicada para la construcción del edificio (Mishra et al. 2017).

Teniendo como objetivo general en esta investigación la evaluación de las condiciones ambientales de aulas universitarias considerando los factores térmicos y lumínicos, este apartado presenta el enfoque de estudio y el diseño metodológico para la investigación: el marco operativo, estrategia de verificación, instrumentos de investigación utilizados para la recolección de datos y el análisis de resultados.

3.1. Enfoque de estudio

Partiendo del conocimiento que se tiene del fenómeno y de los objetivos establecidos, para el estudio del confort térmico se determinó el enfoque adaptativo, donde se obtienen los datos en campo, en espacios naturalmente ventilados, considerando las reacciones fisiológicas y psicológicas de los ocupantes. Este tipo de enfoque permite en su aplicación realizar una investigación basada en correlaciones. Habiendo analizado las características y requerimientos del tipo de investigación con respecto a su aplicación se determinó realizar un estudio de tipo correlacional cuantitativo, empleando el método cuasi experimental.

La investigación correlacional tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más variables en una muestra o contexto en particular, donde se analiza la relación entre más de dos variables, buscando determinar en qué medida están relacionadas entre sí y el efecto conjunto sobre la variable dependiente que se evalúa sobre el fenómeno. Para evaluar el grado de asociación entre dos o más variables, en los estudios

correlacionales primero se mide cada una de éstas, y después se cuantifican, analizan y establecen las vinculaciones (Sampieri et al. 2014).

Las características propias de este tipo de investigación son:

a) Permite abordar situaciones complejas en las cuales importa determinar la relación entre variables, pero de las cuales no es posible un control experimental.

b) Permite medir e interrelacionar múltiples variables de manera simultánea en condiciones de observación del fenómeno en estado natural.

c) Permite observar las asociaciones de variables, ya sean significativas o no.

d) No tiene el rigor de la investigación experimental, debido a que carece del control sobre las variables independientes.

Para evaluar el confort térmico y lumínico se utilizó el enfoque cuantitativo para obtener datos numéricos sobre las condiciones en las que se encuentran las variables. Este enfoque emplea preferentemente la información medible, enfatiza la precisión de los procedimientos para la medición de las variables, la recolección de datos numéricos y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento que permitan demostrar si se cumplieron o no los objetivos establecidos (Sampieri et al. 2014). De acuerdo con la literatura, la mayoría de los autores (Ricciardi y Buratti 2018; Shan et al. 2018; Vilcekova, S. 2017) por mencionar algunos, han utilizado en sus estudios el enfoque cuantitativo para evaluar el confort ambiental interior.

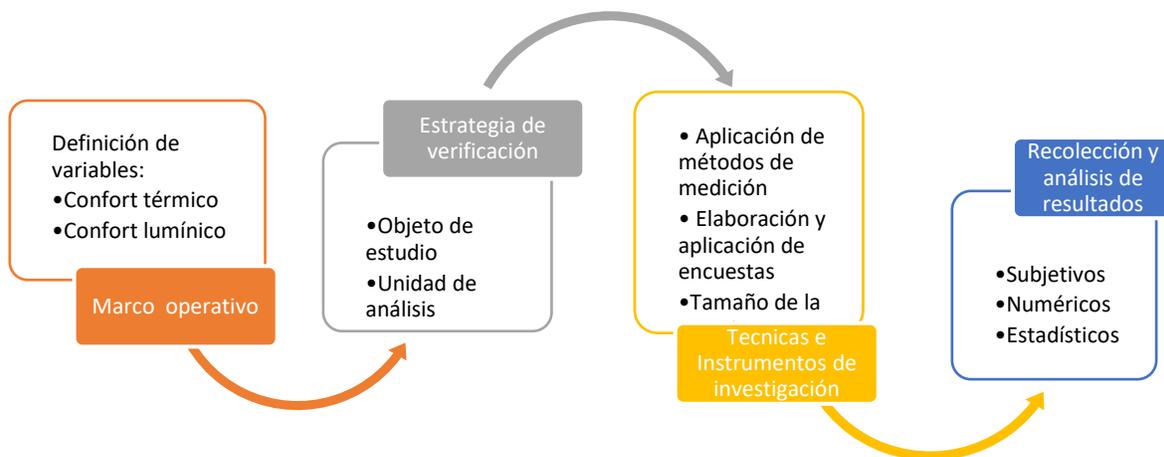
Para el método cuasiexperimental, que a diferencia del experimental puro, no controla el fenómeno durante la experimentación; sino que considera una exposición, respuestas y objetivos para contrastar, sin aleatorización de los sujetos a los grupos de tratamiento y control, ni control absoluto de todas las variables relevantes (Sampieri et al. 2014), como es el caso de este estudio.

Las etapas de investigación de este método son:

1. Determinación de las variables
2. Elección objeto de estudio
3. Elección de los niveles de manipulación de las variables independientes y traducirlos en tratamientos experimentales
4. Desarrollar instrumentos de medición de variables dependientes
5. Selección de la muestra
6. Selección del diseño cuasi experimental apropiado para los objetivos y preguntas de investigación
7. Planeación del manejo de los participantes.
8. Análisis numérico estadístico. La construcción de tablas y de gráficos
9. Las conclusiones y la comunicación de resultados.

Con base a lo anterior se estableció el proceso metodológico, mostrado en la Fig. 8, iniciando con el marco operativo en el cual se definieron las variables con sus respectivas dimensiones y se establecieron las estrategias de verificación, donde se eligió el caso de estudio y la unidad de análisis. Esto permitió determinar el proceso metodológico y las técnicas e instrumentos para la recolección de datos de acuerdo con el tipo de estudio para el cual se terminó el tamaño de la muestra, el procesamiento de datos y análisis de resultados.

Figura 8
Proceso metodológico



Fuente: Elaboración propia.

3.2. Marco operativo

El propósito del marco operativo es realizar una planificación de las acciones que deben establecer para llevar a cabo esta investigación, como son: definición de variables ambientales y la estrategia de verificación donde se selecciona el objeto de estudio y la unidad de análisis para desarrollar el trabajo de campo y la selección de la recolección de datos.

3.2.1. Definición de variables

El confort ambiental interior y el diseño arquitectónico son las dos variables que servirán de guía para entender y regir la metodología adecuada para iniciar la investigación. En la primera se analizará las dos dimensiones que proporcionan confort ambiental: térmico y lumínico, que son consideradas por diferentes autores, los que tienen mayor impacto en la salud, bienestar, rendimiento desempeño de los alumnos (Barrett, Zhang Yufan, et al. 2015; Krüger and Zannin 2004) y para Kritikou (2018) en la sostenibilidad del edificio.

Estas dimensiones están directamente relacionadas con la segunda variable el diseño arquitectónico en cuanto a los materiales de construcción y dimensiones del aula. Todas ellas influyen en la definición de los espacios donde se van a desarrollar las actividades educativas (Korsavi et al. 2016).

Durante el proceso de desarrollo de diseño se entrelazan todas las disciplinas y normas aplicables para que los espacios educativos sean funcionales. El diseño de los espacios educativos debe aprovechar al máximo las condiciones naturales locales para mejorar la calidad del confort ambiental interior (Krüger and Zannin 2004), cuidando siempre la sustentabilidad del edificio (Pazhoohesh et al. 2018).

3.2.1. Variable dependiente confort ambiental

En este estudio se determinó como variable dependiente el confort ambiental. Se evaluó en dos de sus dimensiones: térmico y lumínico. En la Tabla 6 se indica la definición conceptual de la, dimensiones variable confort térmico y del confort lumínico e indicadores de cada uno de ellos.

Tabla 6

Variable dependiente confort ambiental

Variable dependiente	Definición conceptual	Dimensión	Indicador
Confort Ambiental	Bienestar o confort para lograr una calidad en el conjunto de factores ergonómicos relativos al ambiente térmico, acústico, luminoso y aire interior de un espacio (NMX-AA-164-SCFI, 2013)	Confort térmico	Temperatura del aire Humedad relativa interior Velocidad del aire interior Nivel de vestimenta Actividad metabólica
	Estado de comodidad en que se encuentra una persona dentro de un espacio.	Confort lumínico	Luz natural

Fuente: Elaboración propia.

Con base en los criterios anteriores, se realizó el proceso de operalización para para cada una de las dimensiones ambientales:

Variable confort térmico

El confort térmico es una variable dependiente, cuantitativa, para la que se definió realizar un estudio de campo utilizando instrumentos de medición y aplicación de encuestas. Los indicadores e índices numéricos se enlistan en la Tabla 7 con sus unidades de medida y valores o rangos preestablecidos

Tabla 7*Proceso de operalización confort térmico*

Variable Depend.	Tipo de variable	Dimensión	Indicador	Nivel de medición	Unidad de medida	Índice	Valor
Confort Ambiental	Cuantitativa	Confort térmico	Temperatura del aire	Numérica	°C	Temperatura interior	19.7-27.7°C
			Humedad Relativa		HR %	Temperatura exterior % HR interior % HR exterior	
			Velocidad del aire		m/s	Velocidad Del aire interior	0-0.25 m/s
			Nivel de vestimenta		Clo	Nivel de arropamiento	.5-1 clo
			Actividad metabólica		met	Nivel de actividad	100 W/m2
			Sensación/percepción térmica		%		

Fuente: Elaboración propia.

Variable confort lumínico

En el proceso de operalización del confort lumínico, como muestra la Tabla 8, se determinó una variable cuantitativa, considerando como indicador la luz natural, con un nivel de medición numérica con su unidad de medida Lux. El índice considerado es el nivel de iluminancia, que tiene un valor mínimo de 300 lux para aulas educativas de acuerdo con la normatividad.

Tabla 8*Proceso de operalización confort lumínico*

Variable Depend.	Tipo de variable	Dimensión	Indicador	Nivel de medición	Unidad de medida	Índice	Valor
Confort Ambiental	Cuantitativa	Confort Lumínico	Luz natural	Numérica	Luxes	Nivel de iluminación	330 lux mínimo

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Variable independiente diseño arquitectónico

El diseño arquitectónico, es el proveedor de espacios confortables y saludables para que el ser humano realice sus actividades de manera óptima señala Rodríguez, et al. (2019) toma en cuenta los aspectos climáticos locales que impactan las condiciones espaciales al interior de las aulas para dotar con los índices adecuados de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento. Para ello, se requiere considera la orientación, el sistema constructivo y las dimensiones

espaciales, entre los principales, para que el espacio funcione adecuadamente al realizar los procesos educativos.

Por ejemplo, Subhashini y Thirumaran (2018) determinaron en su estudio que debería efectuarse un análisis de la orientación y la envolvente del edificio; Sadick e Issa (2018) tomaron en cuenta el levantamiento físico de muros, techos y pisos del aula, así como las observaciones de los defectos en la envoltura del edificio que tienen mayor probabilidad de impactar la calidad ambiental interior.

Para este estudio se consideraron las dimensiones: el clima exterior, la envolvente del edificio, el sistema constructivo y las dimensiones físicas del espacio interior, además, como muestra la Tabla 9 se determinan sus indicadores.

Tabla 9

Variable independiente diseño arquitectónico

Variable Independiente	Definición conceptual	Dimensión	Indicador
Diseño Arquitectónico	Proveedor de espacios confortables y saludables para que el ser humano realice sus actividades (Bakó-Biró et al., 2011).	Clima Envolvente del edificio Sistema Constructivo Dimensiones espaciales	Temperatura Humedad Relativa Velocidad del viento orientación Materiales de construcción Dimensiones

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Estrategia de verificación

3.3.1. Descripción del caso de estudio

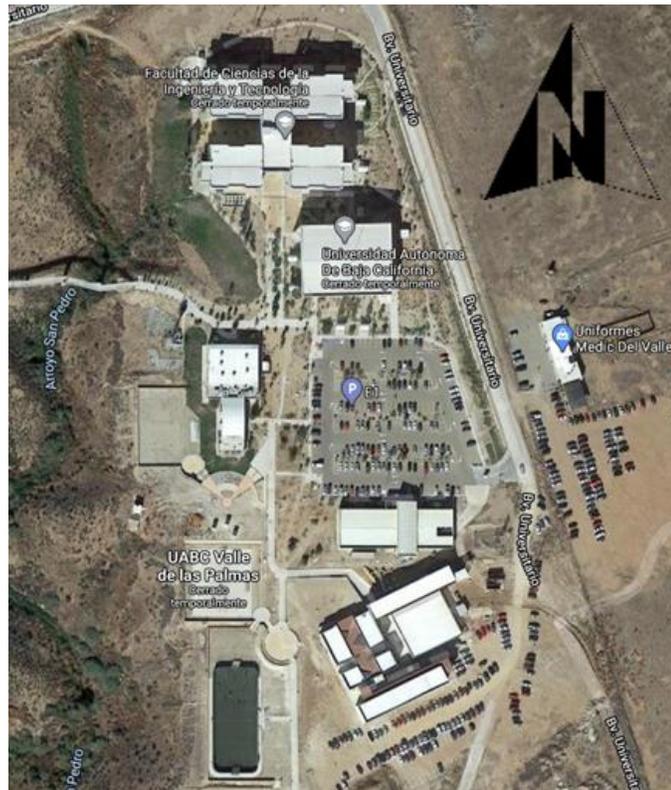
a) Ubicación

Para evaluar las condiciones térmicas y lumínicas de las aulas universitarias, se tomó como caso de estudio la Facultad de Ciencias y Tecnología (FCITEC) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Campus Valle de las Palmas de la ciudad de Tijuana, Baja California. En la Fig. 9, se presenta el conjunto de edificios universitario FCITEC ubicado al este

de la periferia de la ciudad (32° 26' 07" N, 116° 40' 31" W) dentro de una parcela de aproximadamente 502,200 m².

Figura 9

Campus universitario UABC, en Valle de las Palmas



Fuente: Imagen obtenida de Google Maps, 2022. Datos del mapa INEGI 2022.

b) 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 (IMPLAN, 2010).

En Tijuana, los veranos son cortos, caliente, áridos y mayormente despejados y los inviernos son largos, frescos y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 9 °C a 26 °C y rara vez baja a menos de 5 °C o sube a más

de 30 °C (rescatado de <https://weatherspark.com>). Los días más calurosos del año se ha registrado en agosto, con una temperatura alta promedio de 28.1 °C y una temperatura mínima promedio de 6.9 °C. en los meses de diciembre y enero (rescatado de <https://www.weather-mx.com/es/mexico/tijuana-clima>, 2020).

La temporada de lluvia dura 5.7 meses, (octubre-abril) con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros. La mayor acumulación total se ha presentado en febrero con un promedio de 52 milímetros. Los meses con el número de días lluviosos más altos son enero y marzo (5.9 días). El promedio de la humedad relativa es de 68 % con una mínima de 69% en invierno. En cuanto a las horas de luz diurna, el mes de enero cuenta con la menor cantidad de luz diurna, con una media de 10.3 horas y junio tiene la mayor cantidad de luz diurna promedio con 14.3 hora.

Durante el otoño y a principios de primavera puede presentarse el fenómeno de los Vientos de Santa Ana, caracterizado por vientos fuertes, secos y calientes provenientes del noreste, pasando por las montañas con dirección al mar y pueden traer olas de calor por arriba de los 30 °C.

En este estudio se tomó en cuenta que, al estar ubicado al este de la ciudad el FCITEC, registra temperaturas que suelen ser más cálidas durante el verano y más frías en invierno en contraste con el lado oeste, que se encuentra cercana a la zona costa, que, por contar con la influencia marítima del océano pacífico, mantiene temperaturas más frescas en verano y templadas en invierno.

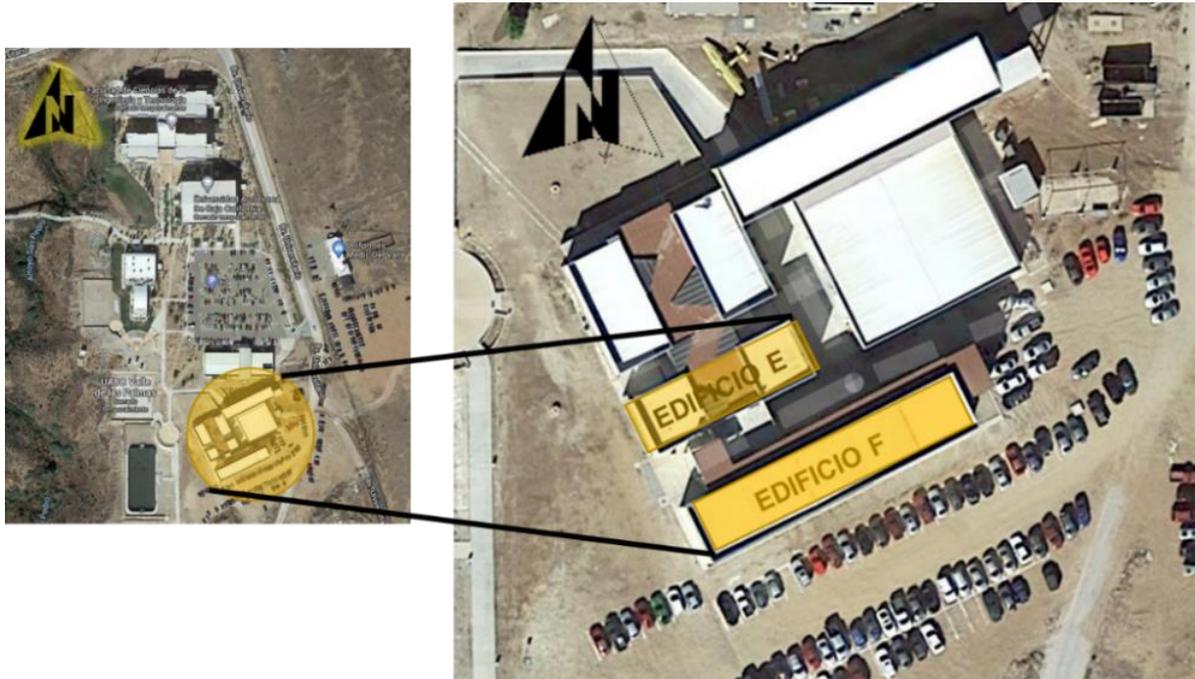
3.3.2. Definición de la Unidad de Análisis

Para la evaluación del confort térmico y lumínico consideraron los alumnos de aulas del edificio “E” de la carrera de Diseño Industrial y del edificio “F” de Ingeniería Aeroespacial que, como muestra la Fig. 10, se localiza al sur del conjunto universitario de la UABC.

El horario de funcionamiento de la escuela es de 8:00 de la mañana a 5:00 de la tarde de lunes a viernes para los alumnos de licenciatura. De acuerdo con los datos de población estudiantil de la UABC para el periodo 2022-1 la matrícula en la carrera de Ingeniería Aeroespacial fue de 181 estudiantes y en Diseño Industrial 131, teniendo en total 312 alumnos (rescatado de <http://cgsege.uabc.mx/web/cgsege/estadisticas>).

Figura 10

Localización de los edificios “E” y “F” dentro del conjunto FCITEC

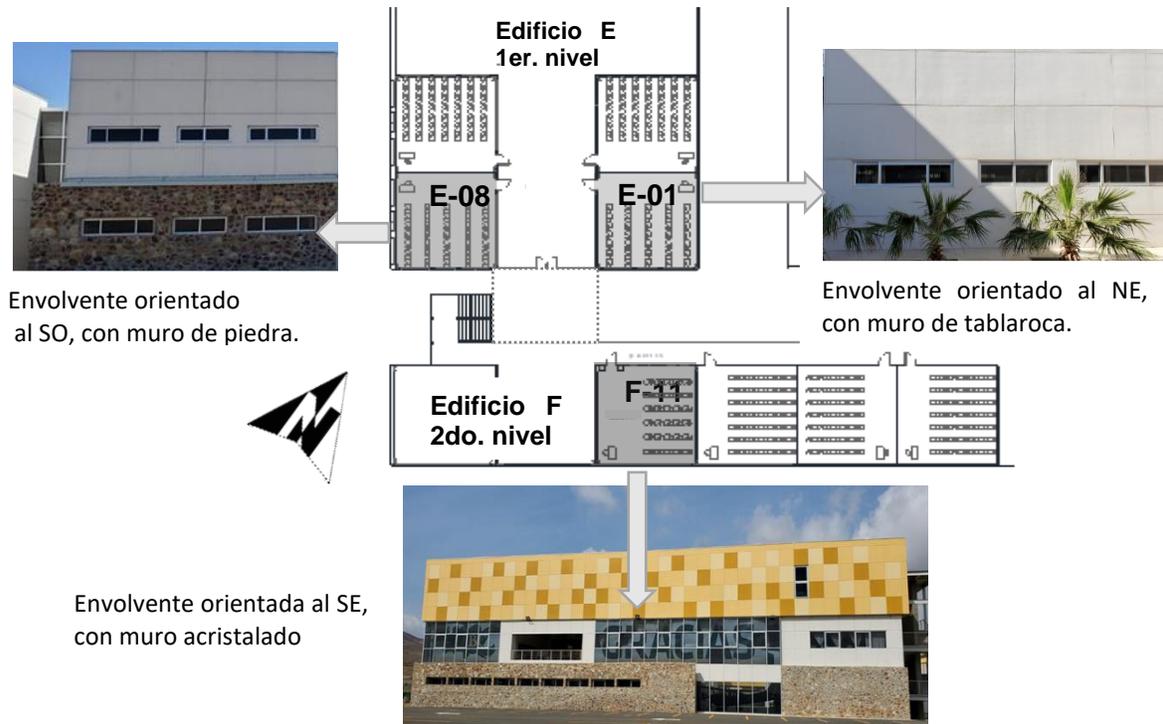


Fuente: Elaboración propia a partir de la imagen obtenida de Google Maps (www.google.com).

El diseño arquitectónico de los edificios se resolvió de la siguiente manera: el edificio “E” fue orientado de NE-SO y construido en dos niveles. La distribución de la planta baja tiene aulas a ambos lados de un pasillo central y un centro de cómputo y talleres en el segundo. Como muestra la Fig. 11 el diseño consideró en la envolvente SO piedra en el muro del primer nivel.

El edificio “F” fue orientado hacia el SE en tres niveles con una distribución de las aulas de forma lineal a lo largo de un pasillo interior. El diseño de la envolvente consideró muros acristalados, utilizando en el primer nivel un muro pantalla de piedra con aberturas que permiten pasar la luz natural.

Figura 11
 Envoltente de los edificios “E” y “F” del FCITEC



Fuente: Elaboración propia. Fotografías tomadas con cámara personal.

El sistema constructivo utilizado en los edificios “E” y “F” fue a base de estructura de acero; losa acero; concreto; muros con polín metálico y placas de cartón de yeso; pisos de concreto pulido aparente y ventanas con vidrio sencillo con manguetería de aluminio. Para la iluminación artificial se consideraron lámparas fluorescentes. Las aulas fueron diseñadas como espacios con ventilación natural, sin aparatos de aire acondicionado ni calefacción, con un ventilador montado en el plafón en cada una de ellas.

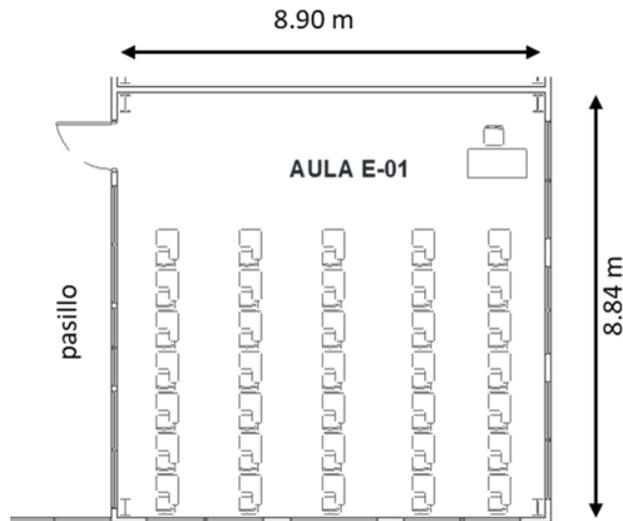
3.3.2.1. Características de las aulas

Para esta investigación, las aulas que interesan se encuentran en los edificios “E” y “F” destinadas a clases teóricas. El diseño arquitectónico del aula tiene una superficie de 78.49 m². Cuenta con una puerta; ventanas en muros como fuente directa de iluminación y ventilación natural que dan hacia el exterior e indirecta proveniente del pasillo interior. La distribución de mobiliario (pupitres) está distribuida en filas frente al pizarrón para una capacidad entre 30 a 35 estudiantes.

Las características del aula E-01 se representan en el croquis de la Fig. 12, complementado con fotografías tomadas de frente de cada uno de los muros para tener una visión completa del espacio. Las dimensiones del aula son 8.84 m x 8.90 m x 3.12 m de altura (piso-plafón). Los muros son a base de tablaroca con aislante térmico (sistema ligero con polín metálico y paneles de yeso) con acabado liso pintado de color gris.

Figura 12

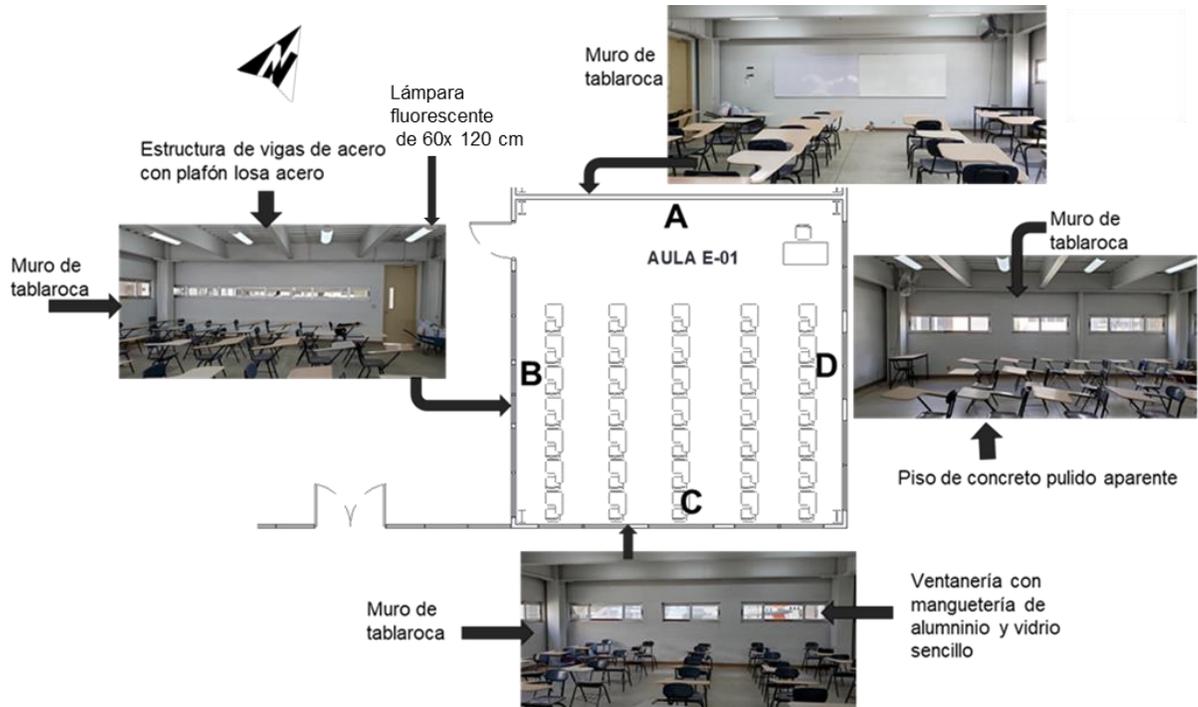
Planta arquitectónica aula prototipo



Fuente: Elaboración propia.

El aula cuenta con apertura de ventanas en los muro suroeste (B) que dan al pasillo interior; al sureste (C) y noreste (D), como muestra la Fig. 13. Elaboradas a base de manguetería de aluminio y vidrio sencillo de 3 mm de espesor y un vano para puerta de 1.00 x 2.50 m de altura. El diseño consideró que todos los muros fueran a base de tablaroca con aislamiento térmico. El aula cuenta con lámparas fluorescentes distribuidas en tres filas de cuatro lámparas, separadas a cada 120 cms en ambos sentidos.

Figura 13
Características físicas del aula E-01 del Edificio “E”

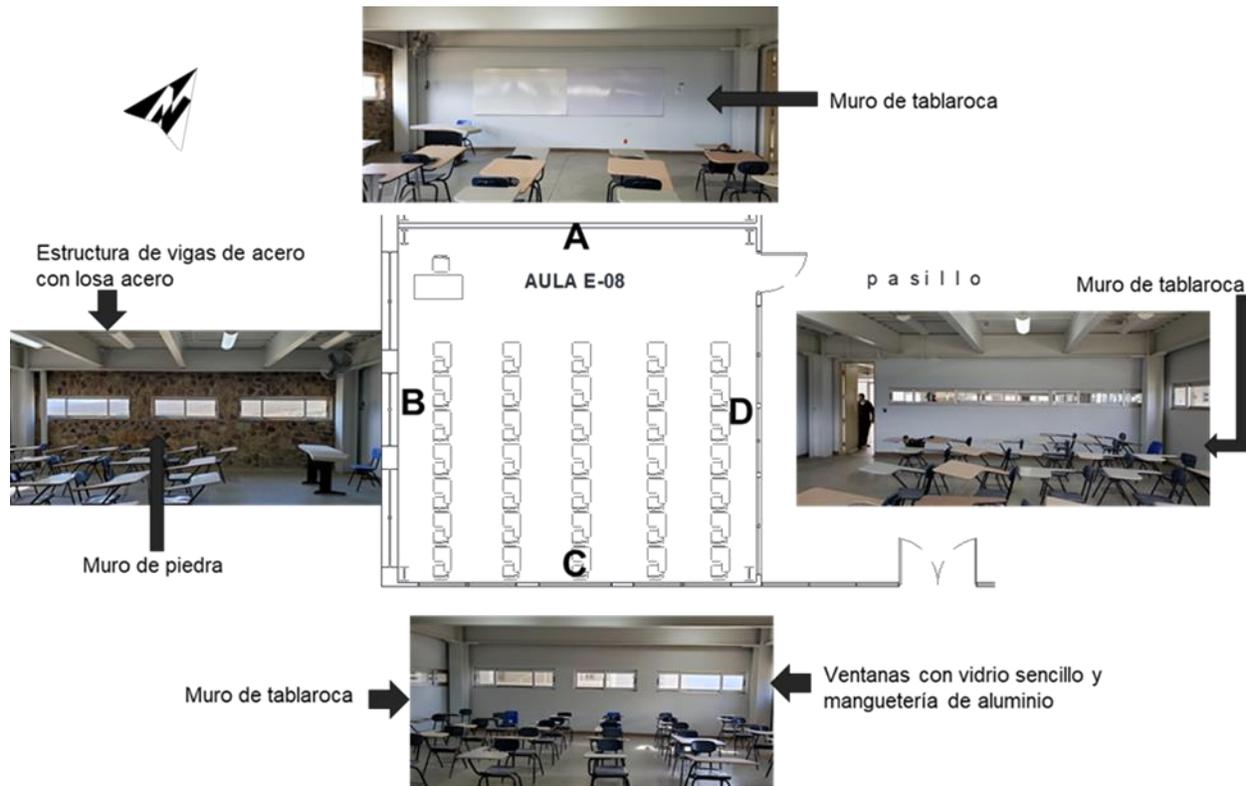


Fuente: Elaboración propia. Fotografías tomadas con cámara personal.

El aula E-08 cuenta con las mismas características espaciales del E-01, con la diferencia que en el diseño se consideró construir el muro B a base de piedra, como se aprecia en la Fig. 14, el resto de los muros son a base de tablaroca.

En ambas aulas, se tiene dos tipos de fuentes de iluminación natural, la directa que proviene de ventanas que dan al exterior y la indirecta del pasillo interior. Las ventanas que dan al sureste tienen menor dimensión que las orientadas al suroeste y noreste, 0.46 y 0.71 m respectivamente. Todas las ventanas se abren y cierran manualmente de acuerdo con las sensaciones térmicas de los alumnos. Sin embargo, los alumnos han reportado que prefieren no abrirlas debido a los fuertes vientos que se presentan en la zona la mayor parte del año. Cada espacio cuenta con un ventilador empotrado en el plafón para mejoramiento de la temperatura durante días cálidos.

Figura 14
Características físicas del aula E-08 del Edificio “E”

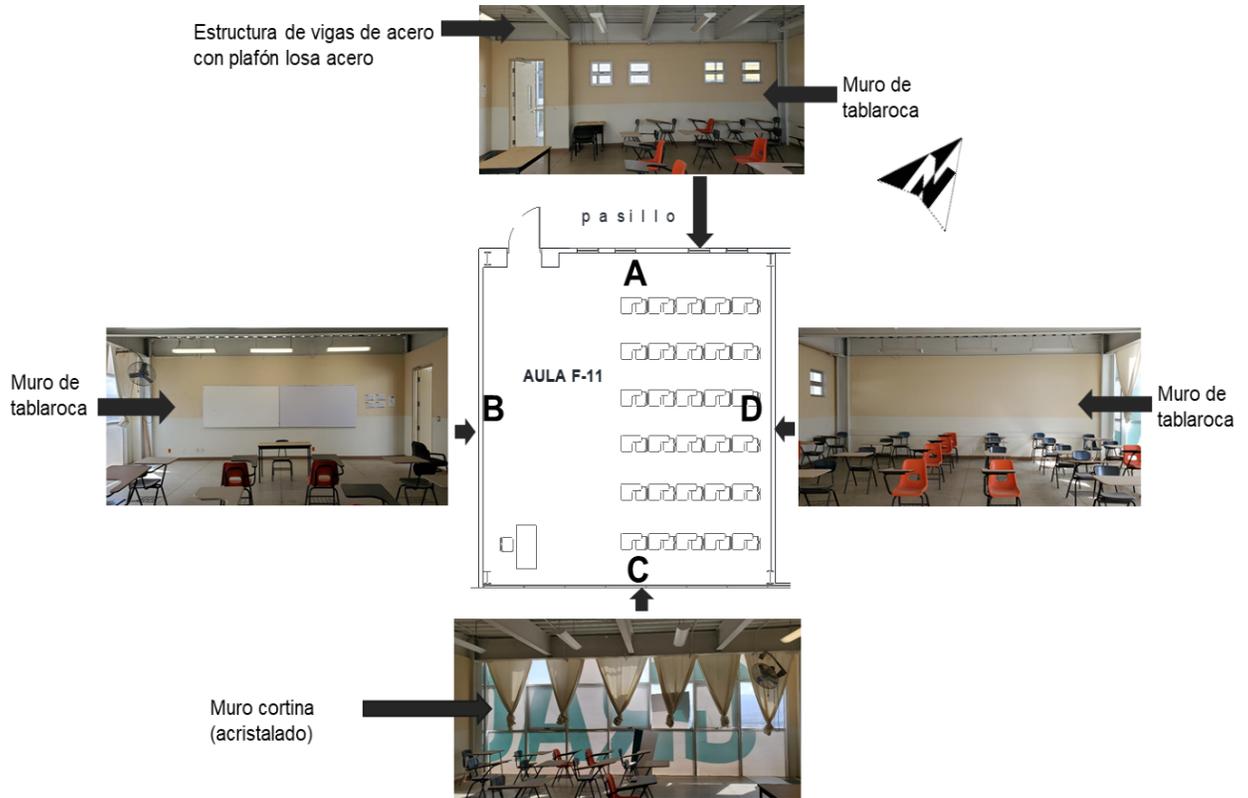


Fuente: Elaboración propia. Fotografías tomadas con cámara personal.

En el segundo nivel del Edificio “F”, se localiza el aula F-11, con características físicas espaciales mostradas en la Fig. 15. Las dimensiones del aula son de 8.77 x 9.11x 3.46 m de altura (piso-plafón), con apertura de ventanas hacia noroeste (A) que da al pasillo exterior. El vano de la puerta de 1.00 x 2.50 m de altura. En este caso, el diseño del aula se resolvió utilizando un muro acristalado que da al sureste, muro C y resto de los muros con tablaroca con acabado liso pintado de color crema/beige.

En visitas realizadas a los edificios, se observó que los alumnos se sentían incómodos debido a la temperatura, expresando la sensación de frío intenso durante días de invierno y de mucho calor durante el verano. Además, se percató que las ventanas en todas aulas no cuentan con tratamiento adecuado que evite la entrada directa de los rayos solares en áreas de trabajo.

Figura 15
Características físicas del aula F-11 del Edificio “F”



Fuente: Elaboración propia, fotografías tomadas con cámara personal, 2022.

Las aulas cuentan con dos fuentes de iluminación natural: la directa que entra por las ventanas de la envolvente y la indirecta proveniente de las ventanas que dan al pasillo interior. Se percató que luz diurna no llega de forma uniforme a todos los planos de trabajo de los alumnos. También se notó sobre la preferencia de los estudiantes por sentarse en mesabancos con menor penetración de luz cuando los rayos solares incidían en las áreas de trabajo.

Por otro lado, en el periodo frío, los alumnos asisten a clases muy arropados (abrigo, gorro, botas y guantes) y han manifestado su incomodidad debido al frío que sienten dentro del aula. En periodo cálido su vestimenta es ligera (pantalón y camiseta o camisa manga corta) y su incomodidad es por la sensación de calor.

En temporada de fuertes vientos que se presentan en la zona, las ventanas no se abren, para evitar que entren las ráfagas de viento que causan ruido y mueven los documentos en las áreas de trabajo. Además, se advirtió que el uso del ventilador emitía un ruido constante, que puede intervenir en la concentración de los alumnos e interferir en el confort auditivo. Por otro

lado, fue notable que se puede escuchar las pláticas de compañeros que se encuentran en zonas recreativas o externas al salón, lo que distrae a los alumnos y docentes en su proceso educativo.

Estas observaciones de las condiciones espaciales de las aulas fueron consideradas durante el proceso metodológico para establecer factores que inciden en el confort térmico y lumínico percibido por los alumnos durante el horario de clases. Los diferentes procesos constructivos, materiales y orientaciones de las aulas en los dos edificios fueron tomados en cuenta para evaluar el confort térmico y lumínico del aula. Fue importante analizar como las decisiones que se toman para las estrategias de diseño pueden determinar las condiciones ambientales que impactan el confort de los ocupantes.

Durante el horario de clases de 8:00 a.m. a 5:00 p.m. los estudiantes tienen clases de hasta tres horas consecutivas, por lo que fue importante considerar la opinión que tienen sobre las condiciones térmicas y lumínicas del espacio para verificar si los parámetros establecidos por las normas y estándares ambientales cumplen con el confort de los alumnos en esa localidad.

En estudios previos, similares a esta investigación, se detectaron altos niveles de insatisfacción de los ocupantes respecto al confort térmico dentro de las aulas (Singh 2019) en todos los niveles educativos. Los resultados mostraron que la preferencia de los estudiantes no reflejaba las disposiciones de la normatividad (Mishra et al. 2017). Debido a lo anterior es de vital importancia obtener datos que permitan conocer cuáles son las condiciones espaciales de las aulas que inciden en el confort térmico y lumínico que pueden impactar la salud, la concentración y productividad de los alumnos.

3.3.3. Técnicas para la recolección de datos

La técnica es indispensable en el proceso de la investigación científica, ya que integra la estructura por medio de la cual se organiza la investigación. La técnica pretende los siguientes objetivos:

- Ordenar las etapas de la investigación.
- Aportar instrumentos para manejar la información.
- Llevar un control de los datos.
- Orientar la obtención de conocimientos.

En cuanto a las técnicas de investigación, como se especifica en la Tabla 10, se empleó la técnica documental en la recopilación de información, con el fin de enunciar las teorías que sustentan el estudio de los fenómenos y procesos, incluyendo el uso de instrumentos definidos

según la fuente documental a que hacen referencia. También, se utilizó la técnica de campo que permite la observación directa con el objeto de estudio, que busca extraer la mayor cantidad de información in situ y el acopio de testimonios que admitan confrontar la teoría con la práctica en la búsqueda de la verdad objetiva.

Además, se aplicó la técnica de la encuesta con preguntas estructuradas, por medio de un cuestionario previamente elaborado, para recolectar la respuesta del encuestado. Por medio de esta técnica se puede conocer la opinión del sujeto seleccionado en una muestra representativa sobre un asunto dado.

Al utilizar un cuestionario se puede asegurar que todas las encuestas que se realicen apliquen las mismas preguntas de forma estandarizada siguiendo el mismo orden y número de preguntas. El encuestado lee el cuestionario y lo responde sin la intervención directa de persona alguna de los que colaboran en la investigación, ya que no necesita personal calificado, pues la encuesta tiene con una estructura lógica, rígida, que permanece inalterable durante todo el proceso de investigación.

Tabla 10

Técnicas e instrumentos para recolección de datos

Enfoque	Método	Técnica	Instrumento	Indicador que se mide
Cuantitativo	Cuasi experimental	Encuesta	Cuestionario	Temperatura interior, humedad relativa interior, velocidad del aire interior, nivel de vestimenta, iluminación natural y artificial.
		Estudio de campo	Bitácora	Temperatura, humedad relativa, velocidad del aire, nivel de vestimenta, luz natural, luz artificial, superficie construida.
		Documental	Ficha de contenido	Temperatura exterior, Humedad relativa exterior.

Fuente: Elaboración propia.

El cuestionario es un instrumento básico de la observación en la encuesta. En el cuestionario se formula una serie de preguntas que permiten medir una o más variables. Posibilita observar los hechos a través de la valoración que hace de los mismos el encuestado o entrevistado, limitándose la investigación a las valoraciones subjetivas de éste da de la verdad objetiva (Sampieri et al. 2014)

Para la medición y registro de datos se aplicará la técnica de campo, que propicia la observación directa del objeto de estudio en su elemento o contexto dado, y que adaptan a ello

sus herramientas, que buscan extraer la mayor cantidad de información in situ (Rodríguez, 1982, p.60) con el propósito de recopilar información empírica sobre la realidad del fenómeno a estudiar, estudiándolo a fondo en un ambiente determinado. Como instrumento se utilizará la bitácora, que es un cuaderno en el que se reportan los resultados de las mediciones y registros del trabajo de campo.

Para la obtención de datos climáticos en exterior, se aplicará la técnica documental, con la que se puede recopilar información a través de trabajos escritos acudiendo a fuentes previas, como investigaciones de otros autores, libros, mapas, soportes diversos, y emplea instrumentos definidos según dichas fuentes, añadiendo así conocimiento a lo ya existente sobre el tema de investigación. Como instrumento se utilizarán fichas de contenido que permitan conservar los datos que se van obteniendo de una manera organizada y visible.

3.3.4. Instrumentos de medición para la recolección de datos ambientales

Las mediciones y encuestas físicas se realizaron en dos etapas: primero, la medición de los factores ambientales higrotérmicos y de iluminancia y segundo, la evaluación sobre la satisfacción de los alumnos sobre el confort ambiental interior del aula.

En la primera etapa se realizaron mediciones físicas en aulas vacías en horario de clase (8 am a 5 pm), considerando temperatura del aire, humedad relativa del 8 de abril de 2021 al 7 de abril de 2022; e iluminancia en cuatro días soleados de cada estación con las cortinas abiertas (aula F-11). La medición y registro de los índices del confort térmico se indica en la Tabla 8, donde se definen los instrumentos y equipos de medición para la recolección de datos

En la segunda etapa, durante clases presenciales, se utilizó el equipo de medición para la temperatura del aire (TA) y la Humedad relativa (HR) que utilizaron previamente en aulas educativas (Martínez Rincón and Fuentes 2016), el medidor de estrés térmico WBGT MODELO HT30, marca EXTECH. Se registraron datos simultáneamente a la aplicación de las encuestas sobre confort ambiental a los alumnos.

Los índices del nivel de vestimenta se establecieron de acuerdo con los estándares internacionales ISO 7730 y ASHRAE 55.

3.3.4.1. Del confort térmico

Las mediciones higrotérmicas consideraron la temperatura del aire y la humedad relativa, utilizando el registrador de datos ONSET Hobo U12-013, especificado en la Tabla 11, con un rango de medición de temperatura de -20° a 70°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 (Ta) 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°F/°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 utilizó el anemómetro digital, marca Professional Instruments con un rango de 0-30 m/s, con un porcentaje de precisión de ± 5 .

Tabla 11

Instrumentos de medición confort térmico

Instrumento 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)	%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)	
		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)
		Humedad relativa (HR)	%HR 0 a 100%	$\pm 3\%$ @ 25°C, 10 a 95%HR
	Anemómetro digital	Velocidad del aire (Va)	m/s 0-30	$\pm 5\%$
		Temperatura del aire (TA)	°C -10°C a 45°C (14°F a 113°F)	$\pm 2^{\circ}\text{C}$

Fuente: Elaboración propia con base en las guías del usuario: HOBO ONSET; EXTECH INSTRUMENTS 2013-2014 y Professional Instruments.

La selección y ubicación de los instrumentos se basó en ISO 7726 (1998) y ANSI/ASHRAE 55 (2010), respectivamente, lo que permite clasificar como clase II a la base de datos obtenida en cada evaluación cuasiexperimental (Brager y de Dear, 1998). Los intervalos

de medición serán a cada 30 minutos sobre la base del estándar ISO 7726 standard (Rincón et al. 2017).

Para establecer el nivel de vestimenta (clo) y la actividad metabólica (met), se calcularon de acuerdo con las tablas de la ANSI/ASHRAE 55-2004.

Los datos de temperatura y humedad exterior fueron obtenidos de la estación meteorológica del FCITEC. Los días que esta estación no registro datos, se obtuvieron de Meteored: Satélite Geoestacionario Operacional Ambiental (GOES) programa estadounidense del National Weather Service "NWS" de la NOAA.

3.3.4.2. Del confort lumínico

Para el análisis cuantitativo de la luz natural se utilizó el luxómetro medidor de luz digital Modelo GM1020, marca BENETECH con las siguientes especificaciones:

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 $\pm (3\% \text{ lectura}) > 500 \text{ Lux}$. Lecturas de ft-cd con precisión de $\pm (3\% \text{ lectura} + 3 \text{ Fc})$ hasta $46 \text{ Fc} \pm (3\% \text{ lectura}) > 46 \text{ Fc}$. Opciones de tiempo de muestreo entre 1 segundo y 1 hora. El instrumento de medida y su distribución cumplen con la NOM-025-STPS-2008.

Para la obtención de datos de luminancia, la luz natural fue medida y registrada en campo durante un día soleado de cada periodo durante el horario de clase, cada media hora. La medición se llevó a cabo con luz apagada y cortinas abiertas (solo tiene cortinas el aula F-11). El instrumento de medición fue colocado sobre la paleta del mesabanco considerando la retícula simétrica de 9 puntos del aula.

Se consideró que INIFED (2011) y la NOM-025-STPS-2008 establecen para aulas el parámetro de intensidad lumínica mínimo de 300 Lux.

Tabla 12

Instrumentos para la recolección de datos del confort lumínico

Instrumento de medición	Índice	Unidad	Rango de medición	Presicion medición /rango medición
 Medidor digital de nivel de sonido EXTECH Modelo 407730	Luz natural	Lux		$\pm (3\% \text{ lectura} + 2 \text{ Lux})$ hasta 500 Lux $\pm (3\% \text{ lectura}) > 500 \text{ Lux}$ Lecturas ft-cd precisión de $\pm (3\% \text{ lectura} + 3 \text{ Fc})$ hasta $46 \text{ Fc} \pm (3\% \text{ lectura}) > 46 \text{ Fc}$

*Las lecturas mayores a 9999 usan un multiplicador x 10 o x100 (1 Fc = 10.76 Lux)

Fuente: Elaboración propia basado en la guía del usuario EXTECH INSTRUMENTS 2013-2017.

3.3.4.3. *Diseño de instrumento de investigación cuestionario*

Para la obtención de datos que respondan a las preguntas de investigación ¿Cuáles son las condiciones ambientales de las aulas que inciden en el confort de los alumnos? Se aplicó la técnica de la encuesta a los alumnos por medio de un cuestionario elaborado a propósito.

En el proceso de diseño de este instrumento se consideró hacer una lista de la información requerida sobre el encuestado. Las preguntas fueron cerradas y diseñadas para obtener información objetiva del sujeto de estudio como fueron sus antecedentes, medio ambiente, hábitos y gustos.

El contenido de las preguntas fue sencillo e inteligible, considerando si el sujeto tenía la información necesaria que se buscaba para que tuviera la voluntad de responder lo que se le pedía mediante la pregunta. Se utilizaron palabras evitando la inclinación a una respuesta definida y alternativas, generalizaciones y suposiciones que sesgaran las respuestas. En cuanto a la secuencia de las preguntas, las primeras fueron simples y sin comprometer al encuestado, teniendo una secuencia de embudo, agrupando las preguntas en orden lógico. Fue necesario realizar una prueba piloto con una muestra pequeña de la población de estudio para revisar el diseño de las preguntas, lo que permitió llevar a cabo ajustes necesarios para la aplicación final (Sampieri et al. 2014).

Para realizar las encuestas se elaboraron dos cuestionarios para aplicarlos en diferentes momentos de la investigación: durante el periodo de la pandemia COVID19 donde los alumnos no tenían clases presenciales (C-1) y una vez que iniciaron las clases presenciales (C-2). Ambos cuestionarios fueron desarrollados en la plataforma Google Forms partiendo de preguntas subjetivas para conocer la percepción, sensación y tolerancia del alumno respecto al confort térmico y lumínico dentro del aula.

El cuestionario fue desarrollado a partir de preguntas subjetivas sustentado en los estándares (ANSI/ASHRAE Standard 55, 2004) utilizando la escala de siete puntos, también se utilizó la escala de cinco puntos de Likert. Durante el experimento se cuidó la integridad de las personas cuestionadas evitando la falsificación y manipulación de datos.

El cuestionario C-1 mostrado en la Fig. 16 se diseñó en 9 secciones. La sección 1 contiene la introducción, donde se da una breve explicación sobre el confort ambiental dentro del aula y los fines de la encuesta. La sección 2 solicita información personal del encuestado: genero, constitución física (peso y estatura) y la edad.

La sección 3 se refiere a los datos generales, que incluye la ciudad de origen, haciendo una diferenciación de zonas para la ciudad de Tijuana en Otay, centro, Playas de Tijuana y zona

este debido a los diferentes microclimas que presentan. Preguntar el tiempo que lleva estudiando en FCITEC, en la pregunta 6, fue importante dado que al momento de aplicar la encuesta había alumnos entre 0-2 años, que por la pandemia COVID19, no habían atendido a clases presenciales dentro de las aulas.

En la pregunta 7, se solicita que se indique el tipo de ropa que usualmente utiliza durante el periodo cálido y el frío, dando opciones con figuras complementadas con descripción específica de las combinaciones de ropa que se usa para cada periodo. También se pregunta si el ventilador se encontraba prendido o apagado durante la clase. Además, determinar en qué edificio y aula se encontraban. Para contestar la pregunta 10, se incluyó un croquis de distribución de las tres aulas divididas en 9 zonas, para que el encuestado pudiera identificar la zona donde se sienta habitualmente.

La diferencia entre el contenido consiste en que C-1 son 9 secciones y el C-2 tiene 6. En el primero, las preguntas de las secciones 4 y 5 sobre sensación, percepción, preferencia y tolerancia térmica y lumínica se hicieron de forma independiente, considerando dos periodos: el cálido y el frío, manejados en forma separada, con un total de 46 preguntas. Como los alumnos tenían dos años sin estar dentro de las aulas, se recurrió a realizar la pregunta "*como recuerda*", "*como sentía su cuerpo*", "*sensación causada en temporada cálida*". En el C-2 se manejaron 28 preguntas, que, al aplicarse de forma presencial, la pregunta se realizó con el complemento "*en este momento* considerado solo el periodo de transición frío-cálido.

En los apartados cuarto al quinto se solicitó contestaran las preguntas sobre la sensación, percepción, preferencia y tolerancia de los estudiantes respecto al confort higrotérmico y lumínico; la sexta sección, solicitó la opinión de los ocupantes sobre ¿Cuáles factores ambientales son los que más afectan en el desarrollo de sus actividades en el aula?

El cuestionario C-1, mostrado en la Fig. 16. se dividió en nueve secciones a diferencia del cuestionario C-2 que fue en seis secciones ya que fue solo para un solo periodo estacional.

La diferencia entre los dos cuestionarios se encuentra en las palabras para describir "*como recuerda*" en las secciones 4 y 5 del C-1 aplicado a distancia, reemplazada por "*cómo se siente en este momento*" en el C-2 aplicado de forma presencial dentro del aula .

Figura 16

Instrumento de investigación encuesta del confort ambiental C-1

PROGRAMA DE DOCTORADO DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO



Universidad Autónoma de Baja California



TÍTULO DE TRABAJO:

EVALUACIÓN DEL CONFORT AMBIENTAL EN AULAS DE NIVEL SUPERIOR EN TIJUANA, B.C.

Desarrollado por doctorante: María Teresa de la Cruz Chaidez

I.-INFORMACIÓN PERSONAL DEL ALUMNO:							
1.-Género:							
(1) Femenino				(2) Masculino			
Constitución física							
2.-Peso (kg)							
3.- Estatura (metro)							
4.- Edad (años)							
II.-DATOS GENERALES							
5.- Ciudad de origen:							
(1) Tijuana-Otay	2) Tijuana-Centro	3) Tijuana-Playas	4) Tijuana-Este	(5) Tecate	(6) Playas de Rosarito	(7) Ensenada	(8) Otra ciudad
6.-Tiempo que lleva estudiando en FCITEC:							
(1) 0-2 años		(2) 2-5 años			(3) Más de 5 años		
7.-Seleccione el tipo de ropa que usualmente utiliza en temporada cálida para asistir a clases:							
(1) Muy Ligera	(2) Algo ligera	(3) <input type="checkbox"/> Ligera	4 <input type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Ligeramente abrigada	6 <input type="checkbox"/> Abrigada	7 <input type="checkbox"/> Muy abrigado	
(pantalón corto/camiseta sin mangas)	(pantalón ligero/camiseta manga corta, falda, blusa sin manga)	(pantalón ligero camisa ligera manga corta /falda, blusa manga corta)	(pantalón normal, camisa, blusa normal)	(pantalón, manga larga, chaleco)	(pantalón, saco, suéter, chamarra)	(pantalón, camisa manga larga, abrigo, gorro, bufanda)	
8.-Durante la temporada cálida el ventilador se encontraba:							
(1) Encendido				(2) Apagado			

9.-Por favor identifique en que edificio y aula cursó clases:

Edificio E, aula E-01	Edificio E, aula E-08	Edificio E, ambas aulas	Edificio F, aula F-11
-----------------------	-----------------------	-------------------------	-----------------------

INSTRUCCIONES: Identifique en el siguiente croquis el o las aulas de los Edificios "E" o "F" donde cursó clases y la ubicación donde generalmente se sentaba durante la clase:

The complex block contains three photographs of classrooms and their corresponding floor plans. The first photo shows a classroom with a stone wall and a whiteboard, labeled 'AULA E-08'. The second photo shows a classroom with a white wall and a whiteboard, labeled 'AULA E-01'. The third photo shows a classroom with large windows and a whiteboard, labeled 'AULA F-11'. Below the photos are floor plans for 'EDIFICIO E' and 'EDIFICIO F'. The floor plan for 'EDIFICIO E' shows two classrooms, 'AULA E-08' and 'AULA E-01', with numbered seating zones (1-9) marked. The floor plan for 'EDIFICIO F' shows 'AULA F-11' with numbered seating zones (1-9) marked. A compass rose is also present.

10.- Generalmente se sienta en la:

- 1 Zona frente al pizarrón que da al pasillo interior del edificio
- 2 Zona central que da al pasillo interior del edificio
- 3 Zona posterior del aula que da la pasillo interior del edificio
- 4 Zona frente al pizarrón en el centro del aula
- 5 Zona central del aula
- 6 Zona central posterior del aula
- 7 Zona frente al pizarrón que da al muro de piedra hacia el exterior del edificio
- 8 Zona central que da al muro de piedra hacia el exterior del edificio
- 9 Zona posterior del aula que da la muro de piedra hacia el exterior del edificio

11.-Horario de clase (si la duración era más de una hora, marcar los cuadros que abarquen el horario de la clase):

(1) 8-9 am	(2) 9-10 am	(3) 10-11 am	(4) 11 am-12 pm	(5) 12-1 pm	(6) 1-2 pm	(7) 2-3 pm	(8) 3-4 pm	(9) 4-5 pm
------------	-------------	--------------	-----------------	-------------	------------	------------	------------	------------

III.- AMBIENTE HIGROTÉRMICO INTERIOR DEL AULA EN TEMPORADA CÁLIDA

Escala de 7 puntos de acuerdo con la Norma ASHRAE-55-2010

SENSACIÓN TÉRMICA. Indica la sensación causada por los siguientes factores ambientales durante la temporada cálida:							
	1	2	3	4	5	6	7
12.- ¿Cómo sentía su cuerpo con la temperatura en el interior del aula?	Mucho frío	Frío	Algo de frío	Ni frío, ni calor	Algo de calor	Calor	Mucho calor
13.- Sensación de humedad: (goteo sudor)	Muy húmedo (goteo sudor)	Húmedo (incomodidad en la piel)	Algo húmedo	Normal	Algo seco (piel seca)	Seco (incomodidad en la piel)	Muy seco (irritante)
14.- Sensación causada por la ventilación dentro del aula:	Mucha ventilación (disminuye la sensación de calor, los ojos se secan, los papeles se	Más ventilación (disminución de sensación de calor)	Neutro (sensación agradable)	Poca ventilación (se siente sofocado, falta de aire, calor)	Muy poca ventilación (se siente sofocado, falta de aire, aumenta la sensación de calor, me da		
15.- Sensación de radiación ¿Cómo siente los rayos del sol en tu piel?	Sin radiación (no sentía los rayos del sol en la piel)	Poca radiación (sentía algunos rayos de sol en la	Neutro (agradable en la piel)	Radiación algo fuerte (algo de calor en la piel)	Radiación muy fuerte (mucho calor en la piel)		
CONDICIONES AMBIENTALES DENTRO DEL AULA DURANTE LA TEMPORADA CÁLIDA:							
16.- Las condiciones ambientales dentro del aula en temporada cálida son:	Muy agradables	Agradables	Neutro	Incómodas	Muy incómodas		
PREFERENCIA PERSONAL. Por favor determine como preferiría que estuviera el aula durante la temporada cálida:							
17.- Preferencia de temperatura en temporada cálida:	Mucho mas fresco <input type="checkbox"/>	Más fresco <input type="checkbox"/>	Un poco mas fresco <input type="checkbox"/>	Sin cambio <input type="checkbox"/>	Un poco mas de calor <input type="checkbox"/>	Con mas calor <input type="checkbox"/>	Mucho mas caluroso <input type="checkbox"/>
18.- Preferencia de humedad en temporada cálida:	Mucho más húmedo <input type="checkbox"/>	Más húmedo <input type="checkbox"/>	Un poco mas húmedo <input type="checkbox"/>	Sin cambio <input type="checkbox"/>	Un poco mas seco <input type="checkbox"/>	Mas seco <input type="checkbox"/>	Mucho mas seco <input type="checkbox"/>
19.- Preferencia de ventilación en temporada cálida:	Mucha más ventilación <input type="checkbox"/>	Más ventilación <input type="checkbox"/>	Sin cambio <input type="checkbox"/>	Menos ventilación <input type="checkbox"/>	Mucho menos ventilación <input type="checkbox"/>		
20.- Preferencia de radiación en temporada cálida:	Mucho más radiación <input type="checkbox"/>	Más radiación <input type="checkbox"/>	Sin cambio <input type="checkbox"/>	Menos radiación <input type="checkbox"/>	Mucho menos radiación <input type="checkbox"/>		
TOLERANCIA PERSONAL							
21.- ¿Podría decir qué tan tolerable recuerda que eran las condiciones térmicas para realizar sus actividades de aprendizaje dentro del aula en temporada cálida?	Perfectamente Tolerable <input type="checkbox"/>	Ligeramente Tolerable <input type="checkbox"/>	Tolerable <input type="checkbox"/>	Intolerable <input type="checkbox"/>	Totalmente intolerable <input type="checkbox"/>		
IV. AMBIENTE LUMÍNICO							
PERCEPCIÓN PERSONAL. Elija la respuesta que mejor describa como percibía la iluminación del aula considerando solo la luz natural del día en temporada cálida:							
22.- Percepción de iluminación con luz natural del día en temporada cálida:	Mucha luz	Iluminado	Poca luz	Normal	Un poco oscuro	Oscuro	Muy oscuro
23.- Percepción de la luz artificial en temporada	Mucha luz	Iluminado	Poca luz	Normal	Un poco oscuro	Oscuro	Muy oscuro
24.- ¿Cuál o cuáles de estos elementos le causaba deslumbramiento durante la clase en temporada cálida?	La iluminación de las lámparas	La luz natural (luz del día)	El pizarrón	La paleta del mesabanco	La cancelería	El acabado en muros	El plafón
CONDICIONES DE ILUMINACIÓN DENTRO DEL AULA							
25.- El nivel de iluminación natural (luz del día) dentro del aula clase en temporada cálida era:							
25.- El nivel de iluminación natural (luz del día) dentro del aula clase en temporada cálida era:	Muy aceptable	Aceptable	Neutro (el nivel necesario para poder realizar mis	Inaceptable	Totalmente inaceptable		

PREFERENCIA PERSONAL. Por favor determine como prefería que estuviera iluminada el aula en temporada de verano:							
26.-Preferencia de iluminación en temporada	Mucho más iluminación	Más iluminación	Sin cambio	Menos iluminación	Mucho menos iluminación		
27.- ¿Cuál el tipo de luz prefiere durante la clase en temporada cálida?	Luz natural	Luz artificial	Las dos				
TOLERANCIA PERSONAL							
28.-¿Podría decir que tan tolerable eran los niveles de iluminación natural, durante la temporada cálida, para realizar sus actividades de	Perfectamente tolerable	Tolerable	Neutro	Intolerable	Totalmente intolerable		
V.- AMBIENTE HIGROTÉRMICO INTERIOR DEL AULA EN TEMPORADA FRÍA Escala de 7 puntos de acuerdo con la Norma ASHRAE-55-2010							
29.-Selecione el tipo de ropa que usualmente utiliza en temporada fría para asistir a clases:							
(1) Muy Ligera	(2) Algo ligera	(3) () Ligera	4 () Normal	() Ligeramente abrigada	6 () Abrigada	7 () Muy abrigado	
(pantalón corto/camiseta sin mangas)	(pantalón ligero/camiseta manga corta, falda, blusa sin manga)	(pantalón ligero camisa manga corta /falda)	(pantalón normal, camisa, blusa normal)	(pantalón, manga larga, chaleco)	(pantalón, saco, suéter, chamarra)	(pantalón, camisa manga larga, abrigo, gorro, bufanda)	
							
30.-Durante la temporada cálida el ventilador se encontraba:							
(1) Encendido			(2) Apagado				
SENSACIÓN TÉRMICA. Indica la sensación causada por los siguientes factores ambientales durante la temporada fría:							
	1	2	3	4	5	6	7
31.- ¿Cómo sentía su cuerpo con la temperatura en el interior del aula en temporada fría?	Mucho frio	Frio	Algo de frio	Ni frío, ni calor	Algo de calor	Calor	Mucho calor
32.-Sensación de humedad temporada fría:	Muy húmedo (goteo sudor)	Húmedo (incomodidad en la piel)	Algo húmedo	Normal	Algo seco (piel seca)	Seco (incomodidad en la piel)	Muy seco (irritante)
33.-Sensación causada por la ventilación dentro del aula en temporada fría:	Mucha ventilación (disminuye la sensación de	Más ventilación (disminución de sensación	Neutro (sensación agradable)	Poca ventilación (se siente sofocado, falta	Muy poca ventilación (se siente sofocado, falta de aire,		
34.-Sensación de radiación ¿Cómo siente los rayos del sol en tu piel?	Sin radiación (no sentía los rayos del sol en	Poca radiación (sentía algunos rayos	Neutro (agradable en la piel)	Radiación algo fuerte (algo de calor en la	Radiación muy fuerte (mucho calor en la piel)		
CONDICIONES AMBIENTALES DENTRO DEL AULA DURANTE LA TEMPORADA FRÍA:							
35.-Las condiciones ambientales dentro del aula en temporada fría son:	Muy agradables	Agradables	Neutro	Incómodas	Muy incómodas		
PREFERENCIA PERSONAL. Por favor determine como prefería que estuviera el aula durante la temporada fría:							
36.-Preferencia de temperatura en temporada fría:	Mucho mas fresco <input type="checkbox"/>	Mas fresco <input type="checkbox"/>	Un poco mas fresco <input type="checkbox"/>	Sin cambio <input type="checkbox"/>	Un poco mas de calor <input type="checkbox"/>	Con mas calor <input type="checkbox"/>	Mucho mas caluroso <input type="checkbox"/>
37.-Preferencia de humedad en temporada fría:	Mucho mas húmedo <input type="checkbox"/>	Mas húmedo <input type="checkbox"/>	Un poco mas húmedo <input type="checkbox"/>	Sin cambio <input type="checkbox"/>	Un poco mas seco <input type="checkbox"/>	Mas seco <input type="checkbox"/>	Mucho mas seco <input type="checkbox"/>
38.-Preferencia de ventilación en temporada fría:	Mucha más ventilación <input type="checkbox"/>	Más ventilación <input type="checkbox"/>	Sin cambio <input type="checkbox"/>	Menos ventilación <input type="checkbox"/>	Mucho menos ventilación <input type="checkbox"/>		
39.-Preferencia de radiación en temporada fría:	Mucho más radiación <input type="checkbox"/>	Más radiación <input type="checkbox"/>	Sin cambio <input type="checkbox"/>	Menos radiación <input type="checkbox"/>	Mucho menos radiación <input type="checkbox"/>		

TOLERANCIA PERSONAL							
40.- ¿Podría decir qué tan tolerable recuerda que eran las condiciones térmicas para realizar sus actividades de aprendizaje dentro del aula en temporada fría?	Perfectamente Tolerable <input type="checkbox"/>	Ligeramente Tolerable <input type="checkbox"/>	Tolerable <input type="checkbox"/>	Intolerable <input type="checkbox"/>	Totalmente intolerable <input type="checkbox"/>		
VI. AMBIENTE LUMÍNICO DENTRO DEL AULA EN TEMPORADA FRÍA							
PERCEPCIÓN PERSONAL. Elija la respuesta que mejor describa como percibía la iluminación del aula considerando solo la luz natural del día en temporada fría:							
41.-Percepción de iluminación con luz natural del día en temporada fría:	Mucha luz	Iluminado	Poca luz	Normal	Un poco oscuro	Oscuro	Muy oscuro
42.-Percepción de la luz artificial en temporada fría:	Mucha luz	Iluminado	Poca luz	Normal	Un poco oscuro	Oscuro	Muy oscuro
43.-¿Cuál o cuáles de estos elementos le causaba deslumbramiento durante la clase en temporada fría?	La iluminación de las lámparas	La luz natural (luz del día)	El pizarrón	La paleta del mesabanco	La cancelería	El acabado en muros	El plafón
CONDICIONES DE ILUMINACIÓN DENTRO DEL AULA EN TEMPORADA FRÍA							
44.-El nivel de iluminación natural (luz del día) dentro del aula clase en temporada fría era:	Muy aceptable	Aceptable	Neutro (el nivel necesario para poder realizar mis actividades de	Inaceptable	Totalmente inaceptable		
PREFERENCIA PERSONAL. Por favor determine como prefería que estuviera iluminada el aula en temporada fría:							
45.-Preferencia de iluminación en temporada fría:	Mucho más iluminación	Más iluminación	Sin cambio	Menos iluminación	Mucho menos iluminación		
46.- ¿Cuál es el tipo de luz prefiere durante la clase en temporada fría?	Luz natural	Luz artificial	Las dos				
TOLERANCIA PERSONAL							
47.-¿Podría decir que tan tolerable eran los niveles de iluminación natural, durante la temporada fría, para realizar sus actividades de	Perfectamente tolerable	Tolerable	Neutro	Intolerable	Totalmente intolerable		
PREGUNTA DE OPINIÓN SOBRE CONFORT AMBIENTAL DENTRO DEL AULA							
48.- De los factores antes mencionados ¿Cuál es el que considera que más le afectaba en el desarrollo de sus actividades de aprendizaje?	Confort térmico (temperatura, humedad, ventilación y radiación)	Confort lumínico (iluminación natural y/o artificial)	Ambos	Ninguno	Otro		

Fuente: Elaboración propia a partir de ISO 10551:2019, ASHRAE-55-2010

3.3.5. Aplicación de las herramientas de medición

Para el experimento, las aulas seleccionadas fueron las identificadas como E-01 y E-08 ubicadas en el primer nivel del Edificio E y la F-11, en el segundo nivel del Edificio F. Las tres aulas tienen una superficie aproximada de 80 m²; cuentan con una capacidad entre 30 y 35 estudiantes, para clases teóricas con mobiliario de pupitres dispuestos en filas frente al pizarrón.

Las fachadas de las aulas tienen diferentes orientaciones, E-01 hacia el noreste, E-08 al suroeste y la F-11 al sureste, con mayor exposición a la irradiación solar durante el horario de clases.

Se realizaron mediciones periódicas durante el 2021, los meses de marzo, agosto, octubre y diciembre por un periodo de 7 días continuos como se especifica en la Tabla 13, alternando las mediciones en las tres aulas, considerando el horario de clases (8 de la mañana a 5 de la tarde).

Tabla 13

Periodos de las mediciones de campo

Período	Aula	Fecha
Transición frío-cálido 2021	E-8	8-15 abril
	E-01	16-24 abril
	F11	24-30 abril
Cálido 2021	E-01	11-17 agosto
	E-8	18-24 agosto
	F11	25-31 agosto
Transición cálido-frío 2021	E-01	4-26 octubre
	E-8	4-26 octubre
	F11	4-26 octubre
Frío 2021	E-01	31 enero-5 febrero
	E-8	6 -12 febrero
	F11	13-18 febrero
Transición frío-cálido 2022	E-01	4-7 abril
	E-8	4-7 abril
	F11	4-7 abril

Fuente: Elaboración propia

En la aplicación del método cuasi experimental, se cuantificaron las múltiples variables dependientes con mediciones de campo por medio de instrumentos estandarizados, que se ha comprobado su validez y confiabilidad en estudios previos, como se menciona a continuación:

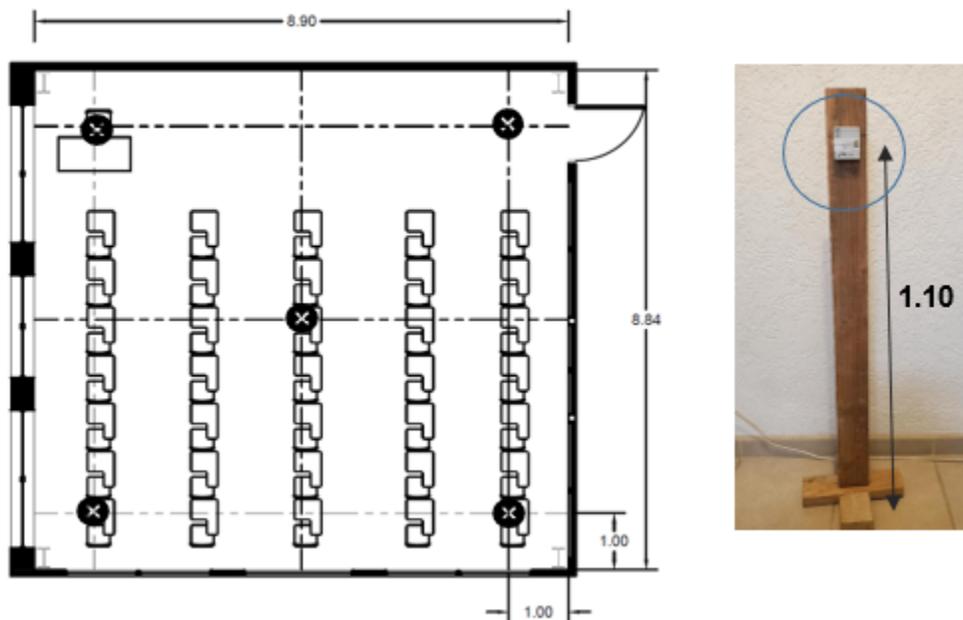
3.3.5.1. Para índices del confort térmico

La selección y ubicación de los instrumentos dentro del aula fue con base en ISO 7726 (1998) y ANSI/ASHRAE 55 (2010), ubicando 5 instrumentos de medición higrotérmicos: dos en la parte frontal al pizarrón en cada extremo, dos en la parte posterior del aula y uno al centro, como se muestra en el croquis de la Fig. 17 y fotografía de la Fig. 18. Los intervalos de medición fueron cada 10 minutos sobre la base del estándar ISO 7726 standard (Rincón et al. 2017).

Los sensores, como muestran las Fig. 17 y Fig. 18, fueron colocados en cinco puntos dentro del salón: dos al frente, uno en el centro y dos en la parte posterior, a una distancia de 1 m de las paredes. Se colocaron sobre soportes de madera a 1.1 m correspondiente a la altura de la cabeza de una persona en posición sentada. Los datos fueron registrados cada 10 minutos de acuerdo con la ISO 7726. La selección y colocación del instrumento de medición se basó en ANSI/ASHRAE Standard 55 (2017, pp. 3, 7) y la NOM-015-STPS-2001 (2002, Secc. Cuarta).

Figura 17

Croquis de ubicación puntos de medición de indicadores higrotérmicos

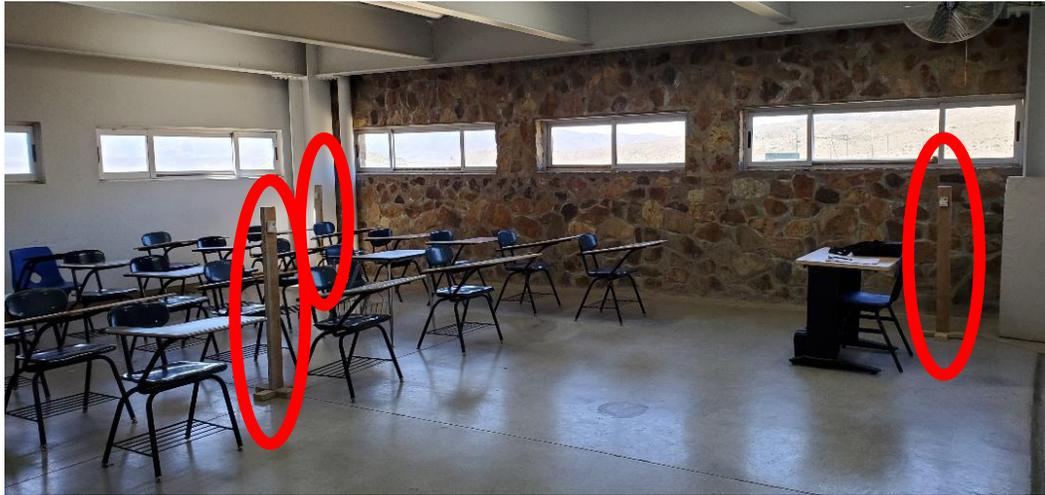


⊗ Ubicación de los instrumentos de medición de temperatura y humedad relativa.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura 18

Ubicación de los instrumentos de medición higrotérmicos en aula E-08 del Edificio E



Fuente: Fotografía tomada con cámara personal.

3.3.5.2. Para índices del confort lumínico

La determinación de los puntos de medición de la luz natural, ubicados en el croquis de la Figura 19, fueron obtenidos de la ecuación para el índice de área (IC) de la NOM-025-STPS-2008 (2008, p.11)

$$IC \text{ (índice de área)} = \frac{(x)(y)}{h(x+y)} \quad (7)$$

Considerando las dimensiones del aula:

Largo: 8.90 m (x)

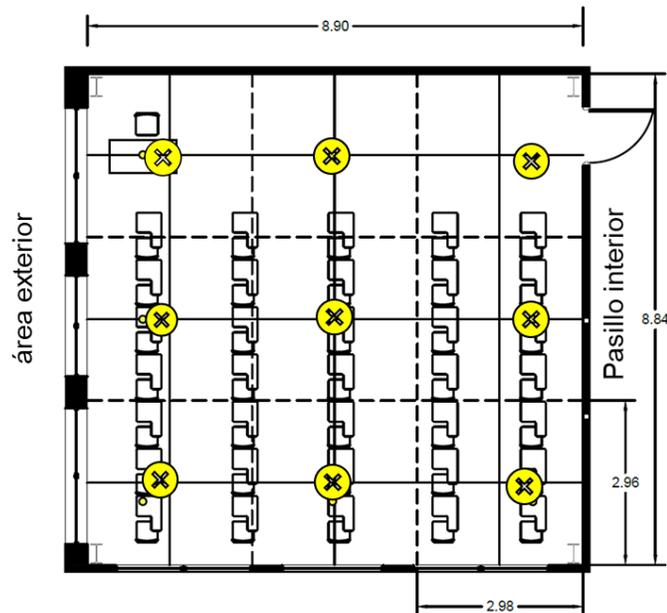
Ancho: 8.84 m (y)

Altura: 3.12 (h)

El resultado del IC fue un número mínimo de nueve puntos de medición, que se ubicaron dentro de una retícula de 36 cuadros de 149 cms. Los 9 puntos donde se realizaron las mediciones estaban a 298 cms equidistantes, como muestra la Fig. 19. De tal forma que se obtuvieron 3 hileras al frente, centro y parte posterior del aula para la medición y registro de datos. Las mediciones se realizaron sobre el plano de trabajo (paleta del mesabanco) a una altura de 0.74 cms, cada 30 minutos.

Figura 19

Croquis de ubicación de los puntos de medición para luz natural



⊗ Puntos de medición sobre plano de trabajo (paleta del pupitre).

Fuente: Elaboración propia.

3.3.5.3. Aplicación de cuestionario del confort ambiental térmico y lumínico

Esta investigación inicia a finales del 2019 con clases presenciales regulares, en marzo del 2020 a causa de la pandemia COVID19, se suspenden las clases presenciales y se implementan las clases virtuales. En el mes de noviembre del 2021, se envía la encuesta vía correo electrónico a los alumnos para conocer como *“recordaban las condiciones ambientales del aula durante los periodos frío y cálido dentro del aula”*. En esta encuesta se recibieron 81 respuestas.

La aplicación del cuestionario de forma presencial fue el 4 y 7 de abril del 2022, correspondiente al periodo de transición frío-cálido. El número de alumnos varió debido al reciente regreso a clases presencialmente. Antes de la aplicación del cuestionario, se instaló el equipo higrotérmico para que midiera y registrara datos de las 8:00 a.m. a las 4:00 p.m. y se revisó que el equipo funcionara correctamente. Las mediciones de la velocidad del aire, temperatura radiante y de iluminancia se llevaron simultáneamente durante la aplicación del cuestionario.

Previamente se solicitó permiso a los directivos de las dos facultades y a los docentes que impartían clases en las aulas elegidas. La encuesta se realizó después de 40 minutos de

haber iniciado la clase con duración de tres horas. Antes de encuestar a los alumnos se explicó el propósito de la encuesta y en qué consistía el contenido de esta, la duración aproximada para responder las respuestas y se les invito a preguntar en caso de dudas sobre alguna pregunta. Se solicito al jefe de grupo que compartiera la liga del cuestionario en línea, en el formato de la aplicación de Google Forms para ser contestado en su celular personal.

Tomando en cuenta los registros de las variables higrotérmicas dentro de las aulas, donde los horarios donde se presentaban temperatura más críticas fueron entre las 10:00 a.m. y las 2:30 p.m. También, se consideró que la permanencia de los alumnos dentro del aula era de tres horas por curso, por lo que se pudo encuestar en dos clases cada día.

Los cuestionarios fueron aplicados en dos momentos del día, entre las 9:00 y 11:00 de la mañana y entre las 12:00 a.m. y las 2:30 p.m. realizando de forma simultánea las mediciones de campo de los índices del confort térmico y lumínico. La obtención de datos de la encuesta fue a través de la aplicación Google Forms, que arroja datos numéricos en tablas y gráficos. Se recibieron 181 respuestas.

Para fines de obtención de resultados de la encuesta, las personas con capacidades físicas diferentes no fueron consideradas por no estar dentro de la generalidad que se requiere para establecer el confort ambiental de las condiciones espaciales de las aulas

3.3.6. Muestra y tamaño de la muestra

El muestreo fue de tipo probabilístico con muestra aleatoria simple. Implica que la selección de las personas sea realizada de forma aleatoria, buscando una validez extrapolable a la población que se ve representada por la unidad de análisis, permitiendo reducir o eliminar sesgos.

El tamaño de muestra se obtuvo utilizando el programa Sample Size Calculator que se basa en la fórmula:

$$ss = \frac{Z^2(\rho)(1-\rho)}{c^2} \quad (8)$$

Donde:

Z= valor de Z, nivel de confianza.

ρ = probabilidad en elegir una opción, expresado como decimal

c = intervalo de confianza, expresado como decimal

La matrícula 2022-1 de las carreras de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial fue de 312 estudiantes. Para el diseño de la muestra se consideró un nivel de confianza del 95% con un intervalo de confianza de ± 5 . El cálculo del tamaño de la muestra resultó ser de 173 estudiantes.

3.3.7. Procesamiento, análisis de datos

La estrategia para el manejo de la información recabada fue primero la captura de datos cuantitativos de los resultados de las variables para facilitar su manipulación, seguido de un análisis de la información, donde se revisan los datos y se determinan cuales utilizar y cuales se invalidan para poderlos interpretar y, a partir de los datos, generar conclusiones sobre la relación causa-efecto y convertir esos comportamientos en relación con los objetivos planteados.

El estudio se llevó a cabo en tres aulas del FCITEC, en los periodos cálido, frío y de transición frío-cálido, analizando las variables del ambiente térmico: temperatura del aire y humedad relativa, así como de iluminancia: luz natural. Se realizaron mediciones de variables en aulas desocupadas recolectando 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).

En la Tabla 14, se especifica el periodo y fecha en que se realizaron las mediciones en las tres aulas. Los Hobos, corresponden a los cinco sensores que fueron colocados en el aula para medir la temperatura del aire y la humedad relativa; la unidad meteorológica (UM) utilizada para medir la temperatura y la humedad exterior y el luxómetro (Lux) para medir luz natural interior.

Tabla 14*Número de registros de los instrumentos de medición*

Período	Aula	Fecha	HOBO 1	HOBO 2	HOBO 3	HOBO 4	HOBO 5	UM	Lux.	Subtotal
Período de transición frío-cálido 2021	E-01	16-24 abril	1,136	1,136	1,136	1,136	1,136	144	513	6,337
	E-8	8-15 abril	1,315	1,312	1,381	1,381	1,314	126		6,829
	F11	24 abr-1 may	1,003	1,003	1,010	1,003	1,004	144		5,167
Período cálido 2021	E-01	10-18 agosto	1,134	1,134	1,133	1,133	1,133	144	513	6,324
	E-8	18-25 agosto	1,007	1,009	1,008	1,009	1,010	126		5,169
	F11	25 ago-4 sept	1,493	1,493	1,492	1,493	1,493	180		7,644
Período de transición cálido-frío 2021	E-01	4-26 octubre	1,052	1,052	1,052	1,052	1,053	378	513	6,152
	E-8	4-26 octubre	1,053	1,053	1,053	1,053	1,053			5,265
	F11	4-26 octubre	1,053	1,053	1,054	1,054	1,054			5,268
Período frío 2021	E-01	28 ene-12 feb	1,071	1,071	1,072	1,072	1,072	270	513	6,141
	E-8	29 ene-12 feb	1,071	1,072	1,073	1,073	1,073			5,362
	F11	12-18 febrero	894	894	890	890	891	108		4,567
Período de transición frío-cálido 2022	E-01	4-7 abril	35	35	35	35	35	36	108	319
	E-8	4-7 abril	35	35	35	35	35			175
	F11	4-7 abril	35	35	35	35	35			175
Número total de registros										70,894

Para procesar los datos cuantitativos obtenidos, se realizaron una serie de formatos que permitieran vaciar la información obtenida de las mediciones de campo. Para las características físicas del aula se hizo el formato FR-1 mostrado en la Tabla 15, para los datos de las dimensiones (alto, ancho, largo), la superficie, los materiales constructivos de cada muro del aula, el color utilizado, si contaban con ventilador, la capacidad del espacio para el número de alumnos por aula, puertas, ventanas y lámparas, detallando el tipo de material utilizado, así como la orientación de la fachada del edificio.

Tabla 15*FR-1 Formato para las características físicas de las aulas*

Características del aula	E-01	E-08	F-11
Ancho (m)			
Largo (m)			
Altura (m)			
Volumen (m3)			
Superficie del aula (m2)			
Material del plafón			
Material de la superficie en muros			
Color de la superficie en muros			
Color de la superficie en piso			
Color de la superficie en plafones			
Color de la superficie del pizarrón			
No. Asientos			
No. De puertas			
Superficie total de puertas (m2)			
No. de ventanas			
Superficie total de ventanas (m2)			
Tipo de luz			
No. de lámparas			
No. De tubos fluorescentes (W)			
No. De tubos fluorescentes por aula			
Ventilador			
Orientación de la envolvente			

Fuente: Elaboración propia.

Los datos higrotérmicos fueron obtenidos del software del instrumento de medición y registrador de datos HOBOS, programados para medir cada 10 minutos. Los datos fueron vaciados en el formato FR-2 que muestra la Tabla 16, el cual fue adecuado para facilitar el manejo de la información a cada hora, además, considerando que las clases tenían una duración de tres horas a partir de las 8:00 a.m. a las 5:00 p.m.

Al inicio del formato, se determina el tipo de instrumento de medición, la marca y el número del sensor, la fecha y el periodo en que se llevó el registro de los datos. También se consideró un espacio para identificar el número designado al sensor de acuerdo con su ubicación dentro del aula. El formato fue diseñado para vaciar la información de cada uno de los cinco HOBOS (ubicados dos al frente, uno al centro y dos en la parte posterior del salón) de forma

separada. El formato permitió obtener los valores mínimos, promedio y máximos de la temperatura y de la humedad relativa interior.

Tabla 16

FR-2 Formato para registro de datos de temperatura y humedad relativa interior

Instrumento de Medición, marca y No.:																									
Registro: Temperatura interior (°C) y humedad relativa (%) interior																									
Fecha:																									
Periodo:																									
No. de identificación del instrumento de medición:																									
Ubicación del instrumento dentro del aula:																									
Colocado a una altura: 1.1 m																									
Responsable: María Teresa de la Cruz Chaidez																									
Valores temperatura interior en °C																									
Hora/día	Aula E-01					Aula E-08					Aula F-11					T int mínima °C			T int máxima °C			T int promedio °C			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	E-01	E-08	F-11	E-01	E-08	F-11	E-01	E-08	F-11	
8:00																									
9:00																									
10:00																									
11:00																									
12:00																									
13:00																									
14:00																									
15:00																									
16:00																									
17:00																									
Promedio/ día																									
Promedio/Aula																									
Valores Humedad Relativa interior (%HR)																									
Hora/día	Aula E-01					Aula E-08					Aula F-11					HR int mínima °C			HR int máxima °C			HR int promedio °C			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	E-01	E-08	F-11	E-01	E-08	F-11	E-01	E-08	F-11	
8:00																									
9:00																									
10:00																									
11:00																									
12:00																									
13:00																									
14:00																									
15:00																									
16:00																									
17:00																									
Promedio/ día																									
Promedio/Aula																									

Fuente: Elaboración propia.

Para los datos higrotérmicos exteriores, se utilizó el formato FR-3 que de igual forma que el F-2, solicita los datos de control especificados en la Tabla 17 como son: fecha, periodo e instrumento de medición y el responsable de registrar los datos.

Tabla 18*FR-4 Formato para el registro de iluminancia*

Registro:	Luz natural (lux)
Instrumento de medición, marca y no.:	
Fecha:	
Periodo:	
Condiciones climáticas:	
Altura de colocación del instrumento:	
Tratamiento en ventanas:	
Las cortinas se encontraban:	
Ubicación:	UABC, Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California
Responsable:	María Teresa de la Cruz Chaidez

Hora/aula	Ubicación	E-01	E-08	F-11
		Lux	Lux	Lux
	frente pasillo			
	centro pasillo			
	posterior pasillo			
	frente centro			
	centro			
	posterior centro			
	posterior ext			
	centro ext			
	frente ext			

Fuente: Elaboración propia.

El formato FR-4 de la Tabla 19 se utilizó para registrar datos higrotérmicos y lumínicos los días de aplicación del cuestionario de forma presencial. Incluye los datos de control y de medición de las variables del confort térmico: temperatura del aire y HR interior y exterior, incluyendo el índice de temperatura del globo negro y termómetro húmedo (WBGT) para evaluar el estrés térmico por calor en función de la actividad realizada y la velocidad del aire. Para el confort lumínico, se realizó el registro de la luminancia en cada uno de los puntos especificados previamente de acuerdo con el cálculo del IC.

Tabla 19

Formato de registro FR-2 de mediciones higrotérmicas y lumínicas

FR-5. Formato de registro de la mediciones higrotérmicas y de iluminancia en aulas del FCITEC en periodo de transición frío-cálido		
Datos medición en campo	Fecha	Valor
	Horario	
	Aula	
Térmico	T ext. (°C)	
	RH ext. (%)	
	WBGT	
	TA	
	TG	
	RH int (%)	
	Velocidad del aire m/s	
Lumínico	Iluminación (lux)	
Posición dentro del aula (resultado del cálculo del IC)	1	
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
	7	
	8	
	9	

Fuente: Elaboración propia.

También, se elaboró la Tabla 20 para resumir los resultados de los parámetros del diseño arquitectónico y del confort ambiental interior, donde se incluyó el número de respuestas de los cuestionarios.

El registro de resultados de los cuestionarios fue obtenido de la aplicación Google Forms en archivo de Excel, con el que se puede manejar de manera fácil y puntual la información de las respuestas de cada una de los encuestados (Anexo 2).

Tabla 20*Formato de registro FR-6 de resumen de resultados de los parámetros medidos*

	Aula	E-01	E-08	F-11
Cuestionario	Número de respuestas			
Diseño arquitectónico	Orientación de la envolvente			
	Material constructivo en muro			
Confort ambiental interior	Día de medición			
	Valor			
Confort térmico	T _{ext} (°C)			
	HR _{ext} (%)			
	TGBH (°C)			
	TG (°C)			
	t (°C)			
	HR (%)			
	V _{aire} (m/s)			
	Actividad metabólica (met)			
	Icl (clo)			
Confort lumínico	Luz natural (lux)			

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis de resultados se realizó un análisis estadístico descriptivo por medias por intervalo de sensación térmica y lumínica que permitió revisar el conjunto de datos con exactitud, precisión y representatividad. 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.

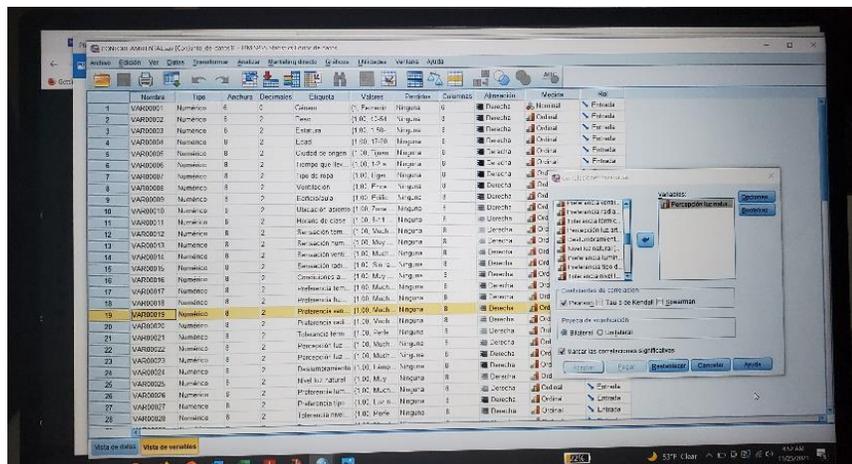
En el análisis de datos se crearon rangos de los valores obtenidos. Para la pregunta 2 se establecieron 6 rangos para el peso: 40-49 kg, 50-59 kg, 60-69 kg, 70-80 kg, 80-89 y 90 y más. En la 3 sobre su altura: 140-149 cms, 150-159 cms, 160-169 cms, 170-179 cms, 180-190 cms. La pregunta 4 se dividió en cuatro rangos de edad: 19-20 años, 21-22, 23-24 y más de 25 años y en la pregunta 6, fueron 3 rangos para la pregunta sobre del tiempo que lleva estudiando en FCITEC: de 0-2 años, de 2 a 5 años y más de 5 años.

Debido a que el cuestionario C-1 no se aplicó simultáneamente al momento de realizar mediciones físicas, las correlaciones de las variables fueron entre la sensación, preferencia y tolerancia de los factores ambientales:

- Sensación temperatura, humedad, ventilación y radiación.
- Preferencia temperatura, humedad, ventilación y radiación.
- Tolerancia térmica.
- Condiciones lumínicas: preferencia y tolerancia lumínicas.

Figura 18

Captura de la realización de correlaciones en el Programa



Fuente: Fotografía tomada con cámara personal.

En el caso del cuestionario C-2 se consideraron, además, las variables ambientales físicas para la validación del muestreo:

- Temperatura del aire interior
- Humedad relativa interior
- Temperatura exterior
- Humedad relativa exterior
- Temperatura de globo negro
- Velocidad del aire
-

Con el programa estadístico SPSS se obtuvieron las correlaciones de Pearson entre las variables, como muestra la Fig. 18, y con ello se pudo elaborar los gráficos de los períodos cálido y frío y del periodo de transición frío-cálido.

4. Resultados

En este apartado se presentan los resultados obtenidos para evaluar el confort térmico y lumínico en aulas universitarias, teniendo como caso de estudio las aulas del FCITEC, de la UABC, Campus Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California.

La aplicación del estudio correlacional se llevó a cabo en función de las condiciones ambientales térmicas y lumínicas de las aulas, para ello se establecieron tres periodos de estudio en el año (cálido, frío y de transición frío-cálido) y un análisis anual de las variables higrotérmicas interior y exterior y de iluminancia dentro del aula.

El nivel de actividad pasiva se consideró de acuerdo con ASHRAE para personas sentadas, que fue aplicado a los ocupantes que realizan la actividad de aprendizaje (escribir, leer, escuchar, opinar, concentrarse, estudiar, entre otras). La permanencia de actividad pasiva del ocupante junto con las variables correlacionadas con la sensación térmica percibidas fue: temperatura del aire, humedad relativa, temperatura de globo negro y la velocidad del aire.

El valor de iluminancia se basó en la NMX-25-STPS-201.

4.1. Resultados de la medición de los elementos de diseño

En este estudio, tres aulas (E01, E08 y F-11) de dos edificios diferentes (E y F) fueron seleccionadas para evaluar las condiciones ambientales interiores por su orientación y materiales de construcción utilizados. De acuerdo con las mediciones físicas realizadas, las dimensiones de las aulas son 8.84 x 8.90 m y 3.12 m de altura, con una superficie de 78.67 m².

Los muros del aula E-01 fueron construidos a base de tablaroca; en E-08 cuenta con tres muros de tablaroca y el muro de piedra orientado al noroeste y en el caso del F-11 cuenta con un muro acristalado, al sureste.

Los materiales utilizados en la construcción absorben, transmiten y almacenan energía; estas características determinan la eficacia de los elementos constructivos para controlar o modificar el confort térmico y lumínico (Valdiviezo 2010). En términos de conductividad térmica, el muro de piedra tiene la conductividad térmica más alta de los otros dos, usando 3 W/m² °C; el vidrio tiene 1,25 W/m² °C, y los paneles de yeso (fibra de vidrio) tienen la conductividad térmica más baja con 0,03 W/m² °C (Valdiviezo 2010, P. 104). Se ha comprobado que las características físicas de las aulas pueden mejorar más del 15% en el progreso de aprendizaje de los estudiantes (Barrett, Zhang Yufan, et al. 2015)

Como muestra la Tabla 21, los salones E-01 y E-08 tienen ventanas en tres de sus muros con una superficie de 10.91 m². Este resultado no cumple con la norma INIFED donde establece que para asegurar la iluminación uniforme del espacio, la superficie debe ser un tercio del área total del aula (INIFED 2011, p. 5), lo que correspondería a una superficie de 26.22 m². Por otro lado, las ventanas no cuentan con ningún tratamiento interno o externo que controle la penetración de los rayos del sol que inciden en los mesabancos directamente en los muros orientados al SE y NO. Aun cuando las ventanas pueden abrirse, generalmente se encuentran cerradas, debido a las fuertes vientos que se presentan en la zona. Las más utilizadas para ventilación son las que dan al pasillo interior.

El aula F-11 tiene ventanas en dos de sus muros con una superficie de 33.09 m², que es mayor a lo establecido en la norma. La desventaja del muro acristalado es que no tiene aperturas para ventilar el espacio y aun cuando tiene tratamiento en el muro con cortinas de tela, no han sido suficiente para el control de la penetración de luz natural durante la mayor parte del día por su orientación al SE. Debido a lo anterior, se instalaron láminas de poliestireno que obstruye la entrada directa del sol, pero disminuye la entrada de luz natural.

Esto no cumple con la norma INIFED (2011) que establece que la principal fuente de luz natural en aulas educativas debe provenir del lado izquierdo de los alumnos y estar orientada al norte preferentemente.

De acuerdo con INIFED (2011) los elementos reflejantes más importantes para lograr una difusión uniforme dentro de un espacio son los muros y plafones. En este caso, para las aulas, se manejaron colores en la gama de los grises en muros, plafones y pisos, por lo que tienen un 33% de reflectancia. El pizarrón de color blanco brillante tiene un 75% de reflectancia, lo que puede causar deslumbramiento.

La iluminación artificial de las aulas, resuelto con tres hileras de 4 lámparas, 12 en total, con dos tubos de luz fluorescente, cumple con los mínimos establecidos para aulas de 300-350 lux (INIFED 2011; NOM-025-STPS:2008), ya que se registraron debajo de cada lámpara más de 550 lux, encontrando que los valores no fueron uniformes.

Las condiciones de ventilación fueron resueltas mecánicamente con un ventilador empotrado en el plafón en cada aula. La ventilación cruzada en el caso del edificio E se da en días que no están los fuertes vientos durante los días templados y cálidos, en el invierno las ventanas permanecen cerradas, lo que impide la renovación de aire en forma natural.

Tabla 21*Resultados medición elementos físicos de las aulas*

Características del aula	E-01	E-08	F-11
Ancho (m)	8.84	8.84	8.77
Largo (m)	8.90	8.90	9.11
Altura (m)	3.12	3.12	3.46
Volumen (m3)	245.47	245.47	276.44
Superficie del aula (m2)	78.676	78.67	79.89
Material del plafón	Losa acero	Losa acero	Losa acero
Material de la superficie en muros	Tablaroca/piedra	Tablaroca	Tablaroca/ acristalado
Color de la superficie en muros	Gris/café claro	Gris	Crema/beige
Color de la superficie en piso	Gris	Gris	Gris
Color de la superficie en plafones	Gris	Gris	Gris
Color de la superficie del pizarrón	Blanca	Blanca	Blanca
No. Asientos	35	35	30
No. De puertas	1	1	1
Superficie total de puertas (m2)	2.5	2.5	2.5
No. de ventanas	9	9	4
Superficie total de ventanas (m2)	10.91	10.91	33
Tipo de luz	fluorescente	fluorescente	fluorescente
No. de lámparas	12	12	12
No. De tubos fluorescentes (W)	2	2	2
No. De tubos fluorescentes por aula	24	24	24
Ventilador	1	1	1
Orientación de la envolvente	NE	SO	SE

Fuente: Elaboración propia

4.2. Resultados de las mediciones de campo

Los resultados de las mediciones de campo durante los periodos de transición frío-cálido, cálido, transición cálido-frío y frío, se muestran en la Tabla 22. En el periodo cálido-frío se registró la temperatura interior más alta de 35°C en el aula F-11, cuando la temperatura exterior fue de 39°C.

En el periodo de transición cálido-frío, se registró la temperatura interior más baja de 8°C en el aula E-08, teniendo una diferencia de 4°C con el aula E-01 y 1°C con el F-11; la temperatura más alta en el mismo periodo fue de 31°C registradas en aulas E-08 y F-11, con una diferencia de 4°C con la E-01 cuando la T_{ext} era de 31°C, con una HR_{int} máxima de 94% y 80% respectivamente y HR_{ext} de 94%. La Ta_{int} promedio estuvo en el aula E-08 2°C más alta que la E-01 y 3°C más del F-11.

De acuerdo con la carta psicométrica del programa Climate Consultant 5.5 (2014) de confort adaptativo, para la zona de Valle de las Palmas, los rangos de confort se encuentran entre los 19.7-27.7°C, y HR 35-50%. Los resultados mostraron que los valores mínimos y máximos obtenidos se encuentran fuera de estos rangos, sin embargo, a parte del periodo cálido, que presenta temperaturas hasta 3°C más altas, los valores promedio se encuentran dentro de los rangos establecidos, solo en el mes de agosto la temperatura se encuentra entre.

Tabla 22

Resumen de los datos ambientales para el confort térmico y lumínico

Período	Aula	Fecha	Ta int min.	Ta int prom	Ta int máx.	HR int min	HR int prom	HR int máx.	T ext min	T ext prom	Text máx.	HR ext min	HR ext prom	HR ext máx.	Luz nat. min	Luz nat. prom	Luz nat. máx.
Transición frío-cálido 2021	E-01	16-24 abr.	18	19	20	43	45	47	12	22	33	11	49	92	58	222	554
	E-08	8-14 abr.	20	20	21	47	48	48	12	22	33	11	49	92	61	222	983
	F11	24-30 abr.	18	20	22	40	43	49	12	22	33	11	49	92	25	168	566
Cálido 2021	E-01	11-17 ago.	27	28	30	36	48	56	21	31	35	23	45	85	58	121	221
	E-08	18-24 ago.	25	27	29	49	51	56	16	25	33	26	59	91	132	216	373
	F11	25-31 ago.	25	31	35	18	37	57	19	31	39	9	37	88	25	59	94
Transición cálido-frío 2021	E-01	4-26 oct.	12	20	27	23	68	94	10	21	31	10	48	94	24	192	664
	E-08	4-26 oct.	8	22	31	10	32	80	10	21	31	10	48	94	61	237	983
	F11	4-26 oct.	9	19	31	15	56	94	10	21	31	10	48	94	25	165	569
Frío 2021	E-01	31 ene-5 feb	12	14	25	13	36	60	8	16	25	8	23	68	43	93	137
	E-08	6-12 feb.	16	21	28	13	21	27	16	25	30	7	13	35	80	1,045	7,745
	F11	13-18 feb.	17	22	29	11	28	54	8	18	29	13	37	90	86	671	1,281
Transición frío-cálido 2022	E-01	4-7 abr.	18	24	28	12	37	63	18	27	32	20	43	56	74.0	87.3	91.0
	E-08	4-7 abr.	18	23	25	22	34	66	18	27	32	20	43	56	106	140	173
	F11	4-7 abr.	18	26	31	16	41	66	18	27	32	20	43	56	53	108	213

Nota: abreviaturas: mínimo (min.) promedio (prom.) y máximo (máx.).

Simbología

- Temperatura del aire interior (Ta int) mínima y máxima registradas
- Humedad relativa interior (HR int) mínima y máxima registradas
- Temperatura exterior (T ext.) mínima y máxima registradas
- Humedad relativa exterior (HR ext.) mínima y máxima registradas
- Luz natural (Luz nat.) interior mínima y máxima registradas

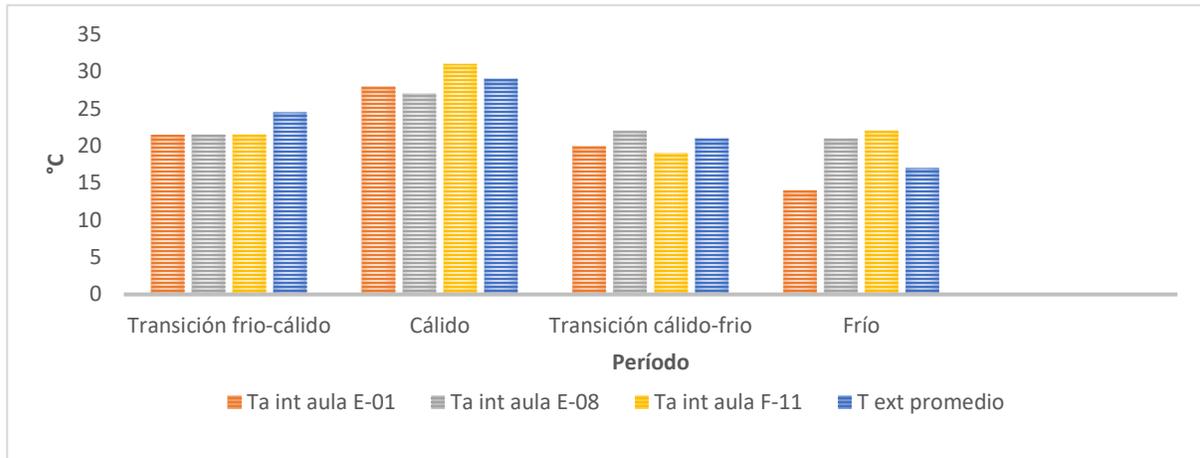
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la Ta_{int} promedio, como muestra la Fig.19 en el periodo cálido (correspondiente a los meses de clases agosto, septiembre) se encuentran entre 27°C y 31°C

grados cuando la T_{ext} promedio asciende a 29°C. Esto indica que en este periodo la T_{int} ha llegado a ser más alta que la T_{ext} .

Figura 19

Resultado de los valores promedio de T_{int} y T_{ext} en los periodos del año



Fuente: Elaboración propia

En la Fig. 20 se muestran los resultados de las mediciones de la HR interior y exterior. Como se puede apreciar, los valores de HR_{int} promedio se encuentran dentro del rango entre 35-50%, a excepción de los periodo de transición cálido-frío que, en el aula E-1 fue de 68%; E-08 de 32% y en el F-11 de 56% , cuando el promedio de HR exterior fue de 48%; también en periodo frío el aula E-08 tuvo 21% de HR y el F-11 28% donde la HR_{ext} fue 24%. En ambos periodos la HR_{int} promedio fue más alta que la HR_{ext} , que pudiera ser debido a los materiales constructivos o a la falta de ventilación dentro de las aulas.

Figura 20

Resultado de los valores promedio de HR interior y exterior en los periodos del año

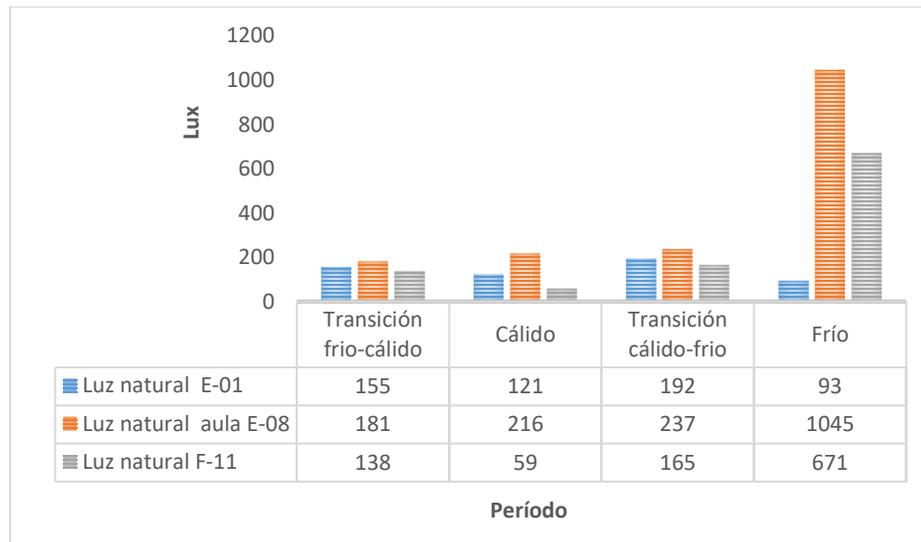


Fuente: Elaboración propia

Los resultados de las mediciones de luz natural mostraron que, en todos los periodos en que se registraron datos, establecidos en la Fig. 21, los valores estaban por debajo del mínimo establecido por la normatividad de 300 lux (NOM-025-STPS:2008).

Figura 21

Resultado de los valores promedio de luz natural en los periodos del año



Fuente: Elaboración propia

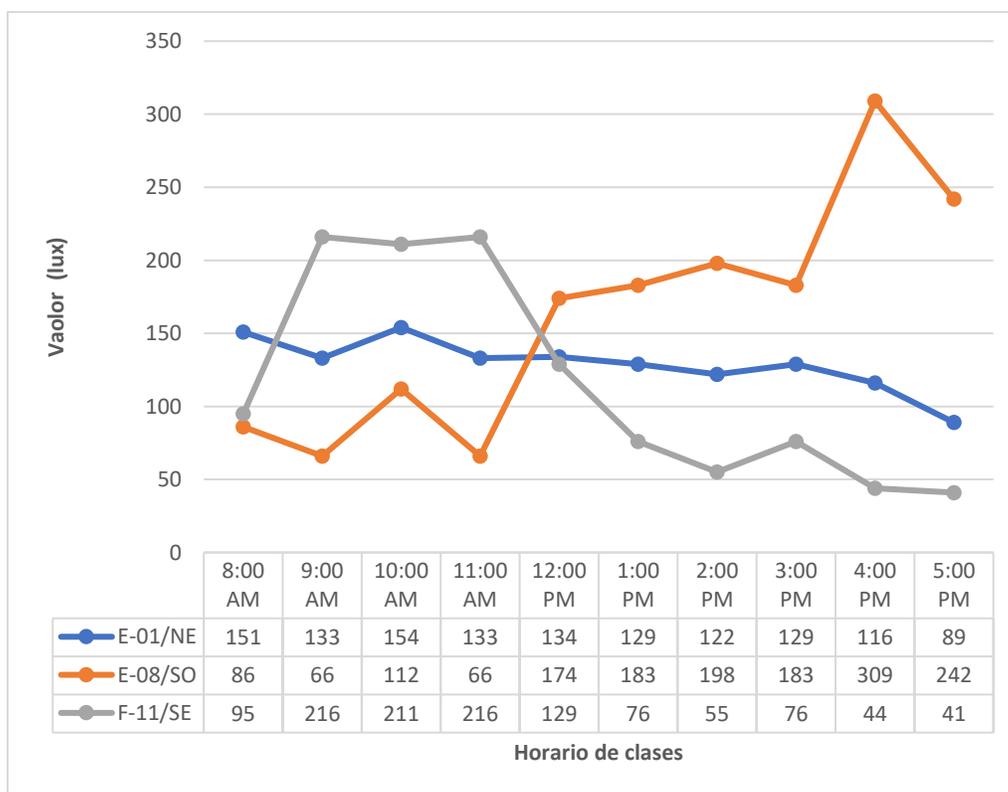
En la tabla resaltan los valores 1,045 lux en el aula E-08 y 671 lux en el F-11, estos valores se presentaron en la zona inmediata al muro SO y SE donde la luz natural incidía directamente

en el sensor colocado sobre la paleta del escritorio. Las diferencias de valores de iluminancia dentro del aula indica que no hay uniformidad en la penetración de luz natural, ya que las zonas más alejadas de las ventanas se encuentran menos iluminadas.

Se analizaron los valores de iluminancia en todas las posiciones dentro del aula, la Fig. 22 muestra el comportamiento de la penetración de luz natural en el centro del aula, durante el horario de clases. Los resultados muestran valores que no cumplen con el mínimo requerido por la normatividad a excepción del valor de 309 lux registrado en el aula E-08 a las 4 PM.

Figura 22

Valores de luz natural en el centro del aula día soleado periodo de transición frío-cálido



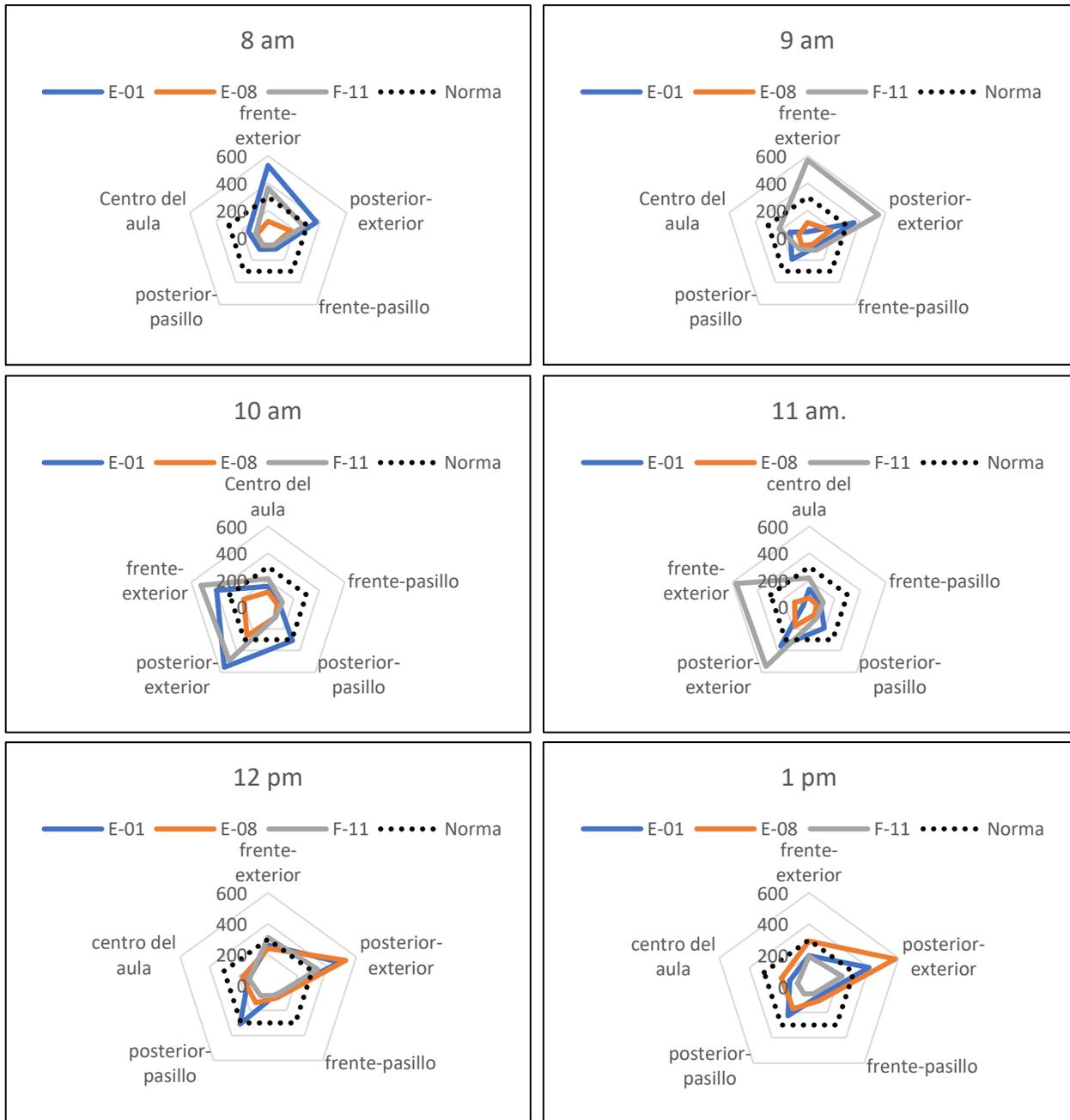
Fuente: Elaboración propia.

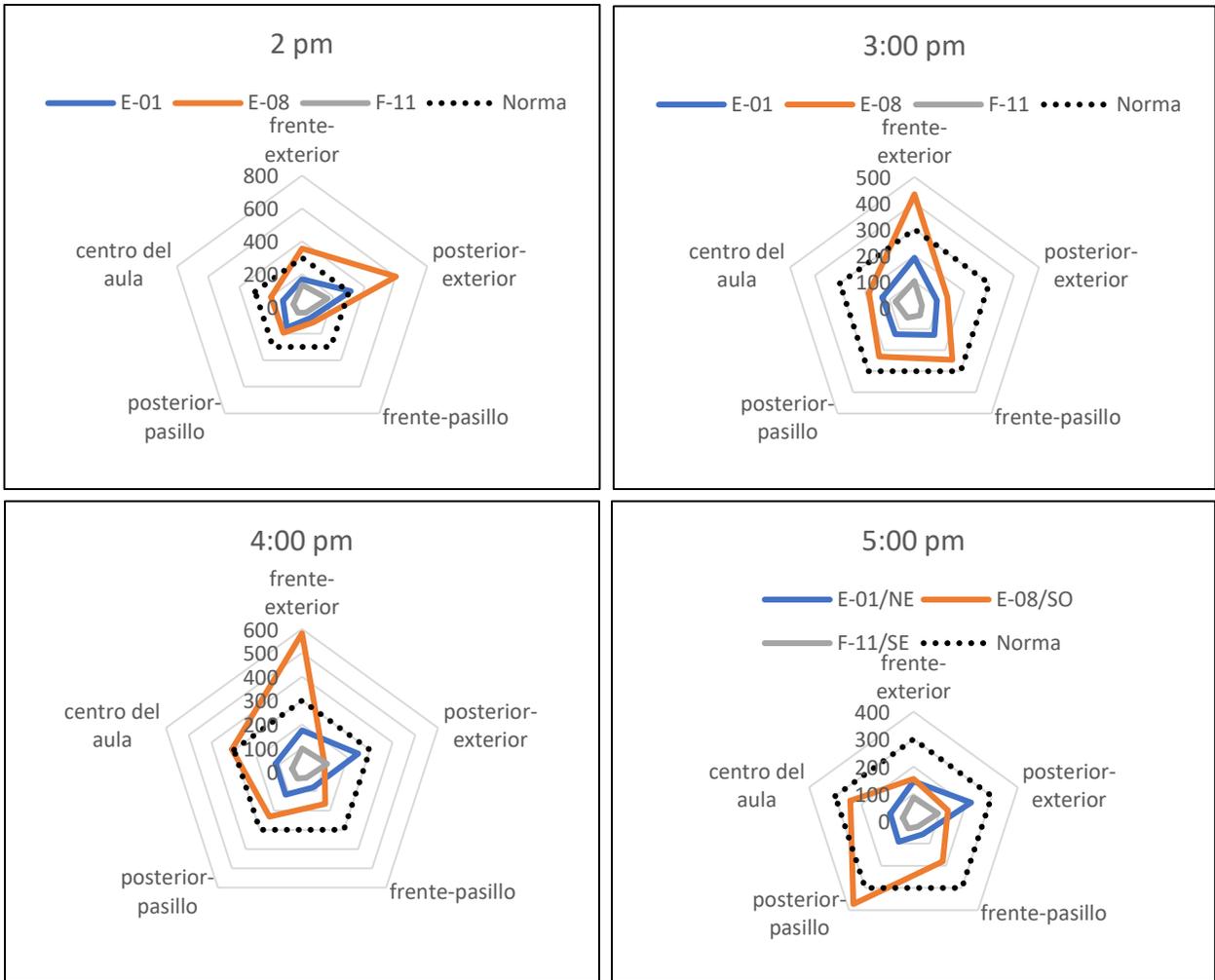
La serie de gráficos representados en la Fig. 22, presentan el comportamiento de la penetración de la luz natural dentro de las aulas durante el periodo de transición frío-cálido, basado en el resultado de los valores de iluminancia en los horarios de clase en las tres aulas. Se consideró el valor de 300 lux mínimo establecidos por la normatividad (INIFED 2011; NOM-025-STPS: 2008).

Los puntos considerados son los mismos en los que se realizaron las mediciones higrotérmica, aunque en campo se registraron los valores de los 9 puntos resultantes del cálculo del índice del área (IC).

Figura 22

Comportamiento de la penetración de luz natural periodo de transición frío-cálido





Fuente: elaboración propia.

Se observó que los valores más altos de luz natural fueron siempre en los puntos frente-posterior exterior y posterior pasillo, esto corresponde a los puntos inmediatos a la envolvente de acuerdo con el recorrido del sol. Los valores más bajos resultaron en la zona de enfrente del aula colindante con el pasillo interior.

La diferencia de niveles de iluminancia causa la falta de uniformidad en la dotación de luz natural, ya que las zonas más alejadas de las ventanas se encuentran menos iluminadas, por lo que se puede considerar que los materiales de construcción y la orientación de la envolvente del edificio son factores que influyeron en estos resultados.

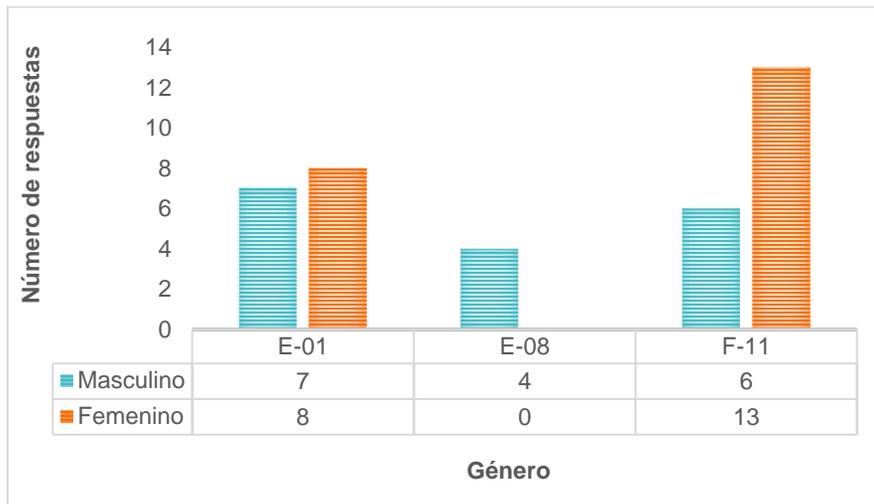
4.3. Resultados encuesta C-1

La encuesta para la evaluación del confort ambiental en las aulas C-1 se llevó a cabo durante la contingencia sanitaria del COVID19, contestada de forma no presencial (vía electrónica) en los días del 19 al 27 de noviembre del 2021 y del 6 al 14 de marzo del 2022. Se obtuvieron 53 respuestas, para los heridos que especificaba el C-1 frío y cálido. Durante el análisis de datos, se descartaron 14 dado que respondieron que llevaban de 0-2 años estudiando en la universidad, significando que nunca habían cursado clases dentro de las aulas, debido a la pandemia, sus clases fueron de forma virtual.

La Fig. 23 muestra los resultados de género en los periodo frío y cálido, indicando que de los 38 alumnos que habían tomado clases en las aulas físicamente el 55% correspondió al género femenino y el 45 % al masculino. De estos 53% resultó género femenino en el aula E-01; 100% masculino en el E-08 y 68% femenino en el aula F-11.

Figura 23

Resultados C-1 Género periodos frío y cálido

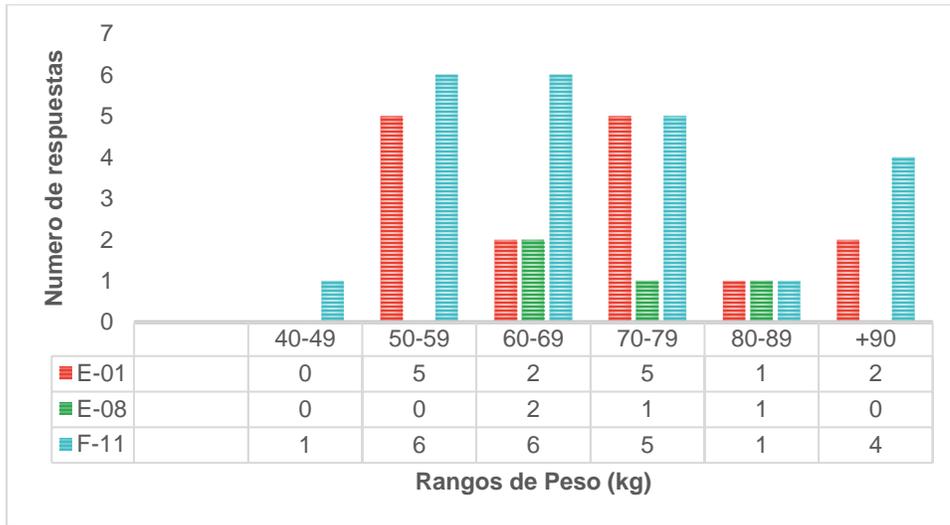


Fuente: elaboración propia.

El rango de peso se resume en la Fig. 24, mostrando que en el aula E-01 los encuestados se encuentran dentro de los rangos 50-59 kg y 70-79 kg (33%); en el E-08 entre 60-69 kg (50%) seguido por el rango de 70-79 kg y 80-89 ks con el 25% cada uno. En el F-11, los rangos estuvieron entre los 50- 59 kg y 60-69 ks con 26%, cada uno, seguidos por 70-70 kg con el 22%.

Figura 24

Resultados C-1 Peso periodos frio y cálido

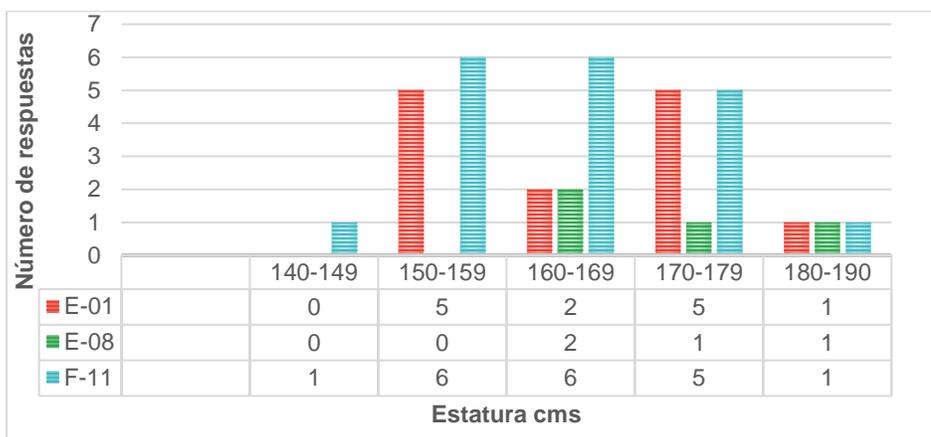


Fuente: elaboración propia.

En la Fig. 25 se muestran los resultados de la estatura de los encuestados, que se encuentran entre los rangos de 150-179 cms. En el aula E-01 los valores estuvieron en los rangos de 150-159 cms y 170-179 cms con 38% cada uno. El 50%, en el E-08 respondió tener 160-169 cms y en el F-11, 150-169 cms representando 64% del total.

Figura 25

Resultados C-1 Estatura periodos frio y cálido

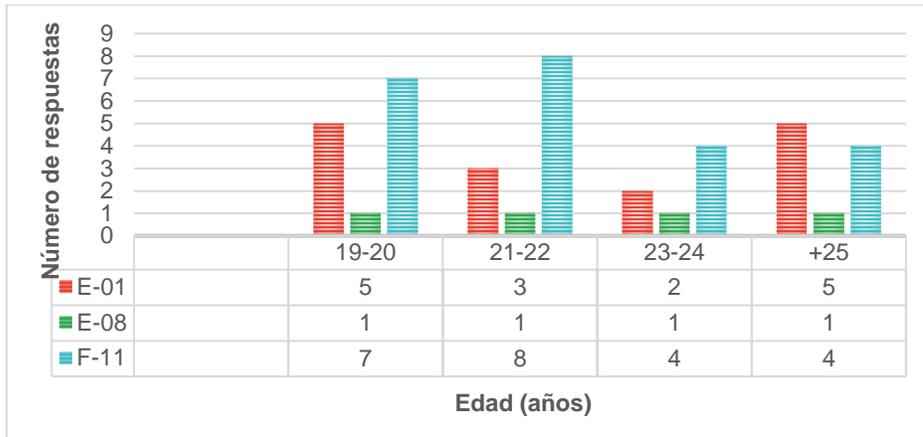


Fuente: elaboración propia.

El resultado de los rangos de edad de los encuestados está indicado en la Fig. 26, donde el 31% tenía 19-20 años, el 28% entre 21-22 años, 24% más de 25 años y el 17% de 23-24 años.

Figura 26

Resultados C-1 Edad periodos frio y cálido

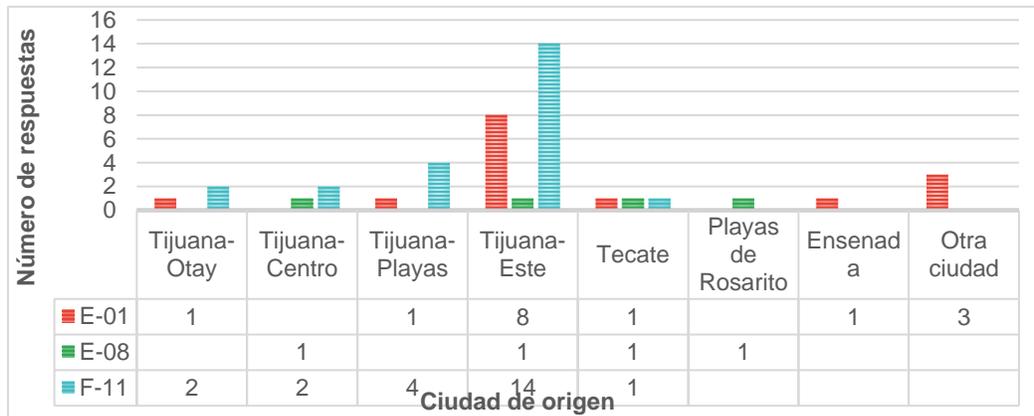


Fuente: elaboración propia.

La información de los resultados sobre la ciudad de origen de los alumnos se indica en la Fig. 27, teniendo que el 55% viven en la parte Este de la ciudad de Tijuana.

Figura 27

Resultados C-1 Ciudad de origen periodos frio y cálido

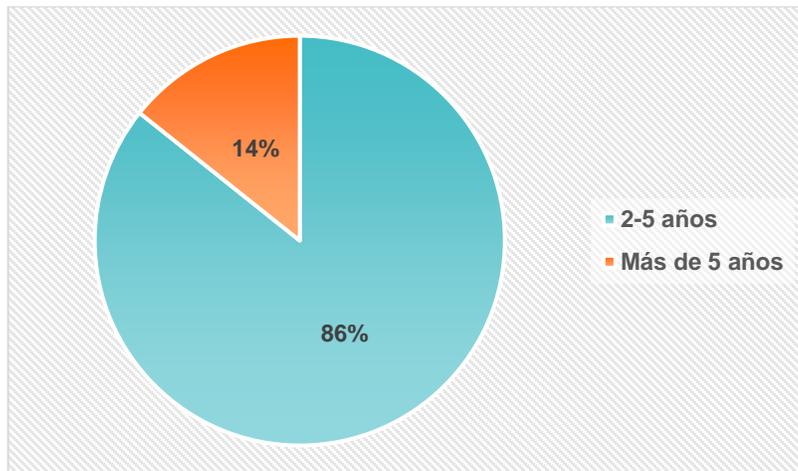


Fuente: elaboración propia

En cuanto al tiempo que llevaban estudiando en el FCITEC se consideró para el C-1 solo dos rangos: 2-5 años, que obtuvo el 86% de las respuestas y más de 5 años con el 14% restante como muestra la Fig. 28.

Figura 28

Resultados C-1 Ciudad de origen periodos frio y cálido

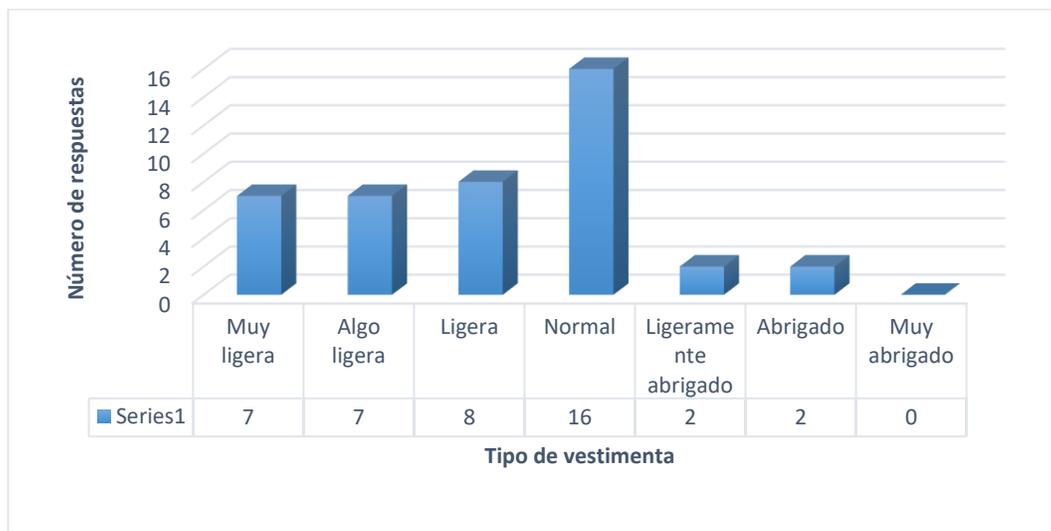


Fuente: elaboración propia.

Los resultados de la selección del tipo de ropa que usualmente utiliza durante el periodo cálido, indicados en la Fig. 29, el 38% respondió *normal* (pantalón normal, camisa, blusa normal) el 19% *ligera* (pantalón ligero, camisa ligera manga corta/ falda, blusa manga corta); el 17% *algo ligero* (pantalón ligero/camiseta manga corta/ falda, blusa manga corta), seguido del 16% con respuesta de *muy ligera* (pantalón corto / camiseta sin mangas).

Figura 29

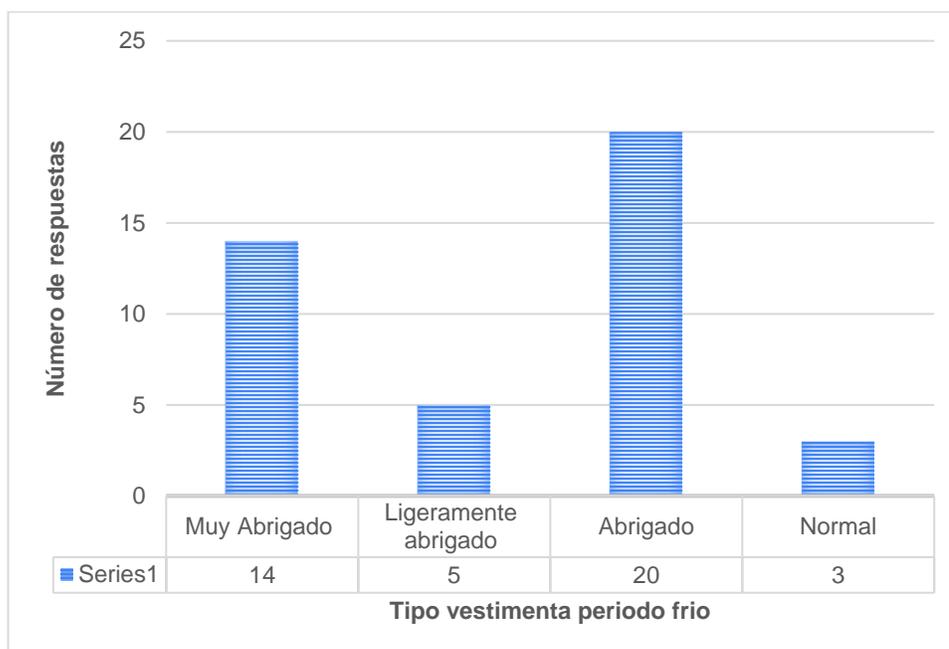
Resultados C-1 Tipo de vestimenta periodo cálido



Fuente: elaboración propia.

En la Fig. 30 se muestra las respuestas de los encuestados, donde el 48% respondió *abrigado* (*saco, suéter, chamarra*); el 33% *muy abrigado* (*abrigo, gorro, bufanda*); el 17% *algo ligero* (*pantalón ligero/camiseta manga corta/ falda, blusa manga corta*), el 12% *ligeramente abrigado* (*manga larga, chaleco*) y el 7% *normal* (*ropa casual*). Mas del 80% utiliza vestimenta para abrigarse dentro de las aulas.

Figura 30
Resultados C-1 Tipo de vestimenta periodo frio



Fuente: elaboración propia.

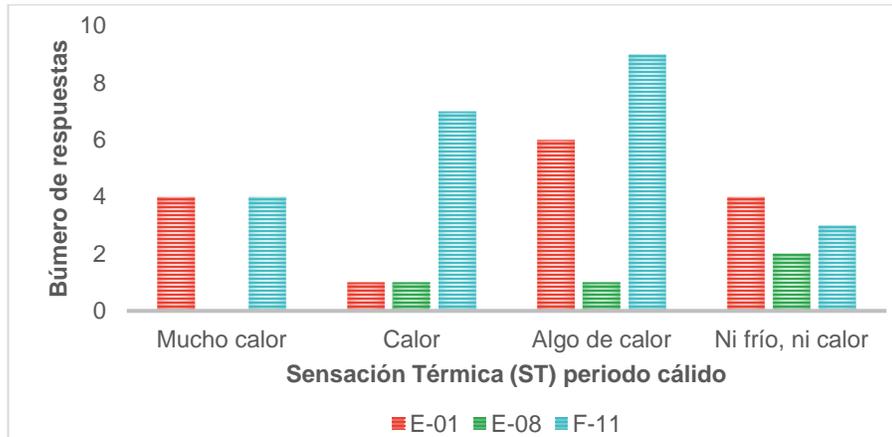
4.3.1. Ambiente Higrotérmico

a. Sensación Térmica (ST) periodo cálido

En la Fig. 31 se presentan los resultados de la ST indicando que el 79% recordaban una sensación de *calor*. el 40% de los alumnos del aula E-01 respondieron sentir *algo de calor*, el 27% se obtuvo para *mucho calor* y *ni frio, ni calor*. En el E-08, el 50% no sentía *ni frio, ni calor*, la otra mitad se dividió en 25% para *calor* y *algo de calor* respectivamente. El 39% de los alumnos del aula F-11 respondieron sentir *algo de calor*, el 31% *calor* y el 17% *mucho calor*.

Figura 31

Resultados C-1 Sensación de Temperatura (ST) periodo cálido



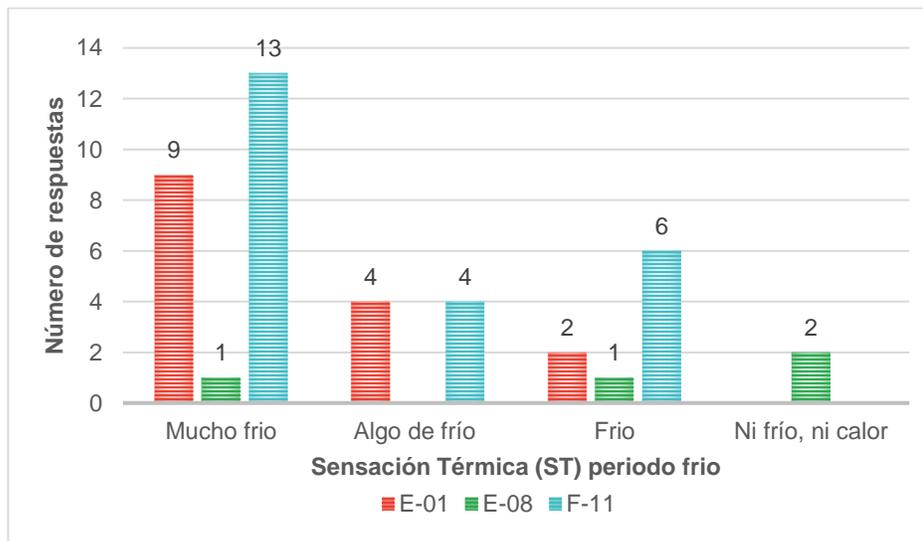
Fuente: elaboración propia.

b. Sensación Térmica (ST) periodo frío

La Fig. 32 muestra los resultados de la ST, que corresponden al indicando que el 98% recordaban una sensación de frío: el 60% del aula E-01 respondieron que sentían *mucho frío*; el 27% *algo de frío* y el 13% *frío*. Se observó que se seleccionó *ni frío, ni calor*. En el E-08, 50% no sentía *ni frío, ni calor*, la otra mitad se dividió en 25% para *mucho frío* y *frío* respectivamente. El 57% de los alumnos del aula F-11 respondieron sentir *mucho frío*; el 26% *frío* y el 17% *algo de frío*.

Figura 32

Resultados C-1 Sensación de Temperatura (ST) periodo frío



Fuente: elaboración propia.

Para analizar el confort térmico de acuerdo con los resultados del C-1, se llevó a cabo el análisis de las respuestas de sensación, percepción, preferencia y tolerancia de los alumnos y se realizó la correlación entre ellas por medio del programa estadístico, debido a que no se realizaron registros simultáneos de las variables ambientales.

En la Tabla 23, se observa que el valor estadístico *r* de Pearson correspondió a .529, encontrándose una correlación significativa *moderada* entre ST y SH; un valor *r* de .775, que es una asociación *significativa* entre ST y SV; además, se encontró el valor de *r* = .807, que es una correlación *fuerte* entre la ST y la SR. La correlación ST y SH es significativa al nivel de 0.05 (bilateral) y entre SV y SR la correlación es significativa al nivel 0.01 bilateral.

Tabla 23

Resultado C-1 Correlación entre ST-SH-SV-SR periodo cálido y frío

		Sensación de temperatura (ST)	Sensación humedad (SH)	Sensación ventilación (SV)	Sensación radiación (SR)
Sensación de temperatura (ST)	Correlación de Pearson	1	.529*	.775**	.807**
	Sig. (bilateral)		.014	.000	.000
	N	21	21	21	21
Sensación humedad (SH)	Correlación de Pearson	.529*	1	.530*	.503*
	Sig. (bilateral)	.014		.013	.020
	N	21	21	21	21
Sensación ventilación (SV)	Correlación de Pearson	.775**	.530*	1	.976**
	Sig. (bilateral)	.000	.013		.000
	N	21	21	21	21
Sensación radiación (SR)	Correlación de Pearson	.807**	.503*	.976**	1
	Sig. (bilateral)	.000	.020	.000	
	N	21	21	21	21

*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

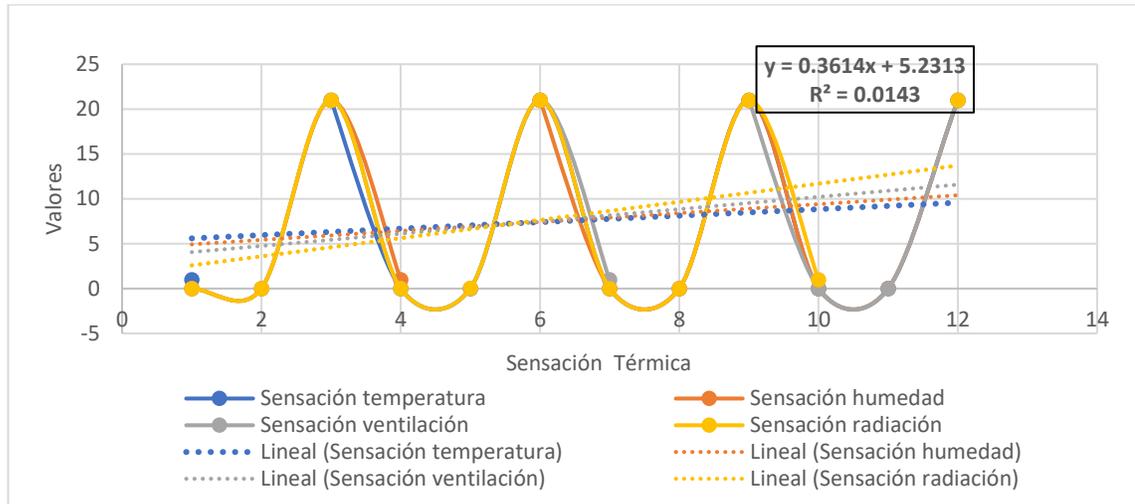
***. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: elaboración propia.

La Fig. 33 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 $y=0.3614x + 5.2313$, $R^2=0.0143$.

Figura 33

Resultado C-1 Correlación entre ST-SH-SV-SR periodo cálido y frío



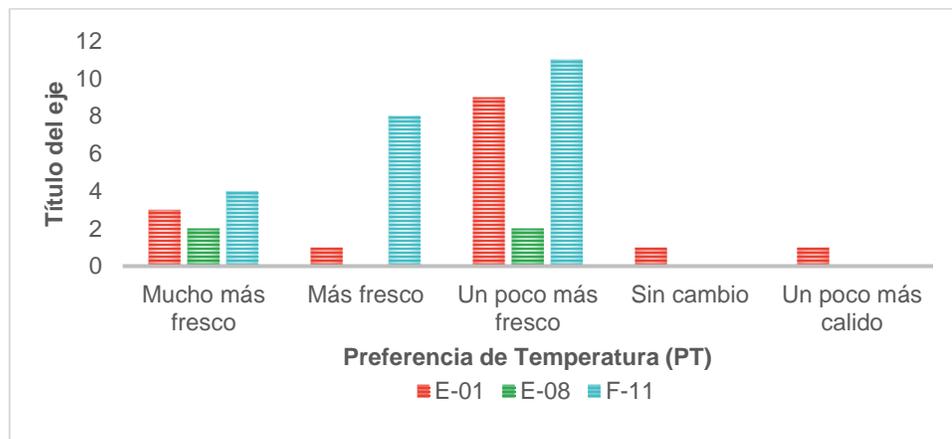
Fuente: elaboración propia.

c. Preferencia Térmica (PT) periodo cálido

En la Fig. 34 se presentan los resultados de la PT indicando que el 96% prefieren temperaturas más bajas dentro del aula durante el periodo cálido. En el aula E-01, el 60% de los alumnos prefieren *un poco más fresco*; el 20% *mucho más fresco*. En el E-08, el 50% ,ostro una preferencia por *mucho más frío* y *un poco más fresco*. En el aula F-11, 48% de los alumnos preferirían *un poco más fresco*; el 35% *más fresco* y el 17% *mucho más fresco*.

Figura 34

Resultados C-1 Preferencia de Temperatura (PT) periodo cálido



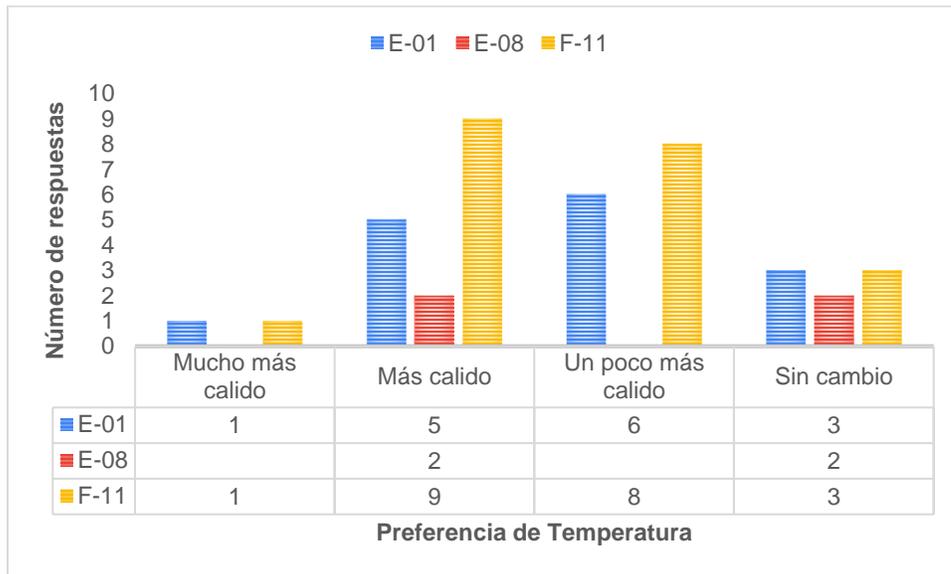
Fuente: elaboración propia.

d. Preferencia Térmica (PT) periodo frio

Los resultados del grafico de la Fig. 35 indican que el 80% preferían temperaturas más altas. En aula E-01 prefería *un poco más cálido*; 33% *más cálido* y el 20% *sin cambio*. En el E-08, estuvo dividido entre *sin cambio* y *más cálido*. En el aula F-11, 43% respondieron preferir *más cálido*; 38% *un poco más cálido* y el 14% *sin cambio*.

Figura 35

Resultados C-1 Preferencia de Temperatura (PT) periodo frio



Fuente: elaboración propia.

En el análisis estadístico, como se observa en la Tabla 24, el valor estadístico r de Pearson correspondió a .891, además esta correlación es positiva *muy fuerte* entre la variable ST y PH; también se encontró un valor r de .787, que es una asociación positiva significativa entre ST y SV; además, se encontró el valor de $r = .930$, es decir, existe una correlación positiva *fuerte* entre la ST y la SR. Las asociaciones ST-PH, ST- PV y ST-PR son correlaciones significativas al nivel 0.01 bilateral.

El diagrama de dispersión de la ST de la Fig. 36 muestra el valor estadístico r de Pearson que resultó en una ecuación de regresión lineal para ST en la forma de $y=0.3617 x + 5.2286$, $R^2=0.0143$.

Tabla 24

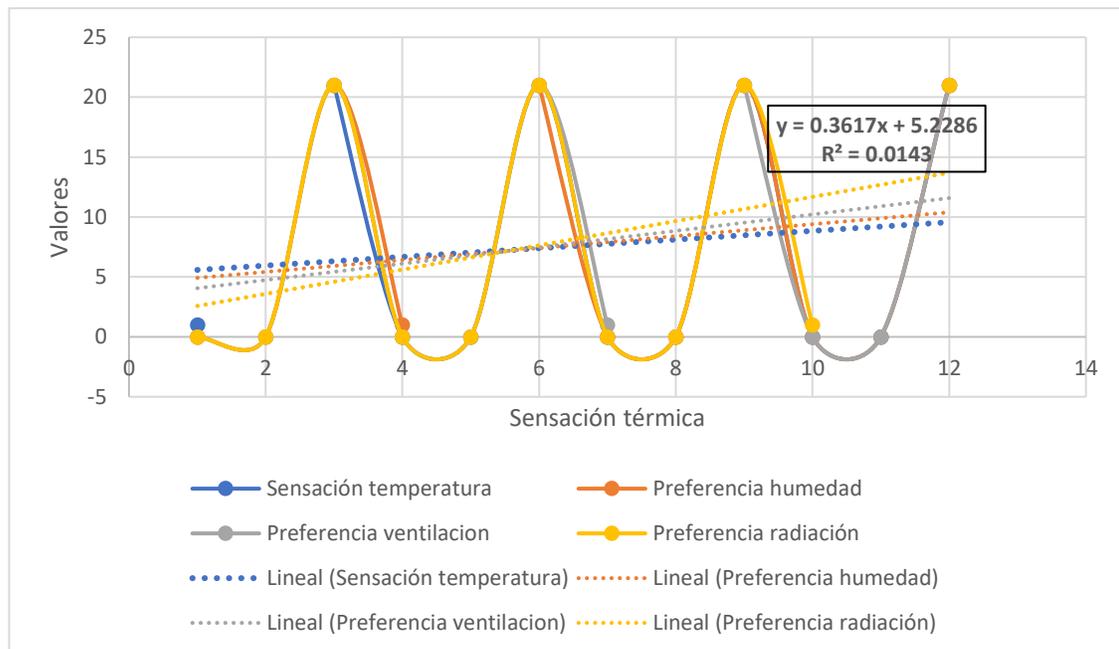
Resultado C-1 Correlación entre ST-PH-PV-PR periodo cálido y frío

		Sensación temperatura (ST)	Preferencia humedad (PH)	Preferencia ventilación (PV)	Preferencia radiación (PR)
Sensación temperatura	Correlación de Pearson	1	.891**	.787**	.930**
	Sig. (bilateral)		.000	.000	.000
	N	21	21	21	21
Preferencia humedad	Correlación de Pearson	.891**	1	.885**	.913**
	Sig. (bilateral)	.000		.000	.000
	N	21	21	21	21
Preferencia ventilación	Correlación de Pearson	.787**	.885**	1	.833**
	Sig. (bilateral)	.000	.000		.000
	N	21	21	21	21
Preferencia radiación	Correlación de Pearson	.930**	.913**	.833**	1
	Sig. (bilateral)	.000	.000	.000	
	N	21	21	21	21

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Figura 36

Resultado C-1 Correlación entre ST-PH-PV-PR periodo cálido y frío



4.4. Resultados del periodo de transición frio-cálido

Los resultados de las mediciones de los parámetros arquitectónicos y ambientales durante el periodo de transición se resumen en la Tabla 23, donde se especifican los datos obtenidos para las tres aulas E-1, E-08 y F-11, con envolventes orientadas al NO, NE y SE; con característica de uso de materiales diferente en uno de sus muros tablaroca, piedra y vidrio, respectivamente. También se muestran los valores mínimos, promedio y máximos de los factores ambientales higrotérmico y lumínico.

La encuesta se aplicó de forma presencial en dos días: 4 de abril (día 1) y 7 de abril (día 2) durante la cual se registraron datos higrotérmicos y lumínicos. Se obtuvieron 181 respuestas: 69 del aula E-01; 32 del E-08 y 80 en el F-11.

4.4.1. Resultado de mediciones de campo periodo de transición frio-cálido

En la Tabla 23, se muestran los resultados de mediciones de variables realizadas en el periodo de transición frio-cálido simultáneamente con la aplicación del cuestionario C-2. El 4 de abril (día 1) la $T_{a\text{ int}}$ mínima fue de 18°C en las tres aulas, teniendo variación en las $T_{a\text{ int}}$ máxima de 20°C en el aula E-01, 25°C en el E-08 y de 21°C en el F-11. El día 2, la $T_{a\text{ int}}$ mínima registrada fue de 28°C en el aula E-01; en el E-08 de 24°C y en el F-11 de 28°C. La $T_{a\text{ int}}$ máxima fue de 28°C en el aula E-01, 25°C en el E-08 y de 31°C en el F-11.

En el día 1, se presentaron diferencias de temperatura entre las aulas E-01 y E-08 de 2°C. Para el día 2, la $T_{a\text{ int}}$ promedio se incrementó 9°C en el aula E-01; 4°C, en la E-08 y 10°C en el aula F-11. presentándose una diferencia de 5°C entre las aulas E-08 y F-11

De acuerdo con Ferrara et al. (2018), diferentes orientaciones y materiales de construcción tienen como resultado diferentes rangos de temperatura mínima-máxima, similar a este caso. Los resultados mostraron que la temperatura mínimas se mantuvieron constantes en las tres aulas, sin embargo, las temperaturas máximas fueron registradas en el aula F-11 orientada SE con muro acristalado de piso a plafón; después el aula E-01 orientada al NE de tablaroca y por último el aula E-08, orientado al SO, construido a base de piedra.

La T_{ext} promedio del día 1 fue de 21°C y la del día 2 de 31°C, observándose una diferencia de 10°C entre ambos días. La RH_{ext} promedio el día 1 fue de 43% y el día 2 fue de 9%, teniendo un porcentaje de 34% de diferencia entre ellos. Ambos días son representativos del periodo de transición frio-cálido

La T_{int} máxima registrada de 29 °C en la sala E-01 y de 31 °C en la sala F-11, se registraron cuando la T_{ext} máxima fue de 36°C, presentando una diferencia de 2°C entre estas dos aulas el rango de HR fue de 12-66%, y la Humedad Relativa exterior estuvo entre 7% y 71 Ambos índices estuvieron se encuentran fuera de la zona de confort para Valle de las Palmas según la carta psicrométrica para el confort adaptativo, con temperatura interior entre 19.7°C y 27.7°C, y la HR es de 35 a 50% (Climate Consultant 5.5, 2014).

La velocidad del viento registrada el primer día fue de 0.0 m/s debido a que los ventiladores se encontraban apagados y las ventanas cerradas. El segundo día fue de 1.8 m/s, con uso de ventilador mecánico.

Tabla 25

Resultados de mediciones de variables periodo de transición frío-cálido

Aula	E-01			E-08			F-11			
Diseño arquitectónico	Número de respuestas	69			32			80		
	Orientación de la envolvente	NE			SO			SE		
	Material constructivo en muro	Tablaroca			Piedra			Vidrio		
	Día encuesta	4 Abril		7 Abril	4 Abril		7 Abril	4 Abril		7 Abril
Higrotérmico	Valor	min, prom., máx.		min, prom., máx.	min, prom., máx.		min, prom., máx.	min, prom., máx.		
T_{ext} (°C)	17	21	24	26, 31, 36	17, 21, 24	26, 31, 36	17, 21, 24	26, 31, 36		
HR_{ext} (%)	20	43	71	7, 9, 12	20, 43, 64	7, 9, 12	20, 43, 66	7, 9, 12		
TGBH (°C)	15	16	17	21, 21, 22	15, 15, 15	23, 24, 25	16, 17, 17	*		
TG (°C)	18	19	20	28, 28, 29	18, 18, 18	24, 25, 24	20, 21, 21	*		
t (°C)	18	19	20	28, 28, 28	18, 21, 25	24, 25, 25	18, 20, 21	28, 30, 31		
HR (%)	61	62	63	12, 14, 15	22, 44, 66	22, 23, 25	58, 59, 66	16, 17, 21		
V_{aire} (m/s)	0		1.8	0	0	0	1.8			
Actividad metabólica (met)	1		1	1	1	1	1			
Icl (clo)	1		0.71	0.84	0.62	1.7	0.53			
Luz natural (lux)	107, 160, 243		115, 208, 301	97, 201, 283	104, 203, 293	49, 211, 362	54, 214, 374			

Nota: * sin dato.

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

Temperatura exterior (T_{ext})

Humedad Relativa exterior (HR_{ext}),

Temperatura de globo y bulbo húmedo (TGBH)

Temperatura de globo (TG)

Velocidad del aire (V_{aire})

Nivel de vestimenta (Icl)

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la iluminación natural promedio, en el aula E-01, el día 4 de abril resultó 160 lux; en la E-08 201 lux y en la F-11, 211 lux promedio. El día 7 de abril fue para el E-01 de 208 lux, el E-08 registro 203 lux y el F-11 214 lux.

El nivel de luminancia promedio en las tres aulas se encuentra por debajo del mínimo requerido por las normas internacionales y mexicana de 300 lux para aulas educativas.

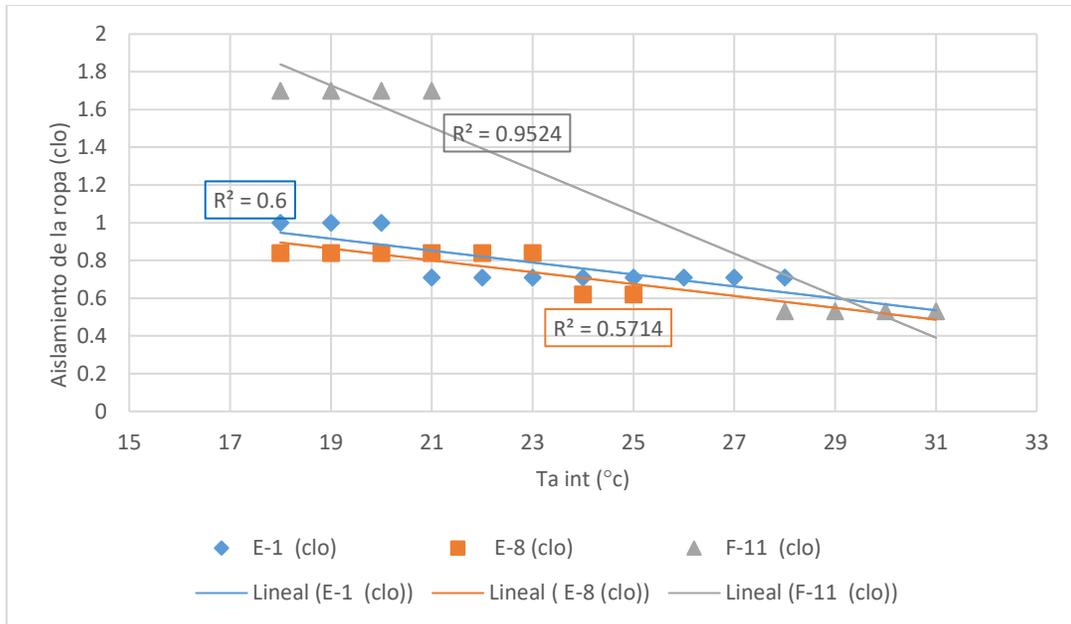
Considerando que los estudiantes estuvieron sentados dentro del aula una hora antes responder la encuesta, se utilizó 1.0 met para la actividad sedentaria metabólica (Ricciardi y Buratti, 2018). Un met es la energía producida por unidad de superficie de la piel de una persona sentada en reposo y es igual a 58,2 W/m² (ANSI/ASHRAE Standard 55 2017).

Como se muestra en la Tabla 2, los valores de aislamiento de la ropa (Icl) varían en tres aulas dependiendo de la temperatura del aire interior. Se observó que cuando Ta_{int} estuvo entre 18-20°C en el aula E-01, se obtuvo un valor de 1.0 clo; al subir la temperatura a 28°C de 0.71 clo. Cuando la Ta_{int} del aula E-08 estuvo entre 18°C y 25°C correspondió a un valor de 0.84 clo, y entre 24°C-25°C, Icl de 0.62 clo. En el aula F-11 registró una Ta_{int} entre 18°C y 21°C donde obtuvo un valor de 1.7 clo y entre 28°C y 31°C de 0.53 clo. En el tipo de arropamiento se obtuvieron valores diferentes durante los días en las tres aulas, observando que los valores más bajos más altos 1.7 clo correspondieron al aula F-11.

La Fig. 37 muestra los valores de aislamiento de la ropa (Icl) según la Ta_{int} en las aulas: entre 18-28°C, Icl varió con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.6$ en el aula E-1; $R^2 = 0.5714$ en E-8 y $R^2 = 0.9524$ en sala F-1. Los valores demostraron que los salones E-01 y E-08 una relación significativa moderada entre Ta_{int} y el Icl, mientras que el salón F-11 tuvo una correlación perfecta.

Figura 37

Correlación entre Ta_{int} y el Icl periodo de transición frío-cálido



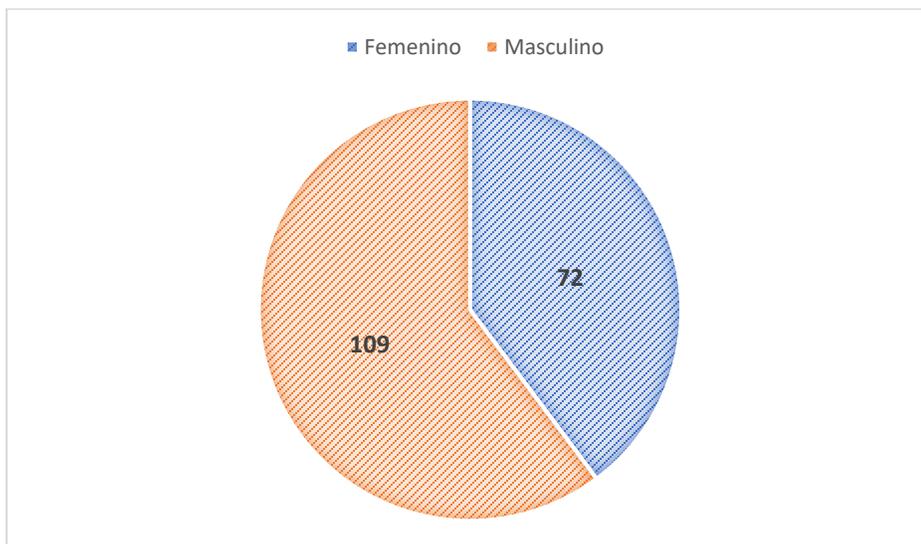
Fuente: Elaboración propia.

4.4.2. Resultado encuestas periodo de transición frío-cálido

La encuesta se aplicó simultáneamente con el registro de los parámetros ambientales térmicos y lumínicos. El número de encuestados fue en total de 181 estudiantes, de los cuales, el 60% correspondió al género masculino y el 40% al femenino, indicado en la Fig. 38.

Figura 38

Resultados género periodo de transición frío-cálido

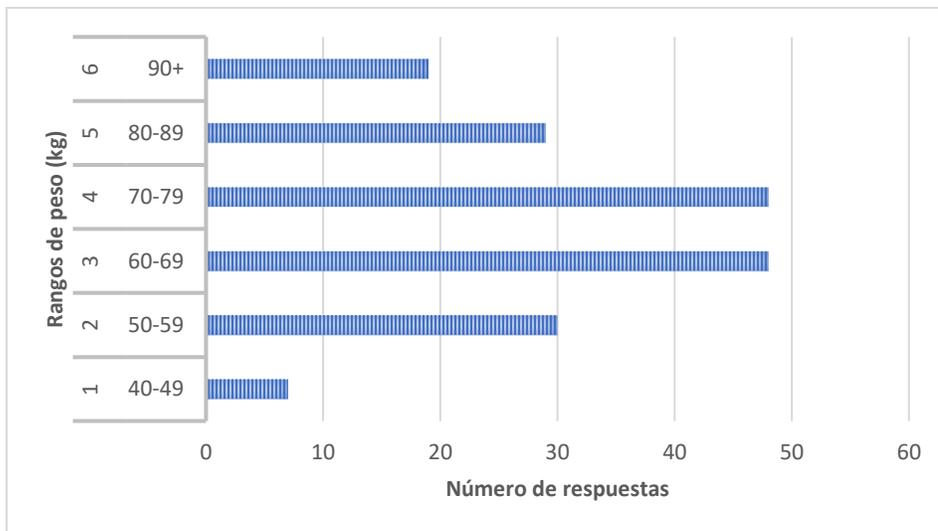


Fuente: Elaboración propia.

El peso estuvo en el rango entre 60-79 kg correspondiente con un total de 52%, mostrado en la Fig. 39. Los rangos 50-59 kg y 80-89 kg resultaron el 17% y 16% respectivamente.

Figura 39

Resultados rangos de peso periodo de transición frío-cálido

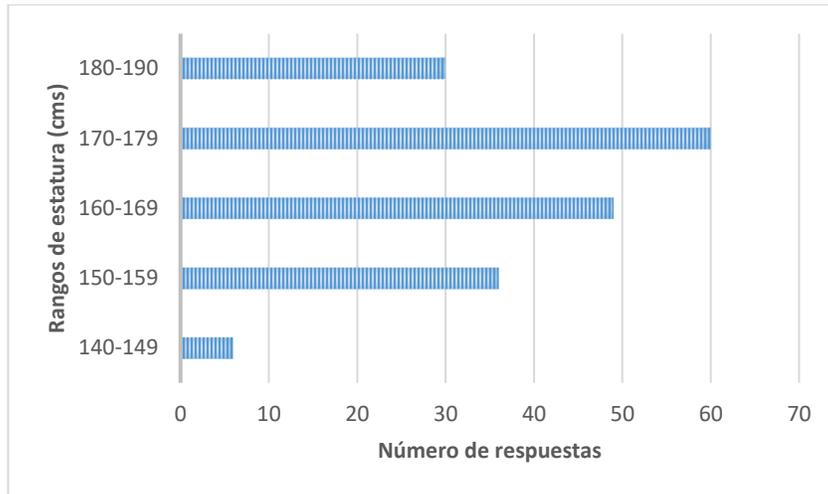


Fuente: Elaboración propia.

La estatura con mayor número de respuestas, como muestra la Fig. 40 resultó encontrarse entre 170-179 cms que representa 33% de los encuestados, seguido por el rango entre 160-169 cms con el 27%.

Figura 40

Rangos de estatura periodo de transición frío-cálido

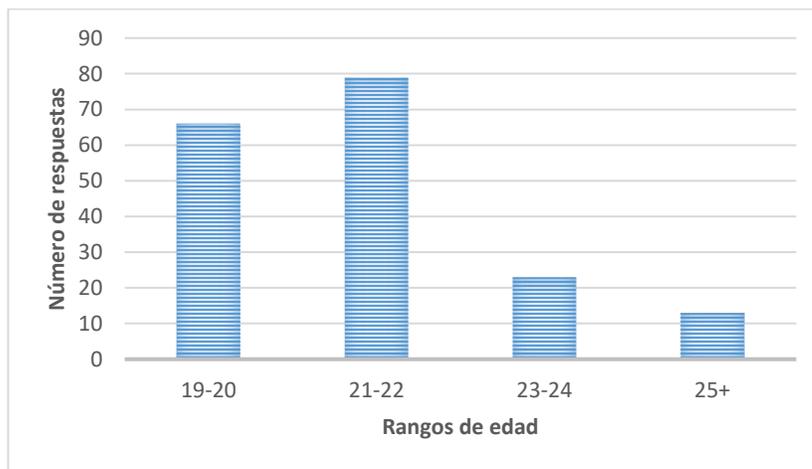


Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la edad, resultó que el 44% estaba en el rango de 21 a 22 años, seguido por el 36% de 19- 20 años mostrados en la Fig. 41.

Figura 41

Rangos de edad periodo de transición frío-cálido



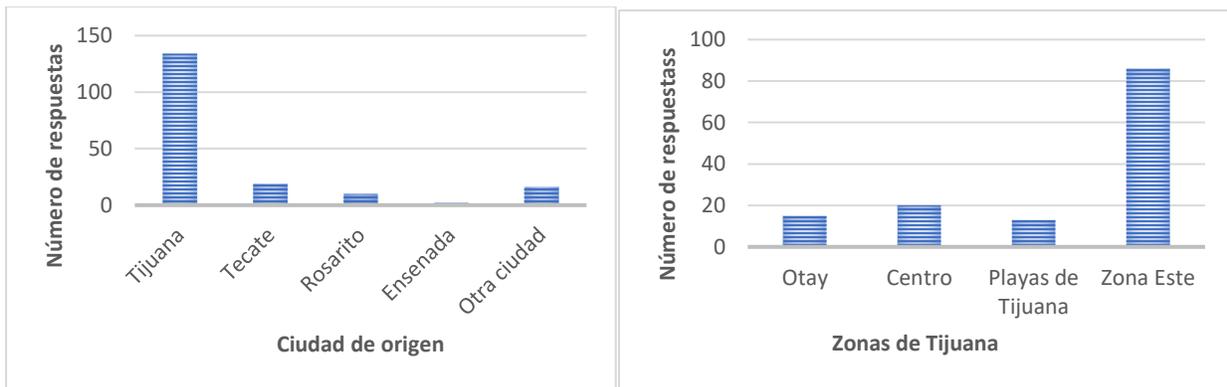
Fuente: Elaboración propia.

En la Fig. 42 se presentan dos gráficos que contienen la información de los resultados de la pregunta 5, sobre la ciudad de origen. En el primer grafico se muestran el número de respuestas acerca de la ciudad de origen, donde el 74% eran originarios de Tijuana. El segundo

grafico especifica las zonas de la ciudad de Tijuana donde viven, teniendo que el 66% de los alumnos señaló la parte este de la ciudad a la cual pertenece Valle de las Palmas.

Figura 42

Ciudad de origen periodo de transición frío-cálido

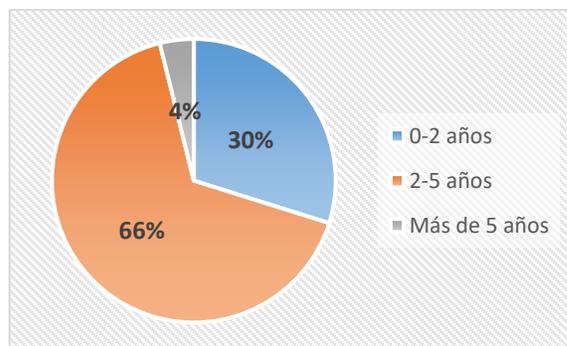


Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la Fig. 43, resultó que 120 encuestados respondieron que llevaban estudiando entre dos y cinco años en el FCITEC; 54 alumnos tenían entre 0 y 2 años 7 respondieron tener más de 5 años estudiando en la universidad.

Figura 43

Tiempo de cursar clases en FCITEC periodo de transición frío-cálido



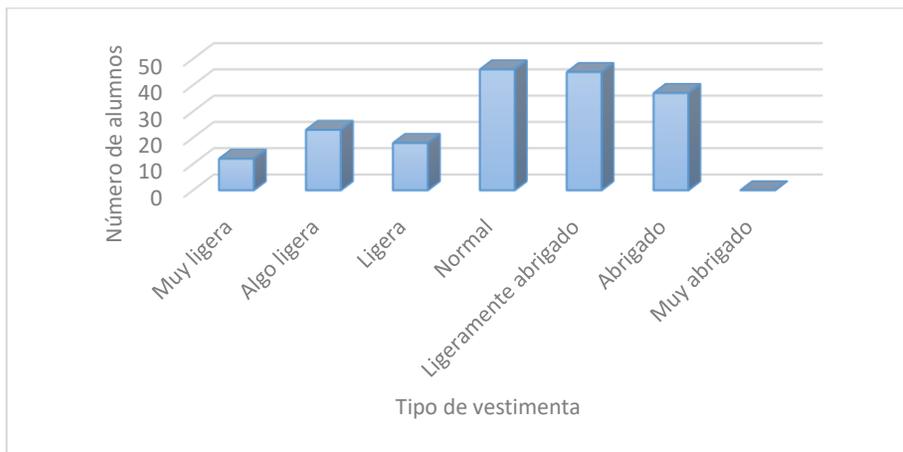
Fuente: Elaboración propia.

En la pregunta 7 se le solicitó al encuestado seleccionara el tipo de ropa que llevaba puesto al momento de responder, los resultados se muestran en la Fig. 44, donde *normal* y *ligeramente abrigado* tuvieron el 25% cada uno, seguido de 20% con respuesta de *abrigado*. El

13% *algo ligera* y el 10% *ligera*. Cabe mencionar que ninguna respuesta correspondió a *muy abrigado*.

Figura 44

Tipo de vestimenta periodo de transición frío-cálido

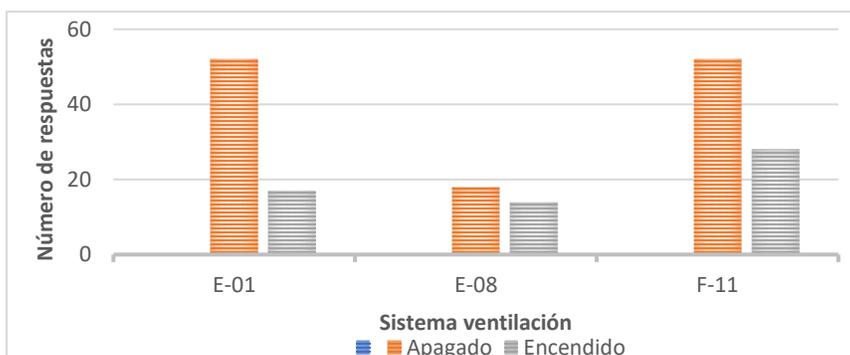


Fuente: Elaboración propia.

En pregunta 8, sobre cómo se encontraba el ventilador al momento de responder el cuestionario, los resultados son mostrados en la Fig. 45, donde 122 alumnos respondieron que se encontraba apagado, resultando 75% en el aula E-01; 56% en el E-08 y en el F-11 el 65%; 59 contestaron encendido, teniendo el mayor número de respuestas (28) en el aula F-11. Cabe mencionar que, al dar instrucciones para contestar el cuestionario, los docentes apagaban el ventilador para que pudieran escuchar los estudiantes, debido al ruido que emitía el aparato.

Figura 45

Sistema de ventilación periodo de transición frío-cálido

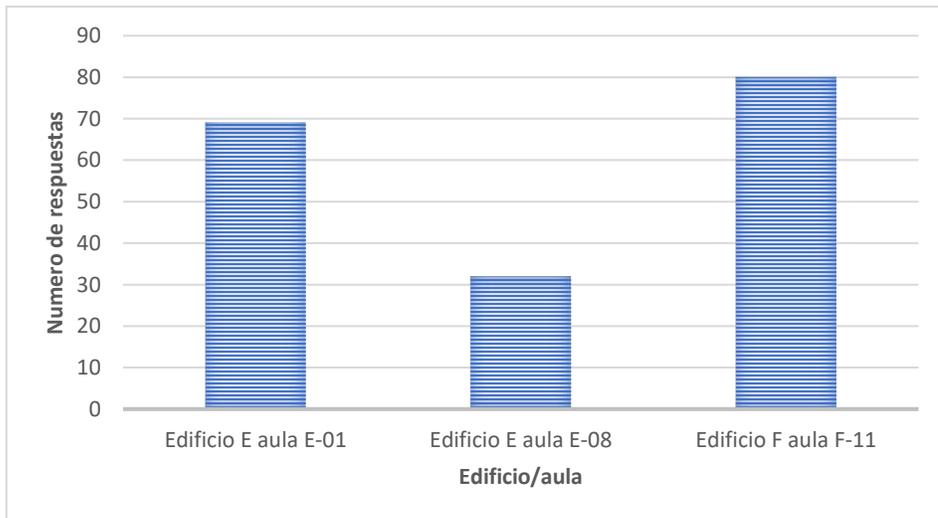


Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al resultado de número de alumnos encuestados por edificio y aula, están indicados en la Fig. 46: edificio E tuvo un total de 101 encuestados, con 69 respuestas en el aula E-01; 32 respuestas en el E-08; en el edificio F se obtuvieron 80 respuestas en el aula F-11, siendo esta última la que tuvo mayor número de respuestas por aula.

Figura 46

Respuestas por edificio-aula periodo de transición frío-calido

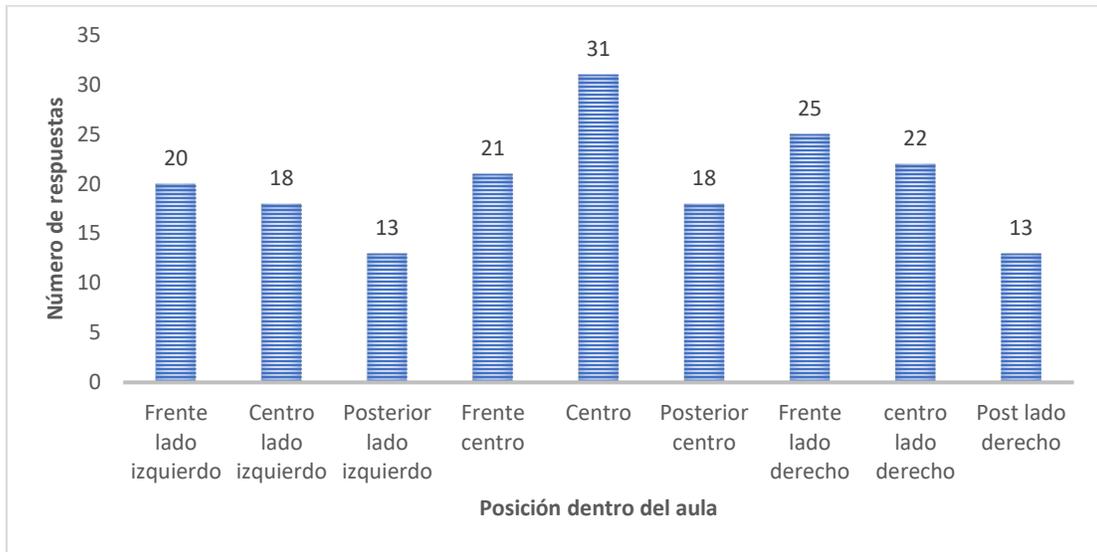


Fuente: Elaboración propia.

El croquis del aula, proporcionado en el cuestionario, sirvió para que los encuestados respondieran en que ubicación dentro del salón se sientan generalmente. En la Fig. 47 se muestran los resultados donde el 17% respondió sentarse en la *zona central* del aula; el 14% al *frente del lado derecho*, principalmente. En las aulas E-01 y E-08, predominó esta condición, sin embargo, en el F-11, debido a que el número de alumnos fue de hasta 30, el porcentaje estuvo dividido ocupando todas las posiciones del aula.

Figura 47

Ubicación del alumno dentro del aula periodo de transición frío-cálido



Fuente: Elaboración propia.

Además de los datos personales y generales, en el apartado III del ambiente higrotérmico los ocupantes respondieron preguntas relacionadas con la sensación, condición, preferencia y tolerancia térmica al momento de realizar la encuesta durante el periodo de transición frío-cálido.

4.4.1.1. Ambiente Higrotérmico

a. Sensación Térmica (ST)

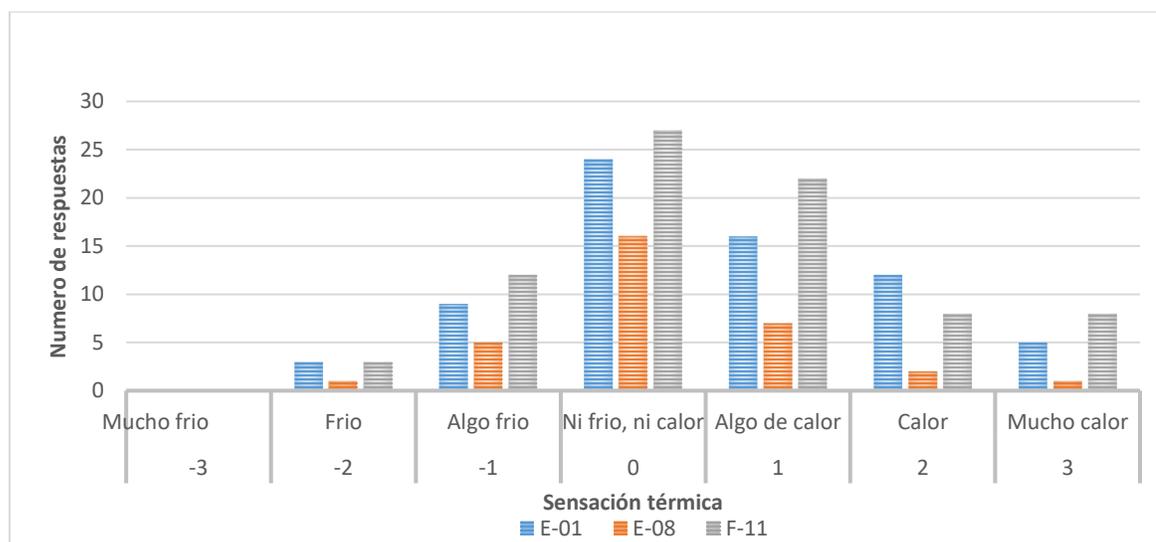
Al aplicar el cuestionario se observó el comportamiento de los ocupantes dentro de las aulas en dos días diferentes, donde se registró la temperatura del aire interior entre 18-25°C (día 1) y 24-31°C (día 2), en el cual los ocupantes de los salones E-1 y F-11 utilizaron el ventilador de techo; la puerta y las ventanas estaban abiertas y las cortinas cerradas (F-11). La ocupación de las aulas no fue constante en los momentos en que se aplicó la encuesta. En el aula E-01, la ocupación promedio fue de 17 alumnos sentados en la zona media del aula. La ocupación del

salón E-08 fue de diez estudiantes que eligieron el lado derecho frente al pizarrón, y en el salón F-11, el promedio fue de 27 estudiantes, ocupando todos los asientos.

La Fig. 48 refleja los resultados de sensación térmica (ST) obtenidos de las encuestas de satisfacción de los estudiantes en el período de transición frío-cálido. 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 48

Sensación Térmica (ST) periodo de transición frío-cálido



Fuente: Elaboración propia.

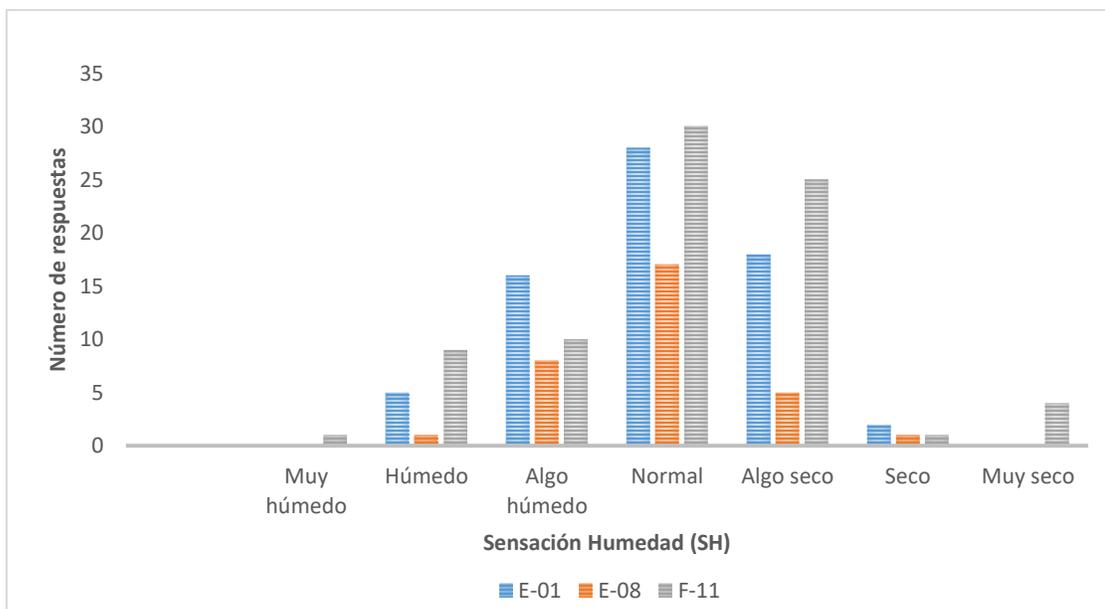
Del total de respuestas de sensación térmica, el mayor porcentaje fluctuó entre 35-50% correspondiendo a la situación *ni frío, ni calor*. Los resultados oscilaron entre 1 y -1 en la escala de sensación térmica, donde el cero, *ni frío ni calor*, obtuvo el mayor número de respuestas.

La Fig. 49 muestra los resultados respecto a la Sensación Humedad (SH) donde el 41% de los estudiantes del aula E-01 respondió estar en una situación neutra *normal*; el 26% *seco*; el 23% *algo húmedo* y el 7% *húmedo*. En el aula E-08, el 53% de los ocupantes respondió *normal*; el 25% *algo húmedo* y el 16% *algo seco*. En el aula F-11, el 38% de los ocupantes respondió *normal*; el 31% *algo seco* y el 13% *algo húmedo*.

Se observó que en el aula F-11 se obtuvieron datos de *muy húmedo* y *muy seco*, a diferencia de las otras aulas que no obtuvieron ninguna respuesta.

Figura 49

Sensación de Humedad (SH) periodo de transición frío-cálido



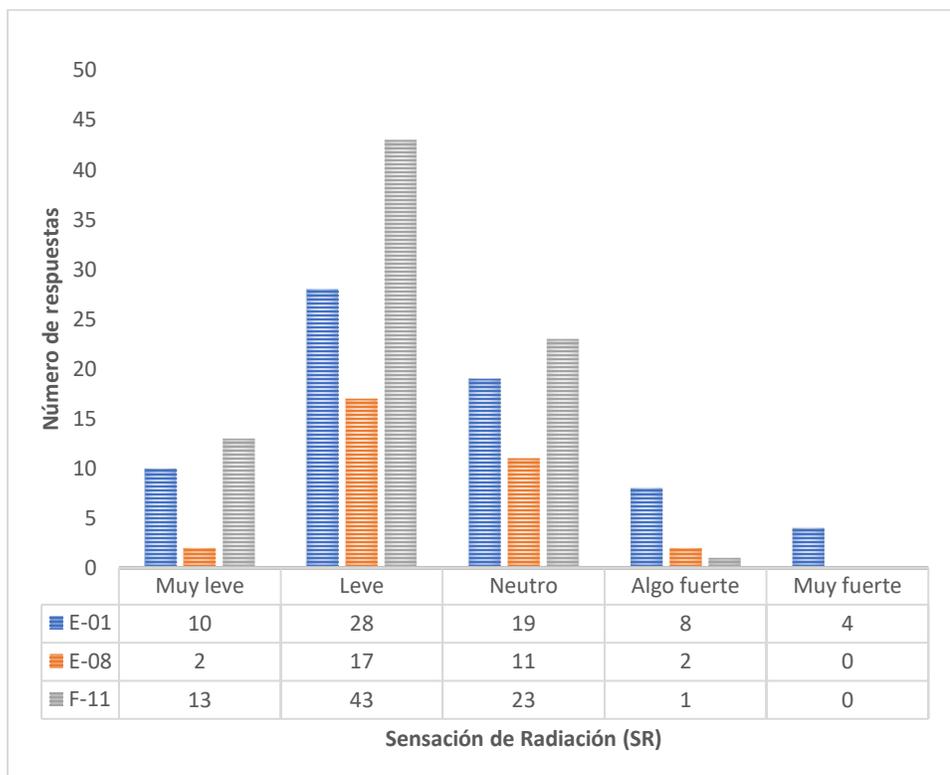
Fuente: Elaboración propia.

Los resultado de la pregunta sobre Sensación de la Radiación (SR) ¿Cómo siente la radiación en su piel en este momento? se pueden ver en la Fig. 50, donde el 41% de los estudiantes del aula E-01 respondió sentía *leve* la radiación en la piel; el 27% *neutro*; el 13% *muy leve* y el 12% *algo fuerte*. En el aula E-08, el 53% de los ocupantes indicaron *leve*; el 35% *neutro* y *algo fuerte* y *muy leve* obtuvieron 6% cada una. En el aula F-11, el 54% respondió *leve*; el 29% *neutro* y el 16% *muy leve*.

Se observó que en las aulas E-08 y F-11 *muy fuerte* no obtuvieron ninguna respuesta.

Figura 50

Sensacion Radiacion (SR) periodo de transición frío-cálido



Fuente: Elaboración propia.

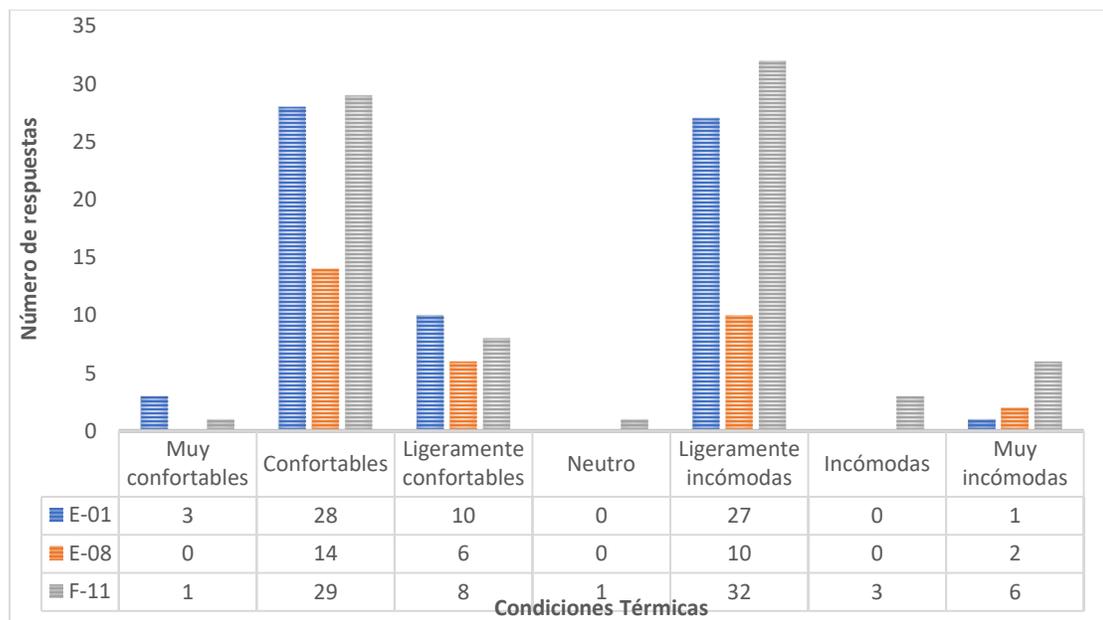
En la Fig.51, se muestran los resultados de las respuestas de las condiciones térmicas, indicando que el 41% de los estudiantes en el aula E-01 las consideran *confortables*; el 39% *ligeramente incómodas* y el 15% *ligeramente confortables*. En el aula E-08, el 44% respondió

que eran *confortables*; 31% *ligeramente incómodas* y 19% *ligeramente confortables*. En el aula F-11, el 40% opinó que eran *ligeramente incómodas* el 36% manifestó que eran *confortables* y el 10% *ligeramente confortables*.

Se observó que, de las 181 respuestas, solo tres eligieron las condiciones térmicas del aula *muy confortables* y 9 *muy incómodas*. La opción *incómodas* obtuvo tres respuestas y fue en el aula F-11.

Figura 51

Condiciones Térmicas periodo de transición frío-cálido



Fuente: Elaboración propia.

Durante el proceso de análisis de datos, debido a las condiciones del estudio, se determinó utilizar la regresión lineal múltiple entre las variables meteorológicas y las ordinales se Sensación Térmica (ST), Percepción Térmica, Ambiente Térmico (AT) y Tolerancia Térmica (TT).

Al obtener la regresión lineal múltiple, se asociaron estas variables utilizando la correlación de Pearson, que permitió conocer la significancia entre ellas.

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 26, se observa 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, $r = -.297$. El valor de $r = -.948$, es una correlación *fuerte negativa* entre la Ta_{int} y HR 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 HR.

Tabla 26

Correlación de Pearson ST- Ta_{int} – HR periodo de transición frío-cálido

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

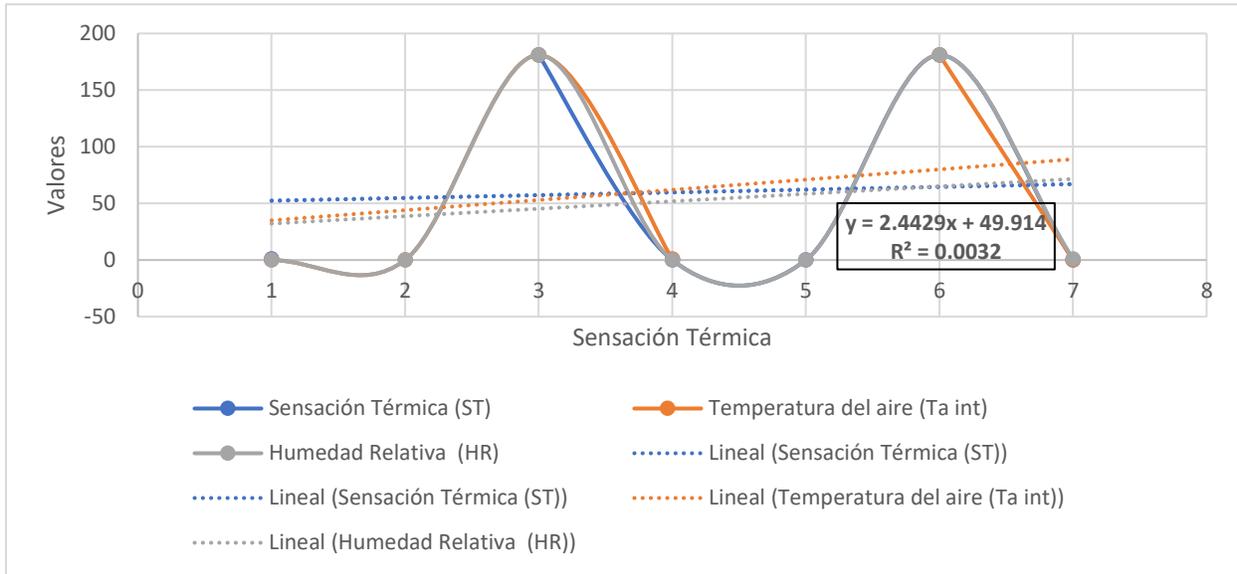
** La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia.

La Fig. 52 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 52

Correlación de Pearson ST-Ta_{int}-HR período de transición frío-cálido



Fuente: Elaboración propia.

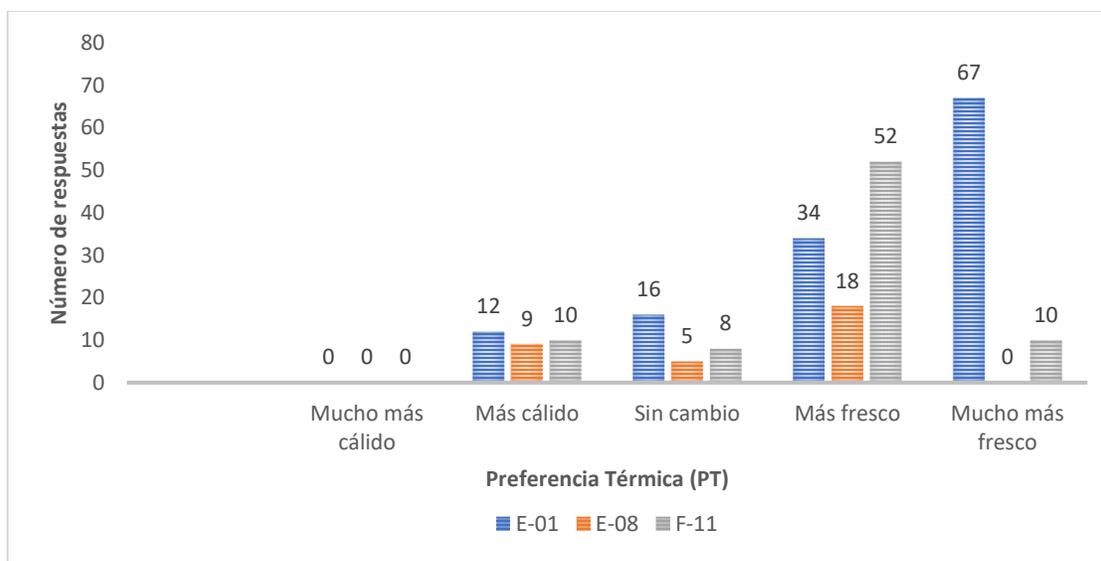
b. Preferencia Térmica (PT)

La preferencia térmica (PT) se evaluó utilizando una escala de cinco puntos de Likert. La Fig. 53 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 53

Preferencia Térmica (PT) periodo transición frío-cálido



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 27, 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 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 con significativa al nivel de 0.01 (bilateral).

Tabla 27

Correlación de Pearson PT-Ta_{int}-HR periodo de transición frío-cálido

		Preferencia Térmica (PT)	Temperatura del aire (Ta _{int})	Humedad Relativa (HR)
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)	Correlación de Pearson	$-.221^{**}$	$-.948^{**}$	1
	Sig. (bilateral)	.003	.000	

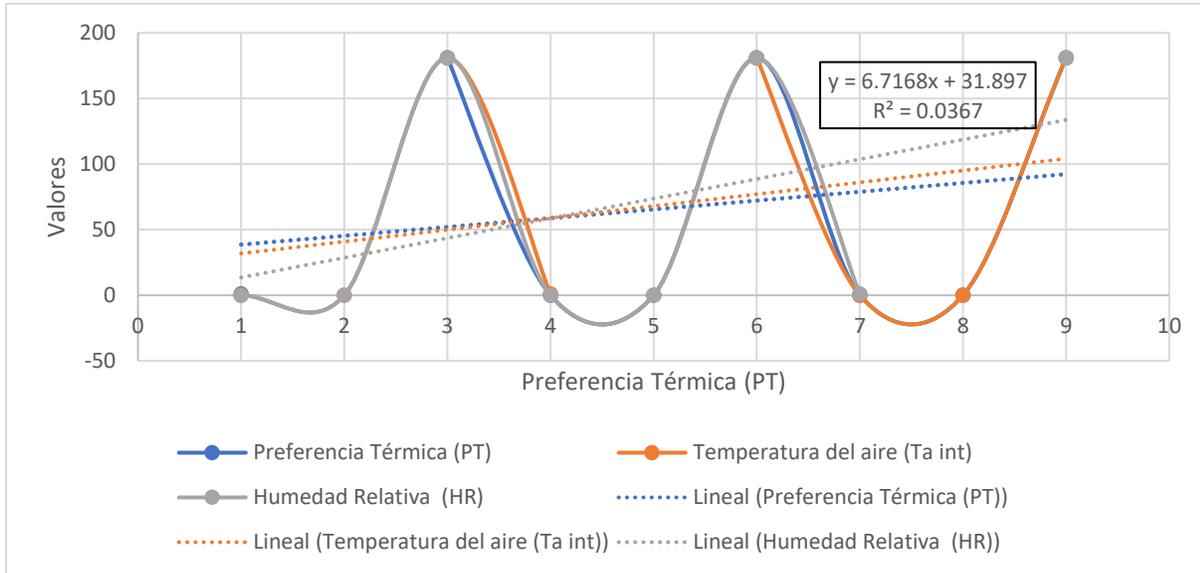
** La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia.

En la Fig. 54 del grafico de dispersión se establecen ecuaciones de regresión para TP en forma de $y=6.7168x + 31.897$ y $R^2=0.0367$.

Figura 54

Correlación de Pearson $PT-Ta_{int} - HR$ periodo de transición frío-cálido



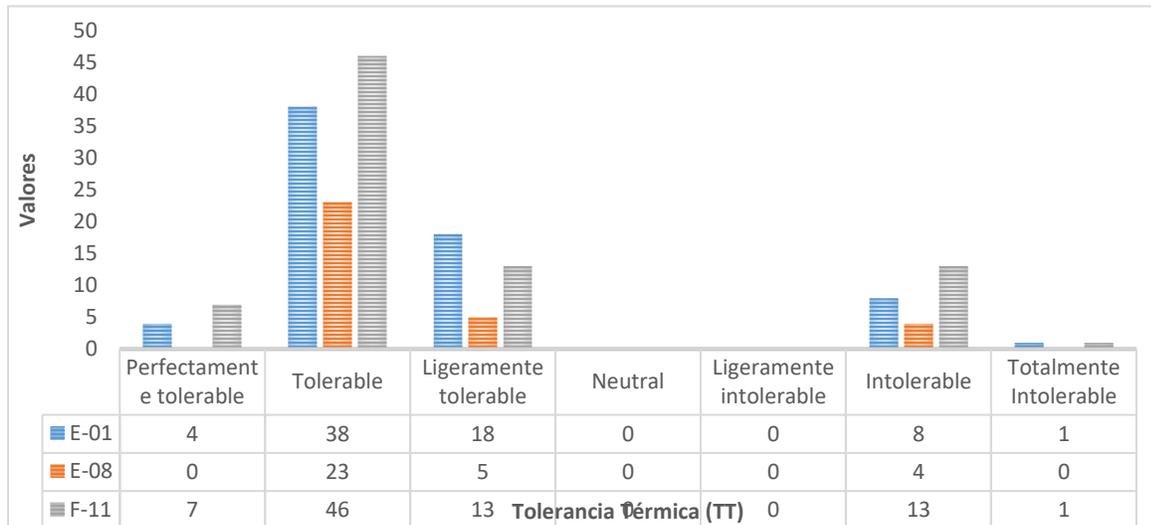
Fuente: Elaboración propia.

c. Tolerancia Térmica (TT)

Los resultados de las respuestas de TT se resumen en la Fig. 55, 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 a las condiciones térmicas; el 16% respondió levemente tolerable y el 16% intolerable al TT.

Figura 55

Tolerancia Térmica (TT) periodo transición frío- cálido



Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 28 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 28

Correlación de Pearson TT PT-Ta_{int}-HR periodo de transición frío-cálido

		Tolerancia Térmica (TT)	Temperatura del aire (Ta _{int})	Humedad Relativa (HR)
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)	Correlación de Pearson	-.182*	-.948**	1
	Sig. (bilateral)	.014	.000	
	N	181	181	181

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

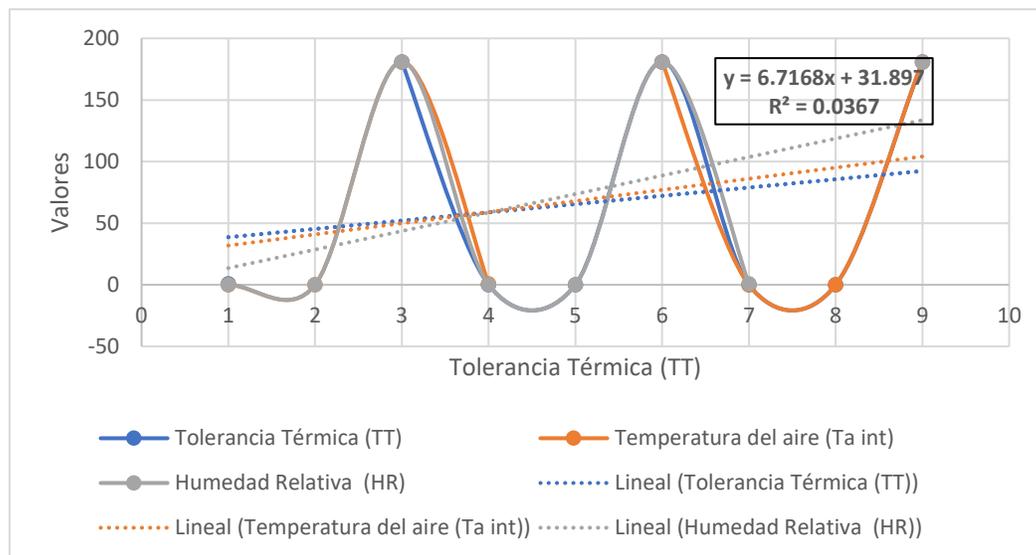
** . La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia.

Las ecuaciones de regresión para TT, como determina el grafico de la Fig. 56, 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 56

Correlación de Pearson TT PT- Ta_{int} -HR periodo transición frío- cálido



Fuente: Elaboración propia.

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 resultados de las encuestas aplicadas durante las clases presenciales mostraron que 50-66% de los estudiantes se encontraban en una situación de *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 los 27.7 °C.

Se observó que la orientación y el sistema constructivo de los edificios influyeron considerablemente en la sensación térmica ambiental (Anguita et al. 2018). 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 local (Mishra and Ramgopal 2015). 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.

4.4.1.2. Ambiente Lumínico

Las mediciones de luz natural dentro de las aulas se realizaron simultáneamente con la aplicación del cuestionario en dos días soleados. Durante los días 4 y 7 de abril se aplicó el cuestionario alternando las aulas en dos tiempos del día: de 9:00–11:00 para el horario de la mañana y de 12:00 -3:00 para la tarde. Durante las mediciones se apagó la luz en todas las aulas y se mantuvieron cerradas las cortinas en el F-11.

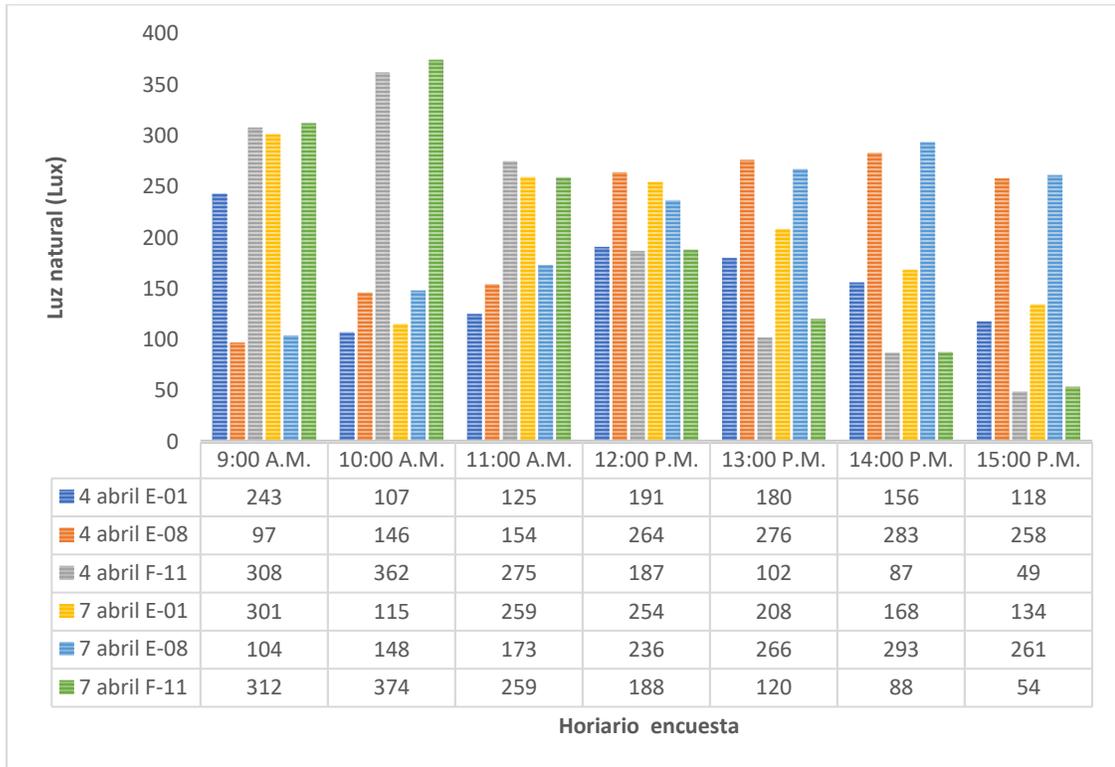
En la Fig. 57 se muestran los resultados de las mediciones de luz natural que se llevaron a cabo los dos días de encuestas, considerando un horario 9:00 a.m. a 15:00 p.m. Los valores promedio obtenidos de la luz natural el 4 de abril, en horario de 9:00–11:00 a.m. resultaron ser para el aula E-01 de 158 lux, con un valor máximo de 243 lux; en el E-08 de 132 lux, con 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 57

Resultados Iluminancia periodo transición frío-cálido



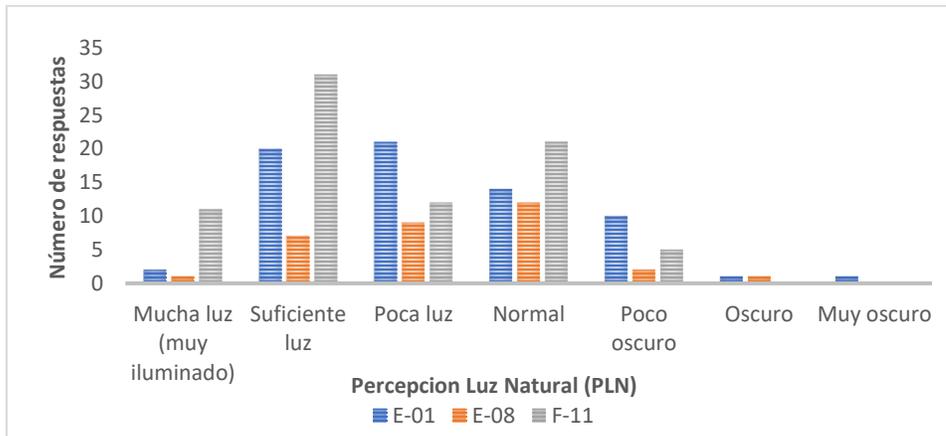
Fuente: Elaboración propia.

a. Percepción Lumínica

La Fig. 58 resume los resultados de las respuestas de la Percepción de Luz Natural (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 *iluminación*, 15% con *poca luz* y 14% con *mucha luz*. En este caso, la respuesta *poco oscuro* y *muy oscuro* tuvo un tercio de todas las respuestas.

Figura 58

Percepcion Luz Natural (PLN) periodo transición frio- cálido

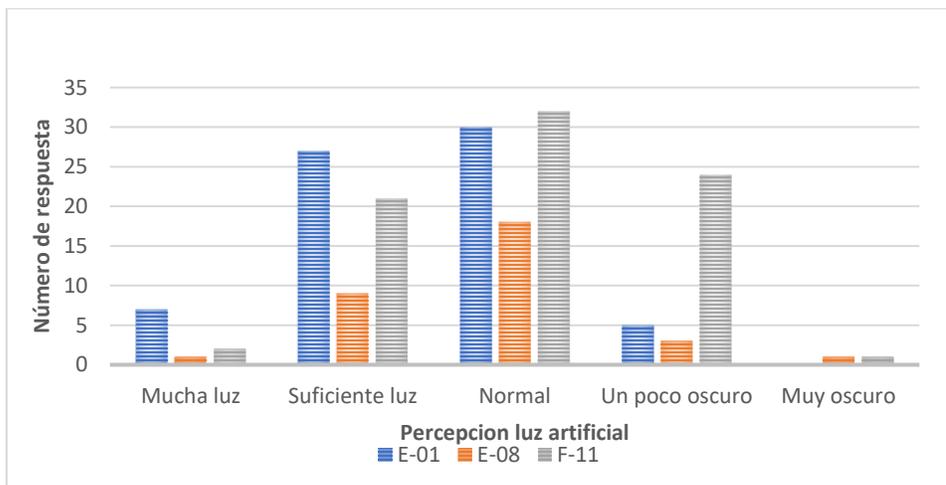


Fuente: Elaboración propia.

Los resultados sobre la Percepción de la Luz Artificial (PLA) se muestran en la Fig. 59 donde 44% de los estudiantes del aula E-01 perciben como *normal* el nivel de iluminación artificial: 39% *suficiente luz* y 10% *mucha luz*. El 56% de los alumnos del aula E-08 la consideran *normal*; 28% *suficiente luz* y 10% *un poco oscuro*. En el F-11 el 40% respondieron *normal*, 30% *un poco oscuro*, 26% *suficiente luz*. En general, el 44% de los encuestados consideran la luz artificial *normal* y el 39% *suficiente luz*.

Figura 59

Percepcion Luz Natural (PLN) periodo transición frio- cálido

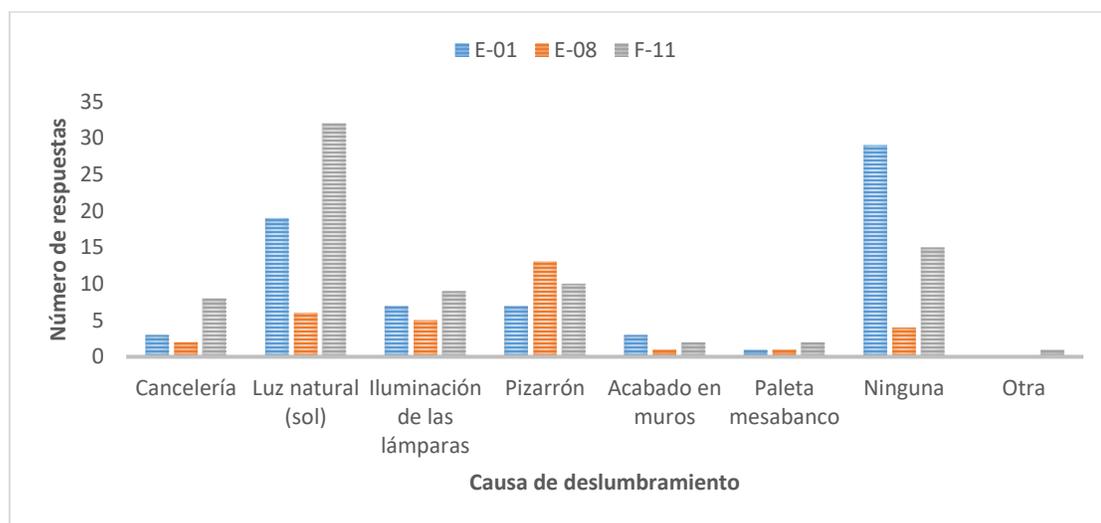


Fuente: Elaboración propia.

Los resultados a la pregunta ¿Cuál o cuáles de estos elementos le causa deslumbramiento en este momento? se muestran en la Fig. 60, indicando que en el aula E-01 42% respondió *ninguna* y el 28% la *luz natural*; en el E-08 , 41% indico que el *pizarrón*, 19% la *luz natural* y el 16% la *iluminación de las lámparas*. En el F-11, el 40% se refirió a la *luz natural*, 19% *ninguna* y el 13% el *pizarrón*, seguido con el 11% por la *iluminación de las lámparas*.

Figura 60

Causa de deslumbramiento periodo transición frío-cálido



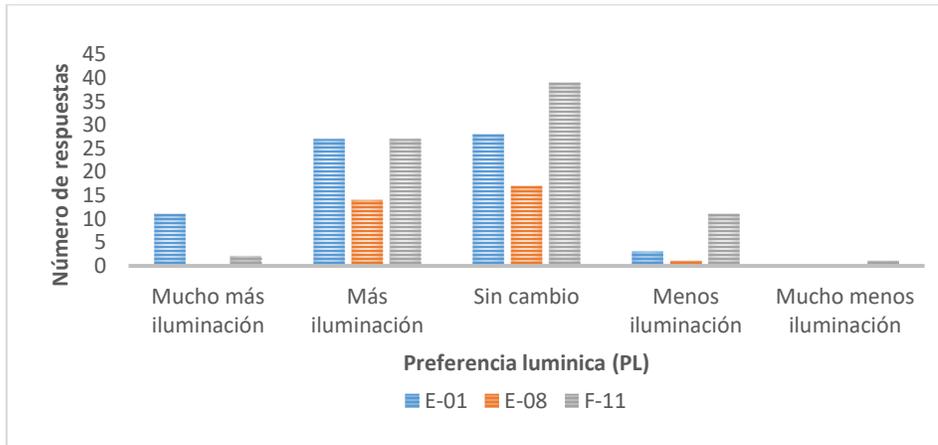
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de las respuestas de ¿Cómo considera el nivel de iluminación en este momento? mostraron que en el aula E-01 las respuestas *buena* y *adecuada para realizar las actividades de aprendizaje* obtuvieron más del 60%.

b. Preferencia Lumínica (PL)

La Fig.61 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% *más iluminación*. En el salón E-08, el 53% de los estudiantes seleccionó la situación *sin cambio*, y el 44% respondió con *más luz*, y 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 61 Preferencia Lumínica (PL) periodo transición frío- cálido



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 29 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 29

Correlación de Pearson PL-NI periodo 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

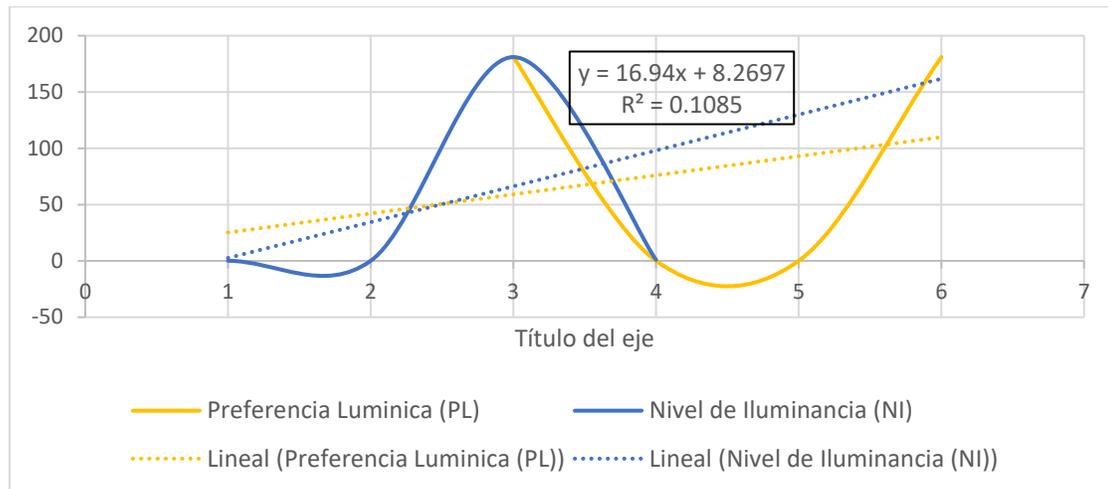
** La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico de la Fig.62 se determina las ecuaciones de regresión para PL en la forma de $y = 16.94 x + 8.2697$, $R^2 = 0.1085$.

Figura 62

Correlación de Pearson PL-NI periodo transición frío- cálido



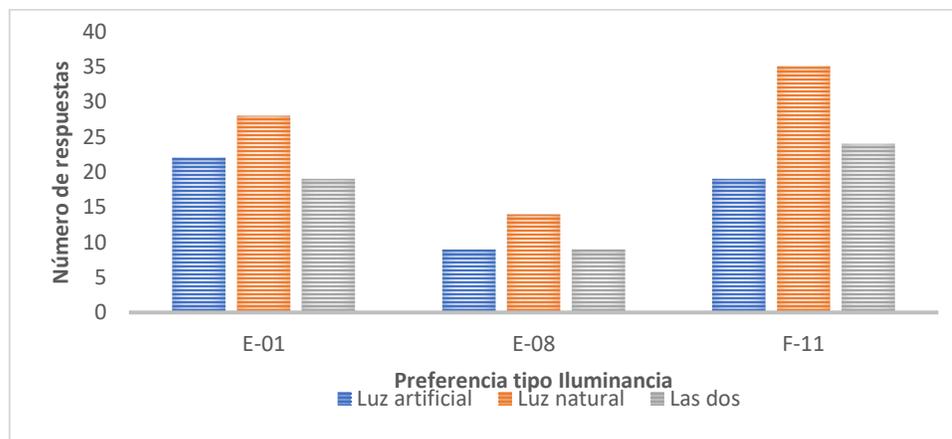
Fuente: Elaboración propia

d. Preferencia Tipo de iluminación

Los resultados de las preferencias de los encuestados sobre el tipo de iluminación dentro del aula, mostrados en la Fig. 63, fueron que 76 alumnos respondieron *luz natural*, 55 prefirieron *las dos* y 50 contestaron *luz artificial*. En el aula E-01 el 41% prefirió la *luz natural*, 34% la *luz artificial* y el 27% *las dos*. Los ocupantes del aula E-08 el 44% prefirió *luz natural*, las respuestas *luz artificial* y *las dos* obtuvieron 28% cada una y, en el F-11, el 44% prefirió la *luz natural*, 32% la *luz artificial* y el 24% *las dos*.

Figura 63

Preferencia del tipo de iluminación periodo de transición frío-cálido



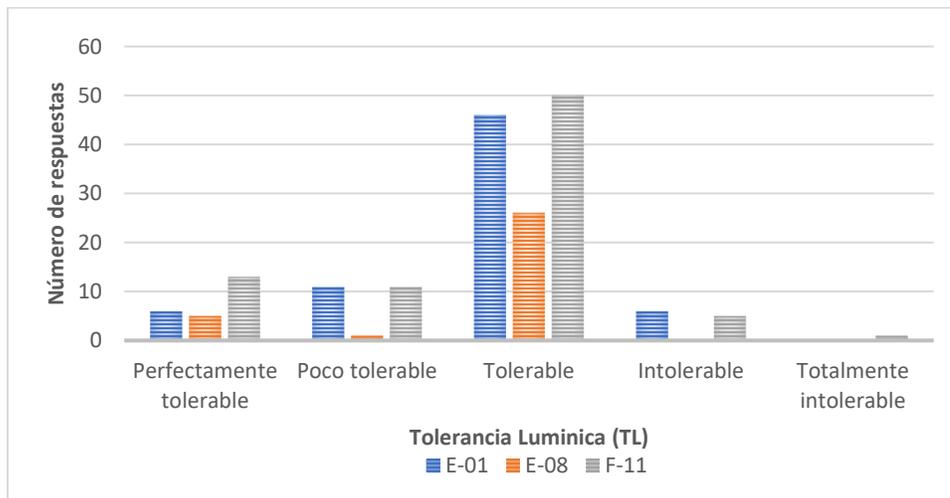
Fuente: Elaboración propia

d. Tolerancia Lumínica (TL)

Los resultados de la encuesta indicados en la Fig. 64 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 que era *tolerable* la situación lumínica, 16% respondió *perfectamente tolerable*, y el 14% *poco tolerable*. Más del 67.4% de los estudiantes eligió *tolerable* la condición lumínica de las aulas.

Figura 64

Tolerancia Lumínica (TL) periodo de transición frío-cálido



Fuente: Elaboración propia

En a Tabla 30 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 30*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.

Discusión sobre el confort lumínico de la encuesta

Incluso cuando se eligieron dos días soleados para aplicar el cuestionario, las mediciones físicas registraron valores promedio de luz natural por debajo de los estándares, 300 lux para las aulas. 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 (Krüger and Zannin, 2004).

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 y la orientación de la envolvente del edificio. Los resultados coinciden con un 60% de alumnos que prefieren diferentes condiciones de iluminación.

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.

Se observaron varios problemas relacionados con la incomodidad térmica y lumínica durante el período de transición frío-calor, que presenta cambios dramáticos en las condiciones climáticas. Las aulas de ambos edificios enfrentan temperaturas y humedad relativa con valores

menores y mayores que los establecidos en los rangos de confort. Además, las condiciones lumínicas presentan problemas con la penetración de luz natural, falta de uniformidad en la iluminancia, deslumbramiento y sobrecalentamiento cerca de las ventanas durante el horario escolar. Esto pudiera deberse a las dimensiones de las ventanas en fachadas y la falta de un tratamiento adecuado que controle la entrada de la luz.

Se obtuvieron resultados de la pregunta de opinión sobre los factores ambientales ¿Cuál cree que le afecta más en el desarrollo de sus actividades de aprendizaje? donde el 45% los encuestados respondió que el confort térmico. Esto pudiera deberse a que durante la aplicación del cuestionario las temperaturas exteriores promedio presentaron 10°C de diferencia entre un día a otro También, hubo fuertes vientos durante esos días, lo que evitó que se abrieran las ventanas que daban al exterior.

Estudios similares sostienen que la adaptación de los estudiantes al ambiente térmico, además del clima, depende del hábitat y las expectativas de vida de los ocupantes (Yang, 2020; Yao, 2010). Las diferentes orientaciones de los edificios (NE, SE, SO) y el uso de diferentes materiales en la envolvente del edificio pueden influir en la respuesta de los estudiantes (Anguita, 2018).

De acuerdo con los resultados, las condiciones de las aulas no cumplen con la satisfacción de los ocupantes. El control que se tiene de puertas, ventanas, ventilador mecánico y de iluminancia, parece no ser suficiente para cumplir con las expectativas ambientales térmico y lumínico de los estudiantes en las aulas ventiladas naturalmente de Valle de las Palmas.

Por esta razón, deben considerarse los factores ambientales en la estrategia de diseño, tanto en el diseño de nuevas escuelas, como para el mejoramiento de las ya existentes para el confort y bienestar de los estudiantes que permitan desarrollar sus actividades de aprendizaje de manera óptima.

La aplicación de los cuestionarios a distancia fue de manera voluntaria y sin haber permanecido en las aulas físicamente por dos años. Por lo que se obtuvo respuestas de estudiantes de nuevo ingreso que nunca habían asistido a clases en la universidad.

Cuando se aplicó la encuesta presencialmente, hubo mucha disponibilidad de los alumnos: el jefe de grupo no solo paso el enlace a sus compañeros, sino que también compartió datos para que pudieran responder cuando había poca recepción del internet institucional. Esto pudiera mejorarse llevando cuestionarios impresos para evitar que se distraigan durante la encuesta.

5. Conclusiones

En este estudio se investigaron las condiciones térmicas y lumínicas en tres aulas universitarias con características arquitectónicas diferentes que permitió conocer la percepción de los alumnos respecto al confort ambiental. Se obtuvieron 223 respuestas de la entrevista de satisfacción sobre la evaluación del confort ambiental en los periodos frío, cálido y de transición frío-cálido, aplicados en el mes de noviembre del 2021 y en abril del 2022 en aulas del FCITEC de Valle de las Palmas en la ciudad de Tijuana.

Al termino de esta investigación se concluye que las condiciones térmicas de las aulas no son las óptimas para que los alumnos realicen sus actividades de aprendizaje. Los resultados revelaron que las variables Ta_{int} y HR promedio se encuentran fuera de la zona de confort para el Valle de las Palmas 19.7°C - 27.7°C . Los estudiantes tuvieron una sensación térmica entre -1 - 1 en la escala ASHRAE a una temperatura mayor de 27.8°C , mostrando mayor sensibilidad térmica al aumentar la temperatura interior. Las condiciones ambientales en el aula F-11, orientada al SE, registraron una diferencia de 3.3°C respecto al rango de confort establecido.

Las condiciones de iluminancia de las aulas en cuanto a la intensidad y la distribución de la luz del día fueron determinadas como inaceptables en todas las orientaciones. La luz natural no es uniforme en el salón, provoca deslumbramiento y sobrecalentamiento en los puntos cercanos a las ventanas que dan al exterior, que puede ser causado por la dimensión de las ventanas de la envolvente y falta de un tratamiento adecuado que permita controlar la penetración de la luz natural.

Además, se observó que la luz natural se intensificó en las superficies de trabajo cercanas a las ventanas con orientadas al SO y SE, sobre todo en el aula F-11 que cuenta con un muro acristalado de piso a plafón, para el cual se han instalado cortinas para evitar la entrada del sol directo en los mesabancos, por lo que las cortinas permanecen cerradas evitando problemas de deslumbramiento y sobrecalentamiento.

Los valores promedio de luz natural registrados en las aulas fueron inferiores a los 300 lux mínimos necesarios para que los alumnos realicen sus actividades cómodamente, según la normatividad. Esto causa falta de uniformidad dentro del aula, provocando la utilización de luz artificial durante el día en periodo frío y de transición frío-cálido, por lo que las aulas no garantizan niveles de iluminación natural suficientes durante el periodo de transición frío-calor en la orientación NE y superan los niveles máximos en las orientaciones SE y SO.

De acuerdo con las normas gubernamentales, las escuelas deben estar orientadas nortesur. En el caso del aula F-11 orientada al SE, no se recomienda la construcción de muro acristalado sin un tratamiento adecuado en edificios educativos en el Valle de las Palmas.

También, se resume que existe una fuerte correlación negativa entre $T_{a \text{ int}}$ 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 iluminación o variables higrotérmicas. En conclusión, no existe correlación entre estas variables.

La evaluación de las condiciones térmicas y de iluminación reveló hallazgos importantes y valiosos con respecto al rango de temperatura, la humedad y los niveles de iluminación dentro de las aulas y su impacto en el confort térmico y lumínico de los estudiantes.

Adicionalmente, se determinó la falta de uniformidad de los niveles de luz natural con lo que se puede predecir el deslumbramiento. Estos resultados muestran la importancia y el valor de evaluar los factores ambientales para obtener resultados integrales sobre las condiciones del espacio y su impacto en el confort de los ocupantes de los edificios educativos del Valle de las Palmas.

En cuanto a la aplicación de cuestionarios a distancia (no presencial), se puede decir que, en el caso del periodo que estuvimos con restricciones por la pandemia, los alumnos no mostraron mucho interés en responder el cuestionario, ya que solo contestaron 53 alumnos, de los cuales 20% nunca habían cursado clases en las aulas. No obstante, se obtuvo información importante que se puede verificar con los datos climatológicos de la zona.

Se observó que el mayor porcentaje de los encuestados vivía en la parte este, zona donde se localiza la UABC, situación que pudo influir en los resultados de sensación térmica y a su adaptabilidad al clima.

Con los datos obtenidos se cumplió el objetivo principal de evaluar las condiciones térmicas y lumínicas ambientales en aulas universitarias del FCITEC, encontrando que las condiciones ambientales del aula ventiladas naturalmente no cumplen con las expectativas de los ocupantes en cuanto a confort térmico y lumínico durante los periodos estudiados.

Teniendo en cuenta que el estudio se realizó en el periodo de transición frío-cálido, donde se detectaron varios problemas en el acondicionamiento de los espacios en términos térmicos y lumínicos, se propone realizar futuros estudios presenciales durante los periodos más fríos y cálidos para determinar las estrategias de solución requeridas que proporcionen ambientes confortables para los estudiantes durante todo el año.

En consecuencia, se debe considerar realizar un estudio que determine cual es el tratamiento adecuado para las ventanas orientadas al SE y SO, así como el incluir otros factores ambientales como la acústica y la calidad del aire; y establecer los indicadores para poder evaluar el ambiente interior de manera sistémica que promueva el bienestar, la salud y la productividad de los ocupantes.

6. Anexos

Anexo 1 Registro de Temperatura del aire y Humedad Relativa

Registros de mediciones Temperatura del aire (°C) y Humedad Relativa (%) interior, obtenidos de los cinco sensores etiquetados de acuerdo con su ubicación en el aula. Las mediciones se registraron cada 10 minutos, indicando el inicio, término y cuando se detuvo la medición, el nombre, número y fecha de registro, y el número del sensor.

Las lecturas se presentan para cada periodo y de acuerdo con las fechas de inicio, independientemente del aula en que se inició la medición, que por cuestiones de logística fue variando.

Periodo transición cálido-frio 2021

HOBO-4 E-01

#	Date Time, GMT-07:00	Temp, °C (LGR S/N: 10691341, SEN S/N: 10691341)	RH, % (LGR S/N: 10691341, SEN S/N: 10691341)
1	4/17/2021 8:00	16.63	56.189
2	4/17/2021 8:10	16.65	56.07
3	4/17/2021 8:20	16.68	56.104
4	4/17/2021 8:30	16.73	56.081
5	4/17/2021 8:40	16.75	56.115
6	4/17/2021 8:50	16.82	56.217
7	4/17/2021 9:00	16.87	56.255
8	4/17/2021 9:10	16.94	56.357
9	4/17/2021 9:20	17.01	56.398
10	4/17/2021 9:30	17.11	56.473
11	4/17/2021 9:40	17.18	56.454
12	4/17/2021 9:50	17.30	56.258
13	4/17/2021 10:00	17.53	55.867
14	4/17/2021 10:10	17.77	55.443
15	4/17/2021 10:20	17.96	55.042
16	4/17/2021 10:30	18.18	54.613
17	4/17/2021 10:40	18.39	54.182
18	4/17/2021 10:50	18.51	53.86
19	4/17/2021 11:00	18.63	53.6
20	4/17/2021 11:10	18.77	53.342

FR-2 Resultados mediciones Temperatura del aire y Humedad Relativa interior

Registro: Temperatura interior (°C) y humedad relativa (%) interior

Fecha: 8 al 30 de abril 2021

Periodo: transición frío-cálido

Instrumento de medición: Hobo, Marca ONSET DATA LOGGER N: 10691341 HOBO 1

Ubicación dentro de la Parte frontal del lado del muro que da al exterior

Hr/ Día	VALORES TEMPERATURA INTERIOR °C OBTENIDOS DE MEDICIONES EN CAMPO																														T int mínima			T int máxima			T int promedio		
	AULA E-08										AULA E-01										AULA F-11										E-08			E-01			F-11		
	8	9	10	11	12	13	14	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11						
8:00	20.6	20.2	20.1	19.9	19.8	19.5	18.1	16.9	16.9	18.0	18.6	18.2	17.2	16.7	16.8	18.0	17.1	16.1	14.6	19.5	22.3	18.1	16.7	14.6	20.6	18.6	22.3	19.7	17.5	17.8									
9:00	20.5	20.1	20.1	19.8	19.9	19.6	18.1	18.4	18.8	20.0	20.6	18.3	17.3	16.8	18.4	18.2	17.0	16.9	16.0	20.3	23.5	18.1	16.8	16.0	20.5	20.6	23.5	19.7	18.6	18.6									
10:00	20.5	20.2	20.1	19.8	19.9	19.7	18.2	16.9	19.0	20.2	20.7	18.5	17.4	17.0	19.3	19.3	17.1	17.7	21.4	25.1	20.6	18.2	16.9	17.1	20.5	20.7	25.1	19.8	18.5	19.6									
11:00	20.7	20.2	20.2	19.9	19.9	19.8	18.3	18.4	19.3	20.5	21.0	19.1	17.7	17.3	19.9	20.5	17.2	18.4	18.8	22.8	26.6	20.6	18.3	17.3	17.2	20.7	21.0	26.6	19.9	19.0	20.6								
12:00	20.9	20.5	20.5	20.2	20.1	19.9	18.5	18.6	19.7	20.9	21.2	19.7	17.9	17.5	20.7	21.2	17.2	18.5	19.6	24.0	27.8	20.6	18.5	17.5	17.2	20.9	21.2	27.8	20.1	19.4	21.3								
13:00	21.3	20.8	20.8	20.7	20.4	20.0	18.7	18.8	20.0	21.2	21.4	19.9	18.0	17.7	21.1	21.6	17.2	18.3	20.2	24.6	28.6	20.6	18.7	17.7	17.2	21.3	21.4	28.6	20.4	19.6	21.6								
14:00	21.7	21.2	20.9	20.7	20.1	19.0	19.0	20.0	21.2	21.5	21.6	19.8	18.0	17.8	21.2	21.6	17.3	17.8	20.6	24.9	29.0	20.9	19.0	17.8	17.3	21.7	21.7	29.0	20.7	19.7	21.8								
15:00	22.1	21.6	21.7	21.1	21.0	20.2	19.3	19.1	20.4	21.9	21.7	19.8	18.1	17.9	21.0	21.4	17.2	18.0	20.9	25.2	29.1	20.9	19.3	17.9	17.2	22.1	21.9	29.1	21.0	19.8	21.8								
16:00	22.7	22.2	22.2	21.6	21.5	20.2	19.6	19.3	20.6	22.2	21.8	19.7	18.0	18.0	20.9	21.2	17.3	18.0	20.9	25.4	29.1	20.9	19.6	18.0	17.3	22.7	22.2	29.1	21.4	19.9	21.8								
17:00	23.2	22.7	22.8	21.9	22.0	20.1	20.1	19.5	20.8	22.3	21.7	19.6	17.8	18.1	20.9	21.1	17.5	18.0	21.0	25.7	29.0	20.1	17.8	17.5	17.2	23.2	22.3	29.0	21.8	20.0	21.9								
PROM/ DÍA	21.4	21.0	21.0	20.6	20.5	19.9	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.1	16.7	14.6	23.2	22.3	29.1	20.4	19.2	20.7								
PROM	20.44																														18.78			18.78			18.78		

Hr	VALORES MEDIOS HUMEDAD RELATIVA OBTENIDOS DE MEDICIONES EN CAMPO TEMPORADA DE PRIMAVERA 8-30 DE ABRIL 2021																														HR int mínima			HR int máxima			HRint promedio		
	AULA E-08										AULA E-01										AULA F-11										E-08			E-01			F-11		
	8	9	10	11	12	13	14	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11						
8:00	41	47	45	51	51	49	50	55	55	27	28	46	53	62	57	55	57	59	56	35	26	40.8	26.5	26.2	51.3	62.1	58.8	47.8	46.7	49.4									
9:00	41	47	45	52	51	49	50	53	53	25	31	46	54	62	54	54	57	56	54	32	24	40.7	25.4	24.3	51.9	62.4	57.1	47.8	46.3	47.4									
10:00	41	47	45	52	51	49	50	53	52	26	33	45	54	62	52	51	58	52	51	30	22	40.6	25.6	22.0	51.8	61.7	58.2	47.7	46.4	45.2									
11:00	40	46	45	51	51	49	50	53	45	26	34	46	54	61	51	47	59	48	46	25	21	40.2	26.0	20.6	51.2	60.6	58.6	47.5	45.3	42.2									
12:00	39	45	45	50	51	50	49	52	37	25	35	46	53	60	49	43	61	46	44	24	20	38.9	24.7	19.5	50.9	59.7	60.9	47.0	43.8	40.8									
13:00	38	44	45	50	51	51	49	49	33	22	38	45	52	59	47	42	61	45	43	23	17	38.3	22.0	17.4	50.5	59.1	60.8	46.7	42.6	39.7									
14:00	40	45	44	52	50	51	48	48	31	19	39	44	53	59	48	43	58	48	42	22	18	40.4	19.2	17.4	51.8	59.3	57.8	47.2	42.0	39.7									
15:00	40	45	44	52	50	51	47	50	28	23	39	43	53	59	49	44	56	47	41	20	18	40.3	22.6	17.8	51.5	59.4	55.9	47.1	42.3	39.5									
16:00	42	44	44	50	49	51	46	51	26	20	30	43	54	59	48	45	60	46	39	21	18	41.9	20.3	17.9	51.2	59.3	60.4	46.7	41.9	39.5									
17:00	43	45	45	50	49	51	45	52	27	21	40	44	55	59	48	45	56	45	38	20	17	42.6	20.7	17.4	51.2	58.9	56.3	46.5	42.3	38.6									
PROM/ DÍA	40	45	45	51	50	50	48	52	39	23	36	45	54	60	50	47	58	49	45	25	20	38.3	19.2	17.4	51.9	62.4	60.9	47.2	44.0	42.2									
PROM	48.33																														43.96			42.21			42.21		

FR-2 Resultados mediciones Temperatura del aire y Humedad Relativa interior

Registro: Temperatura interior (°C) y humedad relativa (%) interior

Fecha: 8 al 30 de abril 2021

Periodo: transición frío-cálido

Instrumento de medición: Hobo, Marca ONSET DATA LOGGER N: 10691341 HOB0 2

Ubicación dentro del Parte posterior del lado del muro que da al exterior

Hr/día	VALORES MEDIOS TEMPERATURA DELAIRE OBTENIDOS DE MEDICIONES EN CAMPO																								T int mínima			T int máxima			T int promedio		
	AULA E-08						AULA E-01						AULA F-11						E-08			E-01			F-11								
	8	9	10	11	12	13	14	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11			
8:00	20.2	19.8	19.7	19.5	19.5	19.2	17.7	16.7	17.7	18.3	18.1	17.1	16.6	16.5	17.7	17.0	16.0	14.7	19.4	22.4	17.7	16.6	14.7	20.2	18.3	22.4	19.4	17.3	17.7				
9:00	20.2	19.8	19.7	19.4	19.7	19.3	17.8	17.0	17.2	18.3	18.9	18.2	17.1	16.7	17.0	18.0	17.0	16.9	16.1	20.4	23.7	17.8	16.7	16.1	20.2	18.9	23.7	19.4	17.6	18.5			
10:00	20.3	19.8	19.9	19.5	19.7	19.5	18.0	17.8	18.2	19.5	20.0	18.5	17.2	17.0	18.7	19.2	17.0	17.8	17.6	21.7	25.4	18.0	17.0	17.0	20.3	20.0	25.4	19.5	18.3	19.6			
11:00	20.7	20.1	20.2	19.9	19.8	19.8	18.2	18.7	19.5	20.8	21.0	19.4	17.6	17.3	20.1	20.6	17.1	18.6	19.0	23.1	26.9	18.2	17.3	17.1	20.7	21.0	26.9	19.8	19.2	20.8			
12:00	21.5	21.0	21.0	20.8	20.6	20.1	18.8	19.3	20.1	21.5	21.6	20.2	17.9	17.5	21.0	21.3	16.9	18.6	19.8	24.2	28.1	18.8	17.5	16.9	21.5	21.6	28.1	20.5	19.7	21.4			
13:00	22.2	21.6	21.7	21.3	21.2	20.4	19.2	19.7	20.5	21.9	22.0	20.3	17.9	17.8	21.4	21.7	17.0	18.4	20.4	24.8	28.7	19.2	17.8	17.0	22.2	22.0	28.7	21.1	20.0	21.8			
14:00	22.5	22.0	22.1	21.4	21.4	20.3	19.6	19.8	20.7	22.1	22.0	20.1	18.0	17.8	21.4	21.7	17.2	17.9	20.7	25.1	29.0	19.6	17.8	17.2	22.5	22.1	29.0	21.3	20.1	21.9			
15:00	22.8	22.3	22.3	21.6	21.6	20.3	19.8	19.9	20.8	22.3	22.0	19.9	17.9	17.9	21.2	21.5	17.0	18.1	20.9	25.4	29.2	19.8	17.9	17.0	22.8	22.3	29.2	21.5	20.1	21.9			
16:00	23.2	22.6	22.8	22.1	21.9	20.4	20.0	19.8	20.8	22.3	21.9	19.6	17.8	18.0	21.0	21.2	17.1	18.0	21.1	25.7	29.3	20.0	17.8	17.1	23.2	22.3	29.3	21.9	20.0	21.9			
17:00	24.0	23.4	23.4	22.5	22.6	20.2	20.7	19.7	20.9	22.3	21.7	19.5	17.7	18.1	21.0	21.1	17.2	18.0	21.1	26.0	29.3	20.2	17.7	17.2	24.0	22.3	29.3	22.4	20.0	21.9			
PROM/ DIA	20.5	20.1	20.3	19.9	20.0	19.3	18.5	18.7	19.4	20.7	20.9	19.5	18.0	18.0	20.3	20.8	17.9	18.7	19.9	24.1	27.5	17.7	16.6	14.7	24.0	22.3	29.3	20.7	19.2	20.7			
PROM/AULA	19.81						19.31						21.31																				

Hr/día	VALORES MEDIOS HUMEDAD RELATIVA OBTENIDOS DE MEDICIONES EN CAMPO																								HR int mínima			HR int máxima			HRint promedio		
	AULA E-08						AULA E-01						AULA F-11						E-08			E-01			F-11								
	8	9	10	11	12	13	14	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11			
8:00	42	49	46	52	52	50	51	55	55	28	30	46	53	61	58	56	57	59	36	27	42	28	27	52	61	59	49	61	50				
9:00	42	49	46	53	52	49	51	55	56	28	34	46	54	61	57	54	57	56	33	25	42	28	25	53	61	57	49	61	48				
10:00	42	48	46	53	52	49	51	55	54	27	34	45	54	61	53	51	58	51	30	23	42	27	23	53	61	58	49	61	45				
11:00	41	47	46	51	52	49	50	53	44	27	34	45	54	60	50	47	59	47	25	21	41	27	21	52	60	59	48	60	42				
12:00	40	45	45	50	50	49	49	51	37	25	36	45	53	59	48	42	62	45	20	20	40	25	20	50	62	62	47	59	41				
13:00	38	44	44	49	49	50	48	48	33	23	38	44	52	58	46	42	60	45	19	19	38	23	19	50	60	60	46	58	40				
14:00	41	45	44	51	49	50	47	48	32	20	39	43	53	59	48	43	58	48	22	19	41	20	19	51	59	58	47	59	40				
15:00	41	45	44	51	49	51	46	49	29	23	39	43	53	59	48	44	57	47	21	19	41	23	19	51	59	57	47	59	39				
16:00	42	44	44	50	49	51	46	51	27	21	39	44	54	59	48	45	61	45	22	18	42	21	18	51	61	61	46	59	40				
17:00	43	43	44	49	48	51	45	52	28	22	40	44	54	58	48	45	56	45	37	21	18	43	22	18	51	58	56	46	58	39			
PROM/ DIA	41	46	45	51	50	50	48	52	40	25	36	44	53	60	50	47	58	49	26	21	38	20	18	53	62	62	47	60	42				
PROM/AULA	47.30						44.20						42.27																				

FR-2 Resultados mediciones Temperatura del aire y Humedad Relativa interior

Registro: Temperatura interior (°C) y humedad relativa (%) interior
 Fecha: 8 al 30 de abril 2021

Periodo: transición frío-cálido

Instrumento de medición: Hobo, Marca ONSET DATA LOGGER N: 10691341

HOBO 3

Ubicación dentro del espacio: Parte frontal del muro que da al pasillo interior

Hr/día	VALORES MEDIOS TEMPERATURA DEL AIRE OBTENIDOS DE MEDICIONES EN CAMPO																														T int mínima			T int máxima			T int promedio		
	AULA E-08										AULA E-01										AULA F-11										E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11			
	8	9	10	11	12	13	14	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11									
8:00	20.5	20.1	20.0	19.8	19.7	19.4	18.2	16.7	17.7	18.3	18.1	17.1	16.6	16.8	18.1	17.2	16.0	14.8	19.5	22.3	18.2	16.6	14.8	20.5	18.3	22.3	19.7	17.3	17.8										
9:00	20.4	20.0	20.0	19.7	19.7	19.4	18.2	17.0	17.2	18.3	18.9	18.2	17.1	16.7	17.2	18.9	17.1	16.7	15.8	20.2	23.5	18.2	16.7	15.8	20.4	18.9	23.5	19.6	17.6	18.5									
10:00	20.5	20.0	20.0	19.7	19.7	19.5	18.2	17.8	18.2	19.5	20.0	18.5	17.2	17.0	18.6	19.2	17.2	17.4	17.1	21.3	25.1	18.2	17.0	17.1	20.5	20.0	25.1	19.7	18.3	19.4									
11:00	20.6	20.1	20.1	19.8	19.8	19.6	18.3	18.7	19.5	20.8	21.0	19.4	17.6	17.3	19.7	20.1	17.2	18.0	18.3	22.4	26.3	18.3	20.6	21.0	26.3	20.6	21.0	26.3	19.8	19.2	20.3								
12:00	20.8	20.3	20.4	20.1	20.0	19.7	18.5	19.3	20.1	21.5	21.6	20.2	17.9	17.5	20.3	20.7	17.2	18.0	19.1	23.3	27.4	18.5	20.8	17.5	17.2	20.8	21.6	27.4	20.0	19.7	20.8								
13:00	21.2	20.7	20.7	20.5	20.3	19.8	18.7	19.7	20.5	21.9	22.0	20.3	17.9	17.8	20.7	21.0	17.2	18.0	19.7	23.9	28.0	18.7	21.2	17.8	17.2	21.2	22.0	28.0	20.3	20.0	21.2								
14:00	21.6	21.2	21.1	20.7	20.6	19.9	18.9	19.8	20.7	22.1	22.0	20.1	18.0	17.8	20.9	21.1	17.3	17.4	20.2	24.3	28.5	18.9	21.6	17.8	17.3	21.6	22.1	28.5	20.6	20.1	21.4								
15:00	22.0	21.5	21.6	21.0	20.9	19.9	19.2	19.9	20.8	22.3	22.0	19.9	17.9	17.9	20.7	21.1	17.2	17.7	20.6	24.7	28.7	19.2	22.0	17.9	17.2	22.0	22.3	28.7	20.9	20.1	21.5								
16:00	22.5	21.9	22.0	21.3	21.2	20.0	19.4	19.8	20.8	22.3	21.9	19.6	17.8	18.0	20.7	20.9	17.3	17.8	20.8	25.0	28.8	19.4	22.5	17.8	17.3	22.5	22.3	28.8	21.2	20.0	21.6								
17:00	22.8	22.3	22.4	21.6	21.6	19.9	19.7	19.7	20.9	22.3	21.7	19.5	17.7	18.1	20.7	20.9	17.5	17.8	20.9	25.3	28.8	19.7	22.8	17.7	17.5	22.8	22.3	28.8	21.5	20.0	21.7								
PROM/DIA	20.1	19.7	19.8	19.6	19.6	19.1	18.3	18.7	19.4	20.7	20.9	19.5	18.0	18.0	20.0	20.6	18.1	18.3	19.6	23.5	27.1	18.2	16.6	14.8	14.8	22.8	22.3	28.8	20.3	19.2	20.4								
PROM/AULA	19.5										19.3										21.0																		

Hr/día	VALORES MEDIOS HUMEDAD RELATIVA OBTENIDOS DE MEDICIONES EN CAMPO																														HR int mínima			HR int máxima			HRint promedio		
	AULA E-08										AULA E-01										AULA F-11										E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11			
	8	9	10	11	12	13	14	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11									
8:00	43	49	47	53	53	51	51	55	55	28	30	46	53	61	58	56	57	60	57	36	27	43	28	27	53	61	60	49	61	50									
9:00	43	49	47	53	53	50	51	55	56	28	34	46	54	61	58	52	58	57	55	33	26	43	28	26	53	61	58	49	61	48									
10:00	43	49	47	53	53	50	51	55	54	27	34	45	54	61	56	52	59	54	52	30	23	43	27	23	53	61	59	49	61	47									
11:00	42	48	47	53	53	51	51	53	44	27	34	45	54	60	52	49	59	50	48	26	22	42	27	22	53	60	59	49	60	44									
12:00	41	47	47	52	53	51	51	51	37	25	36	45	53	59	51	45	62	48	46	26	20	41	25	20	53	62	62	49	59	43									
13:00	40	45	47	52	52	52	50	48	33	23	38	44	52	58	49	44	62	47	45	24	19	40	23	19	52	62	62	48	58	42									
14:00	42	47	46	53	51	53	49	48	32	20	39	43	53	59	50	45	59	50	44	24	19	42	20	19	53	59	59	49	59	41									
15:00	42	47	46	53	51	53	49	49	29	23	39	43	53	59	50	46	57	49	42	22	19	42	23	19	53	59	57	49	59	41									
16:00	44	46	46	52	51	53	48	51	27	21	39	44	54	59	50	47	61	47	40	23	19	44	21	19	53	61	61	49	59	41									
17:00	45	45	47	52	51	53	47	52	28	22	40	44	54	58	50	46	57	47	39	22	18	45	22	18	53	58	57	48	58	40									
PROM/DIA	42	47	47	53	52	52	50	52	40	25	36	44	53	60	52	48	59	51	47	27	21	40	20	18	53	62	62	49	60	44									
PROM/AULA	48.91										44.20										43.61																		

FR-2 Resultados mediciones Temperatura del aire y Humedad Relativa interior

Registro: Temperatura interior (°C) y humedad relativa (%) interior

Fecha: 8 al 30 de abril 2021

Periodo: transición frío-cálido

Instrumento de medición: Hobo, Marca ONSET DATA LOGGER N: 10691341 HOB0 4

Ubicación dentro del Parte posterior del lado del muro que da al pasillo interior

Hr/día	VALORES MEDIOS TEMPERATURA DEL AIRE OBTENIDOS DE MEDICIONES EN CAMPO																																										
	AULA E-08										AULA E-01										AULA F-11																						
	8	9	10	11	12	13	14	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	E-08	E-01	F-11																			
8:00	20.3	19.9	19.8	19.6	19.5	19.2	17.8	17.0	17.1	18.2	18.8	18.4	17.5	16.9	16.4	17.9	17.3	16.0	14.8	19.4	22.5	17.8	16.9	14.8	20.3	18.8	22.5	19.4	17.7	17.8	17.8	16.9	14.8	20.3	18.8	22.5	19.4	17.7	17.8				
9:00	20.3	19.8	19.8	19.5	19.5	19.2	17.9	17.3	17.6	18.7	19.2	18.5	17.5	17.0	16.8	18.1	17.2	16.6	15.8	20.0	23.4	17.9	17.0	15.8	20.3	19.2	23.4	19.2	23.4	18.3	17.9	17.0	15.8	20.3	19.2	23.4	19.2	23.4	18.3				
10:00	20.3	19.8	19.8	19.5	19.6	19.3	18.0	17.7	18.1	19.3	19.8	18.6	17.5	17.1	19.0	19.1	17.2	17.4	16.9	21.0	24.7	18.0	17.1	16.9	20.3	19.8	24.7	19.8	24.7	19.5	18.3	19.3	18.0	17.1	16.9	20.3	19.8	24.7	19.8	24.7	19.5	18.3	19.3
11:00	20.5	20.0	20.0	19.7	19.7	19.5	18.1	18.2	18.8	19.9	20.5	19.1	17.7	17.2	19.9	20.0	17.3	18.1	18.3	22.2	26.0	18.1	17.2	17.3	20.5	20.5	26.0	20.5	26.0	19.6	18.8	20.3	18.1	17.2	17.3	20.5	20.5	26.0	20.5	26.0	19.6	18.8	20.3
12:00	20.8	20.3	20.3	20.1	19.9	19.6	18.3	18.6	19.3	20.4	20.9	19.6	17.8	17.4	20.5	20.7	17.2	18.0	19.2	23.3	27.3	18.3	17.4	17.2	20.8	20.9	27.3	20.8	20.9	19.9	19.1	20.9	18.3	17.4	17.2	20.8	20.9	27.3	20.8	20.9	19.9	19.1	20.9
13:00	21.3	20.8	20.7	20.6	20.2	19.8	18.6	18.8	19.7	20.8	21.1	19.7	17.9	17.5	20.8	21.1	17.2	18.0	19.9	24.1	28.2	18.6	17.5	17.2	21.3	21.3	28.2	21.1	28.2	20.3	19.4	21.3	18.6	17.5	17.2	21.3	21.3	28.2	21.1	28.2	20.3	19.4	21.3
14:00	21.8	21.3	21.3	20.8	20.7	19.9	19.0	19.1	19.9	21.1	21.3	19.7	17.9	17.6	21.0	21.2	17.2	17.5	20.4	24.5	28.7	19.3	17.6	17.2	21.8	21.8	28.7	21.3	28.7	20.7	19.5	21.5	19.3	17.6	17.2	21.8	21.8	28.7	21.3	28.7	20.7	19.5	21.5
15:00	22.3	21.7	21.8	21.2	21.1	19.9	19.3	19.3	20.1	21.6	21.4	19.7	18.0	17.7	20.9	21.2	17.1	17.8	20.7	25.0	29.0	19.0	17.7	17.1	22.3	21.6	29.0	21.0	29.0	21.0	19.7	21.7	19.0	17.7	17.1	22.3	21.6	29.0	21.0	29.0	21.0	19.7	21.7
16:00	22.7	22.1	22.2	21.5	21.4	19.9	19.5	19.4	20.3	21.8	21.5	19.6	17.9	17.8	20.8	21.0	17.2	17.8	20.9	25.5	29.1	19.5	17.8	17.2	22.7	21.8	29.1	21.3	29.1	21.3	19.8	21.8	19.5	17.8	17.2	22.7	21.8	29.1	21.3	29.1	21.3	19.8	21.8
17:00	22.9	22.4	22.5	21.7	21.6	19.8	19.7	19.5	20.5	22.0	21.5	19.5	17.8	17.9	20.8	20.9	17.3	17.8	21.0	25.8	29.1	19.7	17.8	17.3	22.9	22.0	29.1	21.5	29.1	21.5	19.8	21.8	19.7	17.8	17.3	22.9	22.0	29.1	21.5	29.1	21.5	19.8	21.8
PROM/ DIA	20.1	19.8	19.9	19.6	19.6	19.0	18.2	18.4	19.0	20.2	20.5	19.4	18.1	17.9	20.1	20.6	18.0	18.4	19.6	23.6	27.1	17.8	16.9	14.8	22.9	22.0	29.1	20.3	29.0	20.3	19.0	20.5	17.8	16.9	14.8	22.9	22.0	29.1	20.3	29.0	20.3	19.0	20.5
PROM/AULA	19.43										19.09										21.05																						

Hr/día	VALORES MEDIOS HUMEDAD RELATIVA OBTENIDOS DE MEDICIONES EN CAMPO																																						
	AULA E-08										AULA E-01										AULA F-11																		
	8	9	10	11	12	13	14	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	E-08	E-01	F-11															
8:00	43	49	47	53	53	51	52	56	55	28	30	47	54	63	59	56	56	59	56	37	28	43	28	28	53	63	59	49	63	50	43	28	28	53	63	59	49	63	50
9:00	43	49	47	53	53	50	52	56	56	29	34	46	55	63	58	54	57	57	54	35	27	43	29	27	53	63	58	49	63	49	43	29	27	53	63	58	49	63	49
10:00	42	48	47	53	52	50	51	56	56	29	35	46	55	62	55	51	58	53	52	32	25	42	29	25	53	62	58	49	62	47	42	29	25	53	62	58	49	62	47
11:00	42	48	47	52	52	50	51	55	45	28	36	47	54	61	51	48	59	49	47	28	24	42	28	24	52	61	59	49	61	44	42	28	24	52	61	59	49	61	44
12:00	41	46	47	51	52	51	50	54	38	27	38	47	54	61	50	44	61	47	45	27	22	41	27	22	52	61	61	48	61	42	41	27	22	52	61	61	48	61	42
13:00	39	45	47	51	52	52	50	50	34	23	40	46	54	60	48	44	61	47	44	25	20	39	23	20	52	61	61	48	60	41	39	23	20	52	61	61	48	60	41
14:00	41	46	45	52	51	52	49	50	32	21	41	45	54	61	49	45	58	49	44	24	20	41	21	20	52	61	58	48	61	41	41	21	20	52	61	58	48	61	41
15:00	41	46	46	52	50	52	48	52	29	24	41	45	54	61	50	46	57	48	42	22	20	41	24	20	52	61	57	48	61	41	41	24	20	52	61	57	48	61	41
16:00	43	45	45	51	50	52	48	53	27	22	41	45	55	60	49	46	61	47	40	24	19	43	22	19	52	61	61	48	60	41	43	22	19	52	61	61	48	60	41
17:00	44	45	46	51	50	52	47	54	28	23	41	45	56	60	49	46	57	47	39	22	19	44	23	19	52	60	57	48	60	40	44	23	19	52	60	57	48	60	40
PROM/ DIA	42	47	46	52	52	51	50	54	40	25	38	46	54	61	52	48	58	50	46	28	22	39	21	19	53	63	61	49	61	44	39	21	19	53	63	61	49	61	44
PROM/AULA	49										45										44																		

FR-2 Resultados mediciones Temperatura del aire y Humedad Relativa interior

Registro: Temperatura interior (°C) y humedad relativa (%) interior
 Fecha: 8 al 30 de abril 2021

Periodo: transición frío-cálido

Instrumento de medición: Hobo, Marca ONSET DATA LOGGER N: 10691338 **HOBO 5**

Instrumento de Medición Hobo, Marca ONSET DATA LOGGER N: 10691338

Ubicación dentro del aula: Centro

Hr/día	VALORES MEDIOS TEMPERATURA DEL AIRE OBTENIDOS DE MEDICIONES EN CAMPO																														T int mínima			T int máxima			T int promedio		
	AUIA E-08										AUIA E-01										AUIA F-11										E-08			E-01			F-11		
	8	9	10	11	12	13	14	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11									
8:00	20.6	20.2	20.1	19.9	19.8	19.5	18.2	16.9	17.1	18.2	18.8	18.4	17.4	16.8	16.8	18.1	17.4	16.2	15.0	19.5	22.5	18.2	16.9	16.0	20.5	19.2	23.5	19.7	17.9	18.5									
9:00	20.5	20.1	20.0	19.8	19.7	19.4	18.2	17.3	17.5	18.7	19.2	18.4	17.4	16.9	17.2	18.3	17.3	16.8	16.0	20.2	23.5	18.2	17.0	17.1	20.5	19.8	24.8	19.7	18.3	19.4									
10:00	20.5	20.1	20.0	19.7	19.8	19.5	18.2	17.7	18.1	19.2	19.8	18.6	17.5	17.0	18.7	19.2	17.3	17.5	17.1	21.2	24.8	18.2	17.2	17.4	20.6	20.4	26.1	19.8	18.7	20.3									
11:00	20.6	20.1	20.1	19.8	19.8	19.6	18.2	18.2	18.7	19.8	20.4	19.0	17.6	17.2	19.8	20.2	17.4	18.0	18.3	22.3	26.1	18.4	17.3	17.3	20.8	20.8	27.1	19.9	19.0	20.8									
12:00	20.8	20.3	20.3	20.1	19.9	19.7	18.4	18.5	19.2	20.3	20.8	19.5	17.8	17.3	20.4	20.7	17.3	18.0	19.0	23.3	27.1	18.6	17.5	17.4	21.1	21.0	27.9	20.2	19.3	21.2									
13:00	21.1	20.7	20.6	20.4	20.2	19.8	18.6	18.7	19.5	20.7	21.0	19.7	17.9	17.5	20.7	21.0	17.4	18.0	19.7	23.9	27.9	18.8	17.6	17.4	21.5	21.2	28.3	20.5	19.4	21.4									
14:00	21.5	21.0	21.0	20.7	20.5	19.9	18.8	19.0	19.8	21.0	21.2	19.7	17.9	17.6	20.9	21.1	17.4	17.5	20.1	24.3	28.3	19.1	17.7	17.3	21.9	21.4	28.6	20.8	19.6	21.5									
15:00	21.9	21.4	21.4	20.9	20.8	19.9	19.1	19.2	20.0	21.4	21.4	19.6	17.9	17.7	20.7	21.0	17.3	17.8	20.5	24.7	28.6	19.4	17.8	17.4	22.4	21.7	28.7	21.1	19.7	21.6									
16:00	22.4	21.8	21.2	21.2	21.2	20.0	19.4	19.4	20.2	21.7	21.5	19.5	17.9	17.8	20.7	20.9	17.4	17.8	20.6	25.1	28.7	19.7	17.8	17.5	22.8	21.8	28.7	21.4	19.8	21.7									
17:00	22.8	22.2	22.3	21.5	21.5	19.9	19.7	19.4	20.4	21.8	21.5	19.5	17.8	17.9	20.7	20.9	17.5	17.8	20.7	25.4	28.7	18.2	16.9	16.0	22.8	21.8	28.7	20.3	19.1	20.7									
PROM/DIA	20.1	19.7	19.8	19.5	19.6	19.1	18.3	18.3	18.9	20.2	20.5	19.3	18.1	17.9	20.0	20.6	18.2	18.4	19.6	23.5	26.9																		
PROM/AUIA	19.44										19.03										21.02																		

Hr/día	VALORES MEDIOS HUMEDAD RELATIVA OBTENIDOS DE MEDICIONES EN CAMPO																														HR int mínima			HR int máxima			HRint promedio		
	AUIA E-08										AUIA E-01										AUIA F-11										E-08			E-01			F-11		
	8	9	10	11	12	13	14	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11									
8:00	41	47	45	51	51	49	50	55	54	28	29	46	53	61	57	55	58	55	35	27	41	28	27	51	61	58	48	48	61										
9:00	41	47	45	52	51	49	50	54	55	28	33	45	53	61	56	53	56	53	33	26	28	26	26	52	61	56	48	48	61										
10:00	41	47	46	52	51	49	50	55	54	28	35	45	53	61	55	51	57	52	31	24	41	28	24	52	61	57	48	48	61										
11:00	41	46	46	51	51	49	50	54	45	28	35	46	53	60	51	47	58	48	27	23	41	28	23	51	60	58	48	48	60										
12:00	40	45	46	51	51	50	49	53	38	26	37	46	53	59	49	43	60	46	26	21	40	26	21	51	60	60	47	47	59										
13:00	39	44	46	51	51	51	49	49	34	24	40	45	52	59	48	43	59	46	25	20	39	24	20	51	59	59	47	47	59										
14:00	41	46	45	52	50	51	48	49	33	21	40	44	53	59	49	44	57	49	24	20	41	21	20	52	59	57	48	48	59										
15:00	41	46	45	52	50	52	48	51	29	24	40	44	53	59	49	45	55	48	23	20	41	24	20	52	59	55	48	48	59										
16:00	43	45	45	51	50	52	47	52	27	22	40	44	54	59	49	46	59	46	23	19	43	22	19	52	59	55	48	48	59										
17:00	44	44	46	51	49	52	46	53	28	22	41	44	54	59	49	46	55	46	39	22	44	22	19	52	59	55	47	47	59										
PROM/DIA	41	46	45	51	51	50	49	52	40	25	37	45	53	60	51	47	57	49	46	27	39	21	19	52	61	60	48	48	60										
PROM/AUIA	48										45										43																		

FR-2 Resultados mediciones Temperatura del aire y Humedad Relativa interior

Registro: Temperatura | Temperatura interior (°C) y humedad relativa (%) interior

Fecha: 5 al 25 de octubre 2021

Periodo: **transición cálido-frío**

Instrumento de medición: Hobo, Marca ONSET DATA LOGGER N: 10691341 **HOBO 1**

Ubicación dentro del Parte frontal del lado del muro que da al exterior

		VALORES TEMPERATURA INTERIOR °C OBTENIDOS DE MEDICIONES EN CAMPO																								T int mínima			T int máxima			T int promedio		
		AULAE-01								AULAE-01								AULAE-01								F-11	E-01	F-11	E-01	F-11	E-01	F-11	E-01	
Hr		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	F-11	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01
8:00		24.3	22.1	22.4	21.3	19.8	19.0	20.1	20.6	19.9	19.9	21.3	22.5	22.7	22.5	20.2	17.4	17.6	18.1	18.2	17.7	18.5	19.03	19.91	17.42	24.29	22.68	20.17	21.30	21.36	18.24			
9:00		24.3	22.2	22.4	21.3	20.6	20.3	21.3	20.6	19.8	19.8	21.3	22.5	22.6	22.4	18.6	17.4	17.6	18.1	18.3	17.8	18.5	20.27	19.79	17.39	24.27	22.56	18.60	21.75	21.28	18.02			
10:00		24.4	22.5	23.6	21.5	21.1	21.6	22.4	20.5	19.7	19.8	21.5	22.7	22.5	22.4	18.5	17.5	17.7	18.2	18.4	17.8	18.6	21.06	19.75	17.53	24.41	22.66	18.56	22.44	21.29	18.09			
11:00		24.3	22.8	24.1	21.6	23.1	23.1	24.2	20.5	19.8	19.8	21.6	22.8	22.5	22.3	18.6	17.7	17.9	18.4	18.6	18.0	18.7	21.58	19.77	17.70	24.29	22.75	18.70	23.31	21.34	18.26			
12:00		25.2	23.2	24.2	21.8	24.1	24.3	25.4	20.5	19.9	20.0	21.9	23.0	22.6	22.4	18.7	17.9	18.2	18.7	18.7	18.2	18.8	21.84	19.89	17.94	25.36	22.97	18.82	24.02	21.46	18.46			
13:00		25.3	24.2	24.6	22.2	24.7	25.2	25.3	20.7	20.2	20.3	22.3	23.3	22.9	22.4	18.9	18.2	18.4	18.9	18.9	18.4	19.0	22.20	20.15	18.18	25.31	23.33	18.99	24.49	21.73	18.68			
14:00		25.6	24.8	24.5	22.4	24.8	25.6	25.1	21.0	20.6	20.8	22.8	23.9	23.4	22.4	19.2	18.5	18.8	19.2	19.1	18.7	19.1	22.39	20.58	18.51	25.65	23.86	19.22	24.69	22.12	18.95			
15:00		25.7	24.7	24.6	22.6	24.7	25.8	23.8	21.5	21.1	21.3	23.3	24.5	23.9	22.3	19.3	18.8	19.2	19.5	19.3	19.0	19.2	22.61	21.08	18.82	25.84	24.53	19.51	24.57	22.56	19.20			
16:00		25.9	24.6	24.2	22.5	24.1	25.3	23.4	21.8	21.5	21.7	23.8	25.0	24.3	22.3	19.5	19.1	19.5	19.7	19.4	19.2	19.3	22.54	21.49	19.08	25.87	25.04	19.70	24.29	22.92	19.37			
17:00		25.7	24.1	24.0	22.3	23.5	24.9	22.9	22.1	21.9	22.2	24.3	25.4	24.7	22.2	19.5	19.2	19.7	19.7	19.4	19.3	19.3	22.27	21.87	19.25	25.70	25.40	19.75	23.90	23.25	19.46			
PROM/DIA		25.07	23.51	23.85	21.96	23.05	23.50	23.39	20.97	20.43	20.57	22.41	23.55	23.20	22.37	19.10	18.18	18.46	18.84	18.84	18.41	18.89	19.03	19.75	17.39	25.87	25.40	20.17	23.48	21.93	18.67			
PROM/DIA		23.48																								21.93			18.67					

		VALORES MEDIOS HUMEDAD RELATIVA % OBTENIDOS DE MEDICIONES EN CAMPO																								HR int mínima			HR int máxima			RH int promedio		
		AULAE-01								AULAE-01								AULAE-01								F-11	E-01	F-11	E-01	F-11	E-01	F-11	E-01	
Hr		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	F-11	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01
8:00		57	68	64	65	62	59	40	45	33	35	29	24	24	43	45	47	51	57	58	56	63	40	24	45	68	45	63	59	33	54			
9:00		56	65	63	65	61	56	36	45	33	35	28	23	24	43	48	47	51	57	58	56	63	36	23	47	65	45	63	58	33	54			
10:00		57	61	60	65	59	51	33	44	33	35	27	23	24	44	49	47	50	56	58	57	63	33	23	47	65	44	63	55	33	54			
11:00		57	61	55	65	55	48	35	40	33	35	26	23	24	44	50	47	49	55	59	57	62	35	23	47	65	44	62	54	32	54			
12:00		55	62	54	65	46	45	43	36	32	34	26	22	24	44	50	47	46	55	60	57	63	43	22	46	65	44	63	53	31	54			
13:00		53	58	55	64	40	35	43	34	34	35	25	22	24	45	49	44	44	55	60	57	62	35	22	44	64	45	62	50	31	53			
14:00		55	56	55	64	40	29	44	32	30	33	25	23	25	46	48	44	45	55	59	57	62	29	23	44	64	46	62	49	31	53			
15:00		55	56	54	62	44	31	45	31	30	34	24	24	26	47	46	46	49	56	58	56	63	31	24	46	62	47	63	49	31	53			
16:00		54	56	54	59	47	30	46	30	30	35	24	22	27	46	46	48	50	58	56	60	63	30	22	46	59	46	63	49	31	54			
17:00		55	59	55	58	49	31	47	30	31	36	23	22	29	46	47	51	52	59	55	61	64	31	22	47	59	46	64	50	31	56			
PROM/DIA		55	60	57	63	50	41	41	37	32	35	26	23	25	45	48	47	49	56	58	57	63	29	22	44	68	47	64	53	32	54			
PROM/DIA		53																								32			54					

FR-2 Resultados mediciones Temperatura del aire y Humedad Relativa interior

Registro: Temperatura interior (°C) y humedad relativa (%) interior

Fecha: 5 al 25 de octubre 2021

Periodo: transición cálido-frío

Instrumento de medición: Hobo, Marca ONSET DATA LOGGER N: 10691341 HOBO 2

Ubicación dentro del Parte posterior del lado del muro que da al exterior

VALORES TEMPERATURA INTERIOR °C OBTENIDOS DE MEDICIONES EN CAMPO																														
AULA F-11					AULA E-08					AULA E-01					T int mínima					T int máxima					T int promedio					
Hr	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	F-11	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01
8:00	24.1	22.1	22.2	21.1	19.6	18.9	20.0	20.2	19.5	19.5	21.2	22.4	22.5	22.3	19.7	16.8	17.1	17.6	17.8	17.2	18.2	18.9	19.5	16.8	24.1	22.5	19.7	21.1	21.1	17.8
9:00	24.1	22.1	22.2	21.1	20.2	19.9	20.9	20.2	19.3	19.5	21.2	22.4	22.3	22.2	18.0	16.8	17.1	17.6	17.9	17.3	18.2	19.9	19.3	16.8	24.1	22.4	18.2	21.5	21.0	17.6
10:00	24.2	22.4	23.4	21.3	20.8	21.3	22.1	20.2	19.3	19.4	21.5	22.5	22.3	22.2	17.9	16.9	17.2	17.7	18.1	17.4	18.3	20.8	19.3	16.9	24.2	22.5	18.3	22.2	21.1	17.7
11:00	24.2	22.7	23.9	21.4	22.9	22.8	24.3	20.1	19.4	19.5	21.7	22.7	22.3	22.2	18.1	17.2	17.3	18.0	18.3	17.7	18.5	21.4	19.4	17.2	24.3	22.7	18.5	23.1	21.1	17.9
12:00	25.0	23.0	24.1	21.6	23.7	24.1	25.3	20.1	19.6	19.7	21.9	23.0	22.5	22.2	18.3	17.6	17.5	18.5	18.6	17.9	18.7	21.6	19.6	17.5	25.3	23.0	18.7	23.8	21.3	18.1
13:00	25.2	24.1	24.5	22.0	24.6	25.3	25.2	20.5	20.0	20.2	22.4	23.4	22.9	22.3	18.6	18.0	17.9	18.8	18.8	18.2	18.9	22.0	20.0	17.9	25.3	23.4	18.9	24.4	21.7	18.4
14:00	25.6	24.7	24.5	22.2	24.9	25.8	25.0	21.0	20.6	20.8	22.9	24.0	23.4	22.3	19.0	18.5	18.3	19.3	19.1	18.7	19.1	22.2	20.6	18.3	25.8	24.0	19.3	24.7	22.1	18.8
15:00	25.7	24.6	24.5	22.5	24.7	25.8	24.0	21.5	21.2	21.4	23.5	24.7	24.0	22.2	19.2	18.8	18.9	19.6	19.3	19.0	19.2	22.5	21.2	18.8	25.8	24.7	19.6	24.5	22.7	19.1
16:00	25.8	24.4	24.2	22.4	24.0	25.4	23.6	21.8	21.6	21.9	24.0	25.2	24.4	22.2	19.3	19.1	19.4	19.7	19.3	19.2	19.2	22.4	21.6	19.1	25.8	25.2	19.7	24.3	23.0	19.3
17:00	25.6	24.0	23.9	22.1	23.4	24.9	22.4	22.1	21.9	22.3	24.4	25.6	24.7	22.1	19.3	19.2	19.6	19.7	19.2	19.3	19.1	22.1	21.9	19.1	25.6	25.6	19.7	23.8	23.3	19.4
PROM/ DIA	24.95	23.42	23.73	21.76	22.89	23.41	23.28	20.77	20.23	20.43	22.48	23.57	23.16	22.22	18.76	17.90	19.75	18.65	18.64	18.20	18.73	18.9	19.3	16.8	25.8	25.6	19.7	23.3	21.8	18.4
PROM/AULA	23.35					21.84					18.66																			

VALORES MEDIOS HUMEDAD RELATIVA % OBTENIDOS DE MEDICIONES EN CAMPO																														
AULA F-11					AULA E-08					AULA E-01					HR int mínima					HR int máxima					RH int promedio					
Hr	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	F-11	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01
8:00	57	64	65	63	59	41	46	34	34	36	30	24	25	43	47	48	52	57	59	57	63	41	24	47	67	46	63	60	34	55
9:00	57	64	63	66	62	57	38	46	34	36	29	24	25	44	49	48	52	57	59	57	63	38	24	48	66	46	63	58	34	55
10:00	57	62	61	66	60	52	35	45	34	36	28	24	25	45	50	49	52	57	59	58	63	35	24	49	66	45	63	56	34	55
11:00	57	62	56	65	56	49	38	41	34	36	27	24	25	45	51	49	52	56	60	58	63	38	24	49	65	45	63	55	33	55
12:00	55	62	55	65	47	46	44	37	33	36	27	24	25	45	51	48	50	56	61	58	62	44	24	48	65	45	62	53	33	55
13:00	54	58	56	64	40	35	43	35	33	35	27	24	25	46	51	46	47	55	60	57	62	35	24	46	64	46	62	50	32	54
14:00	56	56	55	64	41	29	44	34	32	35	26	24	26	47	49	45	46	55	59	57	62	29	24	45	64	47	62	49	32	53
15:00	55	56	54	62	45	31	45	33	31	35	26	24	26	48	47	46	46	55	59	56	63	31	24	46	62	48	63	50	32	53
16:00	54	57	54	59	47	31	46	32	31	36	25	24	28	47	47	48	49	57	56	60	63	31	24	47	62	47	63	50	32	54
17:00	56	59	55	58	50	32	48	31	32	37	24	23	29	47	48	51	50	59	56	61	64	32	23	48	59	47	64	51	32	56
PROM/ DIA	56	60	57	63	51	42	42	38	33	36	27	24	26	46	49	48	52	56	59	58	63	29	23	45	67	48	64	53	33	55
PROM/AULA	53.15					32.74					55.02																			

FR-2 Resultados mediciones Temperatura del aire y Humedad Relativa interior

Registro: Temperatura interior (°C) y humedad relativa (%) interior

Fecha: 5 al 25 de octubre 2021

Periodo: transición cálido-frío

Instrumento de medición: Hobo, Marca ONSET DATA LOGGER N: 10691338

Instrumento de Medición: Hobo, Marca ONSET DATA LOGGER N: 10691338

Ubicación dentro del aula: Centro

HOBO 5

Hr	VALORES TEMPERATURA INTERIOR °C OBTENIDOS DE MEDICIONES EN CAMPO																									T int mínima			T int máxima			T int promedio					
	AULA F-11							AULA E-08							AULA E-01											F-11			E-08			E-01					
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	F-11	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01				
8:00	24.5	22.3	22.5	21.3	20.0	19.4	20.6	20.6	19.9	19.9	21.4	22.6	22.8	22.7	20.2	17.3	17.5	18.0	18.2	17.6	18.4	19.4	19.8	17.3	24.5	22.6	18.6	22.1	21.3	18.0							
9:00	24.5	22.4	22.6	21.3	21.0	21.0	22.2	20.5	19.8	19.8	21.4	22.5	22.6	22.5	18.6	17.3	17.5	18.0	18.2	17.7	18.4	21.0	19.7	17.4	24.6	22.7	18.5	22.8	21.3	18.0							
10:00	24.6	22.7	23.9	21.6	21.4	22.3	23.1	20.5	19.7	19.7	21.5	22.7	22.6	22.5	18.4	17.4	17.6	18.1	18.3	17.7	18.5	21.4	19.7	17.6	24.7	22.8	18.7	23.6	21.3	18.2							
11:00	24.5	22.9	24.3	21.7	23.6	23.6	24.7	20.4	19.7	19.8	21.7	22.8	22.6	22.5	18.5	17.6	17.8	18.3	18.5	17.9	18.7	21.7	19.8	17.8	25.8	22.9	18.8	24.3	21.4	18.4							
12:00	25.5	23.3	24.3	22.0	24.5	24.8	25.8	20.3	19.8	19.9	21.9	22.9	22.7	22.4	18.7	17.8	18.0	18.6	18.7	18.1	18.8	22.0	18.1	18.1	25.7	23.3	19.0	24.7	21.7	18.6							
13:00	25.4	24.3	24.7	22.4	25.1	25.6	25.7	20.6	20.2	20.3	22.3	23.3	23.0	22.5	18.8	18.1	18.3	18.8	18.8	18.3	19.0	22.4	20.6	18.4	25.9	23.9	19.2	24.9	22.2	18.9							
14:00	25.8	24.9	24.7	22.5	25.3	25.9	25.5	21.0	20.6	20.8	22.8	23.9	23.4	22.5	19.1	18.4	18.7	19.2	19.1	18.6	19.1	22.5	21.1	18.7	26.0	24.6	19.5	24.8	22.6	19.2							
15:00	25.8	24.8	24.8	22.7	24.9	26.0	24.2	21.5	21.1	21.3	23.4	24.6	24.0	22.5	19.3	18.7	19.2	19.5	19.3	18.9	19.2	22.7	21.6	19.0	26.0	25.1	19.6	24.5	23.0	19.3							
16:00	26.0	24.7	24.4	22.6	24.3	25.5	23.8	21.9	21.6	21.8	23.9	25.1	24.4	22.4	19.4	19.0	19.4	19.6	19.3	19.2	19.3	22.6	22.0	19.2	25.8	25.6	19.7	23.9	23.4	19.4							
17:00	25.8	24.2	24.1	22.4	23.7	25.0	22.1	22.3	22.0	22.3	24.4	25.6	24.8	22.3	19.5	19.2	19.6	19.7	19.3	19.3	19.3	22.1	20.4	18.1	25.2	23.6	19.0	23.7	22.0	18.6							
PROM/DIA	25.2	23.7	24.0	22.0	23.4	23.9	23.8	21.0	20.4	20.6	22.5	23.6	23.3	22.5	19.0	18.1	18.3	18.8	18.8	18.3	18.9	19.4	19.7	17.3	26.0	25.6	19.7	23.9	22.0	18.6							
PROM/AULA																										23.7			22.0			18.6					

Hr	VALORES MEDIOS HUMEDAD RELATIVA % OBTENIDOS DE MEDICIONES EN CAMPO																									HR int mínima			HR int máxima			RH int promedio					
	AULA F-11							AULA E-08							AULA E-01											F-11			E-08			E-01					
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	F-11	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01	F-11	E-08	E-01				
8:00	56	66	63	64	61	58	40	45	33	35	30	25	25	42	45	47	51	57	58	56	62	40	25	45	66	45	62	58	34	54							
9:00	56	64	61	65	60	54	36	45	34	36	29	24	25	43	48	47	51	56	58	56	62	36	24	47	65	45	62	57	34	54							
10:00	56	60	59	64	58	50	33	44	34	36	28	24	25	44	49	47	51	56	58	57	62	33	24	47	64	44	62	54	34	54							
11:00	56	60	54	64	53	47	35	41	34	36	27	24	25	44	50	48	50	55	59	57	62	35	24	48	64	44	62	53	33	54							
12:00	54	60	54	64	46	45	42	36	33	36	27	24	25	44	50	47	48	55	60	57	62	42	24	47	64	44	62	52	32	54							
13:00	52	58	55	63	39	36	42	34	32	35	26	24	25	45	50	46	46	55	60	57	62	36	24	46	63	45	62	49	32	54							
14:00	54	55	55	63	40	30	43	33	31	34	26	24	26	46	48	45	45	55	59	57	62	30	24	45	63	46	62	49	31	53							
15:00	54	55	53	61	44	32	44	32	31	34	25	24	27	47	46	46	49	55	58	56	62	32	24	46	61	47	62	49	31	53							
16:00	53	56	54	58	47	31	45	32	31	36	25	24	28	46	46	48	50	57	56	59	63	31	24	46	58	46	63	49	32	54							
17:00	54	58	54	57	49	32	49	31	32	37	24	23	29	46	47	50	52	58	55	61	63	32	23	47	58	46	63	50	32	55							
PROM/DIA	55	59	56	62	50	42	41	37	32	35	27	24	26	45	48	47	49	56	58	57	62	30	23	45	66	47	63	52	32	54							
PROM/AULA																										52			32			54					

FR-3 Resultados mediciones Temperatura y Humedad Relativa exterior

Registro : Temperatura del aire (°C) y Humedad Relativa (%) exterior

Ubicación: UABC, Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California

Fecha: 5 al 25 de octubre 2021

Periodo: Transición calido-frío

Instrumento de Medición: Unidad meteorológica FCITEC

Datos obtenidos de: Meteored:Satélite Geostacionario Operacional Ambiental (GOES) programa estadounidense del National Weather Service "NWS" de la NOAA

https://www.meteored.mx/clima_Valle+de+las+Palmas-America+Norte-Mexico-Baja+California--1-74072.html

Responsable: María Teresa de la Cruz Chaldez

Hora/Día	Temperatura exterior °C unidad meteorológica FCITEC																									T min	T ext máxima °C			T max	T promedio °C	T prom	
	SEMANA 1					SEMANA 2					SEMANA 3					SEM-1	SEM-2	SEM-3															
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19				20	21	22	23	24	25	SEM-1		SEM-2	SEM-3					
8:00	18.9	17.4	17.5	16.6	13.6	11.6	12.5	13.7	9.7	10.5	22.3	20.5	12.6	14.4	9.8	9.4	9.7	11.2	15	14	15	11.6	9.7	9.4	9.4	18.9	22.3	15	22.3	15.4	14.8	12.0	14.1
9:00	19.0	17.8	18.7	16.4	14.3	13.8	16.8	15.6	14	13.8	23.9	24.3	16.7	15.6	12.2	12.7	13.6	12.1	16	16	15	13.8	13.8	12.1	12.1	19	24.3	16	24.3	16.7	17.7	13.9	16.1
10:00	20.1	18.2	20.4	16.7	15.5	18.2	22.6	17.9	17.7	17.9	25.1	27.4	19.5	17	15	16.5	21	17.2	17	*	16	15.5	17	15	15.0	22.6	27.4	21	27.4	18.8	20.4	17.1	18.8
11:00	20.8	18.8	21.7	17.2	19.1	22	22.9	19.8	20.2	22.1	26.1	28.3	23.9	17.5	16.3	18.4	25.3	21.1	18	18	18	17.2	17.5	16.3	16.3	22.9	28.3	25.3	28.3	20.4	22.6	19.3	20.7
12:00	22.5	19.8	22.2	18.7	21.8	24.9	21.6	19.2	22.7	24.8	28.8	29.7	25.6	18.1	18.3	21.8	31.2	20.9	19	20	20	18.7	18.1	18.3	18.1	24.9	29.7	31.2	31.2	21.6	24.1	21.6	23.0
13:00	24.3	22.0	21.1	19.1	22.7	26.7	20.9	21.1	23.2	24.4	27.4	30.6	25.5	16.9	19.2	22.7	27.8	22.6	21	*	20	19.1	16.9	19.2	16.9	26.7	30.6	27.8	30.6	22.4	24.2	22.2	23.0
14:00	22.4	21.9	21.8	19.8	22.8	27.3	20.1	20.9	23.3	24.9	27.6	31.3	25.4	18.3	20.2	23.4	25.9	23.9	21	20	21	19.8	18.3	20	18.3	27.3	31.3	25.9	31.3	22.3	24.5	22.2	23.0
15:00	23.6	22.8	21.7	19.7	22.6	26.5	19.2	19.8	22.2	24.1	27.9	29.9	24	16	19.8	23.2	25.6	22.1	21	22	21	19.2	16	19.8	16.0	26.5	29.9	25.6	29.9	22.3	23.4	22.1	22.6
16:00	23.7	21.6	21.7	19.6	21.6	26.1	17.8	18.5	21.3	23.8	27.4	28.7	22.6	16.8	19.2	22.8	24.4	21.3	20	*	20	17.8	16.8	19.2	16.8	26.1	28.7	24.4	28.7	21.7	22.7	21.3	21.9
17:00	22.8	19.8	20.3	19.6	20.6	25.2	16.6	17.6	19.9	22.4	26.4	27.2	21.8	16.4	17.8	20.6	23.2	21	18	17	18	16.6	16.4	17	16.4	25.2	27.2	23.2	27.2	20.7	21.7	19.4	20.6
Prom	21.8	20.0	20.7	18.3	19.46	22.23	19.1	18.41	19.4	20.87	26.29	27.79	21.76	16.7	16.78	19.2	22.8	19.3	18.6	18.1	18.4	11.6	9.7	9.4	9.4	27.3	31.3	31.2	31.3	20.2	21.6	19.1	20.3

Hora/Día	Humedad % unidad meteorológica FCITEC																									HR min ext/hr	% HR ext máxima			HR max ext/hr	% RH ext promedio	HR prom ext/h	
	SEMANA 1					SEMANA 2					SEMANA 3					SEM-1	SEM-2	SEM-3															
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19				20	21	22	23	24	25	SEM-1		SEM-2	SEM-3					
8:00	83	94	89	90	93	93	67	73	58	61	21	17	37	80	90	83	88	94	66	67	66	67	17	66	17	94	80	94	94	87	50	79	72
9:00	83	91	83	92	93	92	46	50	39	51	19	15	29	75	86	74	75	94	70	*	78	46	15	70	15	93	75	94	94	83	40	80	67
10:00	79	87	72	91	88	68	32	27	30	36	17	13	24	68	73	54	40	62	75	*	72	32	13	40	13	91	68	75	91	74	31	63	55
11:00	76	82	66	90	64	54	49	21	27	29	16	12	19	65	66	47	20	51	71	35	63	49	12	20	12	90	65	71	90	69	27	50	49
12:00	65	79	63	87	46	43	57	20	20	24	15	11	16	63	57	34	15	54	63	*	55	43	11	15	11	87	63	63	87	63	24	46	44
13:00	62	67	72	81	38	23	58	17	18	23	15	10	20	70	50	35	25	47	55	*	52	23	10	25	10	81	70	55	81	57	25	45	42
14:00	70	67	68	77	50	23	61	16	19	23	14	10	23	66	44	38	37	44	52	*	52	23	10	37	10	77	66	52	77	59	25	45	43
15:00	64	66	67	71	54	28	63	20	24	34	13	11	32	76	47	43	39	55	54	*	54	28	11	39	11	71	76	55	76	59	30	49	46
16:00	67	70	66	71	58	29	67	25	31	38	12	11	36	66	52	46	45	46	58	*	58	29	11	45	11	71	66	58	71	61	31	51	48
17:00	69	78	71	74	62	33	68	24	35	41	13	13	41	70	56	57	51	57	63	*	63	33	13	51	13	78	70	63	78	65	34	58	52
Prom	72	78	72	82	65	49	57	29	30	36	16	12	28	70	62	51	44	60	63	51	62	23	10	15	10	94	80	94	94	68	32	56	52

Resultados temperatura en periodo transición frío-cálido

Periodo de transición frío cálido 2021

Fecha/Hr	Aula/sensor	T prom.(C)	T min (C)	T máx. (C)	HR %
8-14 ABR	E8-1	20.26	17.55	23.22	46.55
SEMANA 1	E8-2	20.51	16.96	24	46.66
8 AM-5 PM	E8-3	20.2	17.38	22.82	48.18
	E8-4	19.94	17.05	22.93	48.3
	E8-5	19.96	17.41	22.75	47.46
17-23 ABR	E1-1	19.31	16.72	22.25	43.91
SEMANA 2	E1-2	19.3	16.6	22.36	44.16
8 AM-5 PM	E1-3	19.02	16.93	21.96	45.43
	E1-4	19.19	16.55	22.41	45.11
	E1-5	18.95	16.84	21.84	44.53
24-30 ABR	F11-1	20.83	14.65	29.16	41.65
SEMANA 3	F11-2	20.91	14.67	29.31	41.7
8 AM-5 PM	F11-3	20.61	14.79	28.83	42.94
	F11-4	20.59	14.83	16.36	43.08
	F11-5	20.48	14.96	28.74	42.7

Nota: Ubicación de HOBOS en el aula

- 1 área frontal lado derecho
- 2 área posterior derecho
- 3 área frontal lado izquierdo
- 4 área posterior izquierda
- 5 área central del aula

R-LN REGISTRO DE MEDICION LUZ NATURAL										
Lugar: Universidad Autónoma de Baja California, FCITEC, Valle de las Palmas, Tijuana, B.C.										
Ubicacion de las aulas: Edificio E, 1er. Nivel y Edificio F, 2do. nivel										
Fecha de medición: 24 de abril 2021										
Condiciones climáticas: Soleado, 20.3°C, HR=49%, Va=14.8 km/hr										
Marca, modelo y número de serie del instrumento de medicion:										
EXTECH INSTRUMENTS, Led Light Meter LT40										
	Sensor	E-01/NE	E-08/SO	F-11/SE		Sensor	E-01/NE	E-08/SO	F-11/SE	
Hora	HOBO #	LUX	LUX	LUX		Hora	HOBO #	LUX	LUX	LUX
8:00 A.M.	1	528.9	121.6	365.9		13:00 P.M.	1	199.2	292.4	194.3
	2	369.5	173.3	273.2			2	401.9	576.5	223.1
	3	98.2	65.9	66.3			3	83.2	108.3	52.9
	4	102.2	70.2	62.4			4	226.8	171.5	54.9
	5	151.2	85.5	95.2			5	128.8	183.2	76.2
8:30 A.M.	1	503	135.1	449.1		13:30 P.M.	1	180.7	319.5	160.1
	2	546.8	177.9	349.2			2	348.7	585.3	188.9
	3	96.2	70.9	78.7			3	78.9	108	47.6
	4	232.2	78.8	72.5			4	175.4	180.5	50
	5	162.1	75.6	112.6			5	124.5	189.8	64.2
9:00 A.M.	1	442.3	112.8	568.6		14:00 P.M.	1	169.2	355.8	135.3
	2	358.6	175.6	545.8			2	311.8	601.2	163.8
	3	87.7	60.8	111.2			3	83.1	115.7	41.5
	4	193.4	69	99.2			4	155.6	194.3	42.8
	5	133	66.1	215.5			5	121.7	198.3	55.4
9:30 A.M.	1	449.2	121.6	560.5		14:30 P.M.	2	292.6	654.5	131.2
	2	496.5	181.9	561.6			3	88.6	122.6	32.6
	3	91.3	64.8	116.6			4	142.2	205.4	35.4
	4	288.2	72.6	103.4			5	124.8	216.7	47.1
	5	181.4	77.7	223.6		15:00 P.M.	1	190.8	433.5	102.2
10:00 A.M.	1	402.1	187.6	523.4			3	90.4	132.2	30.3
	2	554	265.4	491			4	129.3	246.3	35.5
	3	87.7	71.4	112.7			5	126.3	230.8	46.5
	4	309.1	91.8	92.2		15:30 P.M.	1	170.8	503.8	95.1
	5	153.6	111.5	211.3			2	250.4	833.2	109.4
10:30 A.M.	1	348.5	197.5	508.6			4	126.3	244.5	31.8
	2	526.1	297.3	526.3			5	120.2	254.2	42.4
	3	88.4	77.3	101.1		16:00 P.M.	1	174.9	582.4	99.1
	4	303.9	92	97.9			2	248.2	100.3	111.2
	5	138.7	106.3	142.9			3	80.4	166	30.1
11:00 A.M.	1	317.6	197.2	478.2			5	116.4	309.4	44.1
	2	495.4	358.3	476.3		16:30 P.M.	1	162.9	982.6	94.5
	3	78.9	81.4	100.6			2	235	131.9	106.1
	4	268.3	110.6	93.1			3	69.3	165.2	29.4
	5	134.8	116.1	145.1			4	118.2	232.3	33.7
11:30 A.M.	1	271.7	242.1	409.8		17:00 P.M.	1	145.8	155.2	86.7
	2	487.2	516	435.5			2	220.5	132.2	93.8
	3	76.4	88.3	91.4			3	57.5	181	25.3
	4	306.2	118.1	94.9			4	92.1	242.2	31.9
	5	132.2	146.2	130.5			5	88.7	373.4	40.5
12:00 P.M.	1	262	240.3	311.2		PROMEDIO		221.6	222.2	168.2
	2	487.9	528.3	337.1		MAXIMA		554	982.6	568.6
	3	77.4	99.2	79.7		MINIMA		57.5	60.8	25.3
	4	310.4	138.1	81.5						
	5	134.2	173.8	129						
12:30 P.M.	1	240.3	268.4	264.2						
	2	478.6	575.8	288.7						
	3	77.3	101.5	69.3						
	4	300.9	149.6	69.2						
	5	133.5	177.6	95.4						

7. Bibliografía

- Aghniaey, Sama, C. et al. Benton, Thomas M. Lawrence, Tara Nicole Sharpton, Samuel Paul Douglass, Tucker Oliver, and Morgan Sutter. 2019. "Thermal Comfort Evaluation in Campus Classrooms during Room Temperature Adjustment Corresponding to Demand Response." *Building and Environment* 148:488–97.
- Al-Khatatbeh, Baraa J., Nouh Ma'bdeh, Shouib. 2017. "District Improving Visual Comfort and Energy Efficiency Existing Classrooms Using Passive Daylighting Techniques Assessing the Feasibility of Using the Heat Demand-Outdoor a Temperature Function for a Long-Term." *Energy Procedia* 136:102–8.
- Anguita, Alicia, Julián Arco, and David Hidalgo. 2018. "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 ." *Anales de Edificación* 4:55–64.
- ANSI/ASHRAE Standard 55. 2004. "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy." 2004.
- ANSI/ASHRAE Standard 55. 2017. "ANSI/ASHRAE Standad 55-2017.Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy." *ASHRAE Standard* (66).
- Arballo, Bruno Damian, Ernesto Kuchen, and Yesica Alamino Naranjo. 2016. "Evaluación de Modelos de Confort Térmico Para Interiores." in *VIII Congreso Regional de Tecnología de la Arquitectura-Creta*.
- Aries, Myriam B. C. 2005. "Human Lighting Demands, Healthy Lighting in an Office Environment." *Technische Universiteit Eindhoven 2005* (2005):158.
- ASHRAE STANDARD. 2011. "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy." *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.* 2010.
- Auliciems, Andris. 2007. "Thermal Comfort." *PLEA NOTES* (January 2007).
- Barrett, Peter, Fay Davies, Yufan Zhang, and Lucinda Barrett. 2015. "The Impact of Classroom Design on Pupils' Learning: Final Results Ofaholistic, Multi-Level Analysis." *Building and Environment* 89:118–33.
- Barrett, Peter, Zhang Yufan, Davies Fay, and Barrett Lucinda. 2015. *Clever Classrooms - Summary Report of the HEAD Project*. Blackpool, Hampshire and the London Borough of Ealing.
- Barrett, Peter, Yufan Zhang, Fay Davies, and Lucinda Barrett. 2015. *Clever Classrooms - Summary Report of the HEAD Project*.

- Buratti, C., E. Belloni, F. Merli, and P. Ricciardi. 2018. "A New Index Combining Thermal, Acoustic, and Visual Comfort of Moderate Environments in Temperate Climates." *Building and Environment* 139:27–37.
- Buratti, Cinzia, Domenico Palladino, and Elisa Moretti. 2017. "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* 126:115–22.
- Comité Español de Iluminación e Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. 2005. *Guía Técnica. Aprovechamiento de La Luz Natural de Edificios*. edited by IDAE. Madrid: IDAE.
- Corgnati, Stefano Paolo, Roberta Ansaldi, and Marco Filippi. 2009. "Thermal Comfort in Italian Classrooms under Free Running Conditions during Mid Seasons : Assessment through Objective and Subjective Approaches." *Building and Environment* 44(4):785–92.
- Corvalán, Rubén Edgard, E. Ferrari, Norberto Argentino Sanabria, V. Titiosky, J. Sáenz Pérez, A. Amarilla, J. Peris, C. Marsilli, and D. Larrea. 2015. "Iluminación y Confort En Las Aulas y Laboratorios de Carreras Técnicas de Grado Universitario." *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica* 2(June):98–105.
- De Dear, Richard, Gail Brager, and Donna Cooper. 1997. "Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference." *ASHRAE Transactions* (March):1–297.
- de Dear, Richard J., and Gail Schiller Brager. 1997. "Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference." *ASHRAE Transactions* 104(Pt 1A):145–67.
- de Dear Richard y Brager G. S. 1998. "Thermal Adaptation in the Built Environment: A Literature Review." *Energy and Buildings* 27:83–96.
- Diego-Mas, José Antonio. Evaluación del confort térmico con el método de Fanger. Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia, 2015. [consulta 12-10-2022]. Disponible online: <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/fanger/fanger-ayuda.php>.
- Draganova, Vanya, Kazuyo Tsuzuki, and Yuki Nabeshima. 2019. "Comfort of University Students in Dormitories."
- El-Darwish, Ingy I., and Rana A. El-Gendy. 2018. "Post Occupancy Evaluation of Thermal Comfort in Higher Educational Buildings in a Hot Arid Climate." *Alexandria Engineering Journal* 57(4):3167–77.
- Fabozzi, Michael, and Alessandro Dama. 2020. "Field Study on Thermal Comfort in Naturally Ventilated and Air-Conditioned University Classrooms." *Indoor and Built Environment* 29(6):851–59.

- Ferrara, Maria, Elisa Sirombo, and Enrico Fabrizio. 2018. "Automated Optimization for the Integrated Design Process : The Energy , Thermal and Visual Comfort Nexus." *Energy & Buildings* 168:413–27.
- Freewan, Ahmed A. Y., and Jackline A. Al Dalala. 2020. "Assessment of Daylight Performance of Advanced Daylighting Strategies in Large University Classrooms; Case Study Classrooms at JUST." *Alexandria Engineering Journal* 59(2):791–802.
- Galal, Kareem S. 2019. "The Impact of Classroom Orientation on Daylight and Heat-Gain Performance in the Lebanese Coastal Zone." *Alexandria Engineering Journal* 58(3):827–39.
- Giraldo, Natalia, Maíra Longhinotti, Fernando O. R. Pereira, and Ariane Kuhnen. 2019. "Luminous and Visual Preferences of Young Children in Their Classrooms : Curtain Use , Artificial Lighting and Window Views." *Building and Environment* 152(September 2018):59–73.
- Giraldo Vázquez, Natalia, Maíra Longhinotti, Fernando O. R. Pereira, and Ariane Kuhnen. 2019. "Luminous and Visual Preferences of Young Children in Their Classrooms : Curtain Use , Artificial Lighting and Window Views." *Building and Environment* 152(January):59–73.
- Heracleous, C., and A. Michael. 2019. "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." *Journal of Building Engineering*.
- Van Hoof, Joost, Mitja Mazej, and J. Hensen. 2010. "Thermal Comfort : Research and Practice." *Frontiers in Bioscience* 15 (December):765–88.
- IMPLAN. 2010. "Programa de Desarrollo Urbano Del Centro de Población de Tijuana, B.C. 2008-2030 PDUCP T 2010-2030." 515.
- INIFED. 2011. "Normas y Especificaciones Para Estudios Proyectos Construcción e Instalaciones." *Infraestructura Educativa INIFED* 3(Tomo I. Diseño Arquitectónico):1–26.
- Instituto sindical de Trabajo. 2019. "Exposición Laboral a Estrés Térmico Por Calor y Sus Efectos En La Salud." *Fundacion Estatal Para La Prevencion de Riesgos Laborlaes*. 1–43.
- ISO 7730:2005. 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." 49.
- Iso, Une-en. 2008. "Española."
- Jindal, Aradhana. 2018. "Thermal Comfort Study in Naturally Ventilated School Classrooms in Composite Climate of India." *Building and Environment* 142(May):34–46.
- Kong, Deyu, Hong Liu, Yuxin Wu, Baizhan Li, Shen Wei, and Mengwei Yuan. 2019. "Effects of Indoor Humidity on Building Occupants' Thermal Comfort and Evidence in Terms of Climate

- Adaptation.” *Building and Environment* 155:298–307.
- Korsavi Sepideh S., Zomorodian Zahra Sadat, and Mohammad Tahsildoost. 2016. “Visual Comfort Assessment of Daylit and Sunlit Areas: A Longitudinal Field Survey in Classrooms in Kashan, Iran.” *Energy and Buildings* 128:305–18.
- Kritikou, Sofia Kristina. 2018. *Evaluation of Acoustic , Visual and Thermal Comfort Perception of Students in the Educational Building at KTH Campus A Study Case in a University Building in Stockholm*.
- Krüger, Eduardo L., and Paulo H. T. Zannin. 2004. “Acoustic, Thermal and Luminous Comfort in Classrooms.” *Building and Environment* 39(9):1055–63.
- Liu, Jialu, Xian Yang, Qiwen Jiang, Jiayi Qiu, and Yanhua Liu. 2019. “Occupants ’ Thermal Comfort and Perceived Air Quality in Natural Ventilated Classrooms during Cold Days.” *Building and Environment* 158(May):73–82.
- Martínez Rincón, Julio César, and Víctor Fuentes. 2016. “Estimación Del Confort Térmico a Partir de La Cconfrontación de Sus Dos Enfoques de Estudio Caso Aplicado.” Pp. 1–86 in *Estudios de arquitectura bioclimática*. Vol. XII, edited by Gloria María Castorena Espinosa.
- Mayorga, Juan Raymundo Cervantes. 2005. “Modelo Holístico Para Analizar El Confort Térmico Del Ser Humano Dentro de Los Edificios.” 180.
- Michael, Aimilios, and Chryso Heracleous. 2017. “Assessment of Natural Lighting Performance and Visual Comfort of Educational Architecture in Southern Europe : The Case of Typical Educational School Premises in Cyprus.” *Energy & Buildings* 140:443–57.
- Mishra, A. K., M. T. H. Derks, L. Kooi, M. G. L. C. Loomans, and H. S. M. Kort. 2017. “Analysing Thermal Comfort Perception of Students through the Class Hour , during Heating Season , in a University Classroom.” *Building and Environment* 125:464–74.
- Mishra, Asit Kumar, and Maddali Ramgopal. 2015. “A Thermal Comfort Fi Eld Study of Naturally Ventilated Classrooms In.” *Building and Environment* 92:396–406.
- Monroy, Manuel Martin. 2006. *Manual de La ILUMINACION*. Ayuntamiento. Las Palmas de Gran Canaria: Manuales de Diseño ICARO.
- Nematchoua, Modeste Kameni, René Tchinda, Paola Ricciardi, and Noël Djongyang. 2014. “A Field Study on Thermal Comfort in Naturally-Ventilated Buildings Located in the Equatorial Climatic Region of Cameroon.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39:381–93.
- Nico, Maria Anna, Stefania Liuzzi, and Pietro Stefanizzi. 2015. “Evaluation of Thermal Comfort in University Classrooms through Objective Approach and Subjective Preference Analysis.” *Applied Ergonomics* 48:111–20.
- NMX-AA-164-SCFI-2013 Secretaría de Economía. 2013. “Norma Mexicana NMX-AA-164-SCFI-

- 2013 Edificación Sustentable-Criterios y Requerimientos Ambientales Mínimos.” 1–158. Retrieved (<https://www.google.com/search?q=NORMA+MEXICANA+NMX-AA-164-SCFI-2013+EDIFICACIÓN+SUSTENTABLE++CRITERIOS+Y+REQUERIMIENTOS+AMBIENTALES+MÍNIMOS&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b>).
- Ole Fanger, P., and Jørn Toftum. 2002. “Extension of the PMV Model to Non-Air-Conditioned Buildings in Warm Climates.” Pp. 533–36 in *Energy and Buildings*. Vol. 34.
- Olgay, Victor. 1998. *Arquitectura y Clima. Manual de Diseño Bioclimático Para Arquitectos y Urbanistas*. edited by S. A. Gustavo Gili. Barcelona.
- Pazhoohesh, Mehdi, D. Ph, Cheng Zhang, and A. M. Asce. 2018. “Investigating Occupancy-Driven Air-Conditioning Control Based on Thermal Comfort Level.” *Journal of Architectural Engineering* 24(2):1–20.
- Ricciardi, Paola, and Cinzia Buratti. 2018a. “Environmental Quality of University Classrooms : Subjective and Objective Evaluation of the Thermal , Acoustic , and Lighting Comfort Conditions.” *Building and Environment* 127(September 2017):23–36.
- Ricciardi, Paola, and Cinzia Buratti. 2018b. “Environmental Quality of University Classrooms: Subjective and Objective Evaluation of the Thermal, Acoustic, and Lighting Comfort Conditions.” *Building and Environment* 127(August 2017):23–36.
- Rincón, Julio, Gonzalo Bojórquez, Víctor Fuentes, Claudia Calderón, Facultad De Ingeniería, Arquitectura Diseño, Universidad Autónoma, and De Baja California. 2017. “Adaptive Thermal Comfort in Learning Spaces : A Study of the Cold Period in Ensenada , Baja California.” *Journal of Natural Resources and Development* 7:96–107.
- Sadick, Abdul-manan, and Mohamed H. Issa. 2018. “Assessing Physical Conditions of Indoor Space Enclosing Elements in Schools in Relation to Their Indoor Environmental Quality.” *Journal of Building Engineering* 20(August):520–30.
- Sampieri, Roberto Hernández. 2014. *Metodología de La Investigación*. edited by S. A. D. C. V. McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES. México D.F.: Mc GrawHill Education.
- Sampieri, Roberto Hernández, Carlos Fernández Collado, Dra María, Baptista Lucio, Sergio Méndez Valencia, Christian Paulina, and Mendoza Torres. 2014. “Dr. Roberto Hernández Sampieri.” *Mc Graw Hill*.
- Secchi, Simone, Fabio Sciarpi, Leone Pierangioli, and Matteo Randazzo. 2015. “Retrofit Strategies for the Improvement of Visual Comfort and Energy Performance of Classrooms with Large Windows Exposed to East.” *Energy Procedia* 78:3144–49.
- Secretaría del Trabajo y Prevision Social. 2008. “Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008.

- Condiciones de Iluminación En Los Centros de Trabajo.” 1–13.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social, NOM-025-STPS-2008. 2008. “NOM-025-STPS-2008, Condiciones de Iluminación En Los Centros de Trabajo.”
- SEGOB. 2013. “Norma Mexicana NOMX-R-021-SCFI-2013 Escuelas Calidad de La Infraestructura Física Educativa: Requisitos.” *Secretaría de Economía* 64.
- SEP, Secretaría de Educación Pública. 2017. “Diagnóstico. E010 Servicios de Educación Superior y Posgrado.” *Subsecretaría de Planeación, Evaluación y Coordinación*.
- Shan, Xin, Anastasia Nissa Melina, and En Hua Yang. 2018. “Impact of Indoor Environmental Quality on Students’ Wellbeing and Performance in Educational Building through Life Cycle Costing Perspective.” *Journal of Cleaner Production* 204:298–309.
- Singh, Manoj Kumar. 2019. “Progress in Thermal Comfort Studies in Classrooms over Last 50 Years and Way Forward.” *Energy and Buildings* 188–189:149–74.
- Subhashini, S., and K. Thirumaran. 2018a. “A Passive Design Solution to Enhance Thermal Comfort in an Educational Building in the Warm Humid Climatic Zone of Madurai.” *Journal of Building Engineering* 18:395–407.
- Subhashini, S., and K. Thirumaran. 2018b. “A Passive Design Solution to Enhance Thermal Comfort in an Educational Building in the Warm Humid Climatic Zone of Madurai.” *Journal of Building Engineering* 18:395–407.
- Tang, Hao, Yong Ding, and Brett Singer. 2020. “Interactions and Comprehensive Effect of Indoor Environmental Quality Factors on Occupant Satisfaction.” *Building and Environment* 167(October 2019):106462.
- UNE 12464.1. 2022. “Light and Lighting - Lighting of Work Places - Part 1: Indoor Work Places.”
- Valdiviezo, Cedeño. 2010. “Materiales Bioclimáticos.” *Redalyc*.
- Vilcekova, S., et al. 2017. “Indoor Environmental Quality of Classrooms and Occupants’ Comfort in a Special Education School in Slovak Republic.” *Building and Environment* 120:29–40.
- Yang, Da, and Cheuk Ming Mak. 2020. “Relationships between Indoor Environmental Quality and Environmental Factors in University Classrooms.” *Building and Environment* 186(August):107331.
- Yao, Runming, Jing Liu, and Baizhan Li. 2010. “Occupants’ Adaptive Responses and Perception of Thermal Environment in Naturally Conditioned University Classrooms.” *Applied Energy* 87(3):1015–22.
- Young, Bonnie N., Wande O. Benka-Coker, Zachary D. Weller, Shannon Oliver, Joshua W. Schaeffer, and Sheryl Magzamen. 2021. “How Does Absenteeism Impact the Link between School’s Indoor Environmental Quality and Student Performance?” *Building and*

Environment 203(June):108053.

Zaki Sheikh Ahmad, Aisyah Siti, Hom Bahadur, and Aya Hagishima. 2017. "Adaptive Thermal Comfort in University Classrooms in Malaysia and Japan." *Building and Environment* 122:294–306.

Zomorodian, Zahra S., and Mohammad Tahsildoost. 2019. "Assessing the Effectiveness of Dynamic Metrics in Predicting Daylight Availability and Visual Comfort in Classrooms." *Renewable Energy* 134:669–80.