

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente

Reconocimiento de validez oficial de estudios de nivel superior según acuerdo secretarial 15018,
publicado en el Diario Oficial de la Federación del 29 de noviembre de 1976.

Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano Maestría en Proyectos y Edificación Sustentables



Estrategias de confort climático y ahorro energético en edificios universitarios en el Área Metropolitana de Guadalajara, México.

TRABAJO RECEPCIONAL que para obtener el **GRADO** de
MAESTRA EN PROYECTOS Y EDIFICACIÓN SUSTENTABLES

Presenta: Arq. Néstor Joel Ponce Barreto

Tutor: Mtro. Oscar Humberto Castro

Tlaquepaque, Jalisco. Noviembre de 2024.

Resumen

Las emisiones de gases de efecto invernadero producto de las actividades humanas son una de las principales causas del cambio climático y del calentamiento global. Las emisiones de gases de efecto invernadero que resultan de la operación y mantenimiento de las edificaciones van en aumento y son el resultado, entre otros, de la quema de hidrocarburos para la climatización artificial.

Este trabajo aborda el confort higrotérmico y el ahorro energético en edificaciones de Instituciones de Educación Superior. El confort higrotérmico es parte fundamental de la salud humana, ya que, si las personas no se encuentran dentro de la zona de confort higrotérmico, el cuerpo se ve obligado a activar distintos mecanismos para evitar un golpe de calor o hipotermia. El confort higrotérmico permite también que las personas logren una mayor productividad de sus actividades y, en el caso de los edificios destinados a la educación, que se logre un mejor aprovechamiento en los procesos de aprendizaje.

El propósito de este trabajo es estudiar el confort higrotérmico de las personas en dos edificios de la Universidad del Valle de Atemajac Campus Área Metropolitana de Guadalajara, para identificar estrategias que permitan la mejora de las condiciones de confort en dichos edificios, a través del uso de la arquitectura pasiva y ecotecnias, que permitan un ahorro energético y disminuyan las emisiones de CO₂.

Para identificar las mejores estrategias de mitigación, en este trabajo se realizó un monitoreo de condiciones climáticas de diversos espacios educativos, se llevaron a cabo encuestas de confort higrotérmico, basadas en la norma 55 de ASHRAE y se utilizaron simuladores para evaluar el confort térmico. Se propusieron estrategias pasivas como aislantes en losa, cambios en la ventanería, rediseño de celosías e introducción de vegetación para reducir ganancias de calor y ahorrar energía eléctrica. Se realizó un análisis costo-beneficio que analiza la viabilidad económica de estas propuestas y se presentan algunos escenarios de inversión. Este trabajo ofrece un enfoque que identifica y respalda estrategias para mejorar el confort higrotérmico con beneficios económicos y ambientales.

Palabras clave: Confort higrotérmico, Instituciones de Educación Superior, ahorro energético, Norma ASHRAE 55.

Abstract

Greenhouse gas emissions resulting from human activities are a significant contributor to climate change and global warming. The emissions of greenhouse gases from the operation and maintenance of buildings are increasing, primarily due to the combustion of hydrocarbons for artificial climate control.

This study focuses on hygrothermal comfort and energy efficiency in buildings of Higher Education Institutions. Hygrothermal comfort is critical for human health, as being outside the comfort zone can lead to the activation of various mechanisms to prevent heatstroke or hypothermia. Additionally, hygrothermal comfort contributes to higher productivity in activities, particularly in educational settings, where it supports better learning processes.

The primary objective of this study is to investigate the hygrothermal comfort of individuals in two buildings at the University of Valle de Atemajac, Campus Metropolitan Area of Guadalajara. To achieve this, a methodology suggested by ASHRAE Standard 55 was implemented.

The secondary objective is to identify strategies that improve comfort conditions in these buildings through passive architecture and eco-technologies, promoting energy savings and reducing CO₂ emissions. To identify optimal mitigation strategies, the study conducted climate monitoring in various educational spaces, implemented hygrothermal comfort surveys based on ASHRAE Standard 55, and utilized simulators to assess thermal comfort. Additionally proposed passive strategies include insulation on floors, changes in window systems, redesign of sunshades, and the introduction of vegetation to reduce heat gains and save electrical energy. Additionally, a cost-benefit analysis was performed to evaluate the economic feasibility of these proposals, presenting various investment scenarios. This comprehensive approach aims to identify and support strategies for enhancing hygrothermal comfort with both economic and environmental benefits.

Key words: Hygrothermal comfort, universities, energy saving, ASHRAE 55.

Agradecimientos

Agradezco de manera especial al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONACYT) por su valioso respaldo financiero, que hizo posible la realización de esta investigación. También quiero expresar mi gratitud a la Universidad del Valle de Atemajac por brindarme el acceso a sus instalaciones, facilitando así el desarrollo de este trabajo académico.

No puedo dejar de reconocer la destacada contribución del Mtro. Oscar Humberto Castro, cuyo asesoramiento ha sido fundamental para el éxito de esta investigación. Asimismo, extendiendo mi agradecimiento a cada uno de mis profesores del posgrado, quienes, con su dedicación, me han proporcionado el conocimiento necesario a lo largo de toda la maestría. Su apoyo y orientación han sido invaluable en mi formación académica.

Índice

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	12
Cambio Climático y Calentamiento global.....	14
La sustentabilidad en las Instituciones de Educación Superior	16
Sistemas de evaluación de la sustentabilidad en las Instituciones de Educación Superior ..	17
Delimitación del objeto de innovación	18
Ubicación de campo disciplinar.....	18
Glosario de términos.....	20
CAPÍTULO 2 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN-PROBLEMA	22
Consecuencias del cambio climático y su relación con las edificaciones	22
Efectos del cambio climático en México	24
Los mecanismos internacionales para combatir el cambio climático.....	25
El campus universitario de la Universidad del Valle de Atemajac y su relación con el cambio climático	27
Bases teóricas del confort higrotérmico.....	31
Confort higrotérmico	31
Las aportaciones de Povl Ole Fanger al estudio del confort higrotérmico	34
Sobre la norma ISO 7330.....	35
Sobre la norma ASHRAE 55	36
Discusión sobre las metodologías para medir el confort higrotérmico.....	39
Sobre la NOM-008-ENER-2001.....	40
Caso de estudio: Centro Diana en Barnard College / Weiss / Manfredi.....	42
Objetivos del trabajo	44
Justificación	45
Limitaciones.....	45
Hipótesis	45
Preguntas generadoras	46
Descripción de las variables.....	46
CAPÍTULO 3. DISEÑO METODOLÓGICO	48

Análisis bioclimático de la Área Metropolitana de Guadalajara	49
Presentación de los edificios a analizar	55
Descripción del Edificio 4	56
Materiales en la envolvente del Edificio 4.....	58
Descripción del Edificio 6	60
Materiales de la envolvente del Edificio 6.....	62
Diseño y aplicación del cuestionario basado en la norma ASHRAE 55	63
Diseño del cuestionario.....	63
Diseño de la muestra y aplicación de la encuesta	64
Datos relevantes de la encuesta aplicada el 25 de mayo del 2022 en el Edificio 4	65
Datos relevantes de la encuesta aplicada el 9 de mayo del 2022 en el Edificio 6	67
Discusión de resultados.....	69
Monitoreo de condiciones de temperatura y humedad relativa	71
Principales resultados del monitoreo de temperatura y humedad.....	72
Resultados del monitoreo de temperatura y humedad del Edificio 6	72
Discusión de los resultados del monitoreo y del cuestionario aplicados en el Edificio 6	80
Datos sobresalientes del monitoreo de temperatura y humedad del Edificio 4	81
Discusión de resultados.....	85
Cálculo del Voto Medio Estimado.....	87
Edificio 6.....	89
Edificio 4.....	91
Análisis y discusión de los resultados.....	92
CAPÍTULO 4. DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN.....	93
Sobre el aislamiento térmico en losa	95
Espuma de poliuretano.....	95
Panel de poliestireno extruido (XPS).....	95
Discusión sobre las propuestas de aislamiento de losas existentes en el mercado	98
Ahorro energético a través de la losa de azotea.....	99
Ahorro energético en losa del Edificio 6	99
Ahorro energético en losa del Edificio 4	101
Diseño de parasoles.....	103

Conclusión	113
Estrategia de vegetación al sur en el Edificio 6	114
Rediseño de ventanearía	118
Propuesta de difusión sobre las tecnologías pasivas de los edificios.....	121
CAPITULO 5 PROPUESTA ECONÓMICA Y ANÁLISIS COSTO BENEFICIO.....	124
Presupuesto de acciones de mitigación en el Edificio 6	124
Presupuesto de acciones de mitigación en el Edificio 4	132
CAPITULO 6. CONCLUSIONES	136
Sobre la metodología utilizada.....	136
Sobre la propuesta de difusión.....	139
Sobre el análisis costo beneficio	140
Consideraciones y Perspectivas Futuras	143
Bibliografía	145
Anexo A Encuesta.....	153
Anexo B Calculo de la NOM 008.....	156
Anexo C Planos del Edificio 4.....	159
Anexo D Planos del Edificio 6.....	161
Anexo E Presupuestos de acciones de mitigación	162
Anexo F Presupuesto del Edificio 6.....	163
ANEXO G Presupuesto del edificio 4	165
Anexo H Cartas de vinculación	166
Anexo J Participación en el Cuarto Congreso de Hábitat y Sustentabilidad	168

Índice de figuras

Figura 1_ <i>Granja de paneles fotovoltaicos en el Campus de la Universidad del Valle de Atemajac en Zamora, Michoacán, México</i>	19
Figura 2 <i>Paneles fotovoltaicos en la Universidad del Valle de Atemajac Campus Guadalajara</i>	19
Figura 3_ <i>Gráfica anual de la temperatura de bulbo seco</i>	29

Figura 4 <i>Proyección de posibles ahorros financieros que obtendría en Campus Universitario con la eficiencia energética de sus edificios</i>	30
Figura 5 <i>Gráfico de la zona de confort</i>	37
Figura 6 <i>Fachada sur del Centro Diana</i>	42
Figura 7 <i>Detalle de cristales en fachada</i>	43
Figura 8 <i>Gráfica anual de la temperatura de bulbo seco</i>	50
Figura 9 <i>Gráfica solar del solsticio de invierno al solsticio de verano</i>	50
Figura 10 <i>Gráfica solar del solsticio de verano al solsticio de invierno</i>	51
Figura 11 <i>Carta psicrométrica anual</i>	52
Figura 12 <i>Estrategias bioclimáticas para aplazar las horas de confort higrotérmico en las edificaciones</i>	53
Figura 13 <i>Fachada sur del Edificio 4</i>	56
Figura 14 <i>Fachada norte del Edificio 4</i>	56
Figura 15 <i>Diagrama de la distribución arquitectónica del Edificio 4</i>	57
Figura 16 <i>A) Interior del aula tipo del Edificio 4 B) Pasillos del Edificio 4</i>	58
Figura 17 <i>Diagrama de los componentes de la envolvente del Edificio 4</i>	59
Figura 18 <i>Fachada norte del Edificio 6</i>	60
Figura 19 <i>Fachada sur del Edificio 6</i>	60
Figura 20 <i>Fotografías del aula tipo Edificio 6</i>	61
Figura 21 <i>Diagrama de distribución arquitectónica del Edificio 6</i>	61
Figura 22 <i>Envolvente del Edificio 6</i>	62
Figura 23 <i>Resultados de la percepción del clima en la encuesta del Edificio 4</i>	65
Figura 24 <i>Resultados de la conformidad de la humedad relativa en la encuesta del Edificio 4</i>	66
Figura 25 <i>Resultados encuesta la pregunta 4, en dos aulas del Edificio 6, el 9 de mayo, durante el segundo periodo de monitoreo</i>	69
Figura 26 <i>Equipo de monitoreo de temperatura y humedad relativa de la marca HBO</i>	71
Figura 27 <i>Croquis de la localización del equipo de monitoreo de temperatura y humedad relativa en el Edificio 6</i>	73
Figura 28 <i>Gráfica comparativa de la temperatura interna en las aulas del Edificio 6 semana del 28 de abril al 03 de mayo del 2022</i>	74

Figura 29 Gráfica comparativa de la temperatura interna en las aulas de Edificio 6 del 4 al 9 de mayo del 2022.....	77
Figura 30 Comparativa de la humedad relativa interna y externa del 28 de abril al 3 de mayo del 2022	78
Figura 31 Comparativa de la humedad relativa interna y externa del 4 al 9 de mayo del 2022	79
Figura 32 Croquis de la localización del equipo de monitoreo de temperatura y humedad relativa en el Edificio 4.....	82
Figura 33 Grafica comparativa de la temperatura interna de las aulas y la externa en el Edificio 4, de la semana de 18 de mayo a 25 de mayo del 2022.....	84
Figura 34 Grafica comparativa de la humedad relativa interna de las aulas y la externa, de la semana de 18 de mayo a 25 de mayo del 2022.....	85
Figura 35 Carta psicométrica de la zona de confort higrotérmico humedad temperatura relación al aislamiento de ropa.....	88
Figura 36 Rangos aceptables de temperatura operativa y velocidad promedio del aire V_a para las zonas de confort de 1,0 y 0,5 clo.....	89
Figura 37 Método analítico del PMV en el Edificio 6.....	90
Figura 38 Método analítico del PMV en el Edificio 4.....	91
Figura 41 Instalación de la espuma de poliuretano en losa.....	97
Figura 42 Instalación de la espuma del Panel XPS.....	103
Figura 43 Instalación de la espuma del Panel EPS.....	104
Figura 44 Asoleamiento de la fachada sur del Edificio 6 en el mes de mayo.....	104
Figura 45 Fotografía de la fachada sur del Edificio 6 a las 18:30 horas en el mes de marzo.....	105
Figura 46 Movimiento aparente del sol y asoleamiento del Edificio 6.....	105
Figura 47 Estudio solar del Edificio 6 en Revit en el primero de septiembre.....	106
Figura 48 Asoleamiento de la fachada sur del Edificio 4 en el mes de mayo.....	107
Figura 49 Grafica solar de diciembre a junio.....	108
Figura 50 Grafica solar de junio a diciembre.....	109
Figura 51 Medidas de la ventana tipo en la fachada sur del Edificio 6.....	110
Figura 52 Detalle en corte de la incidencia solar en ventanas orientadas a la fachada sur.....	110
Figura 53 Detalle en corte longitudinal de la propuesta para disminuir la incidencia solar en ventanas orientadas a la fachada sur.....	111

Figura 54 Simulación ambiental de los parasoles propuestos en el Edificio 6 a las 9:30 horas, en el mes de mayo	112
Figura 55 Simulación ambiental de los parasoles propuestos en el Edificio 6 a las 16:30 horas, en el mes de mayo	112
Figura 56 Propuesta de colocación de Fresnos en la plazoleta sur, vista en planta.....	116
Figura 57 Estudio solar con la plazoleta sur vegetada vista el 1 de septiembre.....	117
Figura 58 Ventanas actuales en Edificio 6 y 4.....	118
Figura 59 Diseño de ventanearía nueva en el edificio 6.....	119
Figura 60 Diseño de ventanearía nueva en el edificio 4 en fachada	120
Figura 61 Diseño de ventanearía nueva en el Edificio 4 en pasillos.....	120
Figura 62 Ubicación de infografía para las estrategias pasivas en el Edificio 6.....	122
Figura 63 Ubicación de infografía para las estrategias pasivas en el Edificio 4.....	123

Índice de Tablas

Tabla 1 Consumo mensual de energía eléctrica del campus Guadalajara de la Universidad del Valle de Atemajac en 2022.....	28
Tabla 2 Modelos que explican parcial o totalmente al fenómeno del confort térmico.....	32
Tabla 3 Operacionalización de variables	47
Tabla 4 Resultados de la encuesta del Edificio 4 con relación a la ropa.....	65
Tabla 5 Resultados de la encuesta del Edificio 6 con relación a la ropa.....	68
Tabla 6 Estrategias pasivas por utilizar para mejorar el confort térmico de los usuarios.....	94
Tabla 7 Comparativa de ventajas y desventajas de los tres sistemas de aislamiento térmico para las 97	
Tabla 8 Cálculo operativo de la Gancia de calor por conducción del Edificio 6, losa actual	100
Tabla 9 Cálculo operativo de la Gancia de calor por conducción del Edificio 6, losa proyectada con el aislante.....	100
Tabla 10 Cálculo operativo de la gancia de calor por conducción del Edificio 4, losa actual	101
Tabla 11 Cálculo operativo de la gancia de calor por conducción del Edificio 4, losa proyectada con el aislante.....	101
Tabla 12 Características del Fresno.....	114
Tabla 13 Ventajas y desventajas del Fresno (<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.....	115
Tabla 14 Presupuesto de las cuatro medidas de mitigación propuestas para el Edificio 6.....	124

Tabla 15 <i>Calendario de aplicación de estrategias Sustentables Edificio 6</i>	126
Tabla 16 <i>Consumo de energía eléctrica en meses calurosos</i>	127
Tabla 17 <i>Análisis costo beneficio de las propuestas en el Edificio 6 por etapas</i>	128
Tabla 18 <i>Análisis costo beneficio de las propuestas en el Edificio 6</i>	130
Tabla 19 <i>Costos de implementación de propuestas en el Edificio 4</i>	132
Tabla 20 <i>Análisis costo beneficio por plazos de las propuestas del Edificio 4</i>	133
Tabla 21 <i>Análisis costo beneficio del Edificio 4</i>	134

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Desde la década de 1960, la preocupación por diversos problemas ambientales y las estrategias para abordarlos ha incrementado. En la Conferencia de Estocolmo de 1972, se declaró que los problemas ambientales son reales y preocupantes. Tetreault (2004) señala que en dicha conferencia “*se bosquejó una estrategia para enfrentarlos, así como la degradación ambiental y la 'contaminación transfronteriza'. Este último concepto era muy importante, ya que indicaba que la contaminación no reconoce límites políticos o geográficos y afecta a los países, regiones y pueblos más allá de su punto de origen*”.

En las décadas subsecuentes, se observó una ampliación del concepto de cuidado del medio ambiente, y adquirió un alcance transnacional que alentó a la cooperación global. Este paradigma instó a todas las naciones a abordar de manera integral el fenómeno del cambio climático, que llevó a proponer medidas concretas para mitigar problemáticas ambientales específicas. Este enfoque se fundamenta en la premisa de que la preservación del entorno no solo constituye una responsabilidad local, sino también una preocupación compartida a nivel internacional. En consecuencia, se promueven acciones concertadas que trascienden las fronteras nacionales, que propician una colaboración global dirigida a la protección sostenible del medio ambiente (Tetreault, 2004).

En 1983, se observó un aumento significativo en los impactos adversos al medio ambiente. En respuesta a este fenómeno, las Naciones Unidas instituyeron la Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo (WCED, por sus siglas en inglés, World Commission on Environment and Development) con el propósito de elaborar una agenda integral que incluyera estrategias eficaces para mitigar el cambio climático y proponer un modelo de desarrollo sostenible a largo plazo, con metas alcanzables para el año 2000. La creación de esta comisión refleja el reconocimiento a nivel internacional de la urgencia de abordar de manera coordinada los desafíos ambientales. (Tetreault, 2004).

En 1987, la Doctora Gro Harlem Bruntland presentó ante la ONU el informe "Nuestro futuro común", comúnmente conocido como el "Informe Bruntland", que ofrece una descripción detallada del desarrollo sostenible, un término que ha sido un referente desde entonces. (Tetreault, 2004).

Con la aprobación de la WCED, el informe planteó la meta de cambiar el paradigma económico, social y ambiental mundial a partir del año 2000. Sin embargo, al considerar que la lista de responsabilidades era demasiado optimista, se revisó y se propuso una alternativa más realista denominada Objetivos del Milenio (ODM). Estos objetivos se centraron en situaciones que requerían atención urgente, como la pobreza extrema. (Tetreault, 2004).

Bajo estas circunstancias, la ONU observó que este enfoque generaba resultados, y el 25 de septiembre de 2015 se acordó firmar la Nueva Agenda de Desarrollo Sostenible, titulada "Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible". En ese documento se establecieron 17 objetivos para el medio ambiente y las personas, conocidos como Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). (Tetreault, 2004).

La definición prevalente para el desarrollo sustentable, citada en el informe Bruntland, se expresa de la siguiente manera:

El desarrollo sustentable es un desarrollo que satisface las necesidades del presente sin disminuir la habilidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas. Contiene dos conceptos clave: el concepto de 'necesidades', particularmente las necesidades básicas de los pobres, las cuales deberían tener prioridad; y la idea de que el estado de tecnología y la organización social actual imponen limitaciones al medio ambiente en cuanto a su habilidad de satisfacer las necesidades del presente y del futuro (WCED, 1987).

Cambio Climático y Calentamiento global

Según datos de la Organización Mundial de las Naciones Unidas (ONU, 2002), la actividad humana genera gases de efecto invernadero que provocan un aumento en la temperatura del planeta y han alcanzado el ritmo más alto de los últimos 2000 años.

En comparación con la época preindustrial a finales del siglo XIX, la temperatura media de la Tierra ha aumentado en 1.1 °C. Por lo tanto, la Tierra es ahora más cálida que hace 100,000 años, y los últimos diez años (2011-2020) se registraron como los más calurosos. Cada década desde 1850 fue más cálida que la anterior. (ONU, 2021).

La principal causa del cambio climático desde la década de 1800 es la actividad humana, especialmente mediante la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas. Esta combustión libera gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono y el metano, que atrapan el calor del sol alrededor de la Tierra y contribuyen al calentamiento global. La agricultura y las actividades relacionadas con el petróleo y el gas son fuentes importantes de emisiones de metano. (ONU, 2021).

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés, United Nations Framework Convention on Climate Change) establece que, como medida para mitigar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), se implementó el Protocolo de Kioto. Este acuerdo recibió aprobación oficial el 11 de diciembre de 1997 y entró en vigor el 16 de febrero de 2005, con la participación de 192 países. El protocolo impone compromisos legalmente vinculantes, principalmente dirigidos a naciones más desarrolladas, basados en la premisa de que estas tienen una mayor responsabilidad en el fenómeno del cambio climático. (UNFCCC, 1992).

El 8 de diciembre de 2012 se ratificó la Enmienda de Doha al protocolo, programada para entrar en vigor en 2013 y con validez hasta 2020. (UNFCCC, 1992).

Durante el segundo período de compromiso, los países acordaron reducir las emisiones de GEI en un 18% con respecto a los niveles de 1990 en un lapso de ocho años, entre 2013 y 2020. Es importante destacar que la composición de los países en este segundo período difiere de la del primero. (UNFCCC, 1992).

México suscribió el Protocolo de Kioto en 1998 en el contexto de las Naciones Unidas, aunque su entrada en vigor en el país ocurrió en el año 2000. (GOB, 2022).

La Nueva Agenda Urbana, un documento de la Asamblea General de las Naciones Unidas, propone la mejora del entorno construido. En el ámbito del consumo energético, aboga por el desarrollo de sistemas de energía comunitarios para alcanzar fuentes renovables y reconoce la necesidad de gobernanza comunitaria y participación en la planificación energética, especialmente en áreas propensas a desastres naturales. (ONU-Habitat, 2020).

En México, el término "desarrollo sostenible" se incorporó oficialmente en 1996 mediante la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (D.O.F, 1988). El Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 establece el compromiso del gobierno mexicano de impulsar el desarrollo sostenible y mantener el equilibrio en los aspectos económico, ecológico y social. (D.O.F, 1988).

En el ámbito de la presente investigación, realizada en el estado de Jalisco, se destaca la orientación proactiva del mismo a través de su "Plan de Gobernanza y Desarrollo". Este plan evidencia un enfoque específico hacia las estrategias para el fomento de energías alternativas. Entre las medidas contempladas se encuentra la promoción de la eficiencia energética en nuevas construcciones, industrias y sistemas de transporte, mediante la implementación de regulaciones y programas estatales con ese fin. (GEJ, 2019).

Asimismo, el estado de Jalisco impulsa el desarrollo de empresas vinculadas a energías alternas e incentiva la mitigación de emisiones asociadas a la generación de energía limpia. Este enfoque se alinea con una política soberana, sostenible y de bajas emisiones, que busca alcanzar niveles óptimos de eficiencia energética en consonancia con los objetivos de desarrollo y sustentabilidad establecidos. (GEJ, 2019).

La sustentabilidad en las Instituciones de Educación Superior

La sustentabilidad en las Instituciones de Educación Superior (IES) se encuentra en concordancia con tratados y declaraciones a nivel nacional e internacional, y muestra el compromiso ambiental y social de diversas instituciones académicas en todo el mundo. (Del Mar Alonso- Alemeria , Miramon , & Cansi, 2014).

La Declaración de Talloires, creada en octubre de 1990, presenta un plan de 10 puntos para integrar el desarrollo sustentable y la alfabetización ambiental en la enseñanza, la investigación, la extensión y las operaciones de las IES (Zapata González, Quiceno Hoyos, & Tabares Hidalgo, 2016). La Declaración de Halifax, que se originó en Canadá en 1991, resalta la importancia del trabajo interdisciplinario en el sistema educativo y de investigación, y promueve los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU (Cruz López, 2008). Más tarde, la Declaración de Swansea, emitida en 1993, tiene como objetivo fortalecer las IES para promover la investigación y la educación sustentable, aumentar la información ambiental y consolidar los valores ambientales. (Cruz López, 2008).

Estas declaraciones han catalizado el interés en la sustentabilidad de los campus, lo que ha llevado a las IES a promover el desarrollo sustentable en sus prácticas (Faghihi, R. Hessami, & Ford, 2015). La Agenda 21, establecida en la Cumbre de Río de 1992, reconoce el papel crucial de las universidades en la mejora de las condiciones ambientales, ya que son fundamentales para la formación del conocimiento y el desarrollo profesional humano. (Foladori & Pierri , 2005).

Además de suscribirse a la Declaración de Talloires, las instituciones de educación superior (IES) impulsan operaciones sustentables, fomentan la educación ambiental, crean currículos interdisciplinarios, promueven la investigación científica relacionada con la sustentabilidad y establecen colaboraciones con entidades gubernamentales, organizaciones no gubernamentales, industrias y otras universidades. (Wright, 2004). La universidad, según Sterling (2004), desempeña un papel clave en la transición hacia la sustentabilidad, ya sea como una institución que necesita ser transformada o como un agente potencial de cambio.

En los últimos años, las instituciones de educación superior (IES) de todo el mundo han incorporado el desarrollo sustentable y la conciencia ambiental en sus sistemas educativos. (León-Fernández & Domínguez Vilchez, 2015).

Sistemas de evaluación de la sustentabilidad en las Instituciones de Educación Superior

Los sistemas de evaluación son herramientas fundamentales para comprender el estado actual de las Instituciones de Educación Superior (IES) y detectar áreas de oportunidad que contribuyan a la perspectiva de la sustentabilidad. Además, estos sistemas permiten medir la efectividad de las estrategias aplicadas y facilitan la toma de decisiones para mejorar de manera continua, en alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. (Disterheft, Azeiteiro, Leal-Filho, & Caeiro, 2015).

Hasta el año 2022, se han destacado varios sistemas de evaluación sustentable para campus universitarios, incluyendo STARS, GreenMetric de la Universidad de Indonesia y LEED.

STARS, que comenzó en 2006, ha recibido actualizaciones hasta su última versión en 2021. Este sistema, desarrollado por el Consorcio de Sostenibilidad de Asociaciones de Educación Superior (HEASC, por sus siglas en inglés, Higher Education Associations Sustainability Consortium), ofrece un marco para comprender la sustentabilidad en la educación superior, facilita la comparación a lo largo del tiempo y entre instituciones, incentiva mejora continua y promueve el intercambio de información. (Gutiérrez Barba & Martínez Rodríguez, 2009).

GreenMetric, un proyecto de la Universidad de Indonesia que comenzó en 2010, se enfoca en evaluar y comparar el desempeño ambiental y las prácticas sostenibles de las instituciones de educación superior (IES) a nivel global. A diferencia de STARS, GreenMetric simplifica el proceso de evaluación y solicita principalmente datos. (Mendoza Cavazos, 2016).

El sistema LEED, que se utiliza ampliamente en el ámbito de la construcción, se enfoca en promover prácticas sustentables en edificaciones. Desarrollado en 1998 por el Consejo de la Construcción Verde de

Estados Unidos, este sistema evalúa aspectos como la sustentabilidad del sitio, la eficiencia en el uso del agua, la energía y la atmósfera, los materiales y recursos, la calidad del ambiente interior, la innovación en el diseño y la prioridad regional. (Kubba, 2016).

Estos sistemas de evaluación, cada uno con sus características particulares, brindan herramientas para orientar estrategias y prácticas hacia la sustentabilidad en diferentes áreas, como lo social, lo académico, los campus y las edificaciones. Su implementación permite que las instituciones de educación superior (IES) realicen una contribución significativa al desarrollo sustentable.

Delimitación del objeto de innovación

Ubicación de campo disciplinar

La investigación se centra en el indicador de Energía y Cambio Climático, específicamente en el campus universitario de la Universidad del Valle de Atemajac, ubicado en el Área Metropolitana de Guadalajara. El principal interés de este estudio se concentra en el uso de energías renovables, un aspecto crucial para abordar el impacto ambiental y la sostenibilidad.

Desde 2015, el campus de Zamora de esta universidad ha incorporado paneles fotovoltaicos como fuente de energía, los cuales representan más del 50% del suministro energético del campus (Figura 1) (Lira Robles, 2021). De manera similar, el campus de Guadalajara ha adoptado medidas, destacándose la instalación, en 2019, de una envolvente de paneles solares en la fachada sur del auditorio de usos múltiples (SUM). Esta instalación específica genera más del 70% de la energía necesaria para el funcionamiento del auditorio (Figura 2).

El objetivo principal de esta investigación es examinar el confort higrotérmico como un indicador clave para evaluar el bienestar en el entorno construido. Mediante el análisis de estas condiciones, se busca identificar áreas de oportunidad que permitan mejorar el confort en las edificaciones del campus universitario. Además, se pretende diseñar estrategias arquitectónicas pasivas que no solo contribuyan al ahorro energético, sino que también reduzcan las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

El enfoque integral de este estudio coincide con los esfuerzos de la Universidad del Valle de Atemajac para avanzar hacia prácticas más sostenibles y eficientes en términos energéticos.

Figura 1

Granja de paneles fotovoltaicos en el Campus de la Universidad del Valle de Atemajac en Zamora, Michoacán, Jal



Figura 2

Paneles fotovoltaicos en la Universidad del Valle de Atemajac Campus Guadalajara



Glosario de términos

En este segmento se establecen algunas de las terminologías cruciales para el presente estudio.

La Organización de las Naciones Unidas (ONU), en su informe (2021) define los "Gases de Efecto Invernadero" (GEI) como átomos de carbono que se encuentran en la atmósfera, ya sea de forma natural o causados por actividades humanas. Estos gases tienen la capacidad de absorber y luego emitir radiación infrarroja, contribuyendo así al fenómeno del efecto invernadero.

El confort higrotérmico según la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (2013) es la satisfacción con el entorno térmico, evaluada subjetivamente, mientras que para la Organización Internacional de Normalización (1984) es la sensación térmica experimentada por el cuerpo humano, estrechamente relacionada con el equilibrio térmico global del cuerpo humano. En el contexto de esta investigación, se conceptualiza como el conjunto de condiciones climáticas dentro de un espacio arquitectónico aceptadas por el 80% de sus ocupantes, influenciadas por factores psicológicos, fisiológicos y culturales.

El Voto Medio Estimado (PMV por sus siglas en inglés, predicted mean vote) denota un índice que anticipa el promedio de las percepciones térmicas de un grupo numeroso de personas en un espacio arquitectónico, expresado en una escala de -3 a +3, correspondiente a las categorías de sensación térmica, como "frío", "ligeramente frío", "neutral", "ligeramente cálido", "tibio" y "caliente" (American Society of Heating, 2013).

El Porcentaje Previsto de Insatisfechos (PPD por sus siglas en inglés, predicted percentage of dissatisfied) cuantifica la predicción del porcentaje de individuos insatisfechos con las condiciones climáticas en un espacio arquitectónico, determinado a partir del PMV (American Society of Heating, 2013).

La Tasa Metabólica (met) se refiere a la actividad metabólica que convierte la energía química en calor y trabajo mecánico, equivalente a 58,2 W/m² (18,4 Btu/h ft²) por unidad de superficie de piel, expresada en met, durante el reposo en posición sentada del individuo promedio (American Society of Heating, 2013).

El aislamiento de ropa (I_{cl}) denota la resistencia de transferencia de calor sensible proporcionada por la ropa usada por los ocupantes del espacio, expresada en unidades de clo y considerando la transferencia de calor de todo el cuerpo, incluyendo partes expuestas como la cabeza y las manos (American Society of Heating, 2013).

La Zona de Confort describe el rango de combinaciones de factores (humedad relativa, temperatura del aire, velocidad del aire, tasa metabólica y aislamiento de ropa) que se consideran satisfactorias (Piaseck, Fedorczak-Cisak, Furtak, & Biskupski, 2019).

El término "envolvente de una edificación" se refiere a los materiales exteriores que resguardan un edificio de las condiciones climáticas externas (Secretaría de Gobernación , 2011).

La carta psicrométrica es un gráfico que representa las propiedades del aire y facilita la correlación de diversas condiciones climáticas de un sitio específico, como la temperatura del aire, la humedad relativa, el punto de rocío, etc., a lo largo de las 8760 horas anuales. Esta información sirve como base para identificar estrategias de arquitectura pasiva que prolonguen las horas de confort higrotérmico en una ubicación dada (Society of Building Science Educators , 2022).

La arquitectura pasiva o diseño pasivo se define como las técnicas o estrategias que aprovechan las características climáticas naturales, como el sol, el viento y las leyes físicas naturales de la zona de construcción, con el objetivo de reducir los consumos energéticos en las edificaciones, así como contribuir a que los habitantes se encuentren en confort higrotérmico el mayor tiempo posible (Womeldorf, 2015).

CAPÍTULO 2 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN-PROBLEMA

Consecuencias del cambio climático y su relación con las edificaciones

El objetivo principal de este proyecto es ayudar a reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) producidas por las edificaciones en funcionamiento en el Campus Guadalajara de la Universidad del Valle de Atemajac (UNIVA).

El término "cambio climático" se refiere a las modificaciones en el clima, ya sean causadas directamente por la actividad humana o afectadas de manera indirecta. La actividad humana influye en la composición de la atmósfera global, según informes de la Organización de las Naciones Unidas. (ONU, 2002).

El calentamiento global, que representa la manifestación más evidente del cambio climático, implica un aumento en la temperatura media de la tierra y de los océanos a nivel global. Es importante destacar que, aunque el clima ha sufrido cambios naturales a lo largo de los años, hay evidencia clara respaldada por expertos que indica que el calentamiento global observado en las últimas cinco décadas se puede atribuir a las actividades humanas. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2009).

La ONU señala que una de las consecuencias del cambio climático es el incremento de enfermedades relacionadas con el calor, lo que complica el trabajo al aire libre. Además, el cambio climático favorece la proliferación de incendios incontrolados y un aumento de la temperatura en el Ártico, que ha crecido al doble de velocidad en comparación con el resto del mundo. (ONU, 2021).

Entre otras repercusiones del cambio climático, se incluyen tormentas más intensas, un aumento en la frecuencia de sequías, el ascenso del nivel de los océanos y de la temperatura del agua, la extinción de algunas especies, la escasez de alimentos y fenómenos sociales como el incremento de la pobreza y el desplazamiento. (ONU, 2021).

En 2005, los principales emisores de dióxido de carbono (CO₂) a nivel mundial, producto de la quema de combustibles fósiles, fueron Estados Unidos, China, Rusia, Japón e India, que representaron más del 54% de las emisiones globales de ese año. México, en cambio, contribuyó con un modesto 1.4%, ubicándose

entre los primeros 15 países en cuanto a emisiones de GEIs. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2009).

La industria de la construcción ha tenido un papel significativo en el calentamiento global, no solo por la construcción de nuevas edificaciones, sino principalmente por el mantenimiento y funcionamiento continuo de las existentes. Según la evaluación global del estado de los edificios y la construcción, esta industria contribuyó con más del 34% de la demanda de energía y aproximadamente el 37% de las emisiones de CO2 relacionadas con la energía y sus actividades en 2021. (Organización de las Naciones Unidas , 2022).

Durante 2021, se registró un incremento del 4% en el consumo global de energía destinada a calefacción, refrigeración, iluminación y equipos de construcción, en comparación con el año anterior (2020), y un aumento del 3% respecto a 2019, según datos reportados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en sus comunicados de noticias de 2022.

Ante la falta de reducciones en las emisiones de acuerdo con los límites establecidos por el Acuerdo de París, Inger Andersen, directora ejecutiva del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y secretaria general adjunta de las Naciones Unidas, ha subrayado la emergencia de desafíos significativos. En Europa, el sector de la edificación juega un papel crucial, representando el 40% de la demanda total de energía y el 80% del consumo de combustibles fósiles. Esta situación lo convierte en un ámbito crítico que necesita acciones inmediatas, inversiones y políticas dirigidas a promover la eficiencia energética y la seguridad, mientras se garantiza la estabilidad energética. (Organización de las Naciones Unidas , 2022)

El desafío para la próxima década consiste en la necesidad de disminuir de manera sustancial la dependencia de los hidrocarburos en el sector de la edificación, de acuerdo con las metas establecidas para el año 2050. Para lograr la reducción de emisiones a nivel global, se requiere mejorar la eficiencia energética de los edificios y reducir la huella de carbono asociada a los materiales de construcción. Este objetivo también demanda un fortalecimiento de los compromisos políticos y un aumento significativo en la inversión dirigida a la eficiencia energética en este sector. (Organización de las Naciones Unidas , 2022).

Efectos del cambio climático en México

Se prevé que los efectos del cambio climático en México sean severos. Se estima que un aumento de la temperatura promedio de 0.5 a 4.8 °C entre 2020 y 2100 podría provocar una reducción de precipitaciones de hasta un 15% en invierno y un 5% en verano, lo que resultará en eventos hidrometeorológicos más intensos. Estos eventos podrían tener impactos negativos en la salud, en los sistemas de distribución y drenaje de agua, en la agricultura y la infraestructura vial, así como en la producción de energía eléctrica y el procesamiento de hidrocarburos. (Sosa Rodriguez, 2015).

México y otros países han asumido compromisos internacionales para mitigar los factores contaminantes en la atmósfera. Uno de estos compromisos es la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, establecida en 1992. También se encuentra el Acuerdo para la creación del Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global, fundado en Montevideo en 1992, al que México se adhirió en 1993. Además, está el Acuerdo de París (2015) (United Nations Climate Change, 2021). La Contribución Nacional Determinada (NDC, por sus siglas en inglés) con la que México se comprometió en el Acuerdo de París incluye una reducción del 22% en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero. (United National Climate Change, 2021).

México ha implementado esfuerzos para reducir los Gases de Efecto Invernadero generados por las edificaciones a través de su consumo energético, mediante la creación de la NAMA o la NOM-008-ENER-2011. Aunque estas normas están dirigidas a construcciones nuevas, su objetivo es facilitar programas y sistemas de sustentabilidad para los edificios desde la fase de conceptualización y diseño. Sin embargo, hay muchas edificaciones de mediana edad que, al adaptarse a estas normas, podrían lograr un mayor nivel de confort térmico en sus espacios interiores, lo que resultaría en un ahorro energético. Como consecuencia, habría más edificaciones que dependerían en menor medida de la quema de hidrocarburos, lo que ayudaría a mitigar los efectos del cambio climático.

Los mecanismos internacionales para combatir el cambio climático

La Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC)

El objetivo de la UNFCCC fue crear un instrumento jurídico que comprometa a los países participantes a implementar estrategias para estabilizar las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y contribuir a la desaceleración del cambio climático.

Las estrategias propuestas en el acuerdo deberían permitir que los ecosistemas se adapten gradualmente al cambio climático, evitando así los efectos mencionados y avanzando hacia una economía más sustentable. (ONU, 2002).

Los países involucrados tienen compromisos como difundir las estrategias de desarrollo sostenible, implementar programas que fomenten el desarrollo sostenible, colaborar con otros países en la adaptación al cambio climático y promover y apoyar la cooperación científica que contribuya a las estrategias de mitigación del cambio climático (ONU, 2002).

El Protocolo de Kioto

En el Capítulo 1 se presentaron algunos antecedentes históricos del Protocolo de Kioto. Hasta 2022, este tuvo los siguientes alcances:

1. Concientizó a los gobiernos suscriptores sobre la necesidad de establecer leyes y políticas para cumplir con sus compromisos ambientales.
2. También concientizó a las empresas sobre la importancia de considerar el medio ambiente al tomar decisiones de inversión.
3. Fomentó la creación del mercado de carbono, cuyo objetivo es lograr la reducción de emisiones al menor costo posible.

(GOB, 2022).

El Acuerdo de París

El Acuerdo de París, adoptado en diciembre de 2015 y firmado por 195 países, incluye varias disposiciones importantes para promover la adaptación al cambio climático. Tres de estas disposiciones son especialmente relevantes: la adopción de una meta de adaptación global, el compromiso de aumentar los recursos de los países desarrollados hacia los países en desarrollo, y el requisito de que todas las partes elaboren y actualicen regularmente planes y estrategias de adaptación. (United National Climate Change, 2021).

El cambio climático y su impacto en la economía global

Según el informe "Economic Impacts of Carbon Pricing" (2017), se estima que el costo total de las estrategias de acción contra el cambio climático para el año 2100 ascenderá a aproximadamente 11 billones de dólares, mientras que la reparación de los daños generaría alrededor de 8 billones de dólares. Sin embargo, si los países no actúan, el costo de reparación de daños podría aumentar hasta aproximadamente 20 billones de dólares para el año 2100, lo que representa un incremento de 12 billones de dólares en comparación con escenarios en los que se implementen medidas adecuadas. Para el año 2200, esta cifra podría llegar a 30 billones de dólares, siempre que se apliquen medidas correctivas.

De acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, los costos estimados de las inversiones adicionales necesarias para adaptarse al cambio climático oscilan entre 28 y 67 mil millones de dólares, y podrían alcanzar los 100 mil millones de dólares anuales durante varias décadas. Además, se señala que se requieren inversiones de 11 mil millones de dólares para mejorar la infraestructura hídrica hasta el año 2030, siendo el 85% de este monto destinado a países en desarrollo.. (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2017).

El financiamiento disponible en la actualidad para el Fondo Mundial para el Medio Ambiente asciende a 160 millones de dólares estadounidenses, una cantidad claramente insuficiente. (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2017).

En México, se han realizado estimaciones sobre los costos económicos del cambio climático en caso de no implementar medidas de adaptación y mitigación. Algunas proyecciones indican que para el año 2050,

estos costos podrían alcanzar el 3.2% del Producto Interno Bruto. (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2017)

Por esta razón, es fundamental implementar estrategias desde la iniciativa privada, ya que las decisiones tomadas en las industrias tienen un impacto significativo en la economía, tanto a nivel nacional como internacional.

El campus universitario de la Universidad del Valle de Atemajac y su relación con el cambio climático

La Universidad del Valle de Atemajac asume una firme responsabilidad con la sustentabilidad, como lo evidencia su Plan Institucional de Desarrollo (PID) (Universidad del Valle de Atemajac, 2019), donde destaca el desarrollo sustentable como un pilar fundamental en su sistema educativo.

La implementación de edificios sustentables en el campus proporciona tres beneficios principales. Primero, desde una perspectiva ambiental, contribuye de manera significativa a la reducción de gases de efecto invernadero y desempeña un papel crucial en la mitigación de los efectos del cambio climático. Segundo, genera beneficios económicos al reducir el consumo de energía eléctrica. Tercero, ofrece beneficios sociales al impactar positivamente en la educación ambiental. La construcción y operación de edificios diseñados con una perspectiva sustentable inspira a las nuevas generaciones a considerar los impactos ambientales en el diseño y uso de edificaciones futuras.

El crecimiento constante de los campus universitarios de la Universidad del Valle de Atemajac (UNIVA) es evidente. En 2010, el campus en Guadalajara albergaba a 5,500 personas por semestre. Para el año 2021, la población universitaria en el mismo campus superó los 8,000 alumnos por semestre (Lira Robles, 2021).

La Tabla 1 proporciona información detallada sobre el consumo de energía eléctrica y los pagos mensuales totales a la Comisión Federal de Electricidad en todo el Campus Universitario durante el año 2022. Se observan cambios estacionales significativos en el consumo eléctrico. En febrero, el consumo alcanzó

89,184 kWh al mes, mientras que en mayo se registró un aumento del 92%, alcanzando 171,109 kWh al mes. La inversión en consumo de electricidad también aumentó en mayo de 2022, con la universidad pagando 173,000 pesos más que en febrero del mismo año. Estos datos sugieren una oportunidad clave para reducir el consumo eléctrico, las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas y los costos por tarifas eléctricas mediante el análisis de las causas que provocan estos incrementos estacionales.

Tabla 1

Consumo mensual de energía eléctrica del campus Guadalajara de la Universidad del Valle de Atemajac en 2022

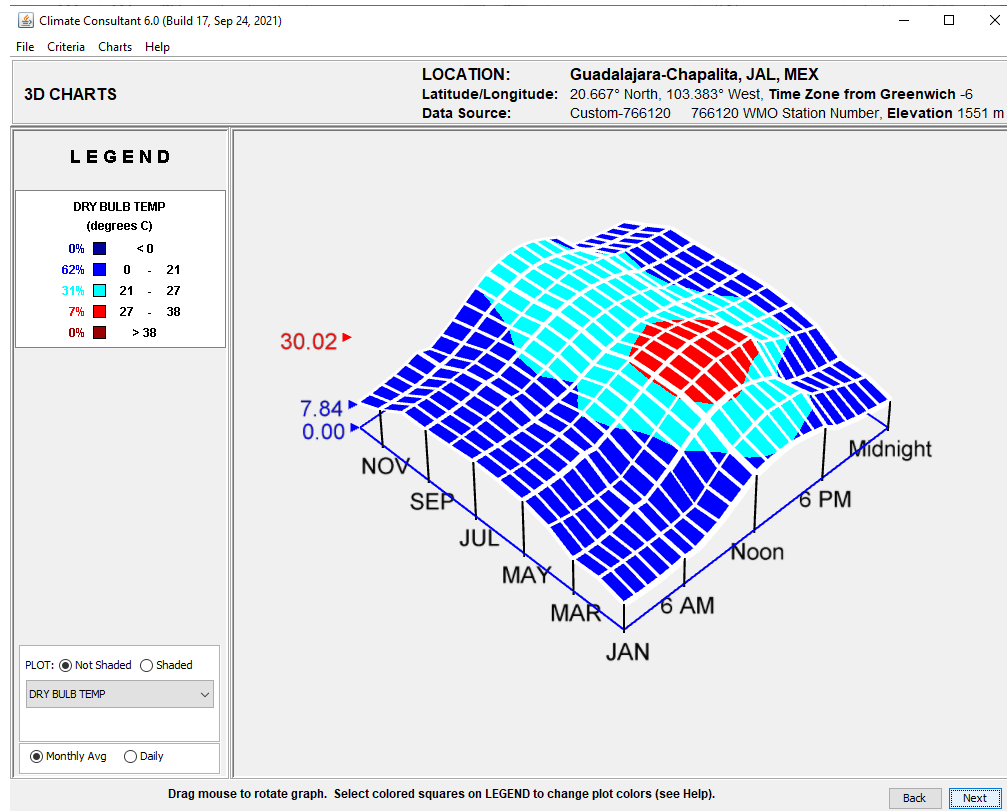
Meses	Kwh Total	Pago mensual en pesos mx
Enero	76801	\$332,012.89
Febrero	89184	\$385,541.45
Marzo	112950	\$473,589.84
Abril	112964	\$348,531.73
Mayo	171109	\$559,497.21
Junio	151490	\$515,502.94
Julio	151434	\$475,495.07
Agosto	160244	\$451,809.35
Septiembre	160244	\$489,333.29
Octubre	159397	\$490,271.10
Noviembre	113098	\$462,061.93
Diciembre	132856	\$371,481.02

La Figura 3 presenta las temperaturas anuales promedio en Guadalajara, lo que permite identificar una relación significativa entre el aumento de temperaturas, de marzo a septiembre, y el incremento en el consumo eléctrico en el campus de la Universidad del Valle de Atemajac (UNIVA). El aumento, señalado en la Tabla 1, sugiere que este crecimiento se destina específicamente a la climatización artificial de las aulas, lo cual resulta especialmente notable en meses no vacacionales como febrero, donde la diferencia alcanzó 89,184 kWh en comparación con mayo.

En cuanto a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), la calculadora de carbono de la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET) indica que la diferencia mencionada representa un aumento de 40.95 toneladas de CO₂. Considerando el factor de emisión del

sistema eléctrico nacional para emisiones indirectas de GEI en 2021, que se establece en 0.423 tCO₂e/MWh, este consumo adicional equivale a 37.72 tCO₂e. Estas estimaciones resaltan el impacto potencial del campus en la reducción de GEI y en la mitigación del cambio climático, exclusivamente a través del consumo eléctrico.

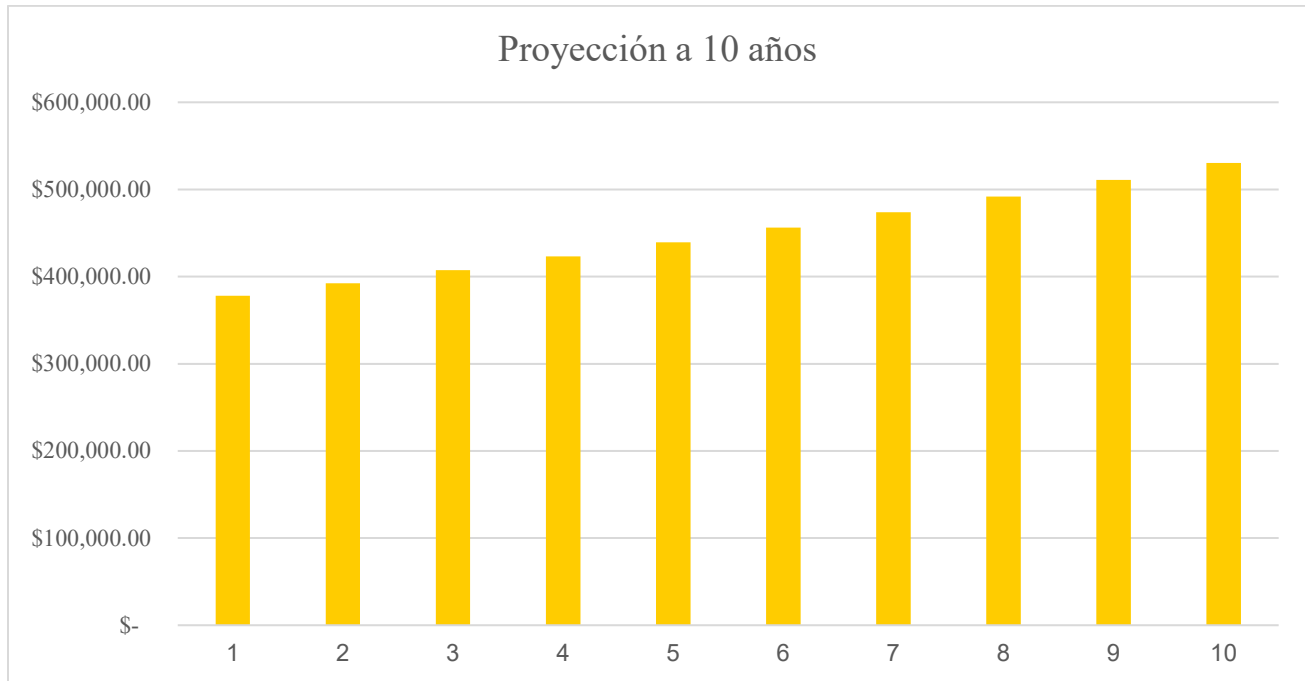
Figura 3
Gráfica anual de la temperatura de bulbo seco



Al analizar datos climáticos y proponer ahorros en mayo y junio, meses de incremento de temperaturas, se proyecta un ahorro económico de \$377,936.96 pesos mexicanos para ambos meses. Esta proyección a diez años, considerando un aumento anual del 3.84% en las tarifas de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), sugiere un potencial de ahorro de aproximadamente \$4,504,027.40 pesos, como se muestra en la Figura 4 “Proyección de posibles ahorros financieros que obtendría el Campus Universitario con la eficiencia energética de sus edificios.” Estos datos respaldan la viabilidad económica y ambiental de propuestas que mejoren el confort térmico y reduzcan el consumo de energía eléctrica en la Universidad del Valle de Atemajac (UNIVA).

Figura 4

Proyección de posibles ahorros financieros que obtendría en Campus Universitario con la eficiencia energética de sus edificios



La información previamente expuesta indica una oportunidad para mejorar el ahorro energético durante mayo y junio, meses críticos. Esta mejora podría resultar en beneficios económicos y en una reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Por lo tanto, resulta crucial diseñar y adaptar las aulas para garantizar condiciones de confort óptimas y lograr una mayor eficiencia energética. La falta de acción no solo impacta negativamente en las finanzas de la institución y en el medio ambiente, sino que también puede acarrear repercusiones económicas a largo plazo a nivel nacional. Aunque las propuestas identificadas en este estudio no generen un retorno de inversión convencional en un plazo de diez años, como se analizó en la sección sobre “El cambio climático y su impacto en la economía global,” es necesario adoptar medidas de mitigación desde ahora. A largo plazo, el costo financiero para reparar los daños ocasionados por el cambio climático aumentará de manera considerable.

Bases teóricas del confort higrotérmico

Este segmento explora antecedentes históricos relacionados con el estudio del confort higrotérmico y su impacto en la eficiencia energética de las edificaciones. Se destaca la relevancia de normativas, como la ISO 7730, ASHRAE 55 y la Norma Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001, diseñadas para fomentar la reducción del consumo eléctrico en edificaciones no habitacionales. Además, se incluye una sección detallada que presenta un ejemplo representativo de una edificación que ha implementado estrategias pasivas destinadas a disminuir su demanda de energía eléctrica.

Confort higrotérmico

Para esta investigación, el confort higrotérmico se define como el conjunto de condiciones climáticas dentro de un espacio arquitectónico que es aceptado por el 80% de las personas que lo habitan, y que depende de factores físicos, psicológicos, fisiológicos y culturales.

El confort higrotérmico ha estado presente desde los inicios de la arquitectura, dado que la construcción de espacios arquitectónicos busca proteger a las personas de las condiciones climáticas externas.

Mayorga (2005) señala que, en la cultura occidental de la arquitectura, el tratado teórico de Marco Lucio Vitruvio Polión constituye el antecedente escrito más antiguo relacionado con el confort higrotérmico. En su obra *Los Diez Libros de Arquitectura*, Vitruvio establece que la arquitectura debe adherirse a tres valores fundamentales: solidez, utilidad y belleza (firmitas, utilitas y venustas). En el Libro Sexto de este tratado, se abordan aspectos específicos para alcanzar el confort ambiental en las edificaciones, otorgando prioridad al confort térmico.

La Tabla 2 muestra en una línea del tiempo de algunas investigaciones fundamentales en el estudio del confort higrotérmico de acuerdo con Mayorga (2005, pág. 20).

Tabla 2
Modelos que explican parcial o totalmente al fenómeno del confort térmico

No.	Estudio	Autor(es)	Año (s)
1	“Experimentum Cruxis” ⁸	Sir Leonard Hill	1914
2	“The Effective Temperature Index” ⁹ , (Índice de Temperatura Efectiva, TE)	F. C. Houghten y C.P. Yaglou, en los Laboratorios de Investigación de la American Society of Heating and Ventilating Engenieers (ASHVE) lo que hoy día es la ASHRAE, en Pittsburg, EE.UU.	1923
3	“Temperatura Efectiva Corregida” (TEC)	C.P. Yaglou y Millar	1925
4	“Índice de Calor Equivalente” (antecedente de los modelos adaptativos)	Beford	1936
5	“Ecuación de Balance Energético Humano”	Gagge	1936
6	Estudio sobre el factor de arropamiento	Gagge, Burton y Gazatt	1941
7	“Temperatura Resultante”	Missenard	1948
8	“Temperatura Operativa”	Winslow, C. E. A., Herrington, L.P.	1949
9	“Escala de Valor Equivalente” “Índice de Esfuerzo frente al Calor”	Bedford T.	1950
10	(IEC), también llamado Índice de Tensión Calórico (ITC), “Heat Stress Index” ¹⁰	Belding y Hatch	1955
11	“Índice de Tensión Térmica” (ITT) ¹¹	Baruch Givoni	1963
12	Cartas bioclimáticas	Víctor Olgyay	1963
13	Índice de estrés	Lee y Henschel	1966
14	Estudios respecto a la edad	Nevins et al. (1966); Rohles y Johnson (1972); P. O. Fanger y Langkilde (1975), Langkilde (1979), Collins y Hoinville (1980), P. O. Fanger (1982), en Dinamarca y EE.UU.	1966,1972,1975,1979,1980 y1982
15	“Género del habitante”	Rohles and Nevins (1971), Rohles (1973), P.O. Fanger (1982).	1971, 1973 y 1982
16	“Índice de sudoración” (S)	Givoni, Berner-Nir.	1967
17	Ecuación del Voto Promedio PMV-PPD	P.O. Fanger.	1970
18	Factores secundarios ¹²	Rohles y Nevis.	1971
19	Tablas de Mahoney ¹³	Carl Mahoney.	1973
20	“Variaciones de día a día”	P. O. Fanger.	1973
21	Ritmos temporales y circadianos	P. O. Fanger et al.	1973

22	Temperatura Efectiva (T. E.)	Koenigsberger y Otros, en trópicos.	1974
23	Ecuación para conocer la Neutralidad Térmica (Modelo adaptativo)	Humphreys M. A.	1975
24	Carta Bioclimática Psicométrica	Baruch Givoni.	1976
25	Nueva Temperatura Efectiva (ET)	American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers Inc., ASHRAE.	1977
26	Zona de Confort Térmico ajustada por medio de la temperatura media anual del lugar de que se trate.	P. Wakely.	1979
27	Índice Humidex	Masterton J. M. y Richardson F. A., AES EnviromentCanadá.	1979
28	Temperatura Efectiva Estándar (SET)	McIntyre D. A.	1980
29	Ecuación para conocer la Neutralidad Térmica	Auliciems Andris.	1981
30	Ecuación de la comodidad térmica	P.O. Fanger	1982
31	Estudios sobre aclimatación	P. Ole Fanger, realiza experimentos en EE.UU., Dinamarca y países tropicales.	1982
32	ASHRAE Standard 55-1992, "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy"	American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers Inc., ASHRAE.	1992
33	"ISO 7730, Moderate Thermal Environments-Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort"	International Organization for Standardization, ISO	1994
34	ISO 10551: 1995, "Ergonomic of the Thermal Environment, Assessment of the Influence of the Thermal Environment Using Subjective Judgement Scales"	International Organization for Standardization, ISO.	1995
35	Ecuación para conocer la neutralidad térmica	Nicol F. y Roaf.	1996

Nota. Adaptado de Mayorga (2005, p. 20).

Las aportaciones de Povl Ole Fanger al estudio del confort higrotérmico

Uno de los principales fundamentos teóricos en el ámbito del confort higrotérmico que sirvió como base para el desarrollo de esta investigación fue concebido por Povl Ole Fanger (1934-2006). En la segunda mitad de la década de 1960, Fanger formuló un modelo con el propósito de anticipar el confort higrotérmico global, basado en exhaustivas investigaciones de laboratorio realizadas en cámaras climáticas. Este modelo ha sido fundamental para entender y evaluar las condiciones que afectan el bienestar térmico de las personas en espacios arquitectónicos.

El objetivo central de esta investigación liderada por Fanger consistió en proporcionar una metodología integral para evaluar el confort higrotérmico en diversas actividades, considerando variables como la vestimenta y otros factores inherentes al entorno cerrado. Este enfoque, denominado "Predicted Mean Vote" (PMV por sus siglas en inglés), recibió aceptación como una herramienta válida para caracterizar la percepción térmica promedio de los ocupantes en un contexto arquitectónico. (Hoof, 2008).

El PMV, diseñado específicamente para su aplicación en ingeniería ambiental, desempeñó un papel destacado durante la crisis del petróleo. Desde su concepción, recibió atención y análisis por parte de diversos investigadores (Hoof, 2008).

Junto con el PMV, Fanger desarrolló una escala térmica de cuatro puntos para evaluar el microclima generado en un espacio. Investigaciones desde la década de 1960 hasta la actualidad indican que, al incorporar más parámetros en la predicción del confort higrotérmico, aumenta la probabilidad de que un mayor porcentaje de individuos se sienta satisfecho con el clima en la habitación. El número de parámetros que afectan la comodidad ha evolucionado de los cuatro originales propuestos por Fanger en 1960 a los actuales nueve, especialmente relevantes para los edificios de Energía Neta Casi Nula (NZEB, por sus siglas en inglés) promovidos por la Directiva Europea de Energía (Piaseck, Fedorczak-Cisak, Furtak, & Biskupski, 2019).

Los hallazgos de Fanger indican que la sensación térmica se ve influenciada por diversos parámetros, entre ellos la temperatura del aire, la temperatura radiante (también conocida como temperatura ambiente), la velocidad del aire y el porcentaje de humedad en el aire. La "Zona de Confort" describe el rango de

combinaciones de estos factores que se consideran satisfactorias. (Piaseck, Fedorczak-Cisak, Furtak, & Biskupski, 2019).

Fanger diseñó el PMV con el objetivo de crear sistemas de ventilación artificial. Este modelo ha sido la base de normas internacionales, como la ISO 7730 y la ASHRAE 55, al proporcionar un índice preciso de confort higrotérmico. Hasta la fecha, este modelo sigue siendo una herramienta fundamental para evaluar la comodidad térmica en entornos construidos. (Hoof, 2008).

Sobre la norma ISO 7330

La norma ISO 7330 fue desarrollada por el Comité Técnico ISO/TC 159 Ergonomía en colaboración con el Comité Técnico CENT/TC 122 Ergonomía. Este estándar internacional forma parte de diversos documentos que describen métodos para medir y evaluar entornos con temperaturas moderadas o cálidas. Su desarrollo fue llevado a cabo de manera conjunta con la revisión de la norma ASHRAE 55, y su propósito fundamental es establecer métodos para prever la sensación térmica en seres humanos expuestos a un rango de temperaturas que va desde moderadas hasta extremas (ISO, 1984).

La normativa internacional ofrece técnicas para anticipar la experiencia térmica aceptable y el nivel de incomodidad experimentado por individuos expuestos a ambientes moderadamente cálidos. Al calcular el Registro del Voto Medio Estimado (PMV) y el Índice de Disconformidad Predictiva (PMD), junto con los estándares técnicos locales, se pueden determinar las condiciones ambientales que resultan aceptables para la mayoría de las personas, con un mínimo del 80% de satisfacción (ISO, 1984).

La Norma ISO 7330 se utiliza para prever condiciones en espacios interiores que proporcionen confort térmico a personas sanas, siendo aplicable tanto en construcciones antiguas como en nuevas donde pueda surgir cierta incomodidad térmica. Además, puede ser empleada por individuos con necesidades especiales y ciertas discapacidades físicas, según se especifica en el reglamento técnico ISO/TS 14415:2005, 408. Al utilizarla, es esencial considerar las posibles variaciones étnicas, nacionales o geográficas (ISO, 1984)

Sobre la norma ASHRAE 55

ASHRAE son las siglas de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado. Esta organización se dedica a promover el bienestar humano y la protección del medio ambiente mediante el desarrollo y la divulgación de propuestas técnicas relacionadas con la climatización, ventilación y enfriamiento de edificaciones, con el fin de lograr un ahorro energético (ASHRAE, 2021).

En 1966, ASHRAE lanzó por primera vez el Estándar 55 con el objetivo de definir las condiciones ambientales, como temperatura, humedad, velocidad del aire y radiación, que la mayoría de los usuarios consideraría aceptables según ciertas circunstancias de vestimenta y actividad física en interiores. La norma ha sido actualizada cada tres a seis años, siendo la versión más reciente publicada en 2020 (ASHRAE, ASHRAE , 2021).

El propósito principal de esta norma consiste en identificar la combinación de factores ambientales internos y variables personales que permitirán crear condiciones de temperatura aceptables para la mayoría de las personas en un espacio cerrado.

(ASHRAE, ASHRAE , 2021).

Cabe destacar que esta norma está diseñada para el confort térmico de usuarios adultos, excluyendo a ancianos y personas con discapacidades. Utiliza una escala térmica basada en la desarrollada por Fanger, donde el usuario califica la sensación térmica en el espacio que ocupa. Dicha metodología contribuye a establecer las condiciones óptimas para que al menos el 80% de los ocupantes de un edificio consideren aceptable el confort higrotérmico (ASHRAE, 2017).

Los factores determinantes del confort higrotérmico según esta norma son temperatura del aire, temperatura radiante (proveniente de materiales, equipos y personas), velocidad del air, humedad relativa., tasa metabólicay aislamiento de la ropa (ASHRAE, 2017).

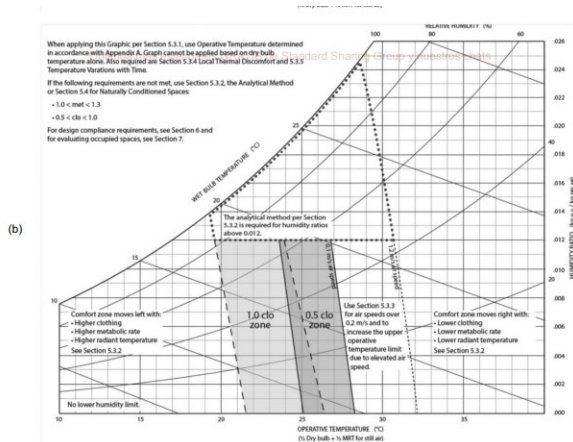
Tanto la norma ASHRAE 55 como la ISO 7730 se basan en el PMV de Fanger y se calculan mediante fórmulas matemáticas (ASHRAE, 2017).

La metodología propuesta por ASHRAE 55 es compatible con algunos softwares de simulación energética, como Desing Builder, que permite prever condiciones higrotérmicas en edificaciones y facilita el diseño de propuestas o soluciones pasivas para mejorar el confort higrotérmico en espacios construidos.

La norma ASHRAE 55 incorpora un método gráfico que simplifica los cálculos de PMV, aunque sus condiciones son algo limitadas. Se espera que, en su mayoría, se utilice el método analítico (cálculos matemáticos). El método gráfico se basa en gráficas psicrométricas que permiten al usuario determinar los parámetros de la zona de confort, como se muestra en la Figura 5 (ASHRAE, 2017)

Figura 5

Gráfico de la zona de confort



Nota. Adaptado ASHRAE (2017).

La Sección 6 de ASHRAE 55 establece requisitos específicos para demostrar que el diseño de un espacio arquitectónico cumple con los estándares de confort higrotérmico. Por otro lado, la Sección 7 presenta una metodología para evaluar entornos térmicos existentes en todo tipo de edificaciones. Esta metodología recomienda el uso de equipos de monitoreo de temperatura y humedad relativa para llevar a cabo el análisis. Además, sugiere colocar estos equipos a alturas específicas, dependiendo de las actividades de las personas en el espacio evaluado. (ASHRAE, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, 2017).

La norma contiene tablas con los parámetros establecidos para el aislamiento de ropa, ya que el confort térmico varía dependiendo de las prendas que las personas dentro del edificio usen. También tiene parámetros para determinar la tasa metabólica. Todos estos parámetros se pueden tomar de manera general en algunas tablas señaladas por la norma, o bien, se pueden determinar de manera específica mediante cálculo.

En cuando a la velocidad del aire, la norma hace referencia al hecho de que es importante realizar una medición cuando la velocidad del aire promedio V_a es mayor que 0,20 m/s (40 fpm) o se requiera de manera específica enfriar un lugar.

Existen otros métodos aparte del gráfico para determinar el PMV, como el propuesto por el Centro para el Medio Construido (CBE por sus siglas en inglés) de la Universidad de Berkley, que diseñó y mantiene en operación para consulta y uso público una calculadora para predecir el confort higrotérmico que puede consultarse en la siguiente dirección electrónica: <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>. Dicha herramienta interactiva utiliza como base del cálculo la metodología propuesta por la norma ASHRAE 55.

Discusión sobre las metodologías para medir el confort higrotérmico

El enfoque de Fanger se centra en estudiantes expuestos a condiciones térmicas, con una tasa metabólica correspondiente a las actividades típicas realizadas por este grupo en climas moderados. Varios investigadores señalan la necesidad de más estudios en entornos tropicales para validar y ajustar su aplicación, dado que se desarrolló inicialmente mediante experimentación en cámaras térmicas y luego se aplicó en edificios. Algunos expertos cuestionan su aplicabilidad universal. Por ejemplo, Godoy Muñoz (2012) destaca que los estudios de laboratorio pueden ignorar factores contextuales que influyen en las respuestas a las condiciones térmicas. Van Hoof (2007) advierte que su uso en climas cálidos puede conducir a errores.

Se han observado discrepancias, especialmente en edificios con ventilación natural. Godoy Muñoz (2012) indica que la precisión de las predicciones del PMV de Fanger disminuye del 80 al 90% con ventilación artificial al 50% con ventilación natural.

Las metodologías de ISO 7730 y ASHRAE 55 proponen una escala de 7 puntos para que los usuarios relacionen su respuesta fisiológica con su estado psicológico, utilizando votos de sensación térmica (TSV). En algunos estudios, se combinan las tres categorías centrales en una denominada neutral o comfortable.

Frío (-3),

Fresco (-2),

Ligeramente frío (-1),

Neutral (0),

Ligeramente, cálido (+1),

Cálido (+2), y

Caliente (+3).

En este estudio, se eligió la metodología de ASHRAE 55, dado que los edificios en el Campus de la Universidad del Valle de Atemajac cuentan con sistemas de ventilación natural. Se planea aplicar esta metodología en futuras construcciones dentro del mismo campus, empleando software especializado en simulación ambiental.

Es importante señalar que la metodología de la norma ISO 7730 puede no ser compatible con diversos programas de simulación ambiental, lo que complica el análisis detallado de los edificios. Esta situación resalta la necesidad de elegir metodologías apropiadas que se ajusten a las características y herramientas disponibles para el análisis ambiental de edificaciones específicas.

Sobre la NOM-008-ENER-2001

Los antecedentes de la Norma Oficial Mexicana (NOM) NOM-008-ENER-2001, que se centra en la eficiencia energética de la envolvente de edificios no residenciales, se remontan a la NOM-081-SCFI-1994, publicada en septiembre de 1994. Esta norma tiene como objetivo alcanzar la eficiencia energética a través de la envolvente del edificio, garantizando que las funciones, comodidad y productividad de los ocupantes no se vean comprometidas. (Ibarra, 2013).

La NOM-008-ENER-2001 tiene como objetivo principal regular las ganancias de calor que atraviesan la envolvente del edificio para disminuir el consumo energético relacionado con el enfriamiento de los espacios internos. En este sentido, la envolvente se convierte en el elemento central, abarcando aspectos constructivos como paredes, puertas, techos, ventanas y pisos, que establecen el límite entre el interior y el exterior. Su función consiste en proteger a las personas de las condiciones climáticas externas, al tiempo que proporciona seguridad física y confort térmico. (SEGOB, 2011).

Esta normativa se basa en la NOM-018-ENER-2011, que se enfoca en los aislantes térmicos para edificaciones. Esta norma establece las características, límites y métodos de prueba para la inclusión de materiales con aislamiento térmico certificado. En situaciones donde el material no cuente con certificación, se permite realizar cálculos manuales.

La NOM-008-ENER-2001 propone un proceso que divide la envolvente en dos categorías: partes opacas, que incluyen muros y losas, y partes traslúcidas, que abarcan ventanas y domos. Se establece un edificio de referencia, donde se determinan valores sugeridos en porcentaje en relación con la envolvente. Posteriormente, se calculan las ganancias de calor por conducción y radiación. La suma de estos resultados permite obtener las ganancias de calor del edificio de referencia. (SEGOB, 2011).

A continuación, se calculan las ganancias de calor del edificio proyectado multiplicando las áreas de las partes opacas y translúcidas por un factor asignado según el material y la zona geográfica del edificio. Al restar las ganancias de calor del edificio proyectado de las del edificio de referencia, se determina el ahorro energético, que se refleja en una etiqueta. (SEGOB, 2011).

Es importante destacar que la norma sigue vigente hasta la fecha (2023) y representa una herramienta esencial para evaluar la eficiencia energética de las envolventes en las edificaciones contemporáneas en México. En este estudio, se utilizará esta normativa para evaluar la eficiencia de las medidas de mitigación que podrían implementarse en los edificios del campus universitario de la Universidad del Valle de Atemajac.

Caso de estudio: Centro Diana en Barnard College / Weiss / Manfredi

El Centro Diana en Barnard College (véase la Figura 6), construido en 2010 bajo la dirección de Weiss/Manfredi, representa un ejemplo destacado en el ámbito universitario y simboliza el compromiso internacional de las instituciones educativas con la sostenibilidad. Con una extensión de 98,000 m², este edificio ha recibido reconocimiento a nivel nacional al ganar un concurso de diseño y obtener un prestigioso premio de arquitectura progresista, consolidándose como un paradigma para analizar estrategias vanguardistas en el ahorro energético (Minner, 2022).

Figura 6

Fachada sur del Centro Diana



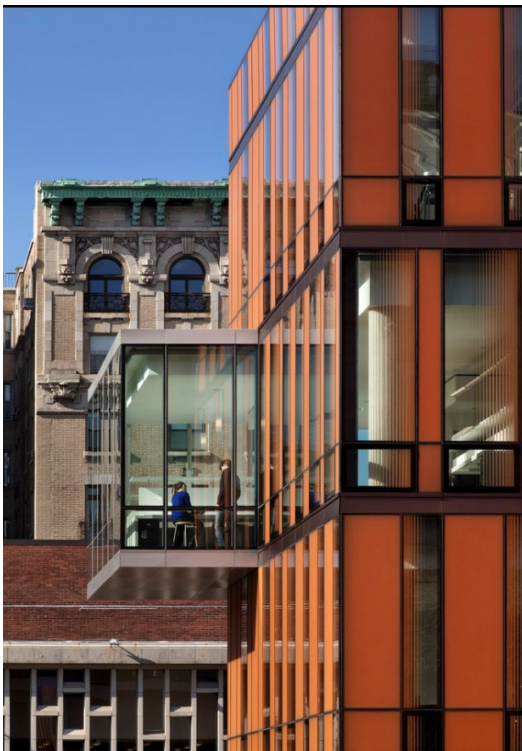
Nota. Tomado de *Centro Diana en Barnard College / Weiss/Manfredi* por Vecerka/ Warchol 2010 Archdaily.

Las estrategias implementadas en el Centro Diana incluyen la optimización del aprovechamiento de la luz natural y las vistas a través de ventanas móviles, así como la incorporación de energía solar radiante y el uso de materiales reciclados. Además, se han utilizado tecnologías avanzadas como sensores de presencia, persianas automáticas y sistemas de ingeniería de alto rendimiento para mejorar la eficiencia energética de manera integral (Minner, 2022).

El diseño del Centro Diana se centra en el uso inteligente del espacio, las vistas panorámicas, la luz natural y la energía. La disposición estratégica de áreas iluminadas y la incorporación de vidrios inteligentes, como el vidrio poroso translúcido y los paneles de vidrio cerámico serigrafiado, permiten cambios dinámicos en tono y reflectividad en función de las condiciones climáticas y de iluminación. Estos paneles, con estrías verticales graduadas, no solo reducen las obstrucciones visuales, sino que maximizan la entrada de luz natural (véase la Figura 7), demostrando un enfoque innovador hacia la eficiencia energética y la sostenibilidad (Minner, 2022).

Este estudio de caso resalta no solo la reducción de cargas térmicas excesivas, sino también la creación de un entorno arquitectónico que mantiene un diálogo constante con su entorno. En el ámbito de la investigación, el Centro Diana se presenta como un modelo integral en la planificación y construcción de instalaciones universitarias sostenibles y de vanguardia, mostrando cómo la integración de estrategias innovadoras puede mejorar la eficiencia energética y la sostenibilidad en el ámbito arquitectónico.

Figura 7
Detalle de cristales en fachada



Nota. Tomado de *Centro Diana en Barnard College / Weiss/Manfredi* por Vecerka/ Warchol 2010 Archdaily.

Objetivos del trabajo

Objetivo general

Desarrollar una metodología integral que optimice la eficiencia energética de la envolvente de dos edificios del Campus Universitario de la Universidad del Valle de Atemajac en el Área Metropolitana de Guadalajara, a través de mejorar las condiciones de confort higrotérmico de sus ocupantes.

Objetivos específicos

1. . Identificar herramientas y técnicas que anticipen las condiciones óptimas de confort higrotérmico, adecuadas para el contexto geográfico y aceptadas por la mayoría de los usuarios.
2. Determinar las condiciones específicas y óptimas de confort higrotérmico aplicables a la mayoría de los usuarios en el entorno estudiado.
3. Realizar un monitoreo detallado de temperatura y humedad durante la temporada más calurosa del año para determinar las condiciones climáticas dentro de las aulas.
4. . Desarrollar propuestas para mejorar el confort higrotérmico, incorporando medidas que contribuyan al ahorro energético de las edificaciones, si es necesario.
5. . Cuantificar el ahorro energético resultante de la implementación de las propuestas.
6. . Elaborar un presupuesto para cuantificar el costo económico asociado a las propuestas identificadas. Conducir un análisis costo-beneficio para evaluar la viabilidad y eficacia de las propuestas de mejora.
7. Diseñar estrategias que sensibilicen a la comunidad universitaria sobre el cambio climático y fomenten prácticas conscientes en el uso de la energía.

Justificación

La necesidad de reducir los consumos energéticos en el Campus Universitario de la UNIVA surge de los compromisos sostenibles y sociales asumidos por la Universidad. En consonancia con estos principios, esta iniciativa no solo busca traducirse en una disminución de la huella de carbono de la institución, sino también desempeñar un papel significativo en la mitigación del impacto ambiental. La Universidad, al liderar esfuerzos hacia un desarrollo más sostenible, busca ejercer un rol proactivo y ejemplar en la preservación del entorno.

Limitaciones

No obstante, se reconocen diversas limitaciones en el trabajo y una de ellas es la viabilidad económica. La posibilidad de que las propuestas presentadas para la reducción de consumos energéticos enfrenten desafíos económicos puede dificultar su implementación. Es esencial abordar y evaluar este aspecto de manera rigurosa, considerando soluciones alternativas y estrategias que permitan superar posibles barreras económicas. La investigación y el análisis minucioso de la viabilidad económica serán fundamentales para garantizar la eficacia y sostenibilidad a largo plazo de las medidas propuestas.

Hipótesis

El uso de herramientas basadas en el análisis del confort higrotérmico permite generar propuestas de diseño arquitectónico pasivas que mejoran el bienestar térmico en edificaciones existentes que no solo mejoren el confort, sino que también reduzcan significativamente el consumo de energía eléctrica. Este enfoque contribuye a la disminución de emisiones de Gases de Efecto Invernadero y demuestra ser económicamente rentable.

Preguntas generadoras

Las preguntas generales para este trabajo de aplicación profesional son las siguientes:

1. ¿Cuáles son las herramientas y metodologías actuales para determinar el confort higrotérmico en los edificios existentes?
2. ¿Qué metodología resulta viable para esta investigación?
3. ¿Qué elementos de la arquitectura pasiva ayudan a mejorar los edificios en los que se realiza la investigación?
4. ¿Son viables económicamente?
5. ¿Qué ventajas presenta un edificio que utiliza la energía eléctrica de manera eficiente?
6. ¿Cuánto se obtiene en ahorros económicos a largo y mediano plazo con edificios energéticamente eficientes?
7. ¿Cuál es el impacto ambiental de estas edificaciones?

Descripción de las variables

Las variables objeto de estudio en esta investigación comprenden el análisis del confort higrotérmico y el ahorro energético en el contexto de las edificaciones. La Tabla 3 presenta una síntesis de estas dos variables cruciales en la evaluación de las construcciones. En dicha tabla, se proporcionan definiciones conceptuales y operacionales de cada variable, así como las dimensiones específicas en las que se aplican. Además, se detallan los indicadores utilizados para medir y evaluar cada aspecto, junto con la escala de medición correspondiente. Este enfoque metodológico permite una comprensión rigurosa de la evaluación y cuantificación de estos aspectos fundamentales del rendimiento de las edificaciones.

Tabla 3*Operacionalización de variables*

VARIABLES	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Confort higrotérmico	Es aquel estado que expresa satisfacción con el ambiente térmico y se evalúa mediante una evaluación subjetiva (ASHRAE, 2017)	Temperatura del aire entre 21°C a 27°C con humedad relativa menor entre 40 y 60% (ASHRAE, 2017)	Grupos de personas dentro de un edificio.	80% del porcentaje de personas satisfechas con el microclima dentro del edificio.	Ordinal
Ahorro energético	Con menos energía realizar las operaciones que comúnmente se realizan en las edificaciones.		Edificaciones	Medidor de energía eléctrica.	Ordinal

CAPÍTULO 3. DISEÑO METODOLÓGICO

En este capítulo se detallan las principales metodologías y técnicas utilizadas en este proyecto de aplicación profesional. Se adoptó un enfoque metodológico mixto que combinó herramientas tanto cuantitativas como cualitativas.

Como parte de la metodología, se diseñó un cuestionario para recabar información, tanto cuantitativa como cualitativa, sobre el confort higrotérmico en las aulas. Además, se utilizó equipo de monitoreo para evaluar las condiciones microclimáticas de los espacios y se realizaron análisis para identificar áreas de mejora en los edificios.

Para determinar el ahorro energético de la envolvente antes y después de las propuestas de mejora, se aplicó la metodología establecida en la NOM-020-ENER-2011.

Se implementó una estrategia de difusión sobre las propuestas de mejoras pasivas, con el objetivo de educar a la comunidad universitaria.

Finalmente, en una etapa posterior, se utilizaron técnicas financieras para evaluar el costo-beneficio de implementar las medidas correctivas sugeridas.

La metodología utilizada en este trabajo se estructuró de la siguiente manera:

- Análisis bioclimático de la AMG Jalisco, México.
- Diseño y aplicación de cuestionario basado en la norma ASHRAE 55.
- Monitoreo de temperatura y humedad relativa en las aulas educativas de la UNIVA Campus AMG.
- Cálculo con el PMV sugerido por la norma 55 de ASHRAE.
- Identificación de medidas de mitigación.
- Diseño de propuestas de arquitectura bioclimática.
- Estimación del ahorro energético.
- Evaluación económica.

A continuación, se describen cada una de las etapas y sus principales resultados.

Análisis bioclimático de la Área Metropolitana de Guadalajara

Con el propósito de llevar a cabo la presente investigación, se realizó un estudio bioclimático específico para la ciudad de Guadalajara, Jalisco, México. Se utilizó un archivo EPW proveniente de la estación meteorológica de Guadalajara, Chapalita, y se aplicó el software Climate Consultant para un análisis detallado. La elección de esta estación se fundamentó en su representatividad respecto a la ubicación del proyecto. La evaluación del confort higrotérmico se basó en la metodología establecida en la norma 55 de ASHRAE.

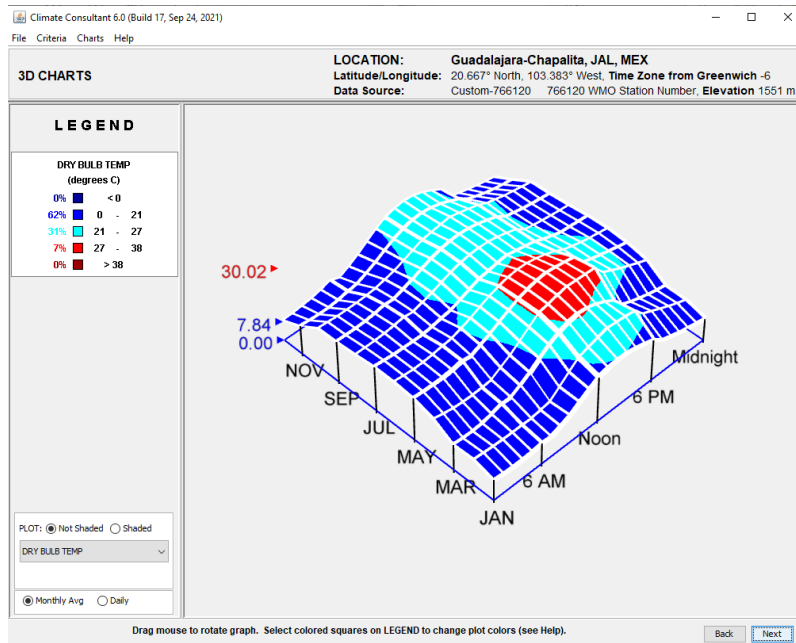
Los resultados más sobresalientes se sintetizan de la siguiente manera:

La Figura 8 evidencia que, durante los meses de mayo a julio, la temperatura externa presenta un menor número de horas en la zona de confort a lo largo del día. En respuesta a este hallazgo, se decidió llevar a cabo un monitoreo exhaustivo de la temperatura y humedad interna en las aulas durante este periodo.

Este enfoque metodológico permite una comprensión más precisa de las condiciones bioclimáticas específicas del entorno de estudio, proporcionando datos detallados que servirán como base para la identificación y aplicación de estrategias efectivas destinadas a mejorar las condiciones de confort higrotérmico en el campus universitario.

4o mini

Figura 8
Gráfica anual de la temperatura de bulbo seco



A continuación, se presentan gráficas referentes al estudio solar.

Figura 9
Gráfica solar del solsticio de invierno al solsticio de verano

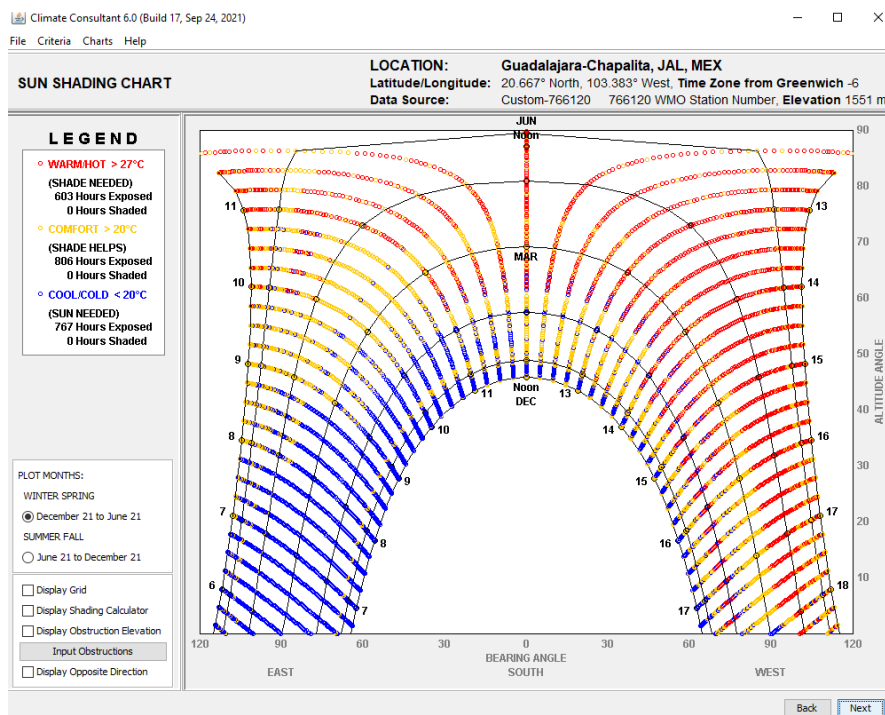
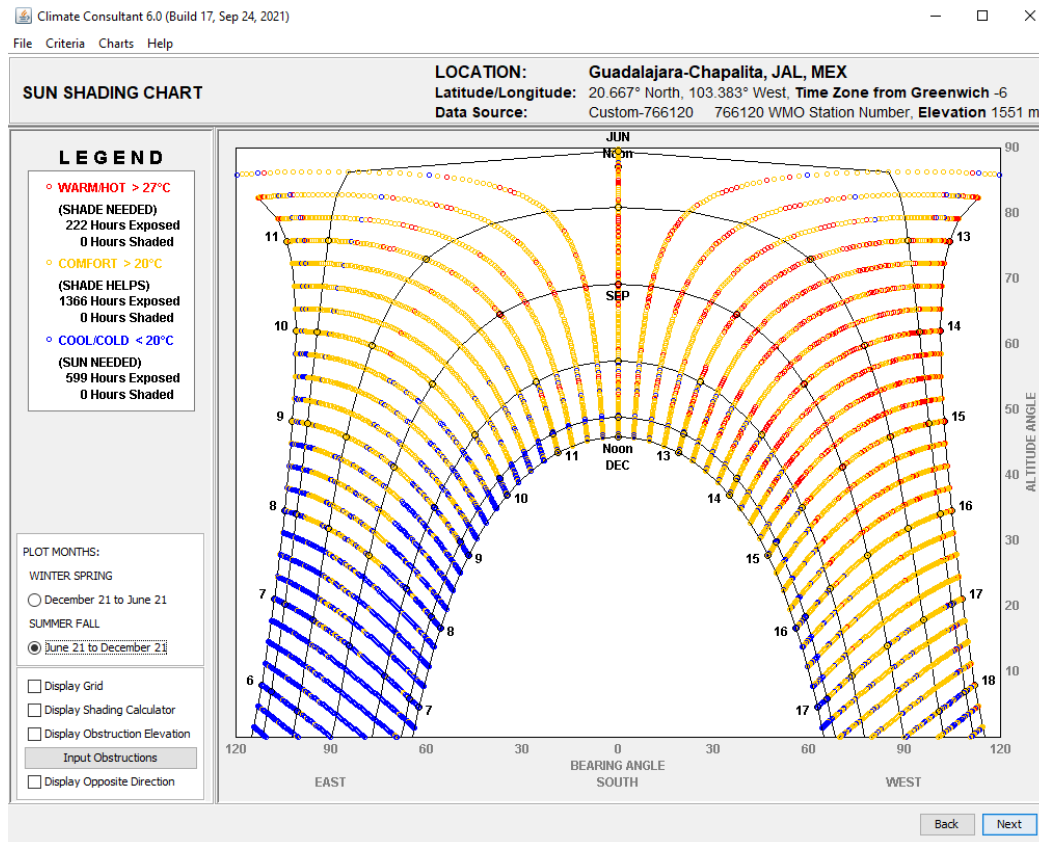


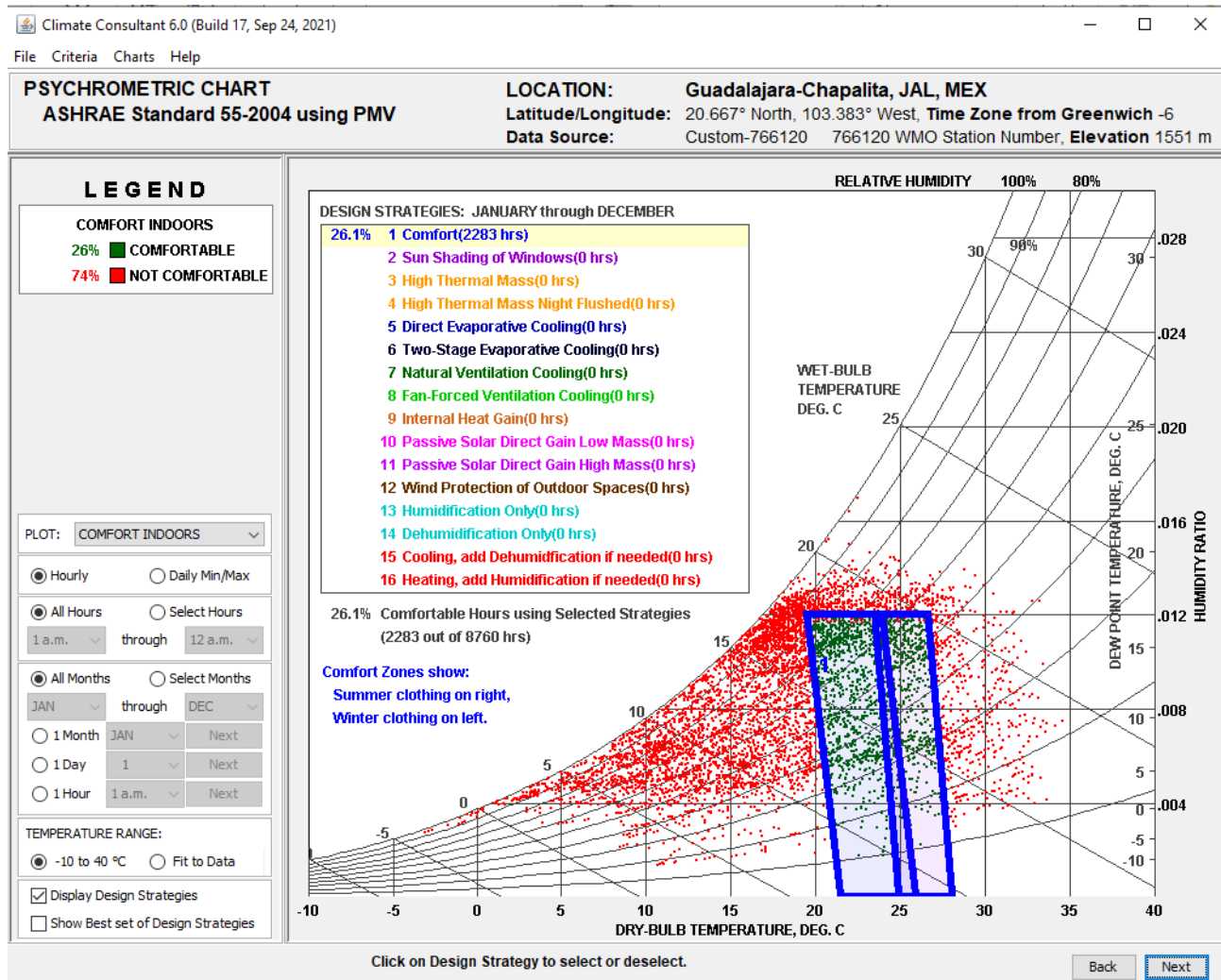
Figura 10
Gráfica solar del solsticio de verano al solsticio de invierno



Se puede observar en las Figuras 9 y 10 que la orientación con mayor incidencia solar es la del poniente. A partir del mediodía, la fachada alcanza una temperatura de 27°C, lo que, de acuerdo con la norma 55 de ASHRAE, clasifica esta zona como de incomodidad térmica para la mayoría de los usuarios. A partir de esta observación, se formula la hipótesis de que las aulas orientadas hacia el poniente experimentan mayores ganancias de calor a lo largo del día.

Posteriormente, la Figura 3.4 presenta una carta psicrométrica que facilita la identificación de las condiciones climáticas óptimas para generar confort higrotérmico.

Figura 11
 Carta psicrométrica anual



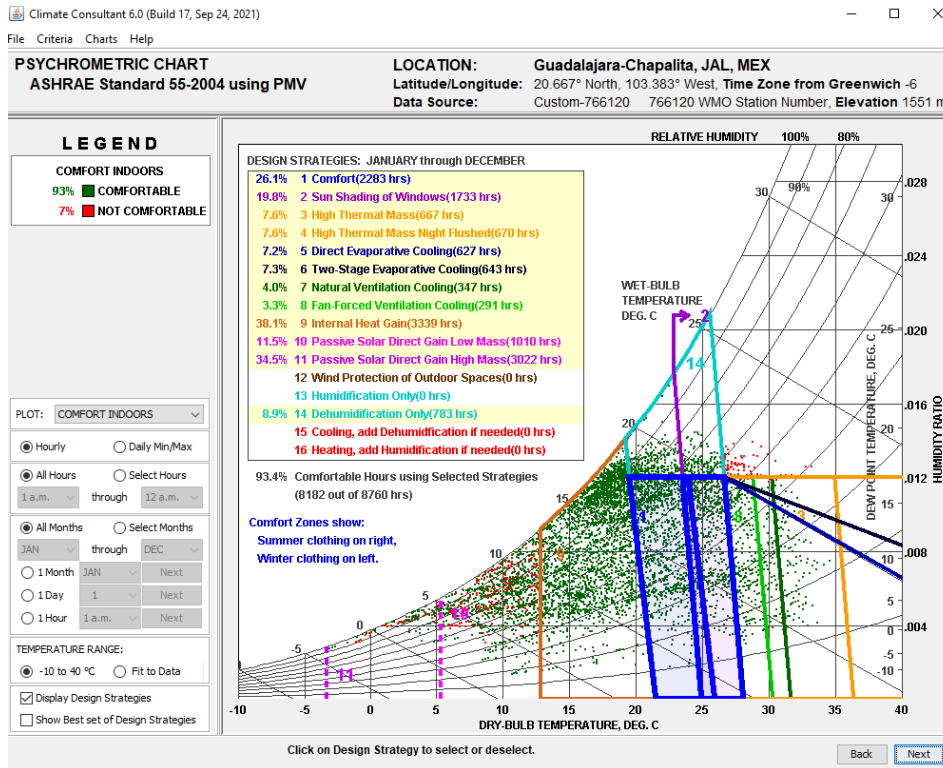
En la Figura 11, se evidencian mediciones representadas por puntos rojos, realizadas a lo largo del año en diversos intervalos horarios. La región delimitada por la línea azul refleja la zona de confort higrotérmico sugerida por la normativa 55 de ASHRAE.

Conforme a esta normativa, se establecen límites térmicos de la zona de confort que oscilan entre 21°C y 27°C. En cuanto a la humedad relativa, niveles superiores al 60% contribuyen a una percepción de falta de confort higrotérmico para la mayoría de los individuos en el entorno. Por otro lado, una humedad inferior al 30% podría desencadenar diversos problemas de salud, como sequedad cutánea o mucosas nasales reseca.

En la Figura 12, se presentan estrategias sugeridas por la herramienta Climate Consultant para ampliar las horas de confort higrotérmico en los edificios mediante la implementación de medidas pasivas y activas. Este enfoque ofrece soluciones prácticas y ajustadas a las condiciones específicas del entorno estudiado, con el objetivo de mejorar la percepción de confort y bienestar de los usuarios en el Campus Universitario.

Figura 12

Estrategias bioclimáticas para aplazar las horas de confort higrotérmico en las edificaciones



La Figura 12 revela que la estrategia más efectiva para aplazar horas fuera de la zona de confort higrotérmico es la ganancia de calor interno. Esta táctica muestra su beneficio especialmente en un rango de temperaturas entre 14°C y 21°C, lo que extiende la zona de confort en un 38.1% (3339 horas) a lo largo del año.

Otra estrategia destacada es la radiación solar pasiva en masa, aplicable en muros y techos, que contribuye significativamente a regular las temperaturas en días nublados o fríos, abarcando temperaturas desde inferiores a 0°C hasta 20°C.

Asimismo, la protección solar en las ventanas se muestra como una táctica efectiva, aumentando la zona de confort en un 19.8% (1733 horas) a lo largo del año, especialmente en situaciones donde la temperatura del aire supera los 25°C.

Teniendo en cuenta el clima propicio en el Área Metropolitana de Guadalajara, el diseño basado en la ventilación natural emerge como una estrategia energéticamente eficiente debido a la ausencia de temperaturas extremas en la región.

Los datos recabados indican que las orientaciones sur y poniente experimentan mayores ganancias de calor prolongadas, lo que resalta la importancia de un adecuado aislamiento o protección solar en dichas direcciones.

Para elementos translúcidos, como las ventanas, la orientación norte se presenta como la más adecuada, ya que cuenta con temperaturas más estables durante la mayor parte del tiempo y una menor incidencia de radiación solar directa.

Estas conclusiones derivan del análisis bioclimático realizado con Climate Consultant, cuya información se contrastó con los resultados del monitoreo de temperatura y humedad internas en las aulas, así como con los datos recopilados de la encuesta.

Presentación de los edificios a analizar

Las herramientas metodológicas se aplicaron en dos edificios específicos del Campus UNIVA en Guadalajara: el Edificio 4 y el Edificio 6.

El Edificio 4, con una tipología distintiva, constituye un elemento significativo en la institución y forma parte del diseño original de los primeros edificios construidos en este campus. Inaugurado en 1983 y ampliado en 1991 junto con el Edificio 2, alberga aulas destinadas a diversas carreras, como ingeniería, comunicación, nutrición, mercadotecnia e idiomas extranjeros, entre otras.

Por otro lado, el Edificio 6, construido en 2011, presenta una tipología semicircular y un diseño arquitectónico diferente a los edificios de aulas anteriores. Este edificio se dedica exclusivamente a la carrera de medicina, incluyendo aulas, dos laboratorios (alimentos y microbiología), una cámara de Gesell y un simulador de quirófano.

En términos de funcionalidad, el Edificio 4 alberga aulas y algunas oficinas, mientras que el Edificio 6 cuenta con aulas, laboratorios, una cámara de Gesell y un simulador de quirófano.

Un aspecto fundamental que motivó el análisis del Edificio 6 fue la particularidad de que los usuarios llevan una prenda adicional, la bata de laboratorio. Este estudio busca comprender la influencia de esta prenda en el confort higrotérmico en comparación con otras aulas donde las personas no usan batas, lo que proporciona una perspectiva valiosa sobre la interacción entre la vestimenta específica y las condiciones ambientales en el entorno educativo.

Descripción del Edificio 4

A continuación, se presenta una breve descripción del Edificio 4.

Las Figuras 13 y 14 contienen fotografías de la fachada norte y sur del edificio, y la Figura 3.8 incluye un diagrama de su distribución arquitectónica.

Figura 13

Fachada sur del Edificio 4



Figura 14

Fachada norte del Edificio 4



Figura 15

Diagrama de la distribución arquitectónica del Edificio 4

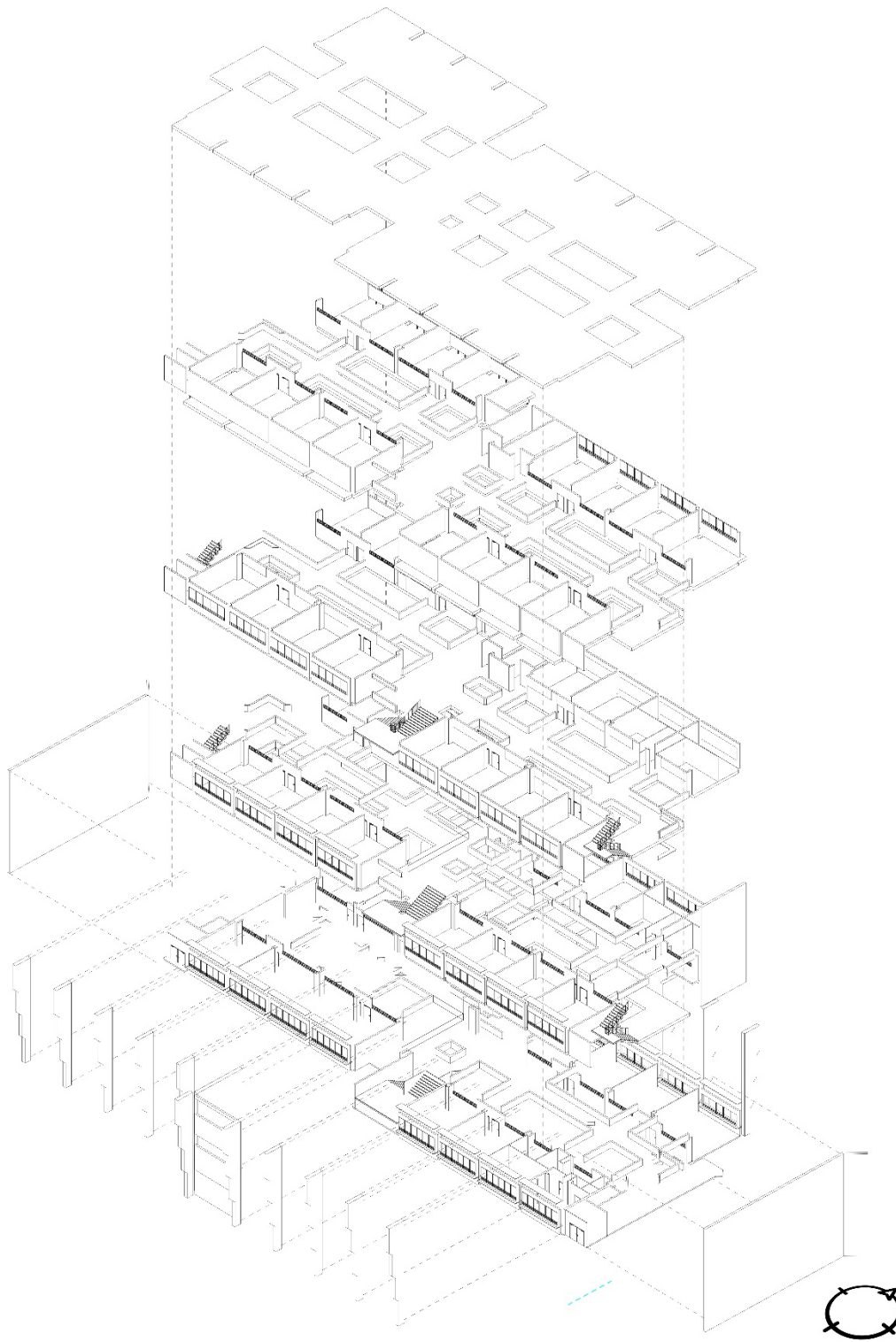
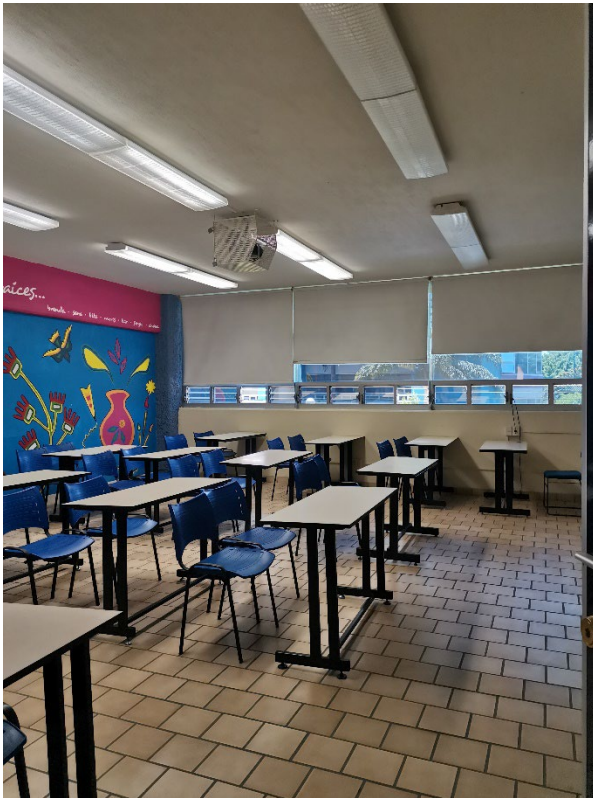


Figura 16

A) Interior del aula tipo del Edificio 4 B) Pasillos del Edificio 4

A)



B)



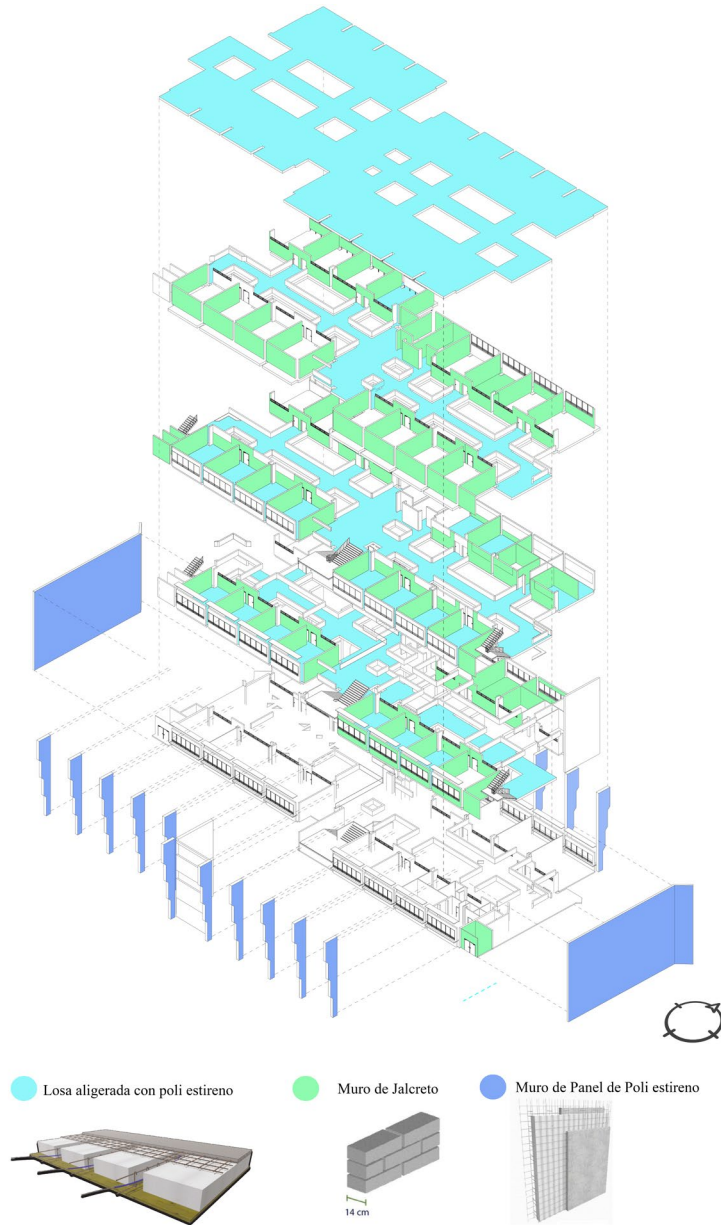
Materiales en la envolvente del Edificio 4

El sistema constructivo del Edificio 4 se fundamenta en columnas y trabes de concreto armado, con una losa aligerada mediante poliestireno para mejorar la eficiencia estructural. Los muros interiores están erigidos con bloques de concreto, revestidos con enjarre mezclado fino con un espesor de 2 centímetros en el interior y un acabado rugoso de 3 centímetros en el exterior. Además, se incorporan muros divisorios adicionales contruidos con paneles de poliestireno, recubiertos con los mismos tipos de enjarre mencionados anteriormente.

En cuanto a las ventanas, la cristalería del Edificio 4 exhibe manguetería de acero inoxidable con acabado natural y cristal con película reflejante en las fachadas. Cabe destacar que las ventanas que dan al pasillo no cuentan con ninguna película aplicada sobre el cristal. La Figura 16 proporciona una ilustración detallada de los componentes principales que constituyen la envolvente del Edificio 4. Este análisis

detallado de los materiales involucrados en la construcción del edificio resulta crucial para comprender su comportamiento térmico y energético, lo cual contribuye a la evaluación integral de su eficiencia en términos de confort higrotérmico. La Figura 16 presenta un esquema que hace referencia a los materiales de la envolvente del Edificio 4.

Figura 17
Diagrama de los componentes de la envolvente del Edificio 4



Descripción del Edificio 6

A continuación, se presenta una breve descripción del Edificio 6.

Las Figuras 17 y 18 contienen algunas fotografías de sus fachadas. La Figura 19 muestra el interior de las aulas tipo y la Figura 20 presenta un diagrama de la distribución arquitectónica.

Figura 18

Fachada norte del Edificio 6



Figura 19

Fachada sur del Edificio 7



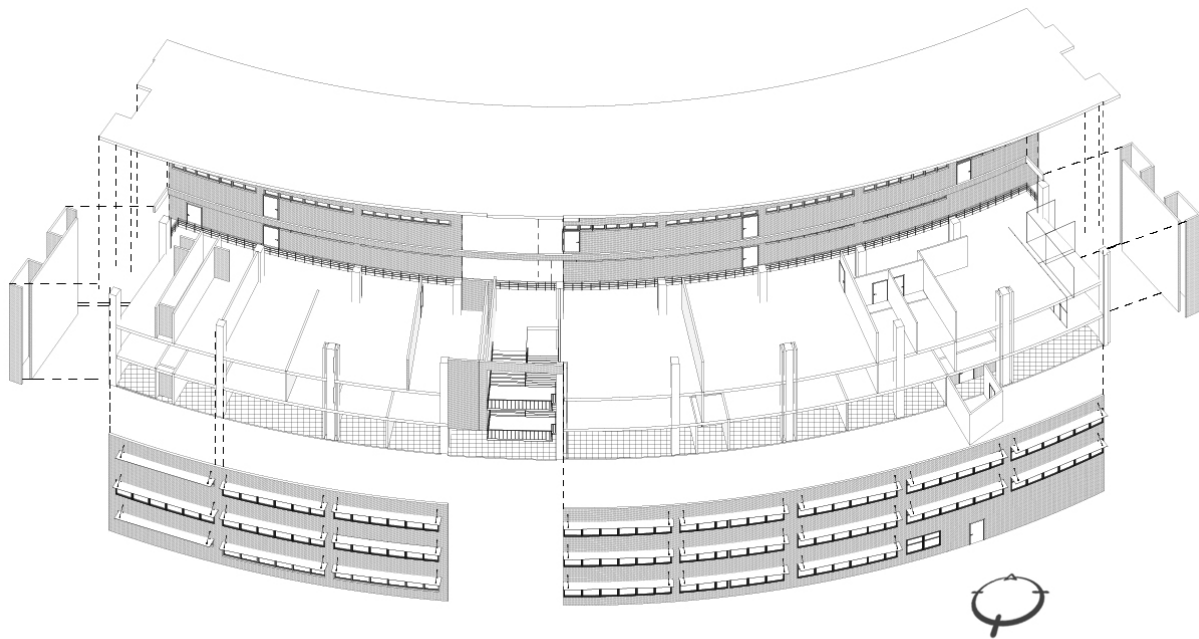
Figura 20

Fotografías del aula tipo Edificio 6



Figura 21

Diagrama de distribución arquitectónica del Edificio 6



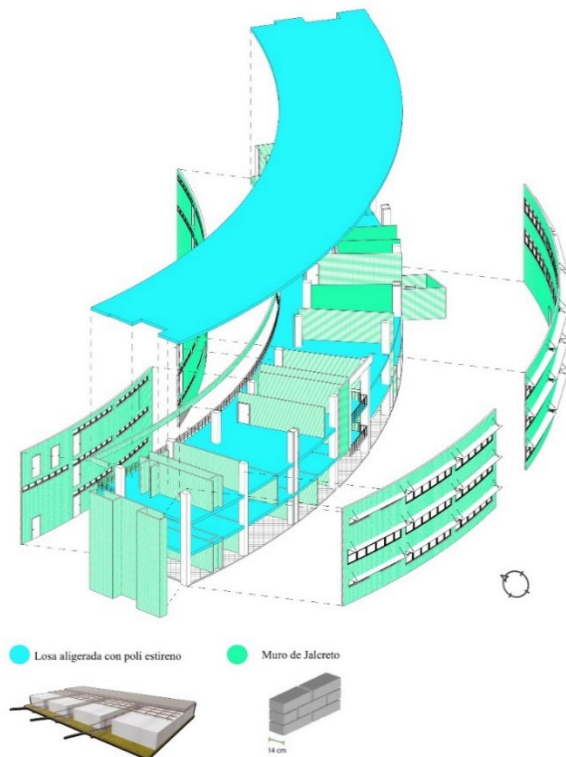
Materiales de la envolvente del Edificio 6

El Edificio 6 cuenta con un sistema constructivo formado por columnas y trabes de concreto armado, complementado con una losa aligerada que incorpora poliestireno para mejorar su eficiencia estructural.

Los muros divisorios están compuestos de bloques de concreto, revestidos con una capa de enjarre de mezcla que proporciona un acabado fino con un espesor de 2 centímetros.

En relación con la cristalería de las ventanas, se emplea manguitería de aluminio inoxidable con acabado natural, y el cristal no tiene ninguna película térmica aplicada. La disposición de estos elementos se observa detalladamente en la Figura 21. Este análisis pormenorizado de los materiales empleados en la construcción del Edificio 6 es esencial para comprender su comportamiento térmico y su impacto en las condiciones de confort higrotérmico en el interior, lo que contribuye a la evaluación integral de su eficiencia.

Figura 22
Envolvente del Edificio 6



Diseño y aplicación del cuestionario basado en la norma ASHRAE 55

La encuesta de percepción higrotérmica, conforme a las directrices establecidas en la norma ASHRAE 55:2013 y adaptada por el PMV de Fanger, se diseñó para abarcar todos los factores esenciales que deben considerarse al evaluar el ambiente térmico de los usuarios (ASHRAE, 2014).

Se llevó a cabo una comparación exhaustiva entre las tres metodologías más destacadas para evaluar el confort higrotérmico: Fanger, ISO 7730 y ASHRAE 55:2013. Este análisis meticuloso determinó la metodología más pertinente y práctica para implementar en este estudio. En este caso, se decidió utilizar el modelo proporcionado por la norma ASHRAE 55:2013 para la encuesta, reconociendo su validez y aplicabilidad en el contexto específico de evaluación de confort higrotérmico en los edificios del campus universitario.

Diseño del cuestionario

La primera sección aborda la fecha y hora de la encuesta, el número de aula y la presencia de equipos de climatización en los hogares de los encuestados. Esta última información tiene el propósito de establecer si el nivel de confort higrotérmico de las aulas podría estar influido por la presencia de aires acondicionados en los hogares de quienes respondieron la encuesta.

Las siguientes dos preguntas buscan clasificar a los encuestados en categorías de edad, lo cual, junto con la información sobre el género, resulta fundamental para comprender su tasa metabólica. De acuerdo con el estándar ASHRAE 55-2013 y los valores metabólicos correspondientes, se estima que la tasa metabólica de los estudiantes durante las clases equivale al nivel de actividad de trabajo en oficina, reflejado en una escala de unidades metabólicas de 2. Esto implica una eficiencia energética de 0 Met, 115 W/m² y 37 Btu/hft². Estos datos son esenciales para una evaluación precisa del confort térmico y la eficiencia energética en el entorno universitario, lo que permite una comprensión más completa de las condiciones ambientales y sus implicaciones en el bienestar de los usuarios.

La siguiente parte de la encuesta se centra en el aislamiento por ropa, un valor numérico requerido por la norma ASHRAE 55:2013 (ASHRAE, 2014). Los encuestados indican su vestimenta actual seleccionando entre las opciones proporcionadas.

Luego, se pide a los encuestados que califiquen el microclima dentro del aula utilizando la escala de 7 puntos propuesta por la norma ASHRAE 55:2013 y que expresen su percepción de la humedad relativa. Finalmente, se incluyeron dos preguntas abiertas para que los encuestados puedan expresar comentarios sobre aspectos arquitectónicos dentro del aula que contribuyen o afectan al confort higrotérmico.

El cuestionario completo se encuentra en el anexo A de este documento.

Diseño de la muestra y aplicación de la encuesta

El diseño de la muestra para el Edificio 4 se basó en un promedio de 180 alumnos que utilizan el edificio en un día, y la encuesta fue representativa con 120 cuestionarios respondidos. En el Edificio 6, el promedio de alumnos que lo utilizan diariamente es de 150. No se implementó un muestreo aleatorio probabilístico para la selección de salones y personas a encuestar; sin embargo, con la asistencia del software Survey Monkey, se determinó una muestra de 109 encuestas para lograr representatividad. A diferencia del Edificio 6, esta encuesta se dividió por horarios y salones específicos.

Las encuestas en el Edificio 4 se aplicaron en un horario de 11:00 a. m. a 4:00 p. m. el mismo día. En el caso del Edificio 6, se optó por realizar encuestas en horarios y salones específicos. La primera encuesta se llevó a cabo a las 8:00 horas en el Aula 6105, la segunda se realizó a las 13:00 horas en el Laboratorio de Microbiología, y la tercera encuesta se efectuó en el Aula 6205, ubicada en el último nivel del edificio, a las 13:15. Este enfoque permitió obtener datos más detallados sobre las condiciones de confort higrotérmico en áreas específicas del Edificio 6.

A continuación, se presentan los datos más relevantes de la encuesta, divididos por edificios.

Datos relevantes de la encuesta aplicada el 25 de mayo del 2022 en el Edificio 4

Del total de encuestados, el 59.5% fueron mujeres y el 40.5% fueron hombres. Esto sugiere que los resultados de esta muestra podrían inclinarse hacia la percepción del confort higrotérmico de las mujeres.

Para determinar el valor de aislamiento por ropa, se han extraído conclusiones relevantes, las cuales se presentan en la Tabla 4 en la sección de vestimenta del usuario.

Tabla 4

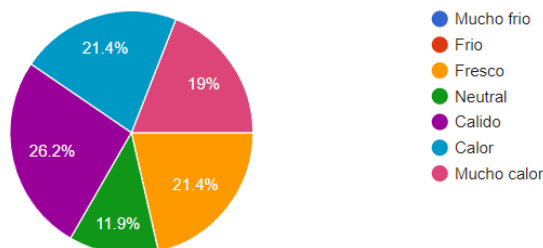
Resultados de la encuesta del Edificio 4 con relación a la ropa

Porcentaje de personas con camisa de manga corta	63.3%
Porcentaje de personas con camisa de manga larga	21.4%
Porcentaje de personas con camisa sin mangas	14.3%
Porcentaje de personas con sudadera/ bléiser / suéter	11.9%
Porcentaje de personas con bata de laboratorio	2.4%
Porcentaje de personas con chamarra o abrigo	4.8%
Porcentaje de personas con pantalón largo	83.3%
Porcentaje de personas con falda	9.5%
Porcentaje de personas con pantalones cortos	7.1%
Porcentaje de personas con zapato o zapatilla	38.1%
Porcentaje de personas con tenis	57.1%
Porcentaje de personas con botas	4.8%

En la pregunta 5, se instó a los participantes a utilizar una escala predeterminada para evaluar su percepción actual del clima en el aula. Según los resultados obtenidos y en consonancia con la escala de confort térmico ASHRAE 55 (2013) presentada en la Figura 22, se identificó que el 59.5% de los individuos expresó satisfacción, mientras que el 40.5% manifestó insatisfacción.

Figura 23

Resultados de la percepción del clima en la encuesta del Edificio 4



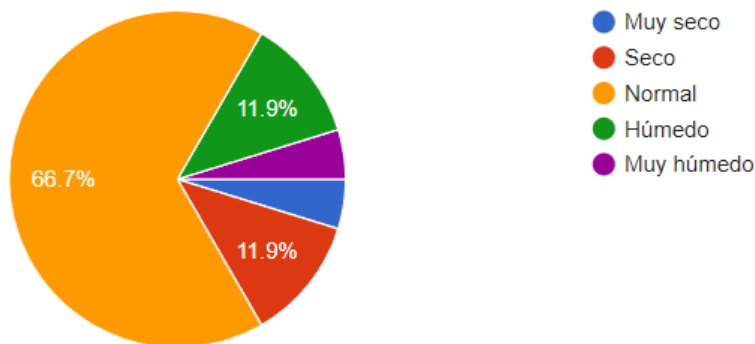
Es relevante destacar que, a pesar de que existe una mayoría de personas que califica el confort térmico como aceptable dentro de las aulas, esta proporción no alcanza el umbral necesario para determinar un confort higrotérmico, según la fórmula de Predicted Mean Vote (PMV). Según la norma, se requiere un mínimo del 80% de personas satisfechas para considerar que el espacio posee buenas condiciones de confort higrotérmico.

En la pregunta 6, se evaluó el nivel de satisfacción con la temperatura dentro del aula. Los resultados indican que el 52.4% de las personas expresó insatisfacción con la temperatura del aire, mientras que el 47.6% mostró satisfacción.

En la pregunta 8, se solicitó a los participantes evaluar el nivel de humedad al interior del aula mediante una escala. La Figura 23 presenta los resultados, destacando que la mayoría de las personas expresó conformidad con la humedad relativa dentro del aula.

Figura 24

Resultados de la conformidad de la humedad relativa en la encuesta del Edificio 4



En el ámbito de la ventilación, el 52.4% de los encuestados manifestó satisfacción con la ventilación dentro del aula, mientras que el 47.6% expresó insatisfacción. Además, se observó que el 64.3% prefirió la ventilación artificial, en contraste con el 35.7% que favoreció la ventilación natural.

En lo que respecta a las condiciones de enfriamiento en el entorno residencial de los encuestados, se constató que solo el 28.3% posee sistemas de climatización artificial, mientras que el 71.4% carece de algún tipo de climatización artificial en sus hogares.

En el análisis de las sugerencias para mejorar el confort térmico del espacio, los encuestados destacaron diversas propuestas, como mejoras en la ventilación, apertura de ventanas, aumento del flujo de aire natural, diseño de espacios más iluminados y abiertos, así como la implementación de ventanas de mayor apertura. Estas observaciones proporcionan información valiosa para la formulación de estrategias destinadas a optimizar el bienestar higrotérmico en el entorno educativo.

Datos relevantes de la encuesta aplicada el 9 de mayo del 2022 en el Edificio 6

A continuación, se presentan algunos de los datos más relevantes obtenidos mediante la encuesta aplicada el 9 de mayo de 2022.

El diseño de la muestra se realizó con base en un promedio de 150 alumnos que utilizan el Edificio 6 durante un día. Aunque no se diseñó un muestreo aleatorio probabilístico para la selección de los salones y personas a encuestar, con apoyo del software Survey Monkey se determinó una muestra de 109 encuestas para lograr un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5% respecto a todo el edificio para las condiciones que se presentaron ese día. En este sentido, los resultados que a continuación se presentan deben considerarse solamente indicativos del nivel de confort en los salones individuales.

Las encuestas se llevaron a cabo en tres espacios y horarios diferentes con el fin de comparar la percepción del confort higrotérmico en los tres pisos del Edificio y en diversos horarios.

La primera encuesta se realizó a las 8:00 horas en el Aula 6105, la segunda se llevó a cabo a las 13:00 horas en el Laboratorio de Microbiología, y la tercera encuesta se efectuó en el Aula 6205, ubicada en el último nivel del edificio, a las 13:15.

En términos demográficos, se observó que el 64% de los encuestados fueron mujeres, mientras que el 36% fueron hombres, sugiriendo una posible inclinación hacia la percepción del confort higrotérmico de las mujeres en la muestra, similar a la encuesta aplicada en el Edificio 4.

El análisis de la vestimenta reveló resultados significativos, como se presenta en la Tabla 5, donde se destaca que el 86% de los encuestados llevaban camisa de manga corta, el 14% camisa de manga larga, y

el 100% utilizaba pantalón largo. Además, se detalló el uso de calzado, con un 60% de personas utilizando zapato o zapatilla, el 39% con tenis y un mínimo del 1% con botas. Un 40% de los encuestados portaba bata de laboratorio.

Tabla 5

Resultados de la encuesta del Edificio 6 con relación a la ropa

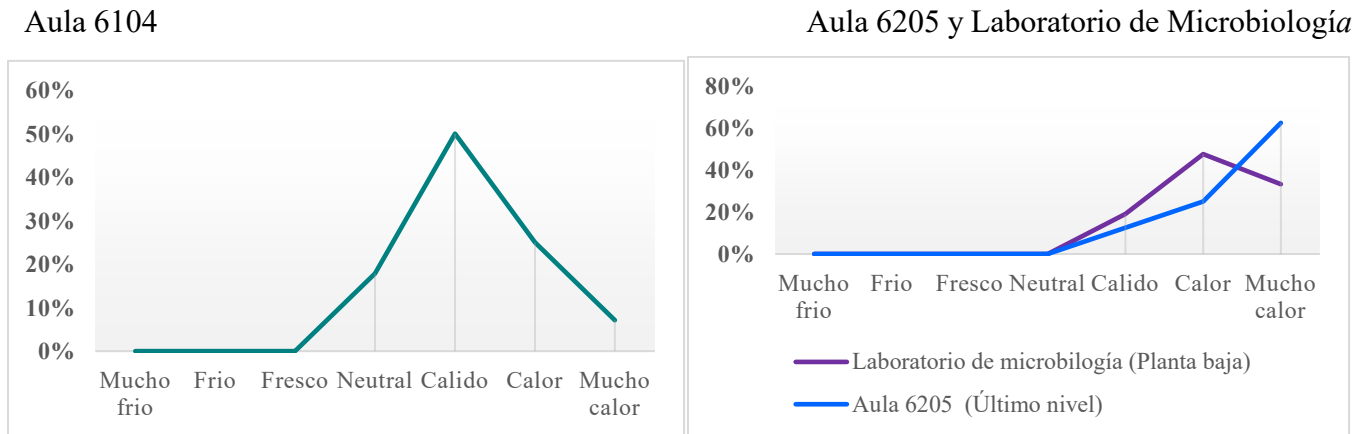
Porcentaje de personas con camisa de manga corta	86%
Porcentaje de personas con camisa de manga larga	14%
Porcentaje de personas con camisa sin mangas	14.3%
Porcentaje de personas con sudadera/ bléiser / suéter	0%
Porcentaje de personas con bata de laboratorio	40%
Porcentaje de personas con chamarra o abrigo	0%
Porcentaje de personas con pantalón largo	100%
Porcentaje de personas con falda	0%
Porcentaje de personas con pantalones cortos	0%
Porcentaje de personas con zapato o zapatilla	60%
Porcentaje de personas con tenis	39%
Porcentaje de personas con botas	1%

La pregunta 4 del cuestionario, formulada conforme a la escala de ASHRAE 55, abordó la percepción del clima en el aula en ese momento. Los resultados, como se evidencia en la Figura 24 para el Aula 6104 a las 8:00 horas, indicaron que el 68% de los ocupantes consideró las condiciones térmicas aceptables, mientras que el 32% las percibió como calurosas, colocándolas fuera de la zona de confort higrotérmico.

La comparación entre el Laboratorio de Microbiología y el Aula 6205, presentada en la Figura 24, revela que en el primer caso el 80% de las personas mostró insatisfacción, calificándolo como caluroso o muy caluroso, mientras que, en el segundo, el 88% lo consideró muy caluroso a caluroso.

Figura 25

Resultados encuesta la pregunta 4, en dos aulas del Edificio 6, el 9 de mayo, durante el segundo periodo de monitoreo



Para la pregunta 7, enfocada en evaluar la percepción de la humedad relativa, se obtuvieron resultados contrastantes. En el Aula 6104, más del 60% de los encuestados se mostró satisfecho con la humedad relativa, aunque los datos de monitoreo indicaron un 28% de humedad. En cambio, tanto en el Aula 6205 como en el Laboratorio de Microbiología, la mayoría expresó insatisfacción, considerando el ambiente como seco o muy seco.

La preferencia de ventilación, abordada en la pregunta 9, reveló que el 73.5% de los encuestados prefiere la climatización artificial, a pesar de que solo el 30% cuenta con un equipo de este tipo en sus hogares. La preferencia por la ventilación natural fue manifestada por el 26.5% de los participantes.

Discusión de resultados

La investigación realizada en el Edificio 4 y 6, mediante encuestas aplicadas el 25 de mayo y el 9 de mayo de 2022, respectivamente, proporciona información valiosa sobre la percepción del confort higrotérmico en entornos educativos. En ambas muestras, se observó una predominancia de participantes del género femenino, con un 59.5% en el Edificio 4 y un 64% en el Edificio 6. Este sesgo demográfico sugiere la necesidad de considerar posibles variaciones en la percepción del confort higrotérmico entre géneros.

En cuanto a la vestimenta, las Tablas 5 y 4 revelan la prevalencia de prendas de manga corta y pantalones largos en ambas encuestas, indicando un enfoque hacia una vestimenta más ligera. La inclusión de batas

de laboratorio en la vestimenta del Edificio 6, en particular, puede influir en la percepción térmica, considerando la posible retención de calor adicional.

La evaluación de la percepción del clima, conforme a la escala ASHRAE 55, destaca que el 59.5% y el 68% de los participantes en los Edificios 4 y 6, respectivamente, expresaron satisfacción con las condiciones térmicas. Sin embargo, estos porcentajes no alcanzan el umbral del 80% necesario para cumplir con los estándares de confort higrotérmico, según la fórmula del Voto Medio Estimado. Este hallazgo sugiere la presencia de áreas de mejora en la adecuación del ambiente higrotérmico a las preferencias de los ocupantes.

La evaluación del nivel de satisfacción con la temperatura en la pregunta 6 muestra una división, con el 52.4% de insatisfacción y el 47.6% de satisfacción en el Edificio 4, y resultados similares en el Edificio 6. Estos datos reflejan la importancia de la temperatura en la percepción general del confort térmico y señalan áreas específicas que pueden requerir intervenciones.

La evaluación de la humedad relativa en la pregunta 8 revela diferencias significativas entre los edificios. Mientras que en el Edificio 4 la mayoría de los participantes expresó conformidad, en el Edificio 6, específicamente en el Aula 6205 y el Laboratorio de Microbiología, se registró insatisfacción mayoritaria. Estas disparidades pueden asociarse con factores ambientales específicos o variaciones locales en los patrones de humedad.

En el ámbito de la ventilación, la preferencia por la climatización artificial es evidente en ambos edificios, a pesar de que solo un porcentaje reducido de encuestados posee sistemas de climatización artificial en sus hogares. Este resultado subraya la preferencia generalizada por soluciones de ventilación artificial, posiblemente vinculada a percepciones individuales de comodidad; este tema podría ser un campo de estudio en futuras investigaciones.

En resumen, los resultados de las encuestas proporcionan una visión detallada de la percepción del confort higrotérmico en entornos educativos, destacando áreas de satisfacción y descontento. Estos hallazgos son fundamentales para informar estrategias y mejoras específicas en la gestión del ambiente higrotérmico en estos espacios, contribuyendo así al bienestar y rendimiento de los ocupantes.

Monitoreo de condiciones de temperatura y humedad relativa

Para llevar a cabo el monitoreo de temperatura y humedad, se emplearon dispositivos de la marca HOBO Data Logger. Este equipo mide tanto la humedad relativa como la temperatura del aire, y en algunos casos, solo la temperatura. La colocación del dispositivo se realizó a una altura aproximada de 1.10 metros, que refleja la altura promedio a la cual los usuarios llevan a cabo sus actividades en el aula.

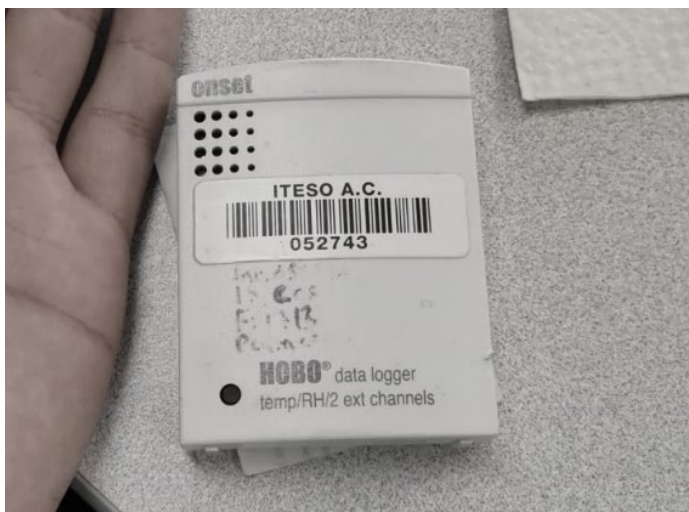
Como referencia para determinar los niveles de temperatura y humedad aceptables para el 80% de los ocupantes, se utilizaron los parámetros recomendados por ASHRAE 55:2013, consultando la carta psicrométrica proporcionada por el software Climate Consultant. Este documento sugiere que la temperatura del aire debe oscilar entre 21°C y 27°C durante esta temporada del año, con una relación directa con la temperatura exterior y la humedad relativa (Manual del Usuario de la Norma 55-2013 de ASHRAE: ANSI/ASHRAE Standard 55-2013, Condiciones Ambientales Térmicas para la Ocupación Humana, página 41). La humedad no debe exceder el 60%.

El objetivo de este monitoreo fue analizar el comportamiento del microclima interior en ambas edificaciones y comparar estos resultados con las respuestas obtenidas en el cuestionario.

La Figura 25 presenta una fotografía del equipo utilizado para llevar a cabo el monitoreo.

Figura 26

Equipo de monitoreo de temperatura y humedad relativa de la marca HBO



Principales resultados del monitoreo de temperatura y humedad

La presente sección expone los hallazgos preeminentes derivados del monitoreo sistemático de las condiciones internas de temperatura y humedad relativa en las aulas del Edificio 4 y el Edificio 6. La secuencia de las evaluaciones siguió una cronología determinada por las agendas académicas, iniciándose con el Edificio 6 y posteriormente llevándose a cabo en el Edificio 4.

Resultados del monitoreo de temperatura y humedad del Edificio 6

El monitoreo de temperatura y humedad en el Edificio 6 se realizó del 28 de abril al 9 de mayo de 2022. Para esta tarea, se ubicaron equipos de monitoreo en nueve aulas distribuidas en tres niveles: dos en planta baja, cuatro en planta intermedia y tres en planta alta.

Los equipos se instalaron considerando diferentes orientaciones de las aulas: I) ala este, II) ala poniente y III) zona central del edificio. Esta estrategia permitió evaluar el comportamiento del edificio en relación con las diversas orientaciones de los muros de las aulas, como se muestra en la Figura 26. En algunos casos, como en el aula de planta baja orientada al poniente, no fue posible colocar el equipo debido a que el aula no estaba en uso.

En la Figura 27 se presentan los datos del monitoreo desde el 28 de abril hasta el 3 de mayo de 2022, mientras que la Figura 28 muestra los datos de la segunda semana de monitoreo, del 4 al 9 de mayo de 2022.

De manera general, la Figura 27 revela que las aulas ubicadas en el último piso (6201, 6204 y 6205) presentaron las temperaturas más altas durante ese periodo de monitoreo, con variaciones mínimas a lo largo del día.

Es importante destacar que el aula de Laboratorio de Microbiología muestra una inestabilidad térmica, evidenciada por variaciones significativas en las temperaturas a lo largo de la semana.

El aula que presenta las mejores condiciones térmicas más estables es el Quirófano ubicado en planta baja.

Figura 27

Croquis de la localización del equipo de monitoreo de temperatura y humedad relativa en el Edificio 6

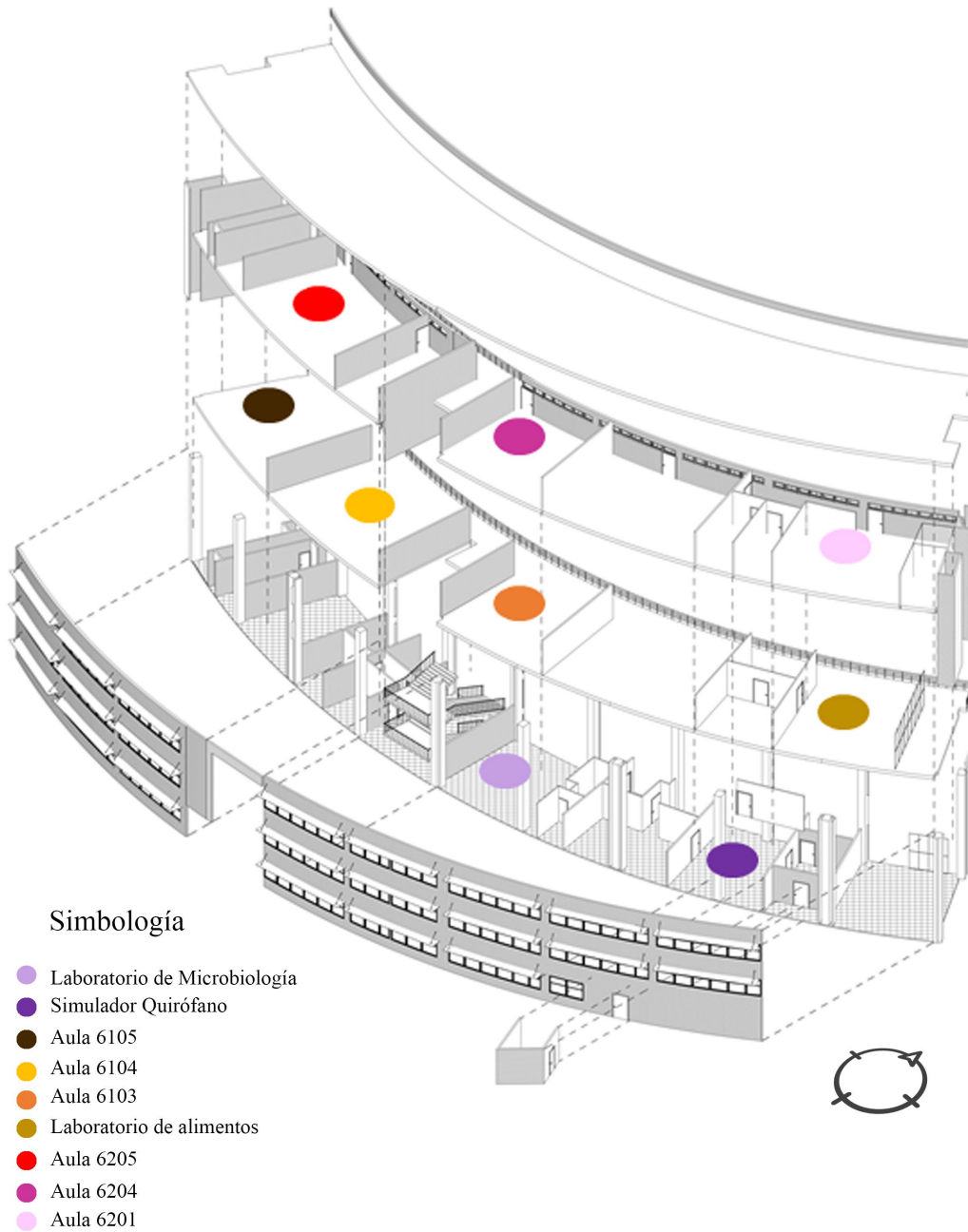
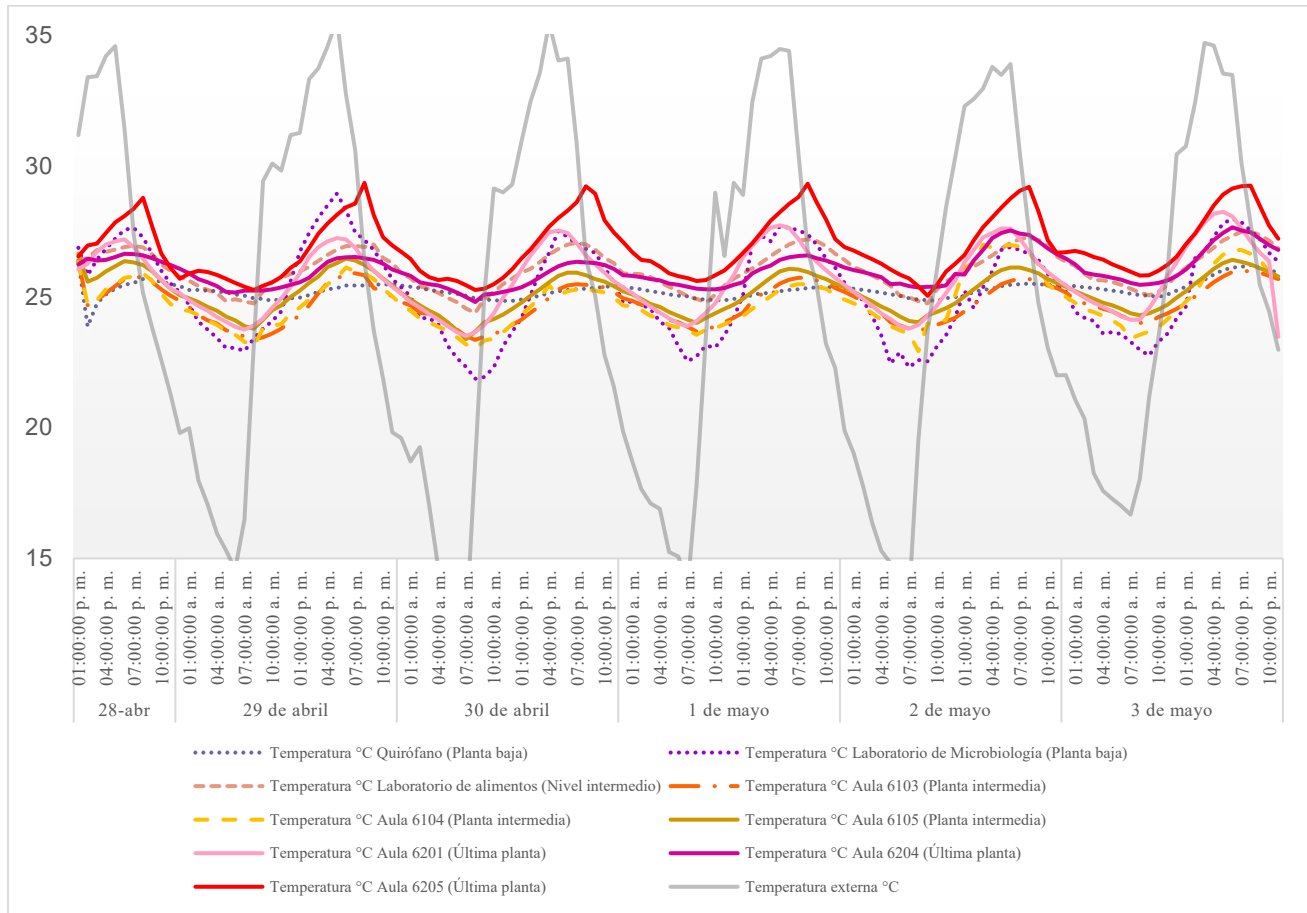


Figura 28

Gráfica comparativa de la temperatura interna en las aulas del Edificio 6 semana del 28 de abril al 03 de mayo del 2022



Al analizar la información de la gráfica en la Figura 28, se observa que las aulas en el último nivel, específicamente las aulas 6201 y 6205, presentaron temperaturas más altas y mayores variaciones en comparación con el Aula 6104. Esto sugiere que la curvatura del edificio expone las aulas 6201 y 6205 a la radiación solar, la primera durante la mañana y la segunda durante la tarde. Esto indica que la geometría del edificio, en particular su forma curva, puede influir en las ganancias de calor de ciertos espacios. Estas aulas tienden a salir de la zona de confort higrotérmico entre las 15:00 y las 21:00 horas aproximadamente, con algunas variaciones. En este grupo, el Aula 6205, ubicada al poniente, registra las temperaturas más altas, lo que coincide con el análisis que se realizó con la información del Climate Consultant.

En relación con las aulas del piso intermedio (6103, 6104, 6105 y el Laboratorio de Alimentos), la Figura 27 muestra que las aulas 6103, 6104 y 6105 mantuvieron una temperatura dentro de los rangos de confort,

oscilando entre los 23°C y 26°C. Al igual que en el último nivel, la geometría del edificio influye en las ganancias de calor interno en las aulas.

El Aula 6105, cuya fachada está orientada al suroeste, registra aproximadamente 1°C más en la mayor parte del tiempo en comparación con el Aula 6103, cuyas fachadas dan al norte y al sur. La temperatura en el Aula 6104 es ligeramente más baja que en el Aula 6103 en la mayor parte del tiempo, con una diferencia de milésimas de grado centígrado. Este patrón es muy similar al observado en las aulas del último nivel, aunque en este grupo, las variaciones son menores, de alrededor de 2°C.

En cuanto al Laboratorio de Alimentos, situado en el piso intermedio, se observa una mayor temperatura con respecto a las aulas 6103, 6104 y 6105, pero se puede atribuir al uso de hornos, refrigeradores y planchas, que incrementan las ganancias de calor internas. Espacios de este tipo, con fuentes de calor internas, demandan estrategias diferentes de enfriamiento. Sería recomendable que estos espacios se ubiquen en planta baja y cuenten con mecanismos de ventilación que faciliten un control estricto de la temperatura durante la preparación de alimentos, al tiempo que permitan la evacuación del aire caliente cuando el espacio no esté en uso. Esto se debe a que tanto las actividades realizadas en su interior como el equipo utilizado influyen en la temperatura interna del laboratorio.

En relación con las aulas situadas en la planta baja, se destaca que el Laboratorio de Microbiología experimentó las mayores variaciones de temperatura durante la semana de monitoreo. En este espacio, se observaron temperaturas que fluctuaron entre los 21°C y los 29°C. En contraste, en el Quirófano se registraron temperaturas más estables, manteniéndose en el rango de 24°C a 25°C la mayor parte del tiempo.

La información indica que el Laboratorio de Microbiología, al trabajar con materiales que generan aumento de calor y humedad dentro del aula, experimenta variaciones significativas de temperatura. Se observó un aumento de temperatura más pronunciado el 29 de abril, de 13:00 a 15:00 horas, en comparación con los demás días de la semana. Esto se debe a que ese día el Laboratorio estaba en uso de 13:00 a 16:00 horas. Se sugiere aplicar una estrategia similar a la utilizada en el Laboratorio de Alimentos para controlar la temperatura en este espacio.

Por el contrario, en el Aula del Quirófano, la temperatura se mantiene muy estable y se destaca por su resistencia térmica al exterior.

Durante la semana siguiente de monitoreo (del 4 al 9 de mayo de 2022), se observa que la temperatura interna en todas las aulas aumentó en comparación con la semana anterior, en respuesta al incremento de la temperatura externa. En las aulas del nivel intermedio, se alcanzaron registros de temperatura similares a los del último nivel en algunos días.

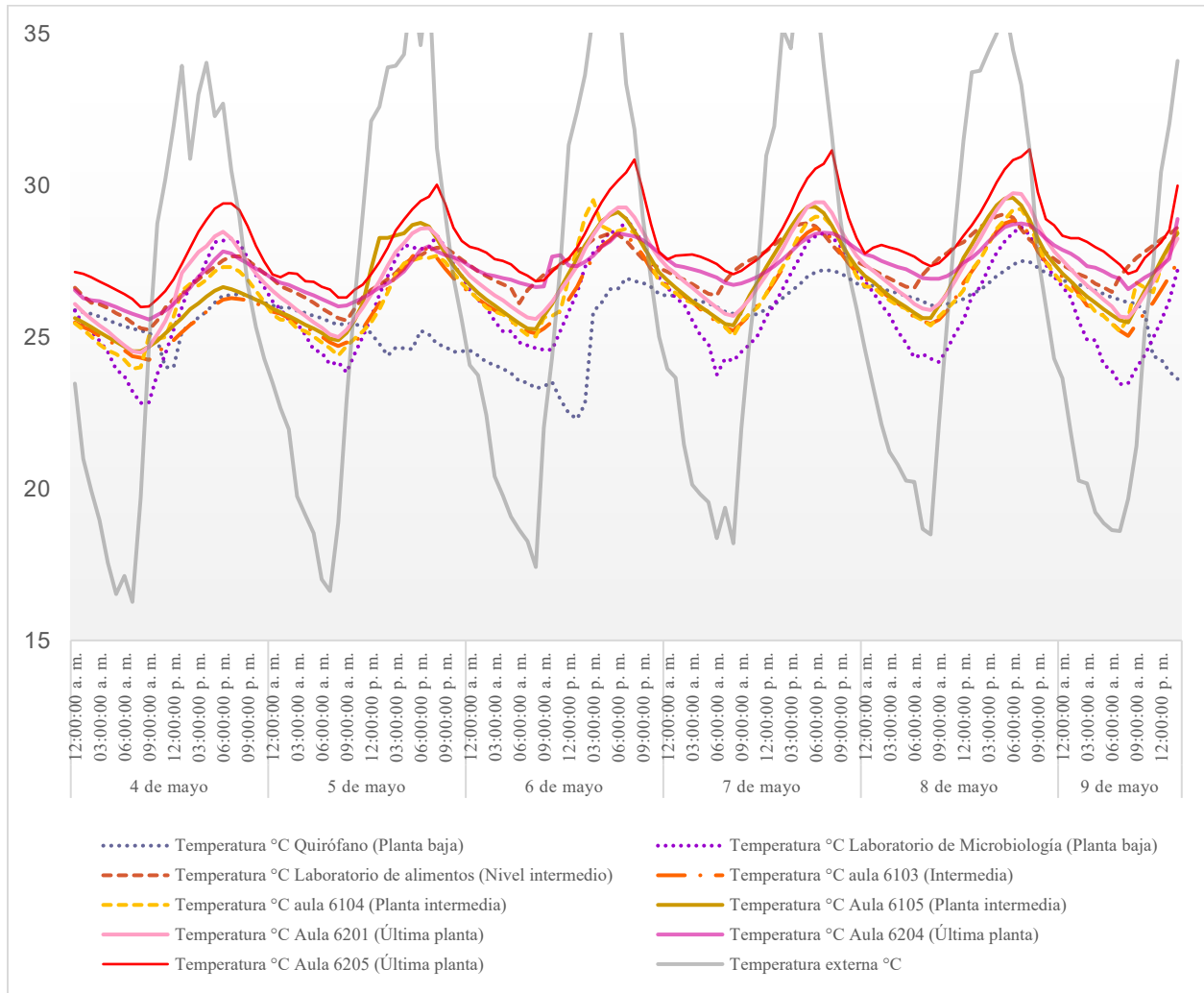
Las aulas del último nivel (6201, 6204 y 6205) muestran patrones similares a los de la semana anterior, con algunas variaciones. La temperatura interna más alta sigue registrándose en el Aula 6205, seguida por el Aula 6201. En cambio, el Aula 6204 presenta menos variaciones en su temperatura. A partir de las 13:00 horas, las temperaturas internas de estas aulas superan la zona de confort higrotérmico, especialmente en las aulas orientadas al este y al oeste, mientras que en las primeras horas de la madrugada, la temperatura interna se sitúa en el límite de la zona de confort térmico (27°C).

En el grupo del nivel intermedio, el patrón sigue siendo similar al de la semana pasada, con la excepción del aumento generalizado de las temperaturas. El Aula 6105 continúa siendo la que presenta las temperaturas más elevadas, mientras que las aulas 6104 y 6103 exhiben niveles muy similares, con algunas variaciones; siendo el Aula 6104 ligeramente más cálida en la mayoría del tiempo en comparación con el Aula 6103.

En la planta baja, al igual que la semana anterior, el Quirófano mantiene temperaturas más estables en comparación con el Laboratorio de Microbiología, permaneciendo dentro de la zona de confort térmico.

Figura 29

Gráfica comparativa de la temperatura interna en las aulas de Edificio 6 del 4 al 9 de mayo del 2022



La gráfica de la Figura 29 evidencia que el Laboratorio de Microbiología muestra temperaturas más altas que la semana anterior, oscilando entre 26°C y 28°C durante la mañana (de 7:00 a 12:00 horas), entre 29°C y 28°C por la tarde (de 13:00 a 19:00 horas) y entre 28°C y 26°C por la noche (de 19:00 a 7:00 horas).

En cuanto al monitoreo de humedad relativa, los resultados son los siguientes:

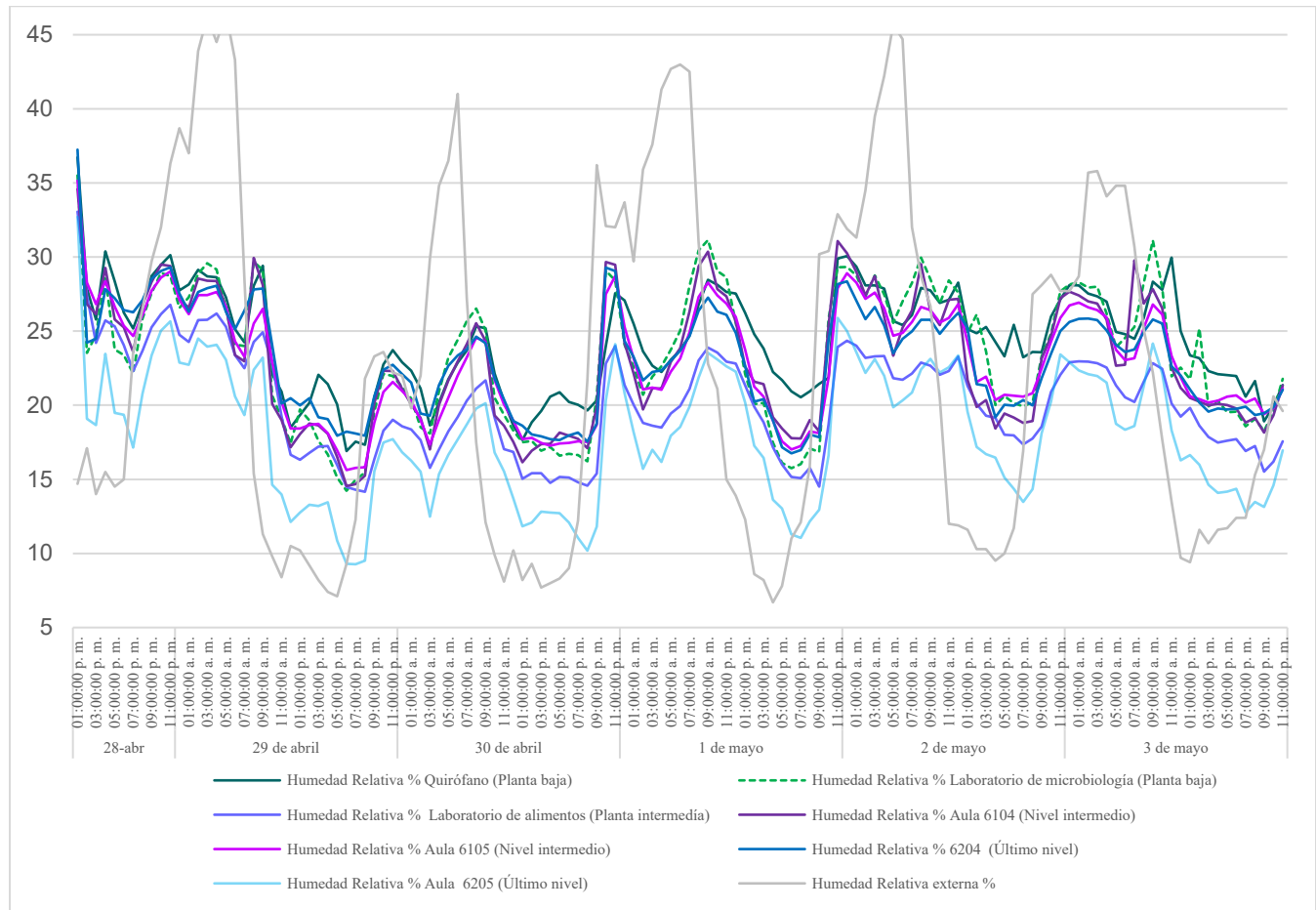
Los monitores de temperatura y humedad colocados en las aulas 6103 y 6201 no registraron la humedad en el aire, por lo que se excluyen de estas gráficas.

Como se muestra en la Figura 29, los niveles de humedad relativa interna en todas las aulas son inferiores al 30%. Para la zona geográfica del Área Metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México, una humedad por debajo del 30% puede generar malestares en la salud de las personas, como piel reseca o mucosas

nasales secas en quienes habitan ese espacio. Sin embargo, esto no afecta negativamente el confort higrotérmico del usuario.

Figura 30

Comparativa de la humedad relativa interna y externa del 28 de abril al 3 de mayo del 2022



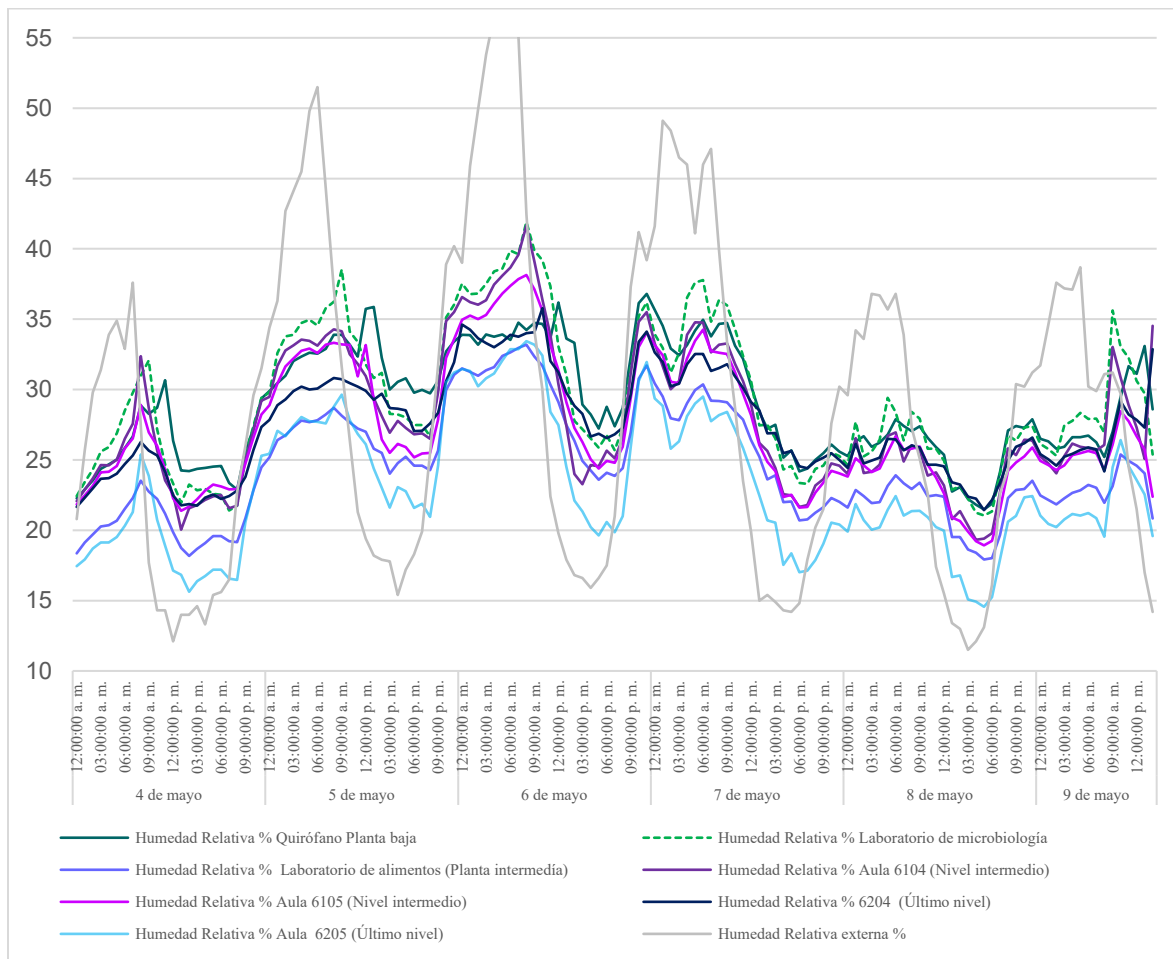
En la gráfica de la Figura 30 se evidencia una homogeneidad en los niveles de humedad relativa interna en la mayoría de las aulas, con ciertas variaciones discernibles. La Figura 30 destaca que el Aula 6205 exhibe los niveles más reducidos de humedad, seguida por el Laboratorio de Alimentos.

La disminución de humedad en el Laboratorio de Alimentos se atribuye a las ganancias de calor interno originadas por electrodomésticos y equipos mencionados previamente. En relación con el Aula 6205, los datos sugieren que la temperatura del aire se ve mayormente influenciada por la radiación proveniente de la losa de azotea, lo que podría explicar la baja humedad relativa en el ambiente.

En la semana subsiguiente, la Figura 31 revela un incremento en los niveles de humedad interna en la mayoría de las aulas los días 5, 6 y 7 de mayo, alcanzando aproximadamente un aumento del 10% en comparación con la semana anterior.

Las tendencias anteriores persisten, donde el Aula 6205 continúa presentando la menor humedad, seguida por el Laboratorio de Alimentos.

Figura 31
Comparativa de la humedad relativa interna y externa del 4 al 9 de mayo del 2022



Discusión de los resultados del monitoreo y del cuestionario aplicados en el Edificio 6

El análisis de los datos revela que el Edificio 6 experimenta notables ganancias de calor a través de su envolvente, especialmente en las áreas traslúcidas, como las ventanas orientadas hacia la fachada sur y la losa del edificio. Se identifican patrones distintivos en las temperaturas del aire en las diversas aulas, correlacionados con sus ubicaciones en diferentes niveles del edificio.

Las aulas en el último nivel consistentemente registran las temperaturas más altas del aire, acompañadas de niveles de humedad relativa por debajo del 30%. Este aumento de temperatura en este grupo se atribuye principalmente a la radiación de la losa hacia los espacios interiores.

Contrariamente, las aulas en el nivel intermedio exhiben temperaturas más bajas, pero durante la segunda semana de monitoreo, no mantienen la temperatura del aire dentro de los parámetros de confort higrotérmico la mayor parte del tiempo. Esto sugiere problemas de ganancias de calor a pesar de su posición más favorable, además de la influencia negativa de la forma geométrica del edificio en algunas aulas, especialmente las orientadas al poniente.

En el nivel intermedio, las ganancias de calor provienen de la fachada sur, específicamente de las ventanas. Los parasoles actuales no proporcionan suficiente sombra en el interior. Además, se observa ventilación insuficiente, con una disminución de la temperatura mediante ventilación cruzada hasta las 12:00 horas, seguida de un aumento posterior, especialmente en las aulas del último nivel.

El quirófano, orientado al este, destaca por su mayor resistencia térmica hacia el exterior, debido a la menor cantidad de ventanas, un sistema de climatización artificial y un menor uso en comparación con otras aulas.

La aplicación de una encuesta revela que la percepción del usuario en relación con la norma ASHRAE 55 muestra que las aulas con temperaturas superiores a 27°C generan mayor insatisfacción. El uso de batas de laboratorio resulta menos incómodo en comparación con las ganancias de calor a través de la losa de azotea. Se destaca la necesidad de mejorar el aislamiento en la losa.

A pesar de que el Aula 6205 cuenta con ventanas abiertas, la ventilación natural no resulta suficiente. Esto indica la necesidad de aumentar el tamaño de las ventanas y mejorar la circulación del aire.

El Laboratorio de Microbiología representa el espacio más afectado por el calor generado por las personas en su interior.

En conclusión, se identifican estrategias preliminares para mejorar el confort higrotérmico, como el aislamiento de la losa, estrategias específicas para laboratorios, un aumento de ventilación en las aulas de los niveles intermedio y último, un análisis detallado de la fachada sur y la posibilidad de incorporar vegetación en la fachada sur para generar sombra. Esta información no solo guía la adaptación del edificio actual, sino que también influye en la formulación de la arquitectura pasiva en espacios universitarios.

Datos sobresalientes del monitoreo de temperatura y humedad del Edificio 4

Durante la semana del 18 al 25 de mayo de 2022, se realizó el monitoreo de temperatura y humedad relativa en el Edificio 6, adoptando una estrategia similar a la utilizada en el monitoreo anterior, pero ajustada a las particularidades de esta estructura.

La Figura 31 ilustra la estrategia de colocación de los 9 equipos de monitoreo de temperatura y humedad relativa. Esta disposición se diseñó para estudiar el comportamiento higrotérmico del edificio en función de sus orientaciones, considerando la información previa que indicaba que las fachadas más expuestas a la radiación solar son las orientadas al poniente, sur y, en la mañana, al oriente.

Los equipos se distribuyeron de la siguiente manera:

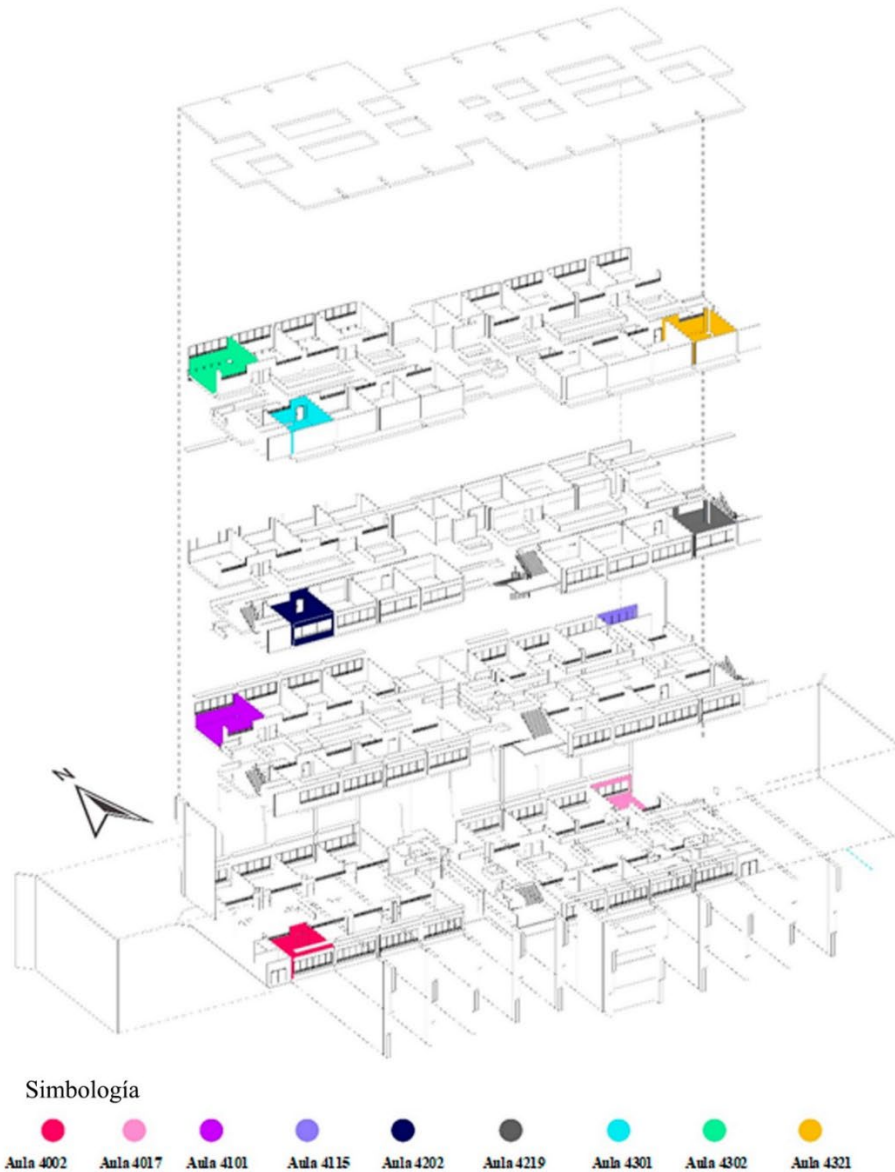
- En planta baja: un equipo orientado hacia el sur poniente en el Aula 4002 y otro orientado en la fachada noreste en el Aula 4017.
- Primer nivel: ambos orientados al norte, uno al sur poniente en el Aula 4101 y el otro al noreste en el Aula 4115.
- Segundo nivel: ambos orientados al sur, uno al sur en el Aula 4202 y el otro al sureste en el Aula 4219.
- Tercer nivel: se colocó un equipo de monitoreo adicional en este nivel, ya que la información previa sugería ganancias de calor en la losa. Este equipo de monitoreo extra corroboró esta

observación, cubriendo casi en su totalidad (excepto la fachada noreste) los puntos relacionados con la envolvente del edificio.

La Figura 33 presenta una gráfica comparativa del comportamiento de la temperatura interna en las aulas respecto a la temperatura externa.

Figura 32

Croquis de la localización del equipo de monitoreo de temperatura y humedad relativa en el Edificio 4



La información presentada en la Figura 33 indica que, en líneas generales, las aulas del último nivel del edificio experimentan temperaturas más elevadas durante períodos prolongados en comparación con los niveles inferiores. Sin embargo, se destaca que el Aula 4301, equipada con aire acondicionado y destinada a funciones de oficina, muestra un comportamiento diferenciado.

En el segundo nivel, donde las aulas están orientadas al sur, se observa una variación significativa en la temperatura interna. El Aula 4202, ubicada al sur poniente, experimenta mayores fluctuaciones e incrementos de temperatura en comparación con el Aula 4219, orientada al sur oriente y mirando hacia el poniente.

En el primer nivel, donde las aulas están orientadas al norte, el Aula 4101, ubicada al nororiente, muestra la mayor variación de temperatura y los registros más altos en contraste con el Aula 4115, ubicada al norponiente.

En planta baja, se destaca que el Aula 4002, ubicada al sur poniente, es la más estable en cuanto a temperatura, mientras que el Aula 4017, ubicada al nororiente, exhibe una mayor variación a lo largo del día.

La información de la gráfica en la Figura 33 indica que las aulas de planta baja y primer nivel permanecen en confort higrotérmico la mayor parte del tiempo. Por otro lado, las aulas del segundo nivel presentan variaciones que superan los 27°C desde las 13:00 horas hasta las 21:00 horas, momento en el cual vuelven a estar en la zona de confort higrotérmico.

En cuanto a la humedad relativa, la Figura 34 muestra que la humedad interna reacciona de manera similar a la humedad externa en todas las aulas. Aunque los niveles de humedad relativa se mantienen en su mayoría por debajo del 30%, lo cual no afecta el confort higrotérmico, puede tener implicaciones para la salud.

Se observa que las aulas 4002 y 4101 retienen más humedad interna, sugiriendo que el aislamiento térmico del edificio contribuye a conservar una mayor humedad relativa interna en estas aulas. En particular, el Aula 4301, ubicada en el suroriente, muestra la mayor inestabilidad en la humedad relativa interna.

Figura 33

Grafica comparativa de la temperatura interna de las aulas y la externa en el Edificio 4, de la semana de 18 de mayo a 25 de mayo del 2022

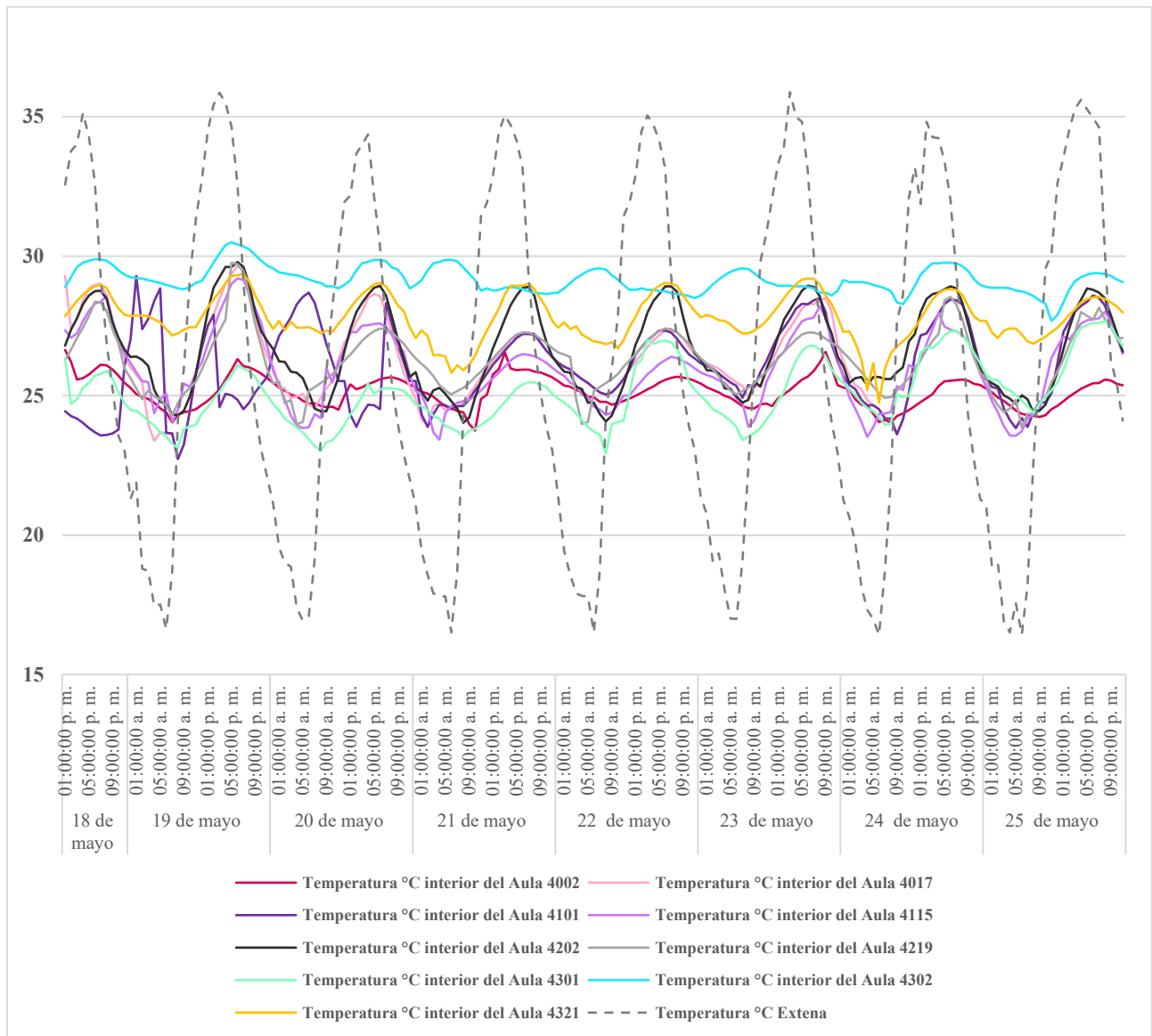
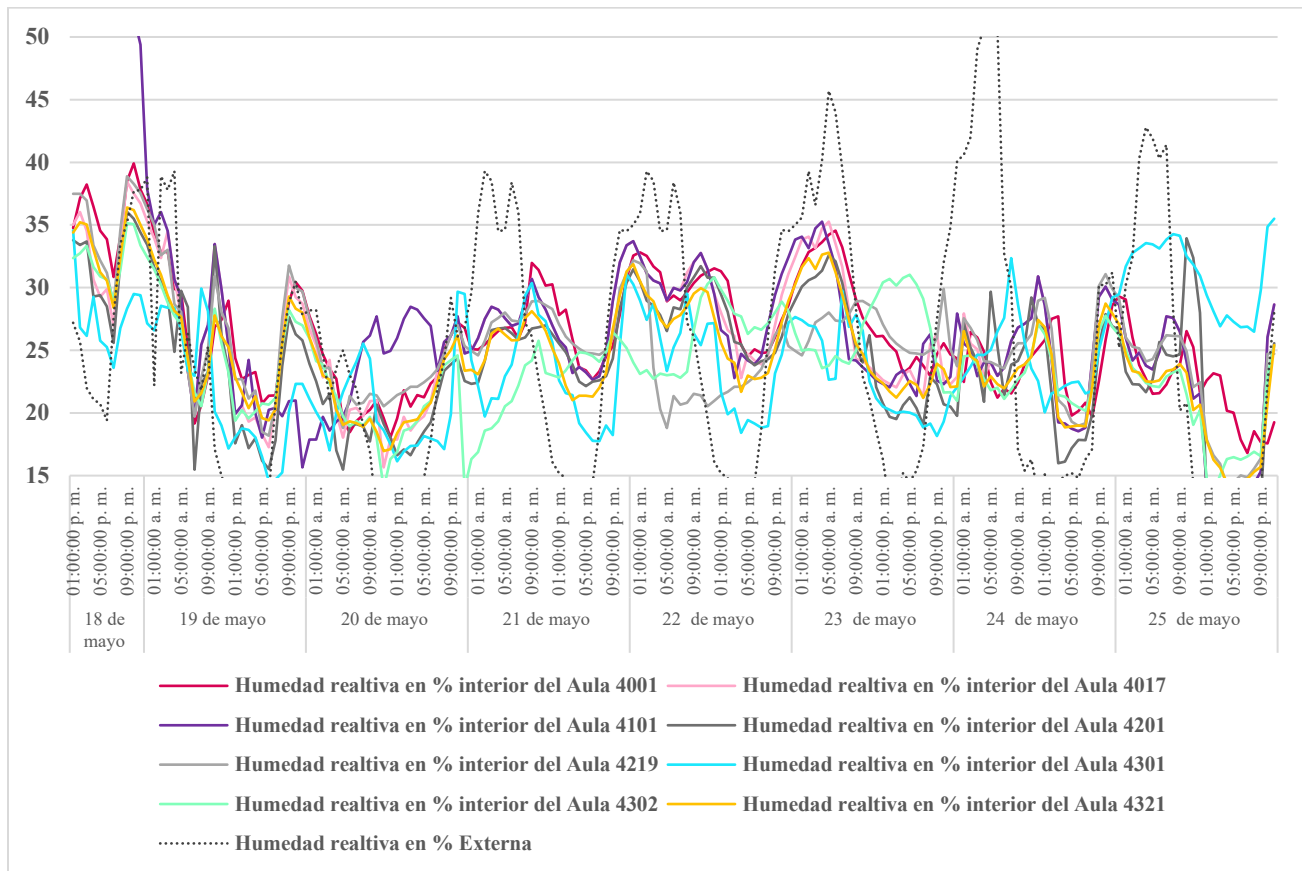


Figura 34

Grafica comparativa de la humedad relativa interna de las aulas y la externa, de la semana de 18 de mayo a 25 de mayo del 2022



Discusión de resultados

La evaluación del confort térmico en el Edificio 6 durante la semana del 18 al 25 de mayo de 2022 reveló datos significativos sobre las condiciones ambientales y la percepción de los usuarios. La evaluación se enfocó en tres niveles del edificio y abordó variables como la temperatura interna, la humedad relativa y las preferencias de los ocupantes.

Los resultados indican que las propiedades térmicas de los muros y la geometría particular del edificio contribuyen a mantener condiciones térmicas más favorables en comparación con el Edificio 6. No

obstante, varias aulas enfrentan desafíos en el mantenimiento del confort higrotérmico en ciertas horas del día.

Aunque este edificio presenta condiciones higrotérmicas superiores al Edificio 6, algunas aulas, especialmente en los niveles superiores y durante el horario escolar, no cumplen con los criterios de confort térmico. Las aulas orientadas al poniente exhiben mayor inestabilidad térmica en comparación con las orientadas al oriente, mientras que las orientadas al norte se mantienen más estables y en la zona de confort térmico durante períodos prolongados.

En relación con las encuestas, los usuarios de este edificio no suelen utilizar batas de laboratorio u otras prendas adicionales, a diferencia del Edificio 6. Este aspecto resulta relevante, ya que afecta directamente la percepción de confort higrotérmico de los usuarios.

A pesar de los bajos niveles de humedad relativa registrados en las aulas, los usuarios se muestran satisfechos con los porcentajes existentes y no plantean la necesidad de implementar estrategias específicas para abordar la humedad en esta edificación.

En conclusión, se recomienda aplicar un tratamiento aislante en la losa de este edificio, considerando las ganancias de calor observadas en las aulas del tercer nivel. Las propuestas pueden incluir el uso de aislantes térmicos convencionales o soluciones más innovadoras, como techos verdes o azoteas ajardinadas.

Se sugiere realizar un análisis solar detallado para evaluar la radiación solar en la fachada sur y explorar alternativas que mitiguen su impacto sin comprometer las ganancias de iluminación natural. Además, se propone revisar los sistemas de ventilación de cada aula, considerando las normativas de cambios de aire necesarios para la salud, y diseñar nuevas soluciones de ventanería que favorezcan tanto el confort higrotérmico como la ventilación adecuada.

En respuesta a la preferencia mayoritaria por el clima artificial en lugar de la ventilación natural, se plantea la necesidad de desarrollar estrategias que fomenten el uso de la ventilación natural y reduzcan la dependencia del aire acondicionado.

Cálculo del Voto Medio Estimado

La metodología propuesta para evaluar el confort térmico, basada en la norma ASHRAE 55 (2017), implica el cálculo del Voto Medio Estimado (PMV) mediante datos recopilados de encuestas sobre confort higrotérmico y monitoreo ambiental. Este enfoque utiliza tanto el método gráfico como el analítico. La herramienta seleccionada para llevar a cabo esta evaluación es la calculadora proporcionada por el Centro para el Medio Construido (CBE), disponible en la siguiente dirección electrónica: <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>.

La elección de esta herramienta se fundamenta en la robustez y el reconocimiento de la norma ASHRAE 55 en la industria, la cual establece parámetros para evaluar el confort higrotérmico en espacios interiores. La combinación de datos empíricos provenientes de las encuestas y las mediciones del entorno permite realizar un análisis detallado y fundamentado. Este enfoque integral respalda la formulación de propuestas de diseño destinadas a mejorar las condiciones de confort en el edificio.

La calculadora del CBE ofrece una plataforma confiable para interpretar los datos y calcular el PMV de manera precisa. Al adoptar esta metodología respaldada por normativas reconocidas, se garantiza un enfoque riguroso en la evaluación del confort higrotérmico, lo que facilita la generación de propuestas de diseño que respondan de manera efectiva a las necesidades de los ocupantes del edificio.

La utilización de esta herramienta se debe a los métodos gráfico y analítico.

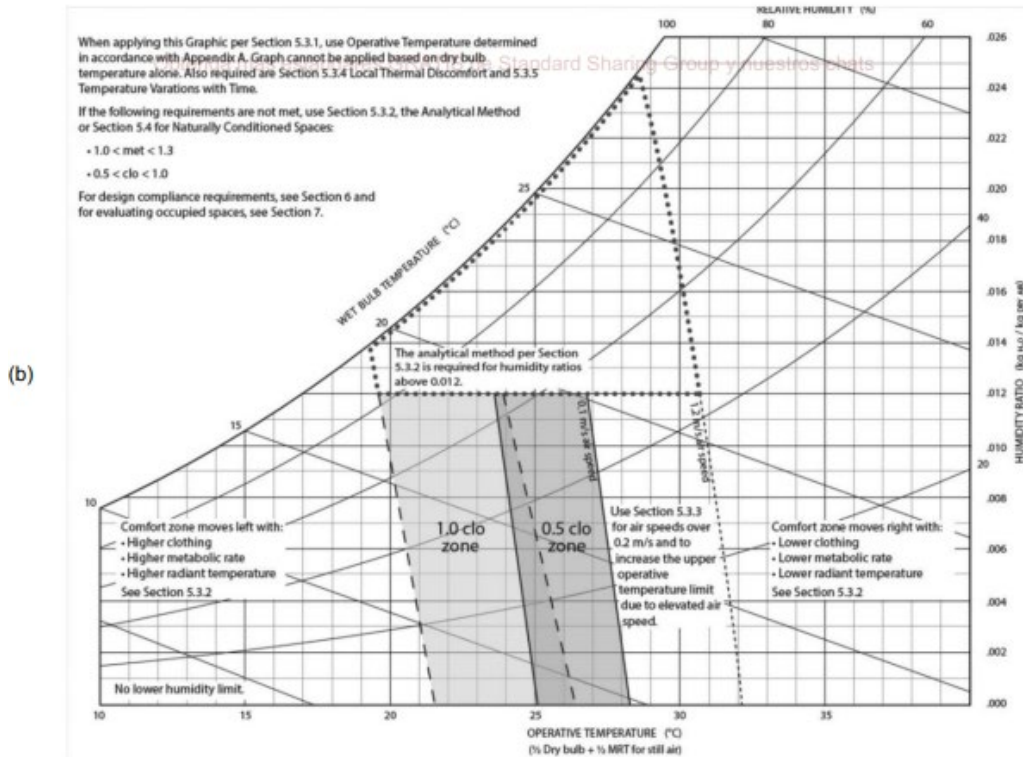
A continuación, se presentarán ambos métodos.

Método gráfico

La figura 34 muestra una carta psicrométrica de la zona de confort higrotérmico humedad temperatura relación al aislamiento de ropa.

Figura 35

Carta psicrométrica de la zona de confort higrotérmico humedad temperatura relación al aislamiento de ropa

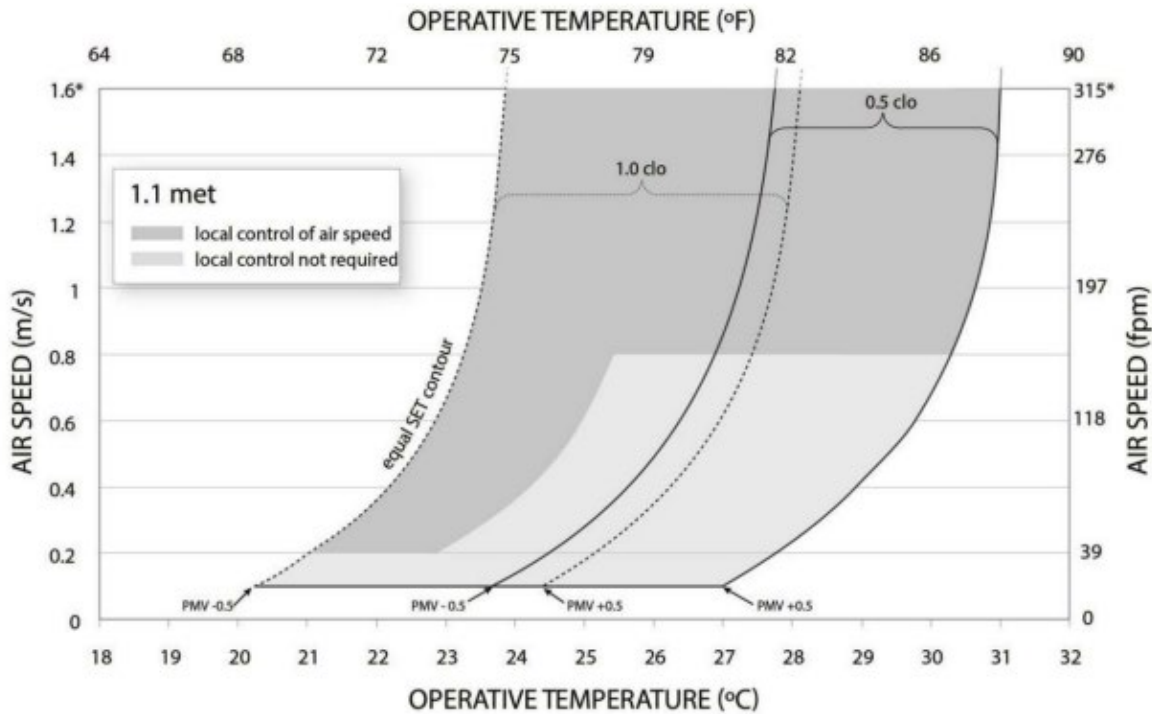


Nota. Adaptado de Método gráfico de la zona de confort: Rango aceptable de temperatura y humedad operativas para espacios que cumplen con los criterios especificados (Página 10) ASHARE 55, 2017.

En la Figura 35 muestra los rangos de velocidad de aire sugeridos por la norma, el área gris oscuro muestra la zona fuera del confort higrotérmico, mientras que el gris claro muestra los rangos de confort térmico. La información de esta grafica sugiere para temperaturas operativas superiores a 25,5 °C, el límite superior de la velocidad promedio del aire debe ser de 0.8 m/s, la velocidad mínima debe de ser 0.1 m/s.

Figura 36

Rangos aceptables de temperatura operativa y velocidad promedio del aire V_a para las zonas de confort de 1,0 y 0,5 clo



Nota. Adaptado de Rangos aceptables de temperatura operativa y velocidad promedio del aire V_a para las zonas de confort de 1,0 y 0,5 clo (Página 13) ASHARE 55, 2017.

Edificio 6

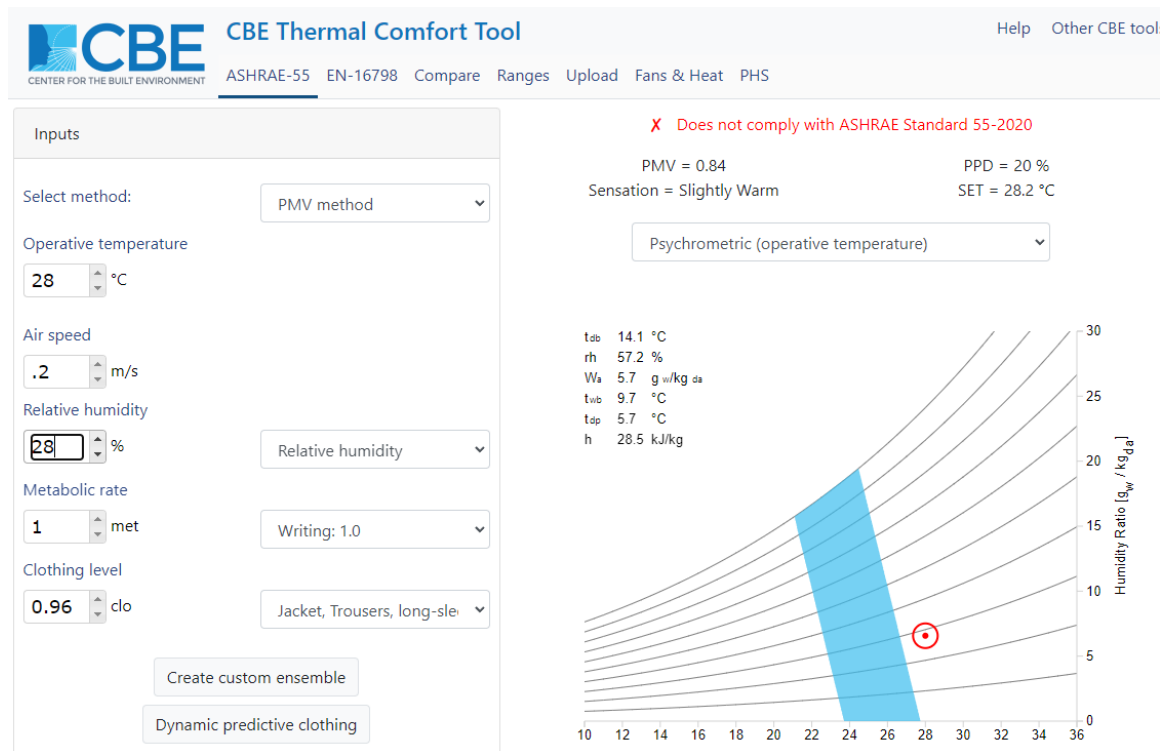
Para el Edificio 6 se tomó como valor el aislamiento por ropa de 0.96 (pantalones, camisa de manga larga más bata de laboratorio). En la tasa metabólica o actividad de las personas se tomó 1.60 w/m^2 escribiendo sentado. Estos valores se pueden consultar en la Tablas 5.2.2.2A Valores de I_{cl} del aislamiento de la ropa para conjuntos típicos y 5.2.1.2 Tasas metabólicas para tareas típicas del Manual de la norma 55 de ASHARE (2017).

En el método gráfico sugiere que para este edificio la zona de confort higrotérmico la temperatura debe de estar inferior a los 25°C y superior a los 21°C , con una velocidad del aire de superior 0.1 m/s e inferior a 0.8 m/s .

Si se aplica el método analítico con los históricos de las temperaturas altas que se obtuvieron el monitoreo (28°C) en las últimas dos plantas, con una velocidad del aire e 0.2 m/s. Se observa que se encuentra fuera de confort higotérmico como se muestra en la Figura 36.

Las propuestas de estas aulas están orientadas a en bajar el incremento de temperatura e incrementar la velocidad del aire. A una temperatura de 27°C y un incremento de la velocidad del aire de 0.3 m/s pasaría la norma. Entonces las propuestas deben orillarse a que las aulas no pasen de 27°C y tengan un flujo de aire de mínimo 0.3 m/s.

Figura 37
Método analítico del PMV en el Edificio 6



Edificio 4

Para el Edificio 4 se tomó como valor el aislamiento por ropa de 0.57 (Pantalones, camisa de manga corta). En la tasa metabólica o actividad de las personas se tomó 1 60w/m² *escribiendo sentado*.

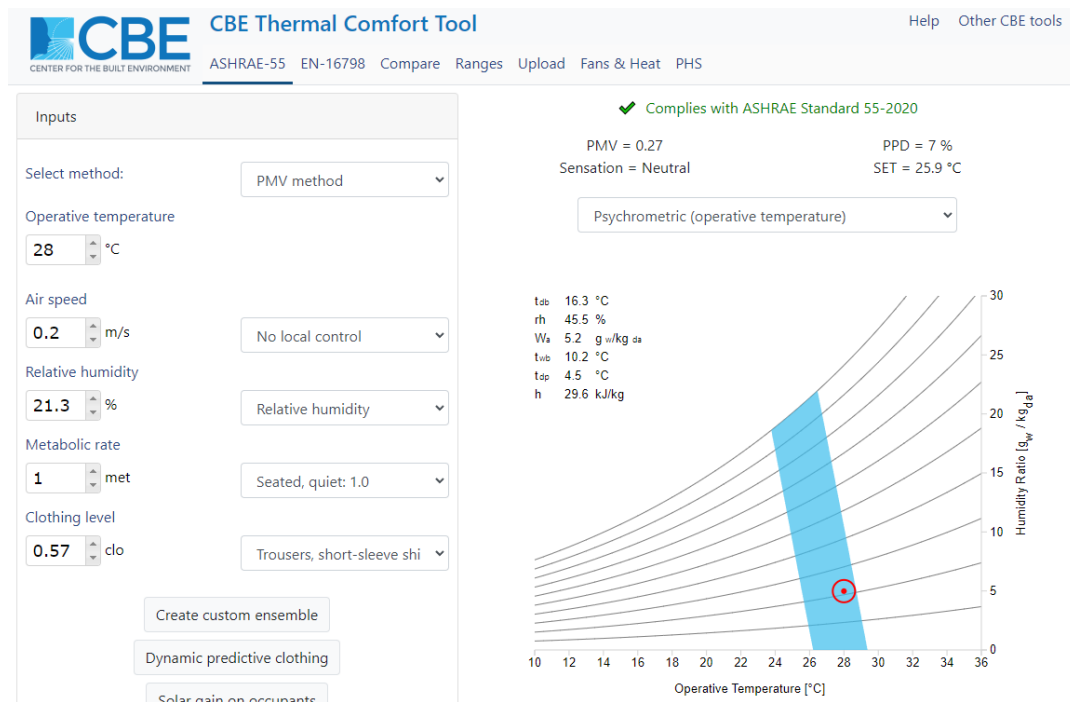
El modelo gráfico para este edificio nos sugiere una temperatura de 25°C a 27°C con una velocidad del aire de superior 0.1 m/s e inferior a 8 m/s.

Si se aplica el método analítico con los históricos de temperaturas altas que se obtuvieron el monitoreo (28°C) en las últimas dos plantas, con una velocidad del aire e 0.2 m/s. Se observa que se encuentra dentro de los límites del confort higrotérmico como se muestra en la Figura 37.

Entonces las propuestas de estas aulas están destinadas a no incrementar la temperatura por arriba de los 28°C.

Figura 38

Método analítico del PMV en el Edificio 4



Análisis y discusión de los resultados

En el Edificio 4 las personas pueden tolerar temperaturas más elevadas según la vestimenta, según la fórmula del PMV en el método gráfico y en el analítico.

Los resultados del PMV sugieren claramente que a medida que la vestimenta del usuario es más abrigada, se necesitan implementar más estrategias para mejorar el confort higrotérmico. Sin embargo, en el caso del edificio de medicina, cambiar la vestimenta de los alumnos es inviable debido a los requisitos académicos.

En el Edificio 6, los resultados del PMV son coherentes con los hallazgos de la encuesta. No obstante, en el Edificio 4, el método analítico difiere de lo sugerido por el método gráfico, respaldando la recomendación de realizar ejercicios específicos con ambas metodologías.

Se propone realizar encuestas a los usuarios cada vez que se propongan mejoras en el confort higrotérmico en los edificios. La información presentada previamente indica que los resultados obtenidos con el método analítico muestran que los usuarios están en el límite del confort higrotérmico, pero difieren con los resultados de la encuesta. Por lo tanto, si se pretende aplicar la metodología del PMV para lograr un ahorro energético, especialmente en contextos como el Área Metropolitana de Guadalajara (AMG), es crucial llevar a cabo encuestas de evaluación del usuario en el confort higrotérmico. Aplicar únicamente la fórmula del PMV no resolvería integralmente la problemática, destacando la importancia de la retroalimentación directa de los usuarios para comprender completamente sus necesidades y ajustar las estrategias de mejora del confort higrotérmico.

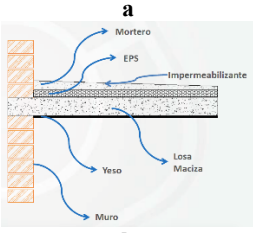
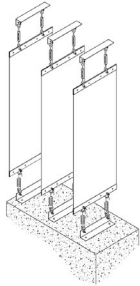
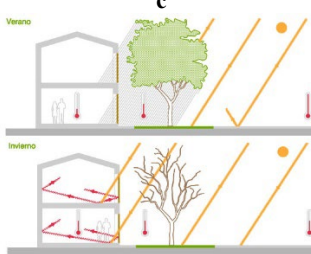
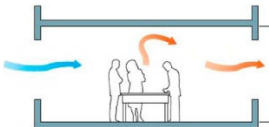
CAPÍTULO 4. DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN

En cumplimiento de los objetivos específicos de este trabajo, se abordó la tarea de identificar medidas clave destinadas a mejorar las condiciones de confort en los edificios estudiados (4 y 6 del Campus UNIVA) y reducir los impactos asociados al consumo de energía eléctrica para climatización artificial de las aulas.

En este capítulo, se examinan estrategias pasivas que, fundamentadas en los análisis previos presentados en capítulos anteriores, contribuyen a mejorar el confort higrotérmico de las personas en las edificaciones analizadas. Se detallan las características de estas medidas de mitigación y se evalúa su eficacia en la predicción del confort higrotérmico para la mayoría de las personas.

De acuerdo con los resultados obtenidos del monitoreo y análisis bioclimático de las edificaciones, la Tabla 6 presenta las 4 medidas principales identificadas para los casos de estudio analizados.

Tabla 6*Estrategias pasivas por utilizar para mejorar el confort térmico de los usuarios*

Problemática	Solución	Ventajas	Imagen de referencia	Aplica para el Edificio 4	Aplica para el edificio 6
Radiación de calor por calentamiento en losa	Colocación de un material de aislante térmico en la losa	Ayuda al ahorro energético en destinadas a la climatización artificial en aulas del último nivel reduciendo su temperatura		Si	Si
Entrada directa de radiación solar en ventanas	Diseño parasoles y parte soles.	Administran el ingreso de luz natural evitando la radiación directa y altas temperaturas en el interior de los espacios		No	Si
Entrada directa de radiación solar en ventanas	Colocación de árboles de hoja caduca.	Esta estrategia nos ayuda a mitigar la radiación directa solar en primavera y verano. En invierno deja paso a la entrada de sol en el sur, para mantener los espacios interiores cálidos.		No	Si
Mejorar ventilación y circulación de aire en los espacios interiores.	Diseño de ventanería nueva con base a los cálculos de renovación de aire de ASHRAE y normas locales	La renovación y circulación de aire ayuda a mejorar la salud de las personas que permanecen en el interior, y a reducir la temperatura interna del espacio.		Si	Si

Nota: **a** Adaptado de *aislante térmico detalle* [Figura], por FANOSA, 2021, (<https://blog.fanosa.com/mejora-aislamiento-termico-en-techos-ya-construidos>).

b Adaptado de *Corta sol Termobrises detalle* [Figura], por Hunter Douglas architecture, 2022, (https://www.archdaily.co/co/929085/parasoles-fijos-y-moviles-10-protecciones-solares-para-fachadas/5dc1d0063312fd1433001775-parasoles-fijos-y-moviles-10-protecciones-solares-para-fachadas-imagen?next_project=no).

c Adaptado de *Los árboles como protección solar* [Figura], por BiU, 2022, (<https://biuarquitectura.com/2012/04/13/la-vegetacion/>).

d Adaptado de *Elementos Clave para una Ventilación Eficaz* [Figura], por HERMA Arquitectos, 2022, (<https://arquitecturasolorzano.mx/arquitectura/casas-que-respiran-transforma-tu-hogar-con-disenos-sostenibles/>).

Sobre el aislamiento térmico en losa

El Capítulo 3, en el que se describe el monitoreo térmico aplicado a ambos edificios, se concluyó que en ambas estructuras las aulas del último nivel presentan temperaturas más elevadas y constantes como resultado de posibles ganancias de calor excesivas a través de la losa de azotea.

En esta sección, se analizan tres productos disponibles en el mercado mexicano hasta el año 2023, recomendados por el catálogo de Tecnologías Energéticamente Eficientes para la Envoltura Térmica de las Edificaciones desarrollado por la Secretaría de Energía con el propósito de respaldar el cumplimiento de la NOM-008-ENER-2001 y la NOM-020-ENER-2011.

Los productos seleccionados para la comparativa son los siguientes.

Espuma de poliuretano

La espuma de poliuretano (PUR) es un material expansivo que se aplica mediante una pistola de fusión por aspersión. Su composición densa y adhesiva impide que la mezcla se desplace en superficies verticales, lo que permite su uso para rellenar muros de bovedilla en edificaciones existentes sin alterar la estructura. La instalación requiere la utilización de una pistola de fusión por aspersión. Una vez que se alcanza el grosor deseado, la espuma se aplica directamente sobre la losa y está lista para su uso después de un breve periodo de secado. (CONUEE, 2017).

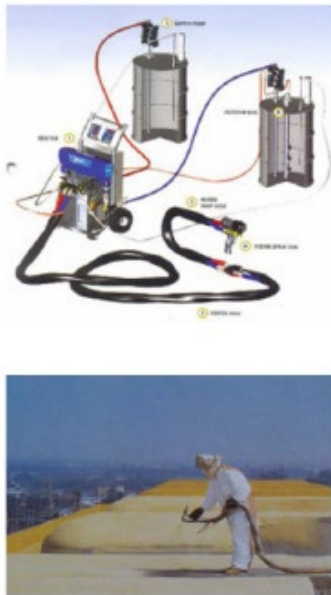
En la Figura 39 se puede apreciar una fotografía del proceso de instalación.

Panel de poliestireno extruido (XPS)

El poliestireno extruido se utiliza como material aislante en construcciones, especialmente en aquellas con estructuras livianas. Los paneles recubiertos con una película ligera y resistente conservan sus propiedades térmicas de manera efectiva, incluso después de la exposición a condiciones como agua, humedad, condensación y congelación. Para lograr uniformidad en la superficie, se aplica una capa de mortero sobre la losa. En la Figura 40 se aprecia una fotografía del proceso de instalación

Figura 39

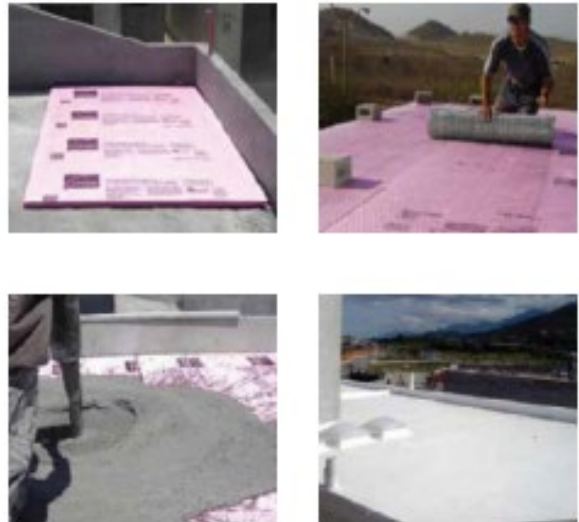
Instalación de la espuma de poliuretano en losa



Nota: Adaptado de Colocación de PUR [Fografía y diagrama], por Energía & Low carbón architecture, 2017, SENER Tecnologías energéticamente eficientes para la envolvente térmica de las edificaciones.

Figura 40

Instalación de la espuma del Panel XPS



Nota: Adaptado de Colocación de Panel XPS [Fografía y diagrama], por Energía & Low carbón architecture, 2017, SENER Tecnologías energéticamente eficientes para la envolvente térmica de las edificaciones.

Panel EPS

"El EPS (Figura 41) exhibe excelentes capacidades de aislamiento térmico, lo que lo convierte en una opción destacada para mejorar la eficiencia energética en construcciones. Su composición y estructura proporcionan resistencia, ligereza y facilidad de manejo, lo que permite su adaptabilidad a diversas condiciones constructivas. La instalación óptima de los paneles de EPS implica su disposición en el lado exterior de muros y losas, y se desaconseja su aplicación en interiores. Para preservar la integridad de los paneles, se recomienda cubrirlos con una malla de fibra de vidrio. Esta medida no solo protege contra posibles daños mecánicos, sino que también prepara la superficie para recibir aplicaciones de pintura y yeso, brindando una solución estética y funcional a la construcción (CONUEE, 2017).

Figura 39*Instalación de la espuma del Panel EPS*

Nota: Adaptado de *Colocación de Panel EPS* [Fografía y diagrama], por Energía & Low carbón architecture, 2017, SENER *Tecnologías energéticamente eficientes para la envolvente térmica de las edificaciones.*

La Tabla 7 presenta una comparación de ventajas y desventajas entre tres sistemas de aislamiento térmico en losas. Se utiliza una escala de 1 a 5, donde 5 indica excelencia y 1 señala un desempeño menos favorable. Los aspectos evaluados incluyen el costo por metro cuadrado, considerando tanto el producto como la mano de obra.

Tabla 7*Comparativa de ventajas y desventajas de los tres sistemas de aislamiento térmico para losas*

<i>Sistema</i>	<i>Propiedades térmicas</i>	<i>Instalación</i>	<i>Costo m2 MX</i>	<i>Mantenimiento</i>	<i>Durabilidad</i>	<i>Impacto ambiental</i>	<i>Disponibilidad</i>
Espuma de poliuretano	5	2	\$517.00	4	5	2	3
Panel XPS	5	4	\$455.43	4	5	3	5
Panel EPS	4	4	\$292.23	4	5	3	5

Nota: La siguiente tabla es elaboración propia con los datos de *Tecnologías energéticamente eficientes para la envolvente térmica de las edificaciones*

Discusión sobre las propuestas de aislamiento de losas existentes en el mercado

La evaluación comparativa entre los tres sistemas de aislamiento térmico llevó a la selección del Panel de Poliestireno Extrudido (XPS) como la alternativa más adecuada para mejorar la eficiencia térmica del Edificio 6. Esta decisión se basa en varios factores clave que hacen del Panel XPS una opción superior en comparación con otras soluciones como la espuma de poliuretano (PUR) y el poliestireno expandido (EPS).

En primer lugar, el Panel XPS ofrece un equilibrio óptimo entre propiedades térmicas y costo. Su estructura cerrada de celdas proporciona un alto nivel de resistencia térmica (R-valor), lo que mejora la capacidad de aislamiento y contribuye significativamente a reducir las ganancias de calor a través de la envolvente del edificio. Esto resulta especialmente importante en las aulas del último nivel, donde las temperaturas más altas se atribuyen a la radiación solar directa y al calor que se transfiere a través de la losa. La capacidad del Panel XPS para mantener temperaturas interiores más estables demuestra su idoneidad para este tipo de aplicaciones, alineada con los objetivos de mejorar el confort térmico y la eficiencia energética.

Otro aspecto decisivo es la facilidad de instalación del Panel XPS. A diferencia de la espuma de poliuretano, que requiere equipos especiales de aplicación y una mayor preparación, el Panel XPS permite una instalación sencilla y rápida, sin necesidad de mano de obra especializada. Esta característica no solo reduce los costos de implementación, sino que también minimiza el tiempo de intervención en el edificio, lo cual resulta beneficioso para una instalación en un entorno universitario donde se debe evitar interrumpir las actividades académicas.

En términos de durabilidad y mantenimiento, el Panel XPS también se destaca. Ofrece una alta resistencia a la absorción de humedad y conserva sus propiedades térmicas incluso en condiciones adversas, como la exposición prolongada al agua, la humedad o los cambios de temperatura. Esto lo convierte en una opción adecuada para proteger la losa de azotea, evitando problemas asociados con la degradación del material, como los que podrían presentarse en el caso del EPS si no se toman precauciones para protegerlo de impactos mecánicos o de la exposición directa a los elementos.

Finalmente, desde un punto de vista presupuestario, el Panel XPS se encuentra en un rango de costo accesible, considerando tanto el precio del material como los costos asociados a su instalación. La combinación de un costo inicial razonable y la reducción de gastos a largo plazo gracias a su durabilidad y eficacia térmica refuerza su selección como la mejor opción para el proyecto. Además, su disponibilidad en el mercado mexicano garantiza un suministro constante y facilita la adquisición del material sin demoras.

En conclusión, la selección del Panel XPS responde a un análisis integral que considera las necesidades específicas del proyecto en términos de rendimiento térmico, facilidad de instalación, durabilidad y costos. La implementación de este sistema de aislamiento mejorará las condiciones de confort higrotérmico en el Edificio 6, reducirá las ganancias de calor a través de la losa y contribuirá al ahorro energético.

Ahorro energético a través de la losa de azotea

Se realizó una evaluación del potencial de ahorro energético al implementar aislantes en las losas de azotea en el Edificio 6 y el Edificio 4. El objetivo fue calcular el ahorro energético y estimar la reducción potencial de las ganancias de calor. La metodología establecida por la NOM-008-ENER-2001, que trata la eficiencia energética en edificaciones no residenciales, permitió llevar a cabo este análisis. Este enfoque proporciona una evaluación estandarizada del impacto del aislante de losa en el consumo energético de los edificios analizados.

Ahorro energético en losa del Edificio 6

Se realizó una proyección del cálculo térmico de la losa actual, y la Tabla 8 muestra los resultados de las ganancias de calor actuales del edificio, contrastadas con las ganancias de calor estimadas al incluir el aislante propuesto. La normativa asigna el 95% de la superficie a la parte opaca (losa) y el 5% a la parte transparente. Es esencial señalar que se excluyó la consideración del tragaluz, ya que las edificaciones objeto de estudio en esta investigación no cuentan con uno. Aunque esta norma podría aplicarse a edificaciones nuevas, no resulta relevante en este contexto particular. En este ejercicio, se evaluó

únicamente el cálculo de la losa actual y se realizó una comparación al incorporar el aislante en la misma losa.

En el Anexo B de este trabajo, se observa que el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor de las porciones de la envolvente para la losa actual de hormigón armado con casetones de poliestireno es $k=0.28$. Sin embargo, al asignar el aislante térmico, este valor disminuye a 0.18.

En la Tabla 8, se presentan las ganancias de calor mediante el cálculo operativo para la conducción en el Edificio 6. Se estima que la losa actual contribuye con 2786.168 watts de ganancia de calor, mientras que, con la implementación del aislante en la losa, esta cifra se reduce a 1194.072 watts (Tabla 9). Estos resultados sugieren que la aplicación del aislante térmico puede reducir las cargas térmicas en un 36%.

Tabla 8

Cálculo operativo de la Gancia de calor por conducción del Edificio 6, losa actual

Tipo de orientación y porción de la envolvente	Coeficiente global de transferencia de calor K (W2K)	Área total del edificio proyectado [A]	Temperatura equivalente (°C) [te]	Temperatura interior (°C) [t]	Ganancias de calor por conducción [K*A*F((te-t))]
Techo	0.28	904.6	37	26	2786.168

Tabla 9

Cálculo operativo de la Gancia de calor por conducción del Edificio 6, losa proyectada con el aislante

Tipo de orientación y porción de la envolvente	Coeficiente global de transferencia de calor K (W2K)	Área total del edificio proyectado [A]	Temperatura equivalente (°C) [te]	Temperatura interior (°C) [t]	Ganancias de calor por conducción [K*A*F((te-t))]
Techo	0.18	904.6	37	26	1791.108

Ahorro energético en losa del Edificio 4

Para este cálculo, los valores en K se mantienen iguales a los tomados del Edificio 6, ya que, debido al contexto geográfico y la orientación del edificio, no muestran cambios significativos. En la Tabla 10, se presentan las ganancias de calor mediante el cálculo operativo para la conducción en el Edificio 6. Se estima que la losa actual contribuye con 5895.12 watts de ganancia de calor, mientras que, con la implementación del aislante en la losa, esta cifra disminuye a 3789.72 watts (Tabla 11). Estos resultados sugieren que la aplicación del aislante térmico puede reducir las cargas térmicas en un 36%.

Tabla 10

Cálculo operativo de la ganancia de calor por conducción del Edificio 4, losa actual

Tipo de orientación y porción de la envolvente	Coefficiente global de transferencia de calor K (W2K)	Área total del edificio proyectado [A]	Temperatura equivalente (°C) [te]	Temperatura interior (°C) [t]	Ganancias de calor por conducción [K*A*F((te-t))]
Techo	0.28	1914	37	26	5895.12

Tabla 11

Cálculo operativo de la ganancia de calor por conducción del Edificio 4, losa proyectada con el aislante

Tipo de orientación y porción de la envolvente	Coefficiente global de transferencia de calor K (W2K)	Área total del edificio proyectado [A]	Temperatura equivalente (°C) [te]	Temperatura interior (°C) [t]	Ganancias de calor por conducción [K*A*F((te-t))]
Techo	0.18	1914	37	26	3789.72

Discusión y conclusión

La reducción del coeficiente global de transferencia de calor (K) implica una optimización en la resistencia térmica de la losa, lo que valida la eficacia del aislante térmico en la atenuación de las pérdidas de calor. Este hallazgo contribuye a comprender el impacto positivo de la implementación del aislante en el rendimiento térmico de las edificaciones.

La exclusión del tragaluz en el análisis refleja una adaptación metodológica prudente. Aunque la normativa sea aplicable de manera general en construcciones nuevas, la especificidad del caso estudiado exige una consideración acorde con la realidad de las edificaciones bajo investigación.

La presente investigación confirma que la aplicación de aislantes térmicos en las losas de azotea de los Edificios 6 y 4 ofrece un potencial de ahorro energético sustancial. La significativa reducción del coeficiente de transferencia de calor y las consiguientes disminuciones en las ganancias de calor por conducción posicionan a los aislantes térmicos como estrategias efectivas para incrementar la eficiencia energética de las edificaciones.

Estos resultados no solo tienen implicaciones prácticas y tangibles en el diseño y la construcción de edificaciones, sino que también destacan la importancia de considerar normativas específicas y ajustes metodológicos adecuados a las características particulares de los proyectos en cuestión. La implementación de aislantes térmicos, además de cumplir con estándares, resulta esencial para promover la sostenibilidad ambiental y reducir el consumo energético en las construcciones no residenciales.

Diseño de parasoles

La información recopilada durante la fase de monitoreo indica que tanto en el Edificio 4 como en el Edificio 6, las aulas orientadas hacia el sur experimentaron temperaturas más elevadas durante períodos prolongados. Se realizó una observación directa para analizar el desempeño de los parasoles ubicados sobre las ventanas de la fachada sur y verificar si cumplían su función de mitigar la incidencia solar directa. La Figura 42 muestra una secuencia de imágenes de la fachada sur del Edificio 6 en tres momentos del día: a las 8:30, 12:00 y 18:30 horas.

Figura 40

Asoleamiento de la fachada sur del Edificio 6 en el mes de mayo



8:30 horas

12:00 horas

18:30 horas

La información fotográfica sugiere y confirma las teorías previamente replanteadas. A las 8:30, debido a la curvatura del edificio, se produce incidencia solar directa en la fachada sur del lado este, lo que expone a los primeros dos salones del primero y segundo nivel a esta radiación en comparación con los salones del centro del edificio, ubicados en la misma orientación. Un fenómeno similar ocurre a las 18:30 horas, pero en las aulas situadas al oeste de la misma fachada sur. Como se había señalado anteriormente, la geometría curva de este tipo de edificio expone a las aulas en los extremos a una mayor radiación solar. Aunque las protecciones solares limitan el ingreso de radiación solar por las ventanas durante mayo, los muros en los extremos de los edificios reciben más radiación solar directa que en un edificio sin curvatura, como se observa en las fotografías.

En marzo, la Figura 43 ilustra que los parasoles instalados en las ventanas de la fachada sur en el Edificio 6 son insuficientes para prevenir la radiación solar directa en una superficie que cubre más de la mitad de la ventana y todo el muro debajo.

Figura 41

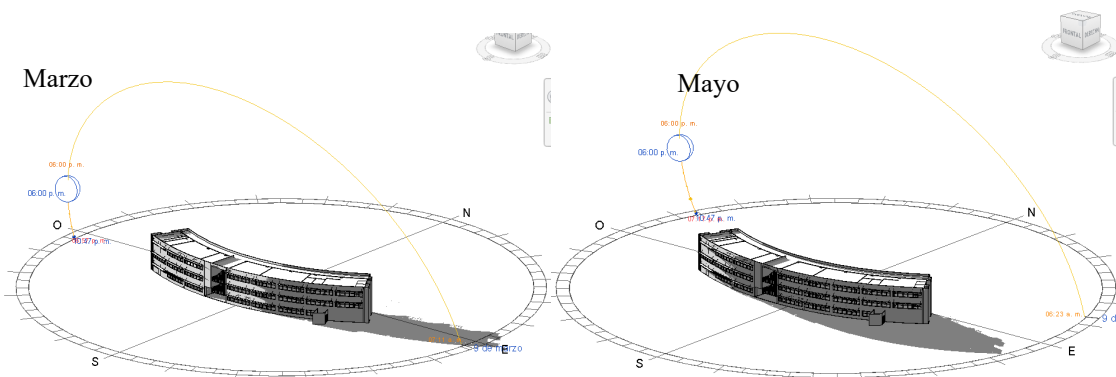
Fotografía de la fachada sur del Edificio 6 a las 18:30 horas en el mes de marzo



Con el software Revit se analizó el movimiento aparente del sol y las sombras que genera en el edificio para comprender el motivo del fenómeno (Figura 44). Dicha información generó la siguiente conclusión.

Figura 42

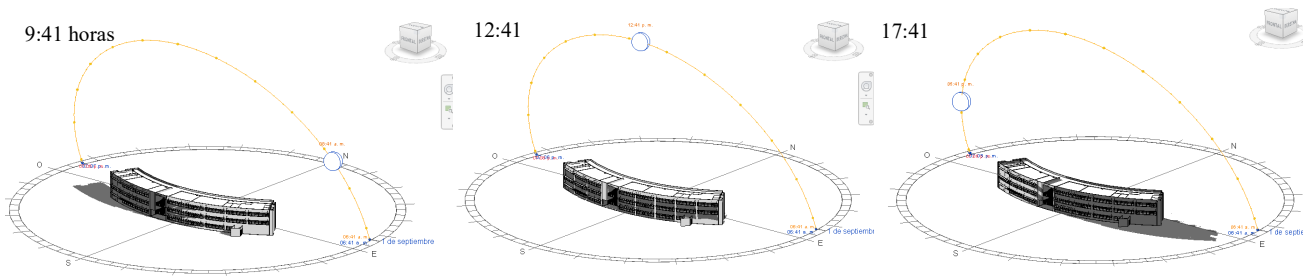
Movimiento aparente del sol y asoleamiento del Edificio 6



En la Figura 44 se presenta el movimiento aparente del sol a las 18:00 horas durante los meses de marzo a mayo. Se destaca el punto mencionado anteriormente, donde en marzo el sol se inclina ligeramente más al sur, mientras que en mayo se inclina más al norte, lo que provoca que los parasoles existentes funcionen de manera parcial.

En la Figura 45, se muestra el movimiento aparente del sol el primero de septiembre. La información sugiere que tanto a las 9:41 como a las 17:41, las ventanas del lado oriental quedan expuestas a la radiación solar. Se concluye que existe un periodo durante el verano donde la incidencia solar podría afectar el confort higrotérmico de las personas.

Figura 43
Estudio solar del Edificio 6 en Revit en el primero de septiembre



La información indica que es necesario rediseñar los parasoles en esta fachada, para que abarque más meses con una incidencia solar directa menor a la actual en las ventanas.

En la Figura 46 se observa una secuencia fotográfica de la fachada norte del Edificio 6 en tres horarios, a las 8:30, 12:00 y 18:30 horas

Figura 44
Asoleamiento de la fachada norte del Edificio 6 en el mes de mayo



La información capturada en las imágenes sugiere que a las 8:30 horas, debido a la curvatura del edificio, se produce una incidencia solar directa en la fachada norte del lado poniente, mientras que, en esta misma hora, en el lado oriente, se observa que el pasillo hace la función de parasol y genera sombra en las ventanas y muros de las aulas.

En las 12:00 horas, se nota que en la fachada norte las ventanas y los muros están bajo sombra que genera el pasillo existente y que sirve de parasol. Como se aprecia en las imágenes, no hay evidencia de una incidencia solar que afecte el confort higrotérmico en este momento del día.

En el intervalo de las 18:30 horas se observa lo contrario de lo que ocurre a las 8:30 horas. Las ventanas y muros de la sección orienten de la fachada norte están expuestas a la radiación solar ya que, por la curvatura de la fachada, el pasillo no es suficiente para generar sombra en esa parte del edificio.

En el Edificio 4 se observó lo siguiente.

En la Figura 47 se observa una secuencia fotográfica del Edificio 4 en tres horarios, a las 8:30, 12:00 y 18:30 horas.

La evidencia fotográfica indica que, en los tres momentos del día, las protecciones solares en fachada sur se oponen a la incidencia solar en las partes translúcidas de la envolvente, gracias a las celosías y a que los muros orientados hacia el oriente y poniente están cerrados.

Figura 45

Asoleamiento de la fachada sur del Edificio 4 en el mes de mayo



8:30 horas

12:00 horas

18:30 horas

La evidencia fotográfica que muestra la Figura 48 indica que, al igual que en la fachada sur, la fachada norte del Edificio 4 protege contra la incidencia solar en las partes translúcidas de la envolvente en los tres horarios distintos del día, gracias a estrategias implementadas con celosías y muros orientados al oriente y poniente.

Figura 46

Asoleamiento de la fachada norte del Edificio 4 en el mes de mayo



En consecuencia, se puede concluir que el Edificio 4 no requiere un rediseño de parasoles o elementos similares. Además, se evidencia que este edificio cuenta con estrategias arquitectónicas más efectivas para mitigar la radiación solar directa en comparación con el Edificio 6.

A continuación, se delinear los pasos correspondientes al rediseño de los parasoles del Edificio 6. Inicialmente, se realizó un análisis de las incidencias solares en la región de Chapalita, Guadalajara, Jalisco, destacando que esta estación es la más cercana al Campus Universitario, tal como se mencionó previamente. Este análisis contó con el respaldo del software Climate Consultant, como se visualiza en las Figuras 48 y 49.

Las Figuras 48 y 49 proporcionan una representación visual que destaca las condiciones necesarias para lograr un confort térmico en el interior. Se observa que se requiere un nivel de confort de 60 grados, correspondiente a una temperatura por debajo de los 27 °C, durante los meses de febrero a junio. En contraste, la Figura 49 sugiere que, de junio a diciembre, la recomendación óptima es de 50 grados. En este diseño específico, se tomará como referencia el nivel de confort de 60 grados.

Figura 47
Grafica solar de diciembre a junio

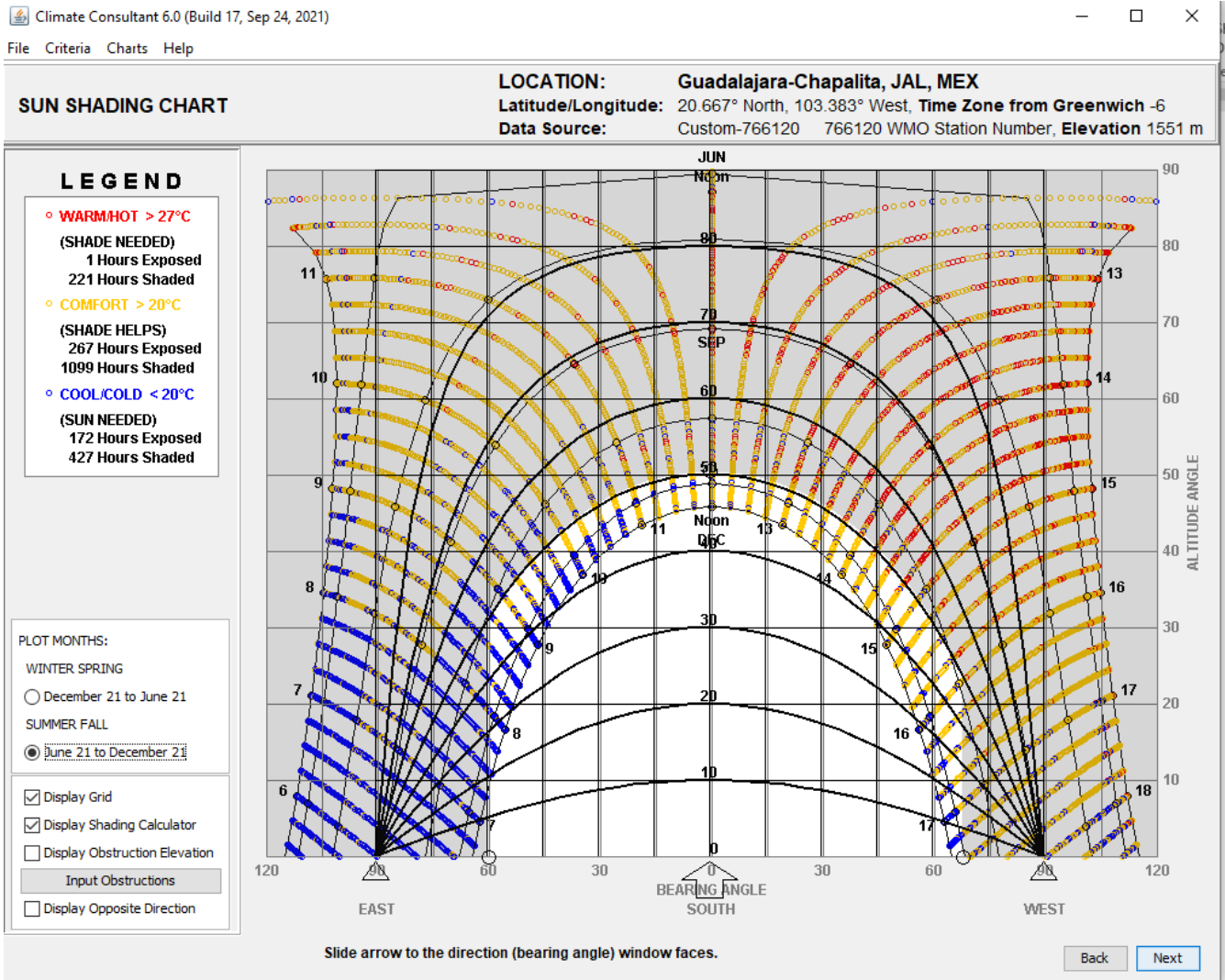
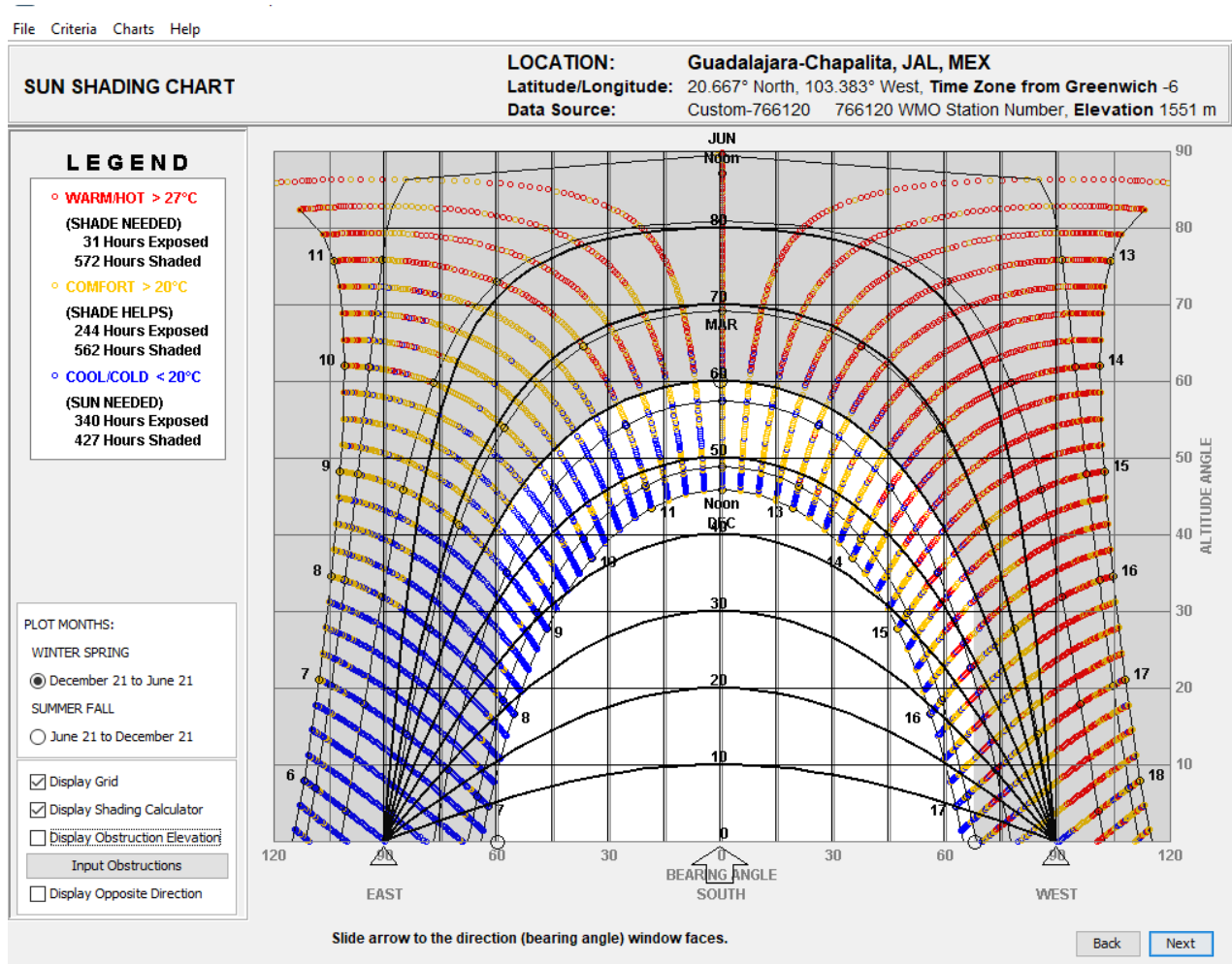


Figura 48
Grafica solar de junio a diciembre



La Figura 49 presenta las dimensiones de las ventanas tipo ubicadas en la fachada sur del Edificio 6.

En la Figura 50 se observa que el ángulo de inclinación con el que incide la radiación solar es de 60° . Los parasoles existentes tienen solo 1.10 metros de largo, por lo que requerirían de 1.48 metros adicionales para proteger la ventana sur completamente de la incidencia solar directa.

Para evitar un parasol muy largo, se propone dividir el área no sombreada en la Figura 53 en tres secciones, distribuidas cada una en 37 cm con un ancho de 50 cm, creando un parasol más liviano. Esto proporcionaría una protección completa contra la radiación directa con inclinaciones solares mayores a 60 grados respecto de la vertical y temperaturas superiores a 27°C , como se muestra en la Figura 53.

Figura 49
Medidas de la ventana tipo en la fachada sur del Edificio 6

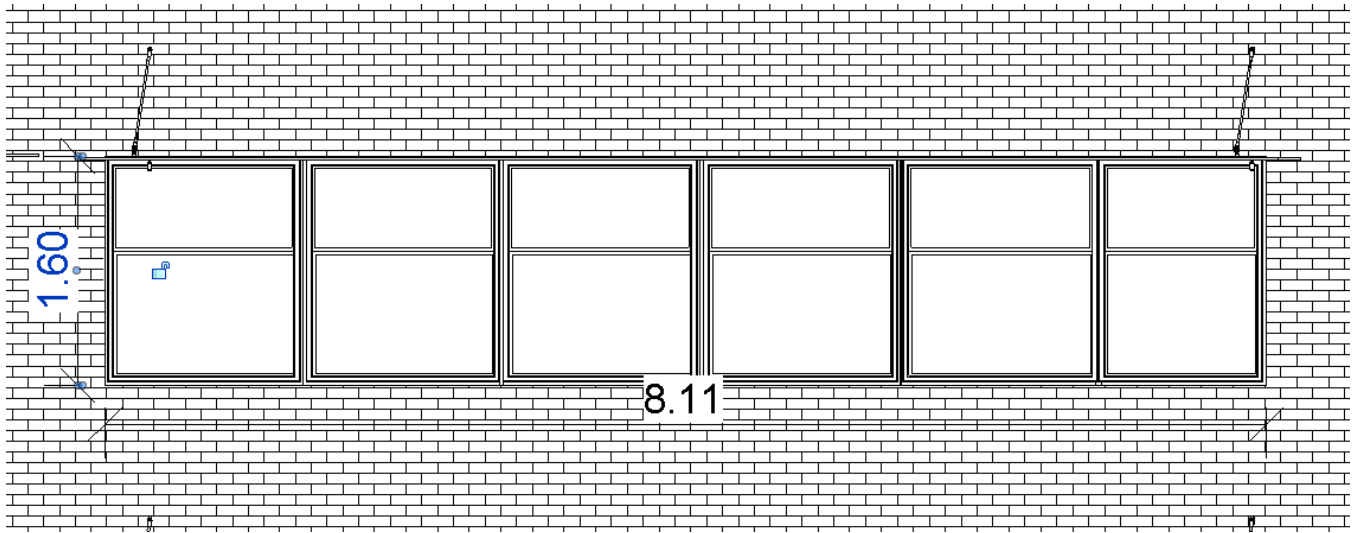


Figura 50
Detalle en corte de la incidencia solar en ventanas orientadas a la fachada sur

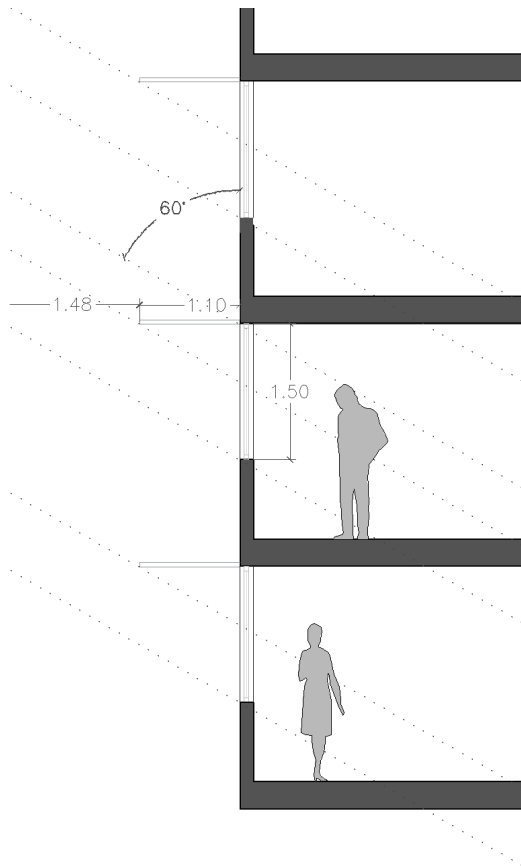
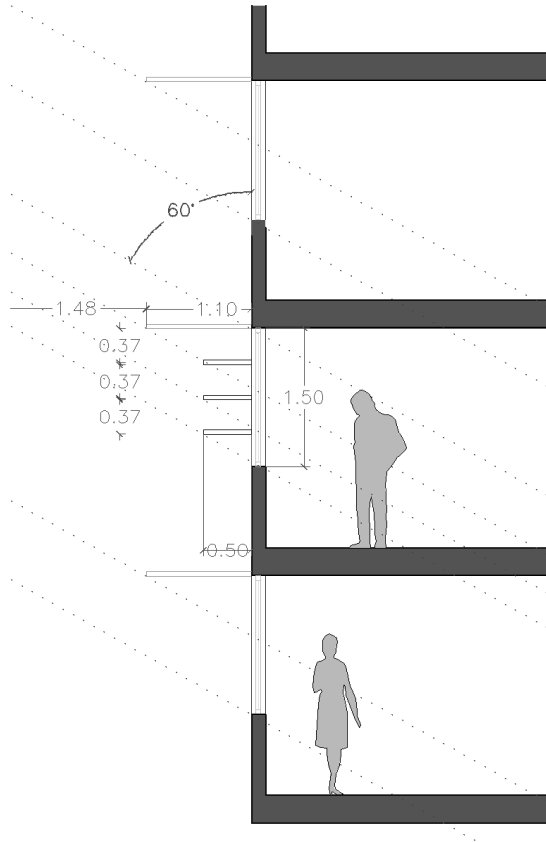


Figura 51

Detalle en corte longitudinal de la propuesta para disminuir la incidencia solar en ventanas orientadas a la fachada sur



Para verificar el diseño de los parasoles, se realizó una simulación climática utilizando el software Revit. La simulación tomó como base el mes de mayo de 2022, que coincide con la fecha en que se tomaron las evidencias fotográficas.

Este enfoque permitió prever la eficacia de los parasoles propuestos en la mitigación de la radiación solar en el interior de las aulas. Los resultados de la simulación se presentan en las Figuras 53 y 54.

Figura 52

Simulación ambiental de los parasoles propuestos en el Edificio 6 a las 9:30 horas, en el mes de mayo

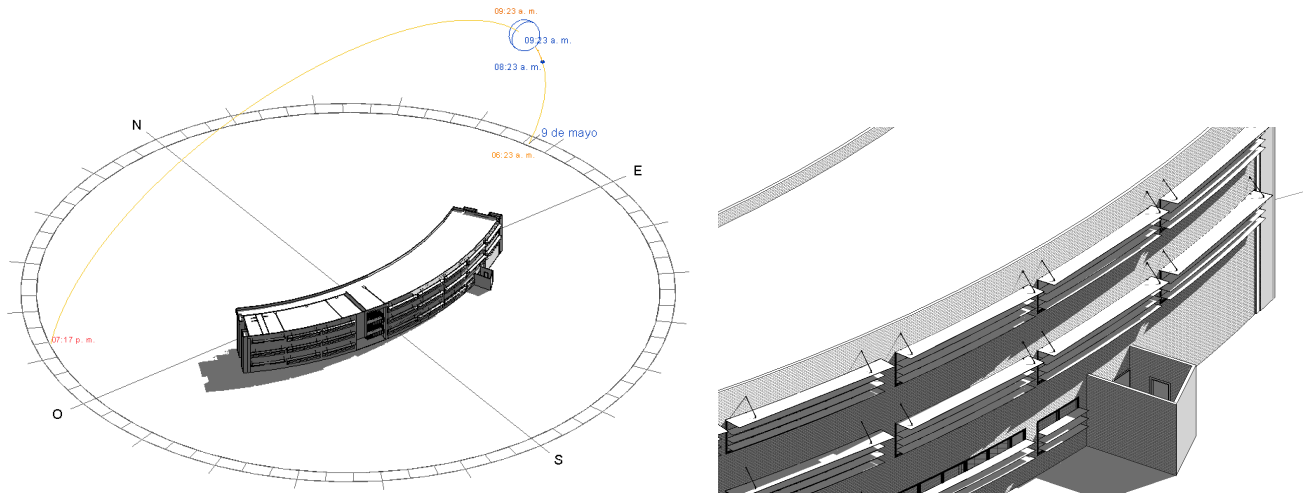
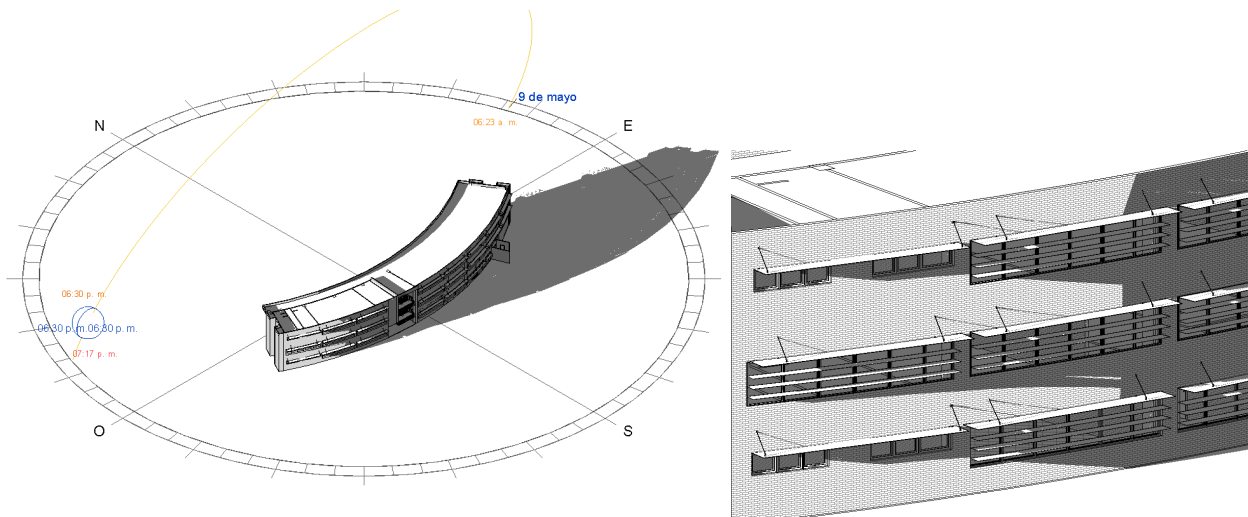


Figura 53

Simulación ambiental de los parasoles propuestos en el Edificio 6 a las 16:30 horas, en el mes de mayo



Según se observa de ambas figuras, los parasoles propuestos permiten generar sombra casi toda la ventana durante mayo.

Conclusión

La evidencia acumulada respalda la necesidad de un rediseño de los parasoles en la fachada sur del Edificio 6. Las observaciones y análisis indican que los parasoles actuales no cumplen de manera efectiva su función, especialmente en los extremos del edificio. La propuesta de dividir el área no sombreada en secciones, como se muestra en la Figura 4.15, presenta una solución práctica para mejorar la eficacia de los parasoles y proporcionar una protección más completa contra la radiación solar directa.

La simulación climática en el software Revit respalda la efectividad de los parasoles propuestos, mostrando una cobertura significativa de sombra en las ventanas durante el mes de mayo, como se presenta en las Figuras 52 y 53. Este rediseño contribuirá a garantizar un ambiente interior más confortable y a mitigar la incidencia solar directa en las aulas del Edificio 6.

Estrategia de vegetación al sur en el Edificio 6

Como parte de las acciones para mejorar las condiciones de confort higrotérmico dentro de las aulas del Edificio 6, se propone la introducción de vegetación en la plazoleta exterior de la fachada sur del Edificio 6 como medida para reducir las ganancias por radiación solar directa.

Se sugiere la plantación de árboles de hoja caduca, ya que durante la primavera y el verano presentan una copa frondosa que proporciona sombra y refresca el ambiente interior de las aulas. En invierno, la ausencia de hojas permite la entrada de radiación solar directa, lo que contribuye a mantener las aulas más cálidas.

La especie recomendada es el fresno (*Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh), seleccionada por su adaptabilidad en el Área Metropolitana de Guadalajara, su rápido crecimiento y sus aportes a algunos servicios ecosistémicos. La Tabla 12 detalla algunas características de esta especie.

Tabla 12
Características del Fresno

Fresno (<i>Fraxinus uhdei</i>)	
Altura:	20 a 30 m.
Tronco:	100cm cm.
Copa:	9 a 13 m.

Hoja “compuesta, opuesta, con margen entero o serrado hacia el ápice. En otoño adquieren una coloración amarilla o rojo púrpura”
Fuente especificada no válida..

Flores “inconspicuas unisexuales muy pequeñas, sin pétalos, agrupadas en panículas estaminadas y pistilada” *a

Fruto “elongado alado (sámara) con una sola semilla creciendo en racimos densos de 15 a 20 cm de largo” *b

Servicios ecosistémicos “Es la única especie del género que se encuentra en estado silvestre formando parte del bosque de galería, bosque mixto de Pino-Encino y bosque mesófilo de montaña.” *c.



Nota. a (ITESO, 2023) b (ITESO, 2023) c (ITESO, 2023) d Adaptado de *Fresno* [Figura], por Instituto Tecnológico y Autónomo de Occidente, 2023, (https://bosque.iteso.mx/en/web/general/detalle?group_id=19200080).

El fresno (*Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh) se destaca como un valioso contribuyente al ecosistema en el Área Metropolitana de Guadalajara, ya que desempeña un papel esencial en la alimentación de la fauna silvestre, que depende de sus hojas. Además, su madera, al resquebrajarse, forma huecos que proporcionan refugio a diversas especies, incluidas aves y pequeños mamíferos (CONABIO, 2023).

A continuación, se presenta un cuadro de ventajas y desventajas del fresno.

Tabla 13

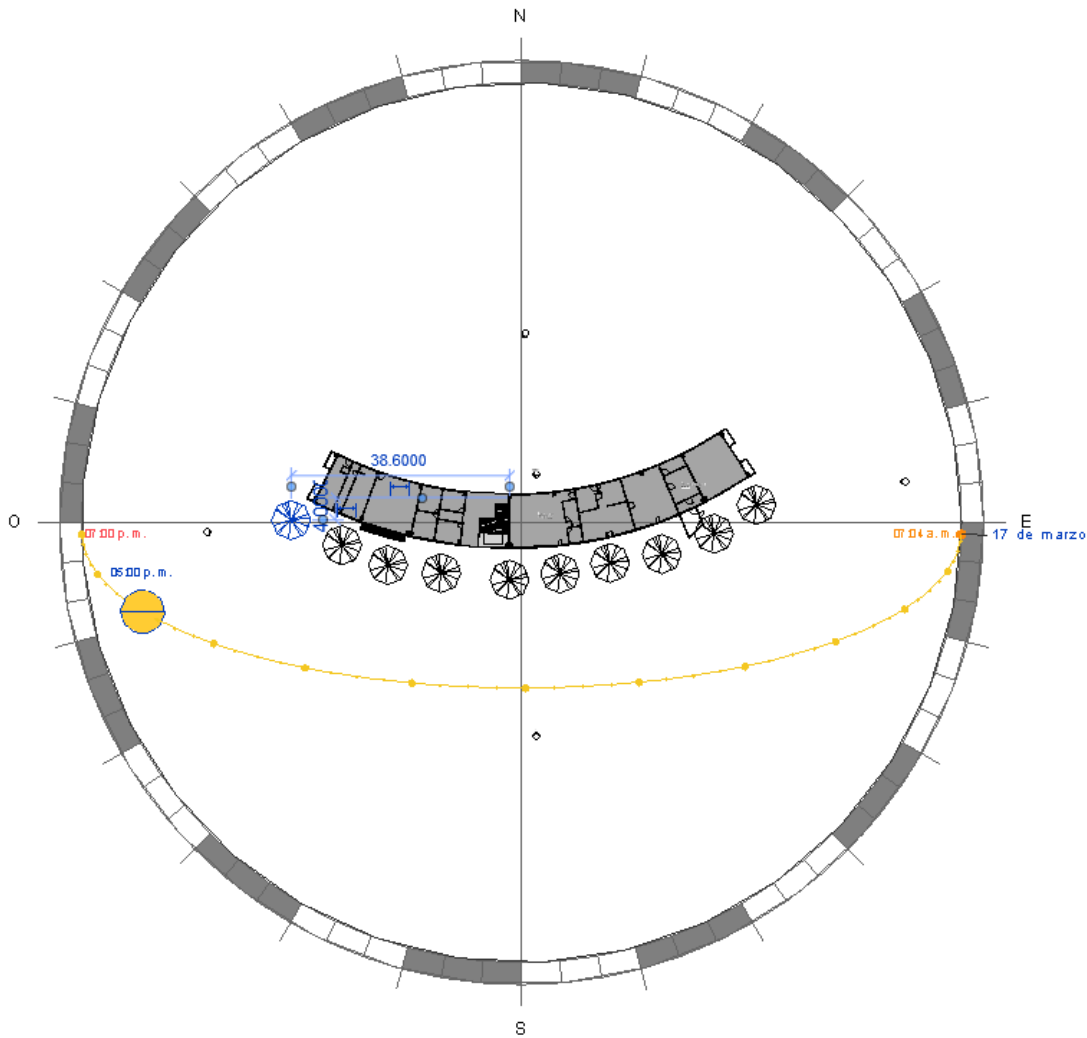
*Ventajas y desventajas del Fresno (*Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh)*

Ventajas	Desventajas
Se recomienda para lugares abiertos	Sus raíces son expansivas y pueden dañar instalaciones eléctricas o hidráulicas.
Tienen hojas caducas en invierno	Generan basura orgánica por las hojas caducas
Son de bajo mantenimiento	
Son de riego moderado	
Se adaptan muy bien a la zona de Zapopán	

Nota. Tabla elaboración propia con fuentes tomadas de CONABIO, 2023.

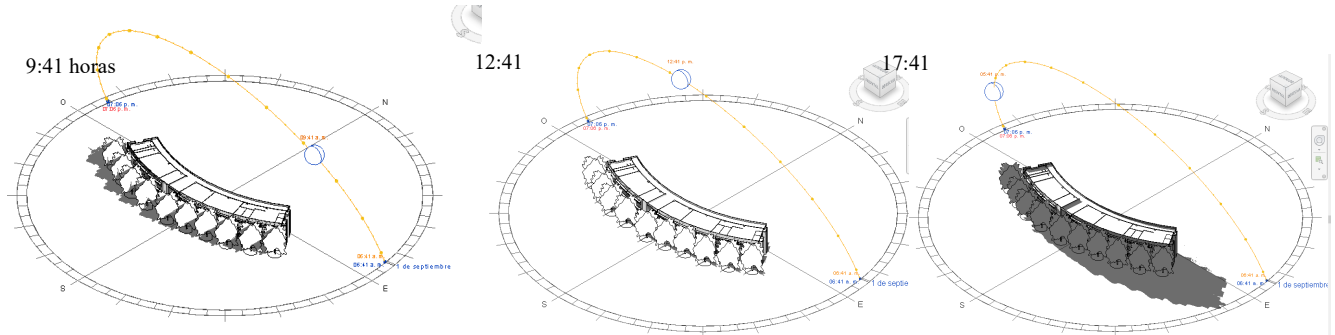
En la plazoleta ubicada al sur del Edificio 6 no existen instalaciones que puedan dañarse con las raíces del fresno, y dado que una ventaja de esta especie de árbol es la profundidad de sus raíces, no hay riesgo de dañar el pavimento o la cimentación del Edificio 6.

A continuación, se presenta una propuesta de distribución de los árboles en la Figura 56.

Figura 54*Propuesta de colocación de Fresnos en la plazoleta sur, vista en planta*

La propuesta incluye la plantación de una fila de fresnos, con un espaciado mínimo de 9 metros entre cada árbol, que corresponde aproximadamente a la anchura de su copa. Se sugiere adquirir árboles de mediana edad, con una altura de alrededor de 7 a 9 metros, para que constituyan una solución a mediano plazo. En la Figura 57 se presenta un estudio solar realizado el primero de septiembre mediante el software Revit.

Las especies proyectadas tienen una altura de 10 metros y una copa de 7 metros. En marzo, donde se identificó una mayor incidencia solar directa hacia las ventanas, la predicción del software muestra una mitigación efectiva de la radiación solar en los horarios mencionados (9:41, 12:41 y 17:41 horas).

Figura 55*Estudio solar con la plazoleta sur vegetada vista el 1 de septiembre*

En síntesis, la propuesta presentada ofrece una solución efectiva para mitigar las ganancias de calor causadas por la radiación solar directa en las ventanas del Edificio 6. La introducción estratégica de filas de fresnos, seleccionados por su adaptabilidad al entorno de Zapopan, en el Campus Universitario, genera sombra en los periodos críticos de radiación solar. Esta medida no solo mejora el confort térmico en las aulas, sino que también fortalece los servicios ecosistémicos en el Campus Universitario, al proporcionar refugio y alimento para la fauna local. La propuesta representa un enfoque integral que aborda tanto las necesidades de los ocupantes como el equilibrio ecológico del entorno universitario.

Rediseño de ventanearía

Siguiendo las directrices establecidas en el Capítulo (revisar número de capítulo) y la metodología del PMV, es fundamental mantener una velocidad del aire en el rango de 0.1 a 0.8 m/s para garantizar condiciones óptimas de confort. La Figura 57 A muestra que solo una tercera parte de las ventanas es abatible, mientras que la Figura 57 B indica que en el Edificio 4 este porcentaje disminuye a aproximadamente un 20 % del área total de ventana. Esta limitación provoca una insuficiencia en la velocidad y volumen de aire necesarios para asegurar un adecuado confort higrotérmico. En este capítulo, se plantea la necesidad de rediseñar la ventanearía para aumentar los parámetros de ventilación actuales y mejorar las condiciones ambientales en las aulas.

Figura 56

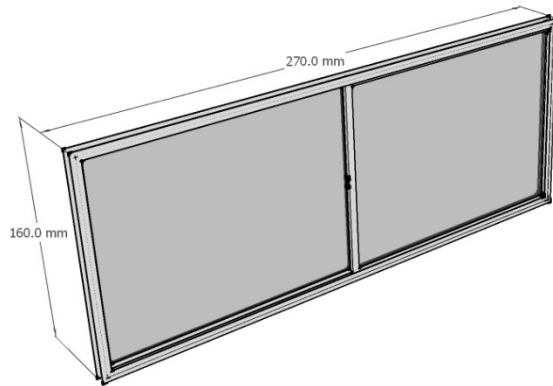
Ventanas actuales en Edificio 6 y 4

A) *Ventanas en el Edificio 6*

B) *Ventanas en el Edificio 4*



La propuesta de diseño para la ventanearía del Edificio 6, ilustrada en la Figura 58, plantea la instalación de ventanas correderas o deslizantes, las cuales permiten una entrada de aire equivalente al 50% del vano. Este diseño ha sido elegido debido a que no interfiere con las persianas utilizadas para oscurecer las aulas ni con los parasoles ya instalados. La selección de este tipo de ventana tiene como objetivo optimizar la ventilación del espacio sin afectar las funcionalidades y elementos existentes en la edificación.

Figura 57*Diseño de ventanearía nueva en el edificio 6**Nota.* Cotas en milímetros

En el caso del Edificio 4, se recomienda instalar ventanas corredizas que permiten una ventilación del 50%. Este diseño preserva las dimensiones originales del vano de la ventana hacia la envolvente, como se muestra en la Figura 60. Asimismo, se propone conservar la hilera de celosías en la parte inferior, manteniendo la estética y funcionalidad original.

Para los pasillos interiores, se sugiere implementar ventanas abatibles de pivote, que proporcionan una apertura del 100%, tal como se ilustra en la Figura 61. La altura de antepecho de estas ventanas se ha establecido en 2.30 metros, lo que asegura que no representen un riesgo para los estudiantes que transitan por los pasillos. Esta propuesta busca mejorar significativamente los niveles de ventilación en los espacios interiores del edificio, garantizando un ambiente más confortable.

Es crucial destacar una de las limitaciones de esta propuesta: la falta de una simulación ambiental con software especializado que valide el desempeño de las ventanas propuestas. La realización de dicha simulación no formó parte de los objetivos de este trabajo, lo que implica que la eficacia y eficiencia de las ventanas en cuanto a ventilación y confort térmico no se evaluaron mediante herramientas de simulación específicas. Este aspecto debería considerarse en futuras etapas de diseño y planificación para asegurar un rendimiento óptimo de las modificaciones propuestas.

Figura 58

Diseño de ventanearía nueva en el edificio 4 en fachada

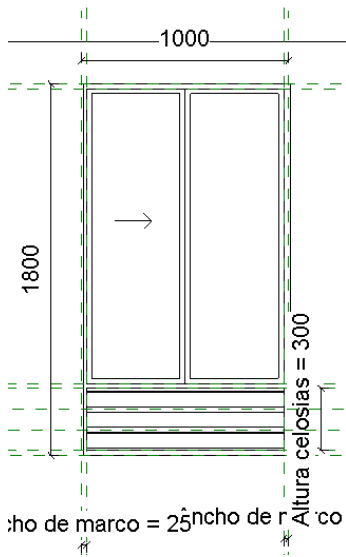
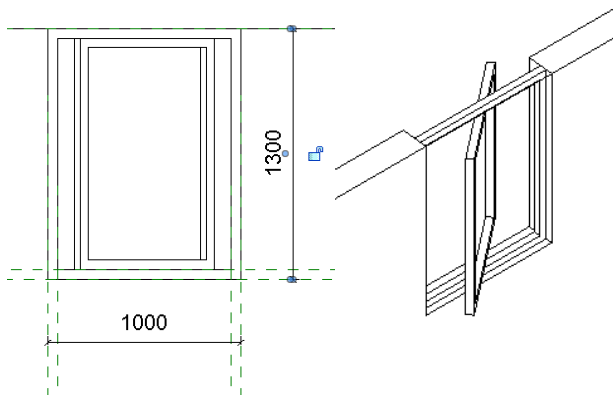


Figura 59

Diseño de ventanearía nueva en el Edificio 4 en pasillos



Nota. Cotas en milímetros

Propuesta de difusión sobre las tecnologías pasivas de los edificios

La promoción de prácticas sustentables no solo contribuye a la eficiencia energética del campus, sino que también extiende la concientización y educación de los miembros de la comunidad universitaria. Una parte del enfoque de este trabajo es utilizar los edificios universitarios como herramientas educativas para inculcar hábitos respetuosos con el medio ambiente y fomentar el desarrollo sostenible.

Este trabajo propone una estrategia basada en la implementación de sistemas de difusión que expliquen a los alumnos las estrategias pasivas incorporadas en las edificaciones donde realizan sus actividades académicas. Esta estrategia se fundamenta en dos objetivos fundamentales:

El primer objetivo es que las personas comprendan el funcionamiento de las estrategias pasivas para promover su uso efectivo. Por ejemplo, al educar a los usuarios sobre los beneficios de la ventilación cruzada para la salud y el medio ambiente, se busca que prefieran la apertura de ventanas en lugar de depender de sistemas de climatización artificial.

El segundo objetivo es que el edificio funcione como un ejemplo tangible de estas estrategias, permitiendo a los alumnos aprender directamente sobre prácticas sustentables. Cada estrategia implementada incluirá un enlace o código QR que dirigirá a recursos bibliográficos o sitios web relevantes, donde se podrá obtener información adicional sobre cada estrategia pasiva.

Se sugiere una tabla en la que se presenten las infografías y su contenido, ya que en las imágenes de la ubicación 62 y 63, el contenido no se aprecia con claridad.

La Figura 62 muestra un ejemplo de las estrategias sugeridas para el Edificio 6, mientras que la Figura 63 ilustra las estrategias propuestas para el Edificio 4.

El acceso a información adicional estará disponible en los edificios mediante códigos QR que enlazarán con recursos informativos y el sitio web oficial de la Universidad, lo que reforzará el conocimiento y la conciencia ambiental en la comunidad universitaria.

Figura 60
Ubicación de infografía para las estrategias pasivas en el Edificio 6

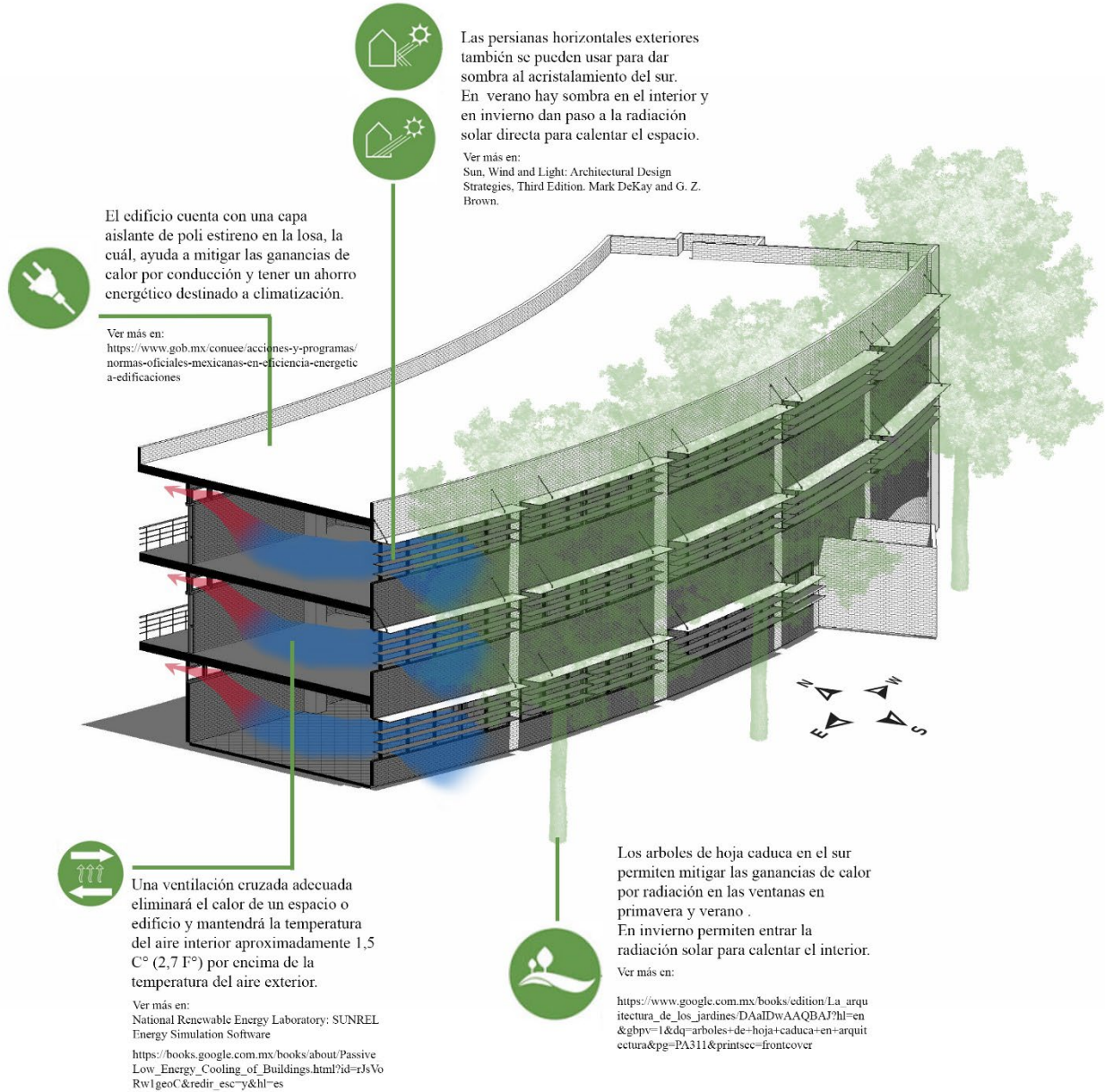
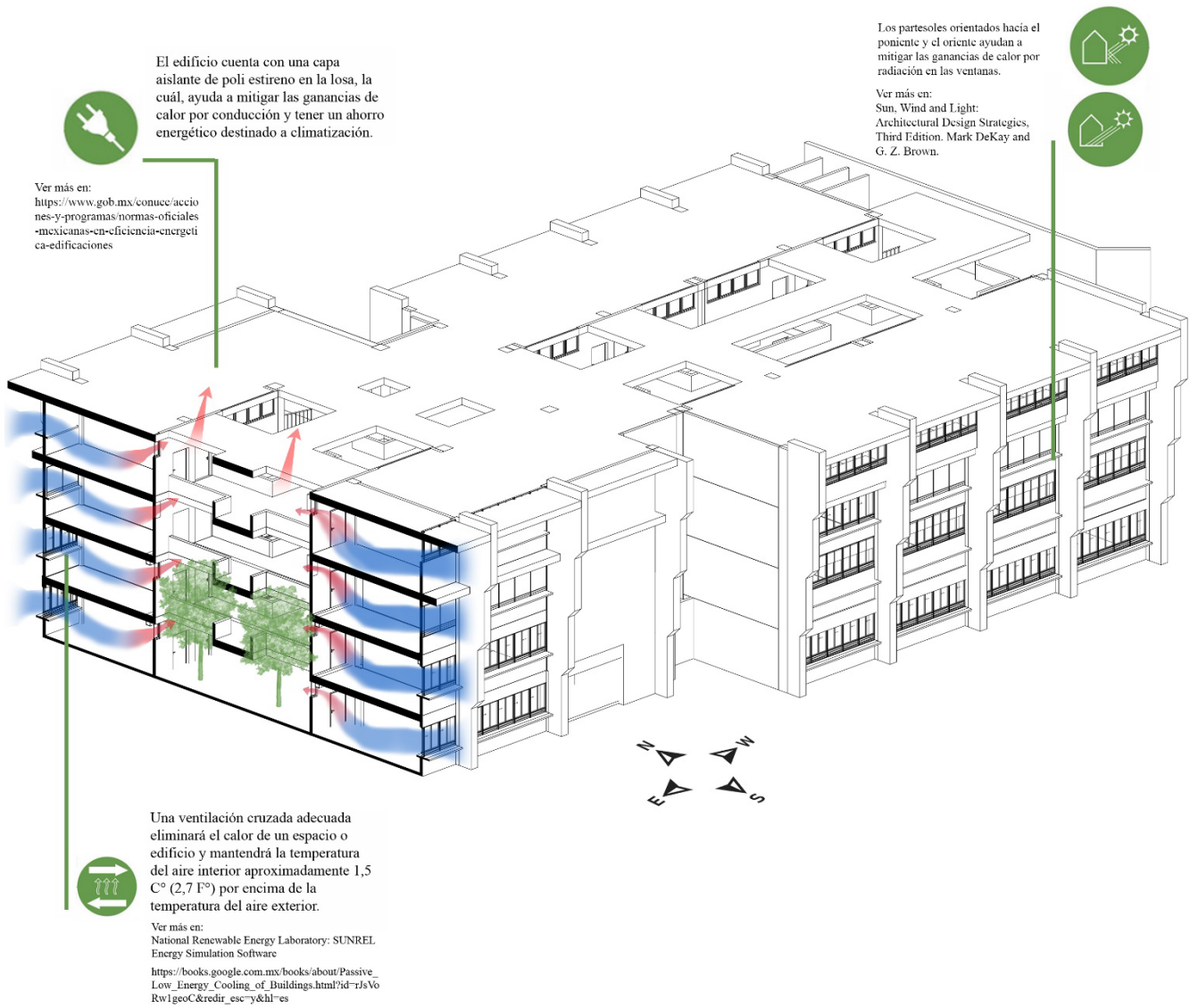


Figura 61
Ubicación de infografía para las estrategias pasivas en el Edificio 4



CAPITULO 5 PROPUESTA ECONÓMICA Y ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

En el presente capítulo se realiza un análisis de los costos asociados a las medidas de mitigación propuestas para ambas edificaciones, con el objetivo de evaluar su viabilidad económica. Inicialmente, se presentan los presupuestos basados en precios unitarios derivados de las diversas medidas de mitigación descritas en el capítulo anterior, las cuales se someterán a un análisis y discusión crítica. El propósito fundamental es examinar estas propuestas y determinar su viabilidad, considerando su costo económico y las posibles implicaciones en las edificaciones en cuestión.

Es importante señalar que los valores monetarios se expresan en pesos mexicanos. Los precios utilizados como referencia se consultaron en la base de datos de los reportes de BIMSA, recopilados entre junio y julio de 2023, e incluyen la mano de obra directa. A continuación, se desglosan los costos estimados de todos los elementos relacionados con la instalación de cada una de las medidas de mitigación identificadas.

Presupuesto de acciones de mitigación en el Edificio 6

La Tabla 14 presenta un resumen del presupuesto integral asociado a la implementación de cuatro medidas de mitigación propuestas para el Edificio 6: I) instalación de aislante térmico en la azotea, II) cambio de ventanería en la fachada sur, III) plantación de árboles frente a la fachada sur, y IV) colocación de parasoles en la fachada sur. Un presupuesto detallado se encuentra en el Anexo F.

Tabla 14

Presupuesto de las cuatro medidas de mitigación propuestas para el Edificio 6

Estrategia	Costo
Costo del aislante térmico en azotea	\$930,339.08
Costo del cambio de ventanería en la fachada sur	\$1,035,784.88
Costo de árboles en la plazoleta sur	\$148,048.65
Costo de parasoles	\$812,000.00
Total	\$2,926,172.61

Como se observa en la Tabla 14, la propuesta de colocación de aislante térmico en la azotea implica un desembolso de \$930,339.08 pesos. La inversión destinada al cambio de ventanería asciende a \$1,035,784.88, mientras que la incorporación de árboles de hoja caduca en la fachada sur conlleva un costo de \$148,048.65. Por otro lado, la integración de nuevos parasoles representa un gasto de \$812,000.00. En total, el monto requerido para la implementación de todas las medidas de mitigación para esta edificación alcanza los \$2,926,172.61 pesos.

Este análisis permite establecer que el cambio de ventanería es la propuesta con el costo más elevado, seguido por la instalación del aislante térmico en la losa de azotea. Sin embargo, la implementación de ambas medidas está justificada por los datos recopilados a través de encuestas y monitoreo de los espacios, donde se identificaron las ganancias de calor en la losa y la insuficiente ventilación como factores significativos relacionados con el confort higrotérmico en el aula. Es relevante destacar que el costo de reemplazar la ventanería se considera un gasto adicional, dado que su diseño actual resulta insuficiente para ventilar adecuadamente los espacios. Esta inversión podría haberse evitado si se hubieran considerado adecuadamente los aspectos de confort higrotérmico durante la etapa de diseño de la edificación.

En cuanto a las propuestas de instalación de parasoles y de vegetación, ambas cumplen funciones similares, y la decisión de optar por una u otra puede basarse en criterios de racionalidad económica. La opción de parasoles resulta más costosa que la de utilizar vegetación; sin embargo, los beneficios de la primera se materializan en el corto plazo, mientras que los de la segunda se obtienen a largo plazo. Esta distinción subraya la importancia de equilibrar la viabilidad económica con la eficacia a largo plazo al seleccionar e implementar medidas de mitigación. La eliminación de la propuesta de parasoles reduciría el presupuesto total, disminuyéndolo de \$2,926,172.61 a \$2,114,172.61 pesos.

Otra alternativa para mejorar la viabilidad económica consiste en implementar las medidas de mitigación de forma escalonada, comenzando con la instalación de aislante térmico en la losa, seguida por la incorporación de vegetación en la fachada sur y, finalmente, el cambio de las ventanas. Este enfoque no solo podría ser más sostenible desde el punto de vista económico, sino que también permitiría evaluar la eficacia de cada medida de manera cuantitativa, de forma independiente, tras su implementación.

Este enfoque secuencial facilitaría un monitoreo detallado de los cambios en el consumo energético después de la implementación de cada etapa, proporcionando información valiosa sobre la efectividad de cada propuesta. La instalación de medidores de energía eléctrica en cada edificio proporcionaría datos cuantitativos precisos que actualmente no se disponen, permitiendo una evaluación objetiva de los impactos reales en el comportamiento térmico del edificio y su rendimiento energético.

Además, esta metodología por etapas no solo permitiría realizar ajustes y optimizaciones conforme avanza el proyecto, sino que también facilitaría una toma de decisiones más informada sobre la continuidad de las fases siguientes, en función de los resultados obtenidos en las etapas anteriores. En última instancia, este enfoque estratégico ofrece un marco sólido para evaluar la eficacia y la viabilidad económica de las propuestas de mitigación, contribuyendo a un proceso de toma de decisiones más informado y eficiente.

A continuación, se presenta la Tabla 15, que muestra una calendarización propuesta para la aplicación de gastos en relación con las inversiones anuales de la universidad.

Tabla 15
Calendario de aplicación de estrategias Sustentables Edificio 6

Año	concepto	Inversión
2024	Aislante de azotea e Implementación de árboles de hoja caduca	\$1,078,387.73
2029	Cambio de ventanas etapa 1	\$ 517,892.44
2034	Cambio de ventanas etapa 2	\$517,892.44

Se decidió dividir en dos etapas el gasto asociado al cambio de las ventanas, que representa la inversión más significativa. El análisis de costo-beneficio utiliza únicamente los precios actuales; sin embargo, para lograr una mayor precisión y detalle en este análisis, es esencial incluir el efecto de la inflación en la industria de la construcción hasta el año en que se realice la evaluación. Este ajuste permite reflejar adecuadamente los aumentos en los costos de materiales y servicios relacionados ofreciendo una comparación más realista entre costos y beneficios esperados en proyectos de largo plazo. para efectos de este ejercicio se considera precios actuales sin inflación futura,

Para ofrecer una perspectiva más equilibrada sobre los posibles ahorros de las propuestas por etapas, se consideró el total de metros cuadrados de los edificios construidos en el Campus, que asciende a 63,425.59. Aunque el Edificio 6 cuenta con 2,718 metros cuadrados, esto representa únicamente el 4.28% del consumo total de energía eléctrica de los Edificios de todo el Campus.

Tabla 16

Consumo de energía eléctrica en meses calurosos

Mes	Kwh Total	Pago mensual en pesos mx
Abril	83124	\$348,531.73
Mayo	171109	\$559,497.21
Junio	151490	\$515,502.94
Julio	151434	\$475,495.07

Como se muestra en la Tabla 16, al comparar los datos de abril con los meses de mayo, junio y julio, se observa un excedente promedio de 74,887 kWh, lo que equivale a un gasto monetario promedio anual de \$504,900.02. Si se implementan las medidas de mitigación y estas funcionan de manera óptima, se lograría un ahorro anual de \$21,609.72 sobre ese total de \$504,900.02.

El Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) estima un crecimiento anual del 2.5% en el consumo neto de energía eléctrica en los próximos años. Esta proyección constituye un elemento clave para completar el análisis de inversión en energía eléctrica, como se muestra en la tabla 17. La estimación permite anticipar aumentos en la demanda energética, lo que incide directamente en la planificación de infraestructura y costos operativos futuros. Incorporar esta información en el análisis de inversión aporta una perspectiva más precisa sobre la sostenibilidad y rentabilidad de los proyectos energéticos a largo plazo.

En la Tabla 17 se muestra un análisis costo beneficio de la calendarización de las propuestas.

Tabla 17*Análisis costo beneficio de las propuestas en el Edificio 6 por etapas*Incremento de
la energía
eléctrica anual

2.50%

INVERSIÓN

\$1,078,387.73

Tasa de descuento

0.00%

Años de periodo	Inversión	Ingresos	Egresos
	\$1,078,387.73		
2024		\$21,609.72	\$ -
2025		\$ 22,149.96	\$ -
2026		\$ 22,703.71	\$ -
2027		\$ 23,271.31	\$ -
2028		\$ 23,853.09	
2029	\$ 517,892.44	\$ 24,449.42	
2030		\$ 25,060.65	
2031		\$ 25,687.17	
2032		\$ 26,329.35	\$ -
2033		\$ 26,329.35	
2034	\$ 517,892.44	\$ 26,987.58	
2035		\$ 27,662.27	
2036		\$ 28,353.83	
2037		\$ 29,062.67	
2038		\$ 29,789.24	
2039		\$ 30,533.97	
Total		\$413,833.28	\$ -

VNA Ingresos	\$413,833.28
VNA Egresos	\$0.00
VNA ingresos + inversión	\$2,114,172.61
Costo beneficio	0.90
Retorno anual	34%

En la columna de inversiones se detallan las cuotas correspondientes a las tres etapas de inversión. La columna de egresos se mantiene en blanco, dado que estas adaptaciones no requieren un mantenimiento

adicional al que actualmente se asigna al edificio. En la tasa de interés se deja en 0.00% ya que la Universidad no pedirá algún préstamo bancario para la realización del proyecto.

En la columna de ingresos se presenta el posible porcentaje de ganancias anuales relacionado con este edificio tras las adaptaciones, evidenciando que el retorno de inversión anual es del 34%. Esto sugiere que, aunque las inversiones superan significativamente los ingresos generados por el ahorro energético, la propuesta exhibe un potencial de rentabilidad. El costo beneficio es bajo si solamente se considera una perspectiva monetaria, ya que es menor a 1 (0.90), no resulta atractivo a primera vista invertir en un proyecto con estas características de inversión. Hay que destacar que es común que las altas inversiones iniciales que requieren algunas medidas de mitigación pueden desincentivar su ejecución.

A continuación, se presenta un ejercicio similar en la Tabla 18, en la cual no se contempla un calendario de construcción en etapas. En esta propuesta, las medidas se implementarán de manera conjunta. Esta metodología permite una ejecución simultánea de las medidas, lo que podría optimizar los recursos y reducir el tiempo necesario para alcanzar los objetivos establecidos. En este caso el periodo de retorno de inversión que se analizó fue de 15 años.

Tabla 18
Análisis costo beneficio de las propuestas en el Edificio 6

INVERSIÓN	Incremento de la energía eléctrica anual
\$2,114,172.61	2.50%
Tasa de descuento	
0.00%	

Años de periodo	Inversión	Ingresos	Egresos
	\$2,114,172.61		
2024		\$21,609.72	\$ -
2025		\$ 22,149.96	\$ -
2026		\$ 22,703.71	\$ -
2027		\$ 23,271.31	\$ -
2028		\$ 23,853.09	
2029		\$ 24,449.42	
2030		\$ 25,060.65	
2031		\$ 25,687.17	
2032		\$ 26,329.35	\$ -
2033		\$ 26,329.35	
2034		\$ 26,987.58	
2035		\$ 27,662.27	
2036		\$ 28,353.83	
2037		\$ 29,062.67	
2038		\$ 29,789.24	
Total		\$383,299.31	\$ -

VNA Ingresos	\$383,299.31
VNA Egresos	\$0.00
VNA ingresos + inversión	\$2,114,172.61
Costo beneficio	0.181299915
Retorno anual	33%

La segunda propuesta presenta una reducción leve en los indicadores financieros principales: el costo-beneficio y el retorno anual. El costo-beneficio desciende ligeramente, lo cual implica que la relación entre ingresos proyectados e inversión es menos favorable en comparación con la propuesta anterior. Este ajuste refleja una menor eficiencia en la recuperación de la inversión.

En cuanto al retorno de inversión, el cambio de 34% a 33% es mínimo, pero notable desde el punto de vista de un análisis detallado, pues indica que los ingresos anuales incrementales no son suficientes para mantener el mismo nivel de rentabilidad observado en la propuesta previa. Sin embargo, al margen de estos valores, ambas propuestas mantienen ingresos similares, lo que indica que no hay un cambio estructural en los flujos de efectivo o en los factores de riesgo que afecten significativamente el análisis. En resumen, la variación es sutil y probablemente no impacte de forma considerable la decisión de inversión, pero es una indicación de que el margen de rentabilidad es sensible a pequeños cambios en los ingresos o en la inversión inicial.

En el capítulo 1, titulado "El campus universitario de la Universidad del Valle de Atemajac y su relación con el cambio climático", se analizó el crecimiento del consumo energético destinado a la climatización artificial de las aulas. Este fenómeno es especialmente evidente en meses no vacacionales, como febrero, donde se registra una diferencia de 89,184 kWh en comparación con mayo. En términos de emisiones de Gases de Efecto Invernadero, la calculadora de carbono de la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET) indica que esta diferencia representa un aumento de 40.95 toneladas de CO₂.

Considerando el factor de emisión del sistema eléctrico nacional para emisiones indirectas de gases de efecto invernadero (GEI) en 2021, que fue de 0.423 tCO₂e/MWh, se estima que, de implementarse las propuestas de mejora en la edificación y alcanzarse la eficiencia energética proyectada, y dado que este edificio representa el 4.28% del consumo energético total del campus, se podría lograr una reducción del consumo energético de 3,817.0752 kWh,

La implementación de esta medida permitiría reducir aproximadamente 1.61 toneladas de dióxido de carbono al año, una cantidad equivalente al consumo promedio de electricidad de tres hogares conformados por cuatro personas, de acuerdo con los cálculos de la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET).

Presupuesto de acciones de mitigación en el Edificio 4

La Tabla 19 presenta el presupuesto asociado a las medidas de mitigación propuestas para el Edificio 4. En el anexo G se puede apreciar el presupuesto completo.

Tabla 19
Costos de implementación de propuestas en el Edificio 4

concepto	Inversión
Aislante de azotea	\$1,487,021.97
Cambio de ventanas	\$1,635,341.96
Total	\$3,122,363.93

La propuesta de instalar aislante térmico en la azotea tendría un costo de \$1,487,021.9 pesos, mientras que el cambio de ventanería conlleva un desembolso de \$1,635,341.9 pesos. La suma total de ambas propuestas alcanza los \$3,122,363.9 pesos.

En el escenario de llevar a cabo la implementación por etapas, se sugiere iniciar con la colocación del aislante en la losa de azotea, para posteriormente comenzar la sustitución de ventanas en las plantas superiores, avanzando hacia niveles inferiores. Esta estrategia se fundamenta en las observaciones descritas en el Capítulo 3 *Monitoreo de condiciones y humedad relativa del Edificio 4*, donde se evidenció la presencia de temperaturas más elevadas y constantes en las áreas superiores del edificio.

El Campus cuenta con un total de 63,425.59 metros cuadrados de superficie edificada. Aunque el Edificio 4 tiene un área de 8,453.30 metros cuadrados, su consumo de energía eléctrica representa solo el 13.33% del total de todos los edificios del Campus. Este porcentaje se utilizará para estimar los posibles ahorros en los tres meses de mayor incremento en costos (mayo, junio y julio), como se muestra en la Tabla 16. Con esta información, se estima que los posibles ahorros anuales del Edificio 4 ascienden a \$67,303.17, en comparación con un promedio de \$504,900.02 para todo el Campus anualmente.

A continuación, en la Tabla 20 se presenta un análisis costo beneficio del proyecto por etapas. Al igual que los ejercicios anteriores se hacen con precios actuales del 2023, para un análisis más elaborado en

completo se requiere hacer una proyección del incremento de la inflación en a la industria de la construcción.

Tabla 20
Análisis costo beneficio por plazos de las propuestas del Edificio 4

Años de periodo	Inversión	Ingresos	Egresos
	INVERSIÓN		Incremento de la energía eléctrica anual
	\$3,122,363.90		2.50%
	Tasa de descuento		
	0.00%		
	\$1,487,021.97		
2024		\$67,303.17	\$ -
2025		\$ 68,985.75	\$ -
2026		\$ 70,710.39	\$ -
2027		\$ 72,478.15	\$ -
2028		\$ 74,290.11	
2029	\$ 817,670.98	\$ 76,147.36	
2030		\$ 78,051.04	
2031		\$ 80,002.32	
2032		\$ 82,002.38	\$ -
2033		\$ 82,002.38	
2034	\$ 817,670.98	\$ 84,052.44	
2035		\$ 86,153.75	
2036		\$ 88,307.59	
2037		\$ 90,515.28	
2038		\$ 92,778.16	
2039		\$ 95,097.62	
Total		\$1,288,877.89	\$ -

VNA Ingresos	\$1,288,877.89
VNA Egresos	\$0.00
VNA ingresos + inversión	\$4,411,241.82
Costo beneficio	0.292180284
Retorno anual	20%

2038	\$ 92,778.16	
Total	\$1,193,780.27	\$ -

VNA Ingresos	\$1,193,780.27
VNA Egresos	\$0.00
VNA ingresos + inversión	\$4,316,144.17
Costo beneficio	0.276584892
Retorno anual	20%

Al no generarse gastos de operación adicionales en comparación con los costos de mantenimiento de las edificaciones actuales, el campo de egresos se presenta vacío. En esta propuesta se plantea la opción de 15 años solamente, en la anterior se presenta en 16, se observa que en comparación a la propuesta anterior baja el costo beneficio de 0.29 en la propuesta anterior a 0.27, lo cual sigue siendo poco atractivo si el objetivo principal de esta inversión es generar únicamente intereses económicos, el retorno anual sigue estando den 20% al igual que la propuesta anterior, en si ambos escenarios no presentan cambios significativos. t

Considerando el factor de emisión del sistema eléctrico nacional para emisiones indirectas de GEI en 2021, que es de 0.423 tCO₂e/MWh, se estima que, si se aplican las propuestas a esta edificación y se logra la eficiencia energética esperada, se podría disminuir el consumo energético en 11,888.23 kWh. Esto resultaría en la reducción de 5.90 toneladas anuales de dióxido de carbono, lo que equivale al consumo promedio de electricidad de ocho hogares de cuatro miembros.

CAPITULO 6. CONCLUSIONES

Sobre la metodología utilizada

Este estudio de maestría ha abordado de manera integral el desafío de mejorar el confort higrotérmico y reducir el consumo de energía eléctrica en los Edificios 4 y 6 del Campus del Área Metropolitana de Guadalajara de la Universidad del Valle de Atemajac. La hipótesis inicial, que propuso la viabilidad de generar propuestas de diseño arquitectónico pasivas para mejorar el bienestar higrotérmico en edificaciones existentes, se evaluó a través de una metodología completa y específica.

La metodología aplicada en esta investigación fue fundamental para comprender el comportamiento del microclima dentro de las edificaciones analizadas, en periodos específicos del año, y para identificar áreas de oportunidad en términos de confort higrotérmico. La combinación de la aplicación del Índice Predictivo Medio (PMV) y la realización de encuestas proporcionó una visión integral, lo que permitió no solo evaluar las condiciones térmicas objetivas, sino también recopilar la percepción subjetiva de los usuarios respecto al confort higrotérmico.

Es esencial destacar que, si bien el cálculo del PMV por sí solo sería adecuado en ciertos casos, como en el Edificio 6, no bastaría para abordar situaciones específicas, como las identificadas en el Edificio 4. La discrepancia entre los resultados del método analítico y los datos de la encuesta subraya la importancia de combinar enfoques cuantitativos y cualitativos para obtener una comprensión más completa del confort higrotérmico en futuras investigaciones.

El Edificio 4 se distinguió al demostrar un mayor número de aulas con temperaturas dentro del rango de confort higrotérmico en comparación con el Edificio 6. Esta diferencia resalta la eficacia del diseño de la primera edificación, especialmente en términos de disminución de las ganancias de calor, mejores condiciones de confort higrotérmico y menor demanda energética para la climatización artificial. Las áreas de oportunidad identificadas en el Edificio 4 están relacionadas con las ventanas y la losa, y ofrecen valiosas lecciones tanto para futuros diseños en el Campus Universitario como para el mejoramiento de otros edificios en el campus que tienen una orientación similar.

El Edificio 4, con sus áreas de oportunidad ya identificadas, podrá servir como un referente valioso para futuros proyectos siempre que se aprovechen sus fortalezas en términos de protección contra ganancias de calor.

En el caso del Edificio 6, se destaca la necesidad de abordar de manera más detallada las estrategias arquitectónicas en edificaciones con formas curvas, que, aunque pueden ser estéticamente atractivas, requieren estudios más exhaustivos para optimizar sus estrategias de protección contra la radiación solar y de confort térmico.

Es importante señalar otro aspecto relevante: las prendas adicionales, como las batas de laboratorio, mostraron en este estudio un impacto menor en la percepción del confort higrotérmico en comparación con el efecto directo del calor irradiado desde las losas de los edificios. Estos hallazgos se respaldan tanto por los resultados obtenidos en la encuesta como por el monitoreo realizado en el Edificio 6.

La observación anterior subraya la importancia de tratar las condiciones térmicas en el entorno construido, particularmente en las superficies como las losas, que pueden tener una influencia más significativa en la experiencia térmica que los usuarios tienen de estos espacios. Aunque la elección de la vestimenta puede desempeñar un papel en la adaptación individual o académica, el diseño y las características térmicas de las estructuras son determinantes para lograr un confort higrotérmico efectivo en espacios cerrados.

La actual carencia de regulaciones específicas en México, especialmente en las normativas del Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (INIFED), respecto al confort higrotérmico en construcciones escolares, representa una significativa área de oportunidad. Aunque las normas existentes aborden aspectos importantes como accesibilidad universal, iluminación, ventilación natural y protección civil, la ausencia de consideraciones específicas sobre el confort higrotérmico podría ser cubierta para mejorar el rendimiento escolar y el bienestar de los ocupantes.

Integrar criterios y directrices específicas sobre confort higrotérmico en las normativas de construcción para entornos educativos beneficiaría tanto al rendimiento académico como a la salud y comodidad de los estudiantes y del personal de las instituciones. La inclusión de estos estándares desde las etapas iniciales

del diseño arquitectónico permitiría adaptar las edificaciones de manera más eficiente y económica, evitando costosas modificaciones posteriores.

Por tanto, proponer e implementar reglamentaciones que traten directamente el confort higrotérmico en construcciones escolares no solo contribuiría al bienestar de la comunidad educativa, sino que también fomentaría prácticas arquitectónicas más sostenibles y centradas en el usuario, ayudando al mismo tiempo a alcanzar las metas que el Estado de Jalisco y el país se han planteado en materia de ahorro energético y en el cumplimiento de acuerdos internacionales en la materia.

La aplicación de esta metodología se presenta como una herramienta valiosa para facilitar la toma de decisiones y la evaluación de centros universitarios y escuelas. La recopilación de datos mediante técnicas como el monitoreo térmico y encuestas permite obtener una visión detallada del comportamiento del microclima en las edificaciones, así como la percepción de confort higrotérmico por parte de los usuarios.

Al emplear esta metodología, las instituciones educativas pueden identificar áreas de oportunidad en términos de eficiencia energética, diseño arquitectónico y bienestar de los ocupantes. Las conclusiones derivadas de la investigación proporcionan información valiosa que puede ser utilizada para implementar mejoras específicas en la infraestructura existente o guiar el diseño de futuros proyectos arquitectónicos.

Además, la metodología no solo se centra en aspectos técnicos, como el aislamiento térmico de las edificaciones, sino que también incorpora la percepción y el confort de los usuarios. Este enfoque holístico contribuye a la creación de entornos educativos más saludables y adaptados a las necesidades de la comunidad estudiantil, con un impacto positivo en el rendimiento académico.

Se recomienda realizar encuestas a los usuarios cada vez que se implementen propuestas para mejorar el confort térmico en los edificios. Esto se debe a que, como se mencionó anteriormente, los resultados obtenidos con el método analítico pueden indicar que los usuarios se encuentran en el límite del confort térmico, pero estas cifras pueden diferir de los resultados obtenidos a través de encuestas en espacios específicos.

Dentro de la revisión bibliográfica de este trabajo se identificaron diversos autores que señalaban que algunas metodologías pueden ignorar factores contextuales (Godoy Muñoz, 2012) y que la aplicación de algunos modelos en climas cálidos puede conducir a errores (Van Hoof, 2007). Los resultados obtenidos en el Edificio 4 corroboran dichas limitaciones. Por lo tanto, si se tiene la intención de aplicar la metodología del PMV en futuras investigaciones para lograr un ahorro energético en contextos como el del Área Metropolitana de Guadalajara, resulta esencial realizar encuestas de evaluación del usuario en relación con el confort térmico. La aplicación exclusiva de la fórmula del PMV podría no abordar de manera integral la problemática.

Sobre la propuesta de difusión

Es fundamental comprender las estrategias pasivas implementadas en los edificios para maximizar su eficacia y fomentar hábitos que reduzcan el consumo energético. La concientización de los usuarios sobre el funcionamiento de estas estrategias resulta esencial para lograr un cambio significativo en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. La efectividad de los edificios sustentables puede verse comprometida si los usuarios no comprenden el propósito de las estrategias adoptadas ni saben cómo aplicarlas para contribuir al ahorro energético.

En este contexto, como parte del presente trabajo, se diseñó un conjunto de gráficos destinados a informar a la comunidad universitaria de la Universidad del Valle de Atemajac (UNIVA) sobre las estrategias pasivas de confort higrotérmico y ahorro energético. La infografía propuesta no solo tiene el objetivo de divulgar las estrategias pasivas presentes en las edificaciones, sino que también busca desempeñar un papel relevante en la difusión de información sobre metodologías, estrategias y productos disponibles en el mercado que promuevan la sustentabilidad en la construcción.

Sin embargo, dado que esta iniciativa aún no ha sido implementada, no es posible evaluar su efectividad ni su impacto en la comunidad. Sería necesario llevar a cabo la propuesta y posteriormente analizar los resultados para valorar su efectividad en la promoción de un cambio en los hábitos de los usuarios y en la mejora del desempeño energético de las edificaciones. La implementación de este tipo de acciones resulta crucial para cerrar la brecha entre las estrategias pasivas diseñadas y la participación activa de los usuarios en la construcción de un entorno más sustentable.

Sobre el análisis costo beneficio

La sección de discusión de resultados en el capítulo de "Propuesta Económica y Análisis Costo-Beneficio" es fundamental para evaluar la viabilidad de las estrategias de mitigación propuestas en los Edificios 6 y 4, considerando tanto los aspectos económicos como los beneficios energéticos. A continuación, se discuten algunos puntos clave de los resultados obtenidos en esta investigación.

Viabilidad Económica de las Medidas Propuestas

Los resultados muestran que la implementación de medidas de eficiencia energética en ambas edificaciones requiere una inversión inicial significativa, con un costo total de \$2,926,172.61 para el Edificio 6 y de \$3,122,363.93 para el Edificio 4. Estos costos reflejan las diversas acciones de mitigación, como la instalación de aislante térmico en la azotea, el cambio de ventanas, la plantación de árboles y la colocación de parasoles, cada una con un presupuesto específico y con expectativas de impacto en la reducción de la carga térmica en los edificios.

Se destaca que el cambio de ventanería y el aislante térmico representan los costos más elevados, lo cual está justificado por los datos de monitoreo que identifican estas áreas como principales fuentes de ganancia de calor. Sin embargo, al considerar únicamente el beneficio monetario derivado de los ahorros en consumo eléctrico, el análisis de costo-beneficio muestra que ninguna de las propuestas alcanza un índice de costo-beneficio mayor a 1. Esto implica que, desde una perspectiva estrictamente financiera, el retorno de inversión no es lo suficientemente alto para justificar los gastos bajo un enfoque convencional. Sin embargo, se debe considerar que los objetivos de estos proyectos no son únicamente monetarios, sino también mejorar el confort térmico y reducir las emisiones de CO₂, lo cual tiene un valor social y ambiental difícil de cuantificar económicamente.

Beneficios a Corto y Largo Plazo

Un aspecto interesante de los resultados es la diferencia en la materialización de beneficios entre las medidas implementadas. Por ejemplo, los parasoles ofrecen beneficios inmediatos en la reducción de la radiación solar, mientras que los árboles brindan efectos de sombreado y enfriamiento de la fachada sur a

largo plazo. Esto subraya la importancia de equilibrar las opciones de mitigación que proporcionan beneficios inmediatos con aquellas que, aunque más económicas, tienen efectos de mitigación gradual, como el uso de vegetación. En este contexto, la combinación de medidas de efecto a corto y largo plazo permite crear un plan integral de mitigación que no solo es más económico, sino también más eficiente en la adaptación al cambio climático en el futuro.

Implementación Escalonada y su Impacto en la Viabilidad Financiera

La opción de implementar las medidas de forma escalonada resulta favorable desde una perspectiva de gestión financiera. La calendarización permite distribuir el costo en varios años, lo cual no solo facilita la asignación de recursos presupuestales, sino que también permite medir el impacto de cada medida de forma independiente. La implementación escalonada también ofrece una ventaja adicional: la posibilidad de hacer ajustes en las etapas subsecuentes, basados en los resultados obtenidos en las etapas iniciales.

Este enfoque dinámico permite una toma de decisiones más informada y puede mejorar la eficiencia del proyecto a largo plazo, adaptándose a cambios en los precios de materiales o en el costo de la energía. Además, el monitoreo detallado del consumo energético tras la implementación de cada medida podría aportar datos valiosos sobre la efectividad de las estrategias de mitigación en tiempo real. Esto también facilita justificar futuras inversiones al demostrar el ahorro energético obtenido con cada intervención.

Proyección de Ahorros Energéticos y Reducción de Emisiones

Los ahorros energéticos estimados, aunque modestos en comparación con el costo de inversión, contribuyen a reducir el consumo total del campus, lo cual es relevante en el contexto de la sostenibilidad. En el Edificio 6, se calcula que un ahorro de \$21,609.72 al año podría lograrse con la implementación de las medidas, lo cual, si bien no compensa totalmente la inversión, representa una reducción en el gasto energético que contribuye a la mitigación de los impactos ambientales. Además, se estima que se podría reducir alrededor de 1.61 toneladas de dióxido de carbono al año, una cantidad equivalente al consumo promedio de electricidad de tres hogares.

Este enfoque contribuye a los objetivos de sostenibilidad del campus universitario y refuerza la responsabilidad institucional ante el cambio climático, aun cuando el análisis financiero por sí solo no parece justificado. Estos datos también destacan la importancia de considerar el costo ambiental y social en los análisis de viabilidad económica.

Comparación de Modelos de Implementación: Simultáneo vs. Escalonado

La comparación entre la implementación simultánea y la implementación escalonada de las medidas revela algunas diferencias clave. La implementación simultánea podría reducir los tiempos de ejecución y acelerar el logro de los objetivos de eficiencia energética, aunque su análisis muestra un costo-beneficio menor y un retorno anual ligeramente inferior. La implementación escalonada, por otro lado, parece ser una estrategia más económica y viable en términos de flujo de caja. Esta estrategia ofrece flexibilidad en la asignación de recursos y permite hacer ajustes basados en los resultados de cada fase.

Sin embargo, el periodo de retorno de la inversión es largo en ambos escenarios, lo cual es común en proyectos de eficiencia energética, donde los beneficios financieros directos suelen ser menos evidentes en el corto plazo. Para proyectos con una visión de sostenibilidad, el retorno de la inversión no siempre se mide solo en términos financieros, sino también en los beneficios ambientales y de confort que se generan para los usuarios de los edificios.

Los resultados sugieren que las medidas de mitigación propuestas para los Edificios 6 y 4 tienen un potencial significativo para mejorar el confort térmico y reducir el consumo energético, aunque el costo-beneficio desde una perspectiva estrictamente financiera no es óptimo en el corto plazo. La implementación escalonada es una estrategia viable que equilibra la viabilidad económica con la eficacia energética, y permite realizar ajustes conforme avanzan las etapas. Además, los beneficios ambientales y de confort para los usuarios del campus añaden un valor intangible a estas intervenciones, que puede justificar la inversión desde una perspectiva de responsabilidad social y sostenibilidad.

Este análisis de costo-beneficio resalta la necesidad de adoptar una visión integral que incluya tanto el impacto económico como el ambiental y social al evaluar la viabilidad de proyectos de eficiencia

energética. Estos proyectos son esenciales para una transición hacia un campus más sustentable y amigable con el medio ambiente, lo cual es cada vez más relevante en el contexto de los compromisos globales para reducir la huella de carbono y enfrentar el cambio climático.

Consideraciones y Perspectivas Futuras

La presente investigación se enfoca en la reducción del consumo energético en los edificios de aulas de la Universidad del Valle de Atemajac, en su Campus del Área Metropolitana de Guadalajara, mediante un análisis riguroso del confort higrotérmico de los usuarios y la implementación de estrategias de diseño pasivo. Este enfoque, fundamentado en un estudio bioclimático del sitio y en un análisis detallado de las condiciones climáticas locales, se presenta como un modelo replicable en campus universitarios a nivel global, con la posibilidad de adaptarse a las características específicas de cada región.

Una contribución relevante de este estudio es la exploración de la interacción entre el confort higrotérmico y el rendimiento académico, lo cual introduce una dimensión de análisis que vincula el bienestar térmico con el desempeño cognitivo y escolar de los estudiantes. La falta de confort higrotérmico se identifica como un factor potencialmente perturbador del rendimiento académico, lo que sugiere nuevas áreas de estudio orientadas a comprender las implicaciones del ambiente térmico en los entornos de aprendizaje y a diseñar intervenciones más precisas que promuevan el bienestar de los usuarios en el ámbito educativo.

La metodología empleada, que abarca desde un análisis bioclimático preliminar hasta un análisis de costo-beneficio detallado, establece un marco metodológico robusto que puede ser aplicado en futuras investigaciones sobre eficiencia energética en entornos educativos. Sin embargo, se reconoce una limitación metodológica derivada de la ausencia de un enfoque experimental en el presente trabajo. La incorporación de estudios experimentales, tales como simulaciones de rendimiento energético o intervenciones controladas en espacios de aula, permitiría generar predicciones más precisas sobre el impacto cuantificable de las estrategias de confort térmico pasivo implementadas.

Para el desarrollo de estudios futuros, se sugiere la implementación de investigaciones experimentales mediante herramientas avanzadas de simulación energética, como Design Builder, o la instalación de equipos de monitoreo ambiental (temperatura y humedad relativa) en aulas seleccionadas. La recopilación

de datos mediante encuestas a usuarios y mediciones de consumo eléctrico ofrecería una base de comparación robusta para la evaluación de las estrategias propuestas. Es importante señalar que, si bien esta propuesta resulta metodológicamente valiosa, no fue contemplada en los objetivos específicos del presente estudio y requeriría un periodo de implementación más extenso, por lo que se considera una recomendación para trabajos futuros.

Consideración de la Inflación y su Impacto en la Viabilidad Financiera

Los cálculos de rentabilidad realizados con precios actuales (2023) subrayan la necesidad de incorporar proyecciones de inflación en futuros análisis financieros. La inflación en el sector de la construcción representa una variable crítica que podría incrementar de forma significativa los costos de materiales y mano de obra en los años próximos, afectando tanto el valor presente neto (VPN) como el índice de costo-beneficio de los proyectos de mejora de eficiencia energética. La inclusión de proyecciones inflacionarias en los análisis financieros permitiría una previsión más precisa de los costos futuros, ayudando a optimizar la planificación presupuestal y a reducir el riesgo financiero de la institución. Al anticipar estos incrementos, se facilitaría además una secuenciación óptima de las etapas de implementación, alineada con las tendencias del mercado de la construcción.

Esta investigación proporciona un avance significativo en la comprensión y optimización del confort higrotérmico en entornos educativos, proporcionando un marco de análisis replicable y adaptativo para la implementación de estrategias de diseño pasivo en instituciones académicas a nivel global. Las recomendaciones y propuestas metodológicas planteadas en este trabajo no solo delinean un camino hacia la profundización del conocimiento en esta área, sino que enfatizan la importancia de los estudios experimentales como medio para validar y mejorar la efectividad de las estrategias pasivas en entornos reales.

Bibliografía

- AASHE. (23 de noviembre de 2021). *The Sustainability Tracking, Assessment & Rating System*. Obtenido de <https://stars.aashe.org/>
- Alshuwaikhat, H. M., & Abubakar, I. (Noviembre de 2008). An integrated approach to achieving campus sustainability: assessment of the current campus environmental management practices. *Journal of Cleaner Production*, 16, págs. 1777-1785. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.12.002>
- American Society of Heating, R. a.-C. (2013). *ASHRAE standard thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta GA.: The Society.
- ASHRAE. (2014). *Thermal Enviromental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta, Georgia, Estados Unidos : This American National Standard.
- ASHRAE. (2017). *Thermal Environmental Conditios for Human Occupacy* . Atlanta, Estados Unidos : ANSI.
- ASHRAE. (22 de 07 de 2021). *ASHRAE* . Obtenido de <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-55-thermal-environmental-conditions-for-human-occupancy>
- BIMSA. (2023). *Análisis de costos de materiales para construcción* . Ciudad de México: BIMSA.
- CEALC. (2019). *Cambio climático y derechos humanos: contribuciones*. Santiago de Chile: CEPAL/ACNUDH. Obtenido de www.cepal.org
- Ceulemans, K., Molderez, I., & Van , L. (1 de Noviembre de 2015). Sustainability reporting in higher education: A comprehensive review of the recent literature and paths for further research. *Journal of Cleaner Production*, 106, págs. 127-143. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.052>
- Comité Europeo de Normalización. (2005). *Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local (ISO 7730:2005)*. Bruselas: AENOR. Obtenido de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0037517>
- COMPLEXUS. (11 de noviembre de 2021). *Consortio Mexicano de Instituciones de Educación Superior para la Sustentabilidad*. Obtenido de <http://complexus.org.mx/>

- CONABIO. (21 de 04 de 2023). *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. Obtenido de Biodiversidad Mexicana : http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/53-oleac1m.pdf
- Conagua. (2018). *Estadísticas del Agua en México*. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CONUEE. (2017). *Catálogo de tecnologías*. Ciudad de México: SENER .
- Cortese, A. (19 de Enero de 2022). *The critical role of higher education in creating a sustainable future*. Obtenido de aashe: http://www.aashe.org/resources/pdf/Cortese_PHE.pdf
- Cruz López , Y. (2008). *Educación superior, Nuevos retos y roles emergentes para el desarrollo humano y social*. Madrid: Mundi-Prensa. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=299737>
- Cruz López, Y. (2008). Marcos internacionales clave sobre el rol de la educación superior para el desarrollo humano y social. *La educación superior en el mundo. Educación superior: nuevos retos y roles emergentes para el desarrollo humano y social*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4176946>
- D.O.F. (28 de Enero de 1988). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. *Diario oficial de la federación*. Obtenido de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4718573&fecha=28/01/1988#gsc.tab=0
- DCU. (23 de septiembre de 2014). *Dublin City University*. Obtenido de <https://www.dcu.ie/news/news/2014/09/dcu-receives-green-campus-award>
- Del Mar Alonso- Alemeria , M., Miramon , F., & Cansi, F. (1 de Noviembre de 2014). Diffusion of sustainability reporting in universities: current situation and future perspectives. Recuperado el 22 de agosto de 2022, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652614001498>
- Disterheft, A., Azeiteiro, U., Leal-Filho, W., & Caeiro, S. (1 de Noviembre de 2015). Participatory processes in sustainable universities. What to assess? *International Journal of Sustainability in Higher Education*, págs. 748-771. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/280728305_Participatory_Processes_in_Sustainable_Universities_-_What_to_Assess
- Douglá, H. (22 de 05 de 2022). *Hunter Douglá*. Obtenido de <https://www.hunterdouglas.com.mx/>
- Edwards, B. (2001). *Guía básica de la sostenibilidad*. Barcelona : Gustavo Gili .

- Espinosa Cancino, C. F., & Cortés Fuentes, A. (2015). Confort higro-térmico en vivienda social y la percepción del habitante. *Revista INVI*, 30, 227-242. Obtenido de <https://revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/62642>
- Faghihi, V., R.Hessami, A., & Ford, D. (16 de Noviembre de 2015). Sustainable campus improvement program design using energy efficiency and conservation. *Journal of Cleaner Production*, págs. 400-409. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652614013365>
- FANOSA. (08 de 01 de 2021). *Mejora tu sistema constructivo tradicional con poliestireno expandido (EPS)*. Obtenido de <https://blog.fanosa.com/mejora-aislamiento-termico-en-techos-ya-construidos>
- Feist, W. (06 de Mayo de 2022). *Passive House Institute*. Obtenido de https://passiv.de/former_conferences/Kran/Passive_House_Spring_Winter.htm
- Foladori, G., & Pierri, N. (2005). *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable*. Zacatecas: Universidad Autónoma de Zacatecas. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Guillermo-Foladori/publication/304783779_Sustentabilidad_Desacuerdos_sobre_el_desarrollo_sustentable/links/577ad44e08ae355e74f0759c/Sustentabilidad-Desacuerdos-sobre-el-desarrollo-sustentable.pdf
- GEJ. (2019). *Plan Estatal de Gobernanza y de Desarrollo del estado de Jalisco*. (Vols. 2018-2030). (G. d. Jalisco, Ed.) Ciudad de México.: Gobierno del Estado de Jalisco. Obtenido de <https://plan.jalisco.gob.mx/wp-content/uploads/2022/08/Plan-Estatal-de-Desarrollo-2a-Edicion-V0-5-02.pdf>
- GOB. (14 de agosto de 2022). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Obtenido de <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/protocolo-de-kioto-sobre-cambio-climatico>
- Godoy Muñoz, A. (Junio de 2012). El confort térmico adaptativo. *Aplicación en la edificación en España*. Cataluña, Cataluña, España: Universidad Politécnica de Cataluña. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2099.1/18763>
- Gonzalo, E. (Marzo de 2016). El trimestre económico. *SciELO*, 41-. Recuperado el 2023, de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-718X2016000100099
- GreenMetric, U. (17 de noviembre de 2021). *UI GreenMetric*. Obtenido de <https://greenmetric.ui.ac.id/>

- Gutiérrez Barba, B. E., & Martínez Rodríguez, M. C. (2009). El plan de acción para el desarrollo sustentable en las instituciones de educación superior. Escenarios posibles. *Scielo*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3657442>
- Hoof, J. (2008). *Indoor Air*, págs. 182- 201.
- Ibarra, L. G. (2013). *Aprovechamiento sustentable de la energía en la administración pública federal mexicana: Un ejemplo de sobre regulación*. (I. d. Jurídicas, Ed.) Ciudad de México, Ciudad de México, México: Universidad Atonoma de México. Recuperado el 28 de 11 de 2021, de <chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcgiclfndmkaj/https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/8/3574/1.pdf>
- INEN. (2014). *NTE INEN-ISO 7730*. Ecuador : Instituto Ecuatoriano de Normalización .
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2017). *Cambio Climático selección, clasificación y diseño de medidas de adaptación*. Progreso, Jiutepec, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Obtenido de https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/cambio-climatico/files/assets/basic-html/page35.html
- ISO, I. (1984). *Estandar internacional ISO 7730*. Reino Unido: the International Organization for Standardization.
- ITESO. (22 de 04 de 2023). *Bosque ITESO*. Obtenido de https://bosque.iteso.mx/en/web/general/detalle?group_id=19200080
- Jaume Sureda, F. S. (9 de Septiembre de 2017). *El blog de Studia XXI*. Obtenido de Universidad, una conversación pública sobre la universidad.: <https://www.universidadsi.es/sostenibilidad-las-universidades-objetivos-desarrollo-sostenible-naciones-unidas/>
- Kubba, S. (2016). *LEED V4 Practices, Certification, and accreditation Handbook*. Waltham, MA USA: Elsevier. Obtenido de <https://shop.elsevier.com/books/leed-v4-practices-certification-and-accreditation-handbook/kubba/978-0-12-803830-7>
- Legislativo, P. (1917). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. México: Diario Oficial de la Federación.
- León-Fernández, Y., & Domínguez Vilchez, E. (1 de Noviembre de 2015). Environmental management and sustainability in higher education. The case of Spanish universities. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, págs. 440-455. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/278848023_Environmental_management_and_sustainability_in_higher_education_The_case_of_Spanish_Universities

- Lira Robles , O. (08 de Noviembre de 2021). Matricula y matriz para el desarrollo de campus. (N. J. Barreto, Entrevistador)
- Martín, P. S. (30 de mayp de 2008). *X Coloquio Internacional de Geocrítica*. Obtenido de Quince años de desarrollo sostenible en México. : <http://www.ub.edu/geocrit/-xcol/317.htm>
- Mayorga Cervantes , J. R. (2005). Modelo holístico para analizar el confort térmico del ser humano dentro de los edificios. Ciudad de México: UNAM Tesis digitales .
- Mayorga Cervantes, J. (Junio de 2005). Modelo holístico para analizar el confort termico del ser humano dentro de los edificios. Ciudad de México : UNAM.
- Mendoza Cavazos, Y. (2016). Sistemas de evaluación de la sustentabilidad en las Instituciones de Educación Superior. *CienciaUAT* vol. 11, 65-78. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4419/441946945005.pdf>
- Michelsen, G. (2012). Las universidades y la Agenda 21: el ejemplo de la Universidad de Lüneburg. *Revista Latinoamericana*, 5. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30500507>
- Minner, K. (22 de 04 de 2022). *Archdaily*. Obtenido de <https://www.archdaily.mx/mx/958368/centro-diana-en-barnard-college-weiss-manfredi>
- ONU. (2002). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Rio de Janeiro : UNFCCC. Obtenido de <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/que-es-la-convencion-marco-de-las-naciones-unidas-sobre-el-cambio-climatico>
- ONU. (16 de noviembre de 2021). *Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>
- ONU-Habitat. (2020). *La Nueva Agenda Urbana*. Nairobi GPO Kenya: Centro Urbano.
- Organización de las Naciones Unidas . (22 de septiembre de 2022). *Noticias ONU*. Obtenido de <https://news.un.org/es/story/>
- Ortega Mateos, R. (2015). *Desarrollo de proyectos de edificación*. España : Elearning S.L.
- OSH. (11 de Noviembre de 2022). *Occupational Safety and Health* . Obtenido de <https://www.oshatrain.org/courses/pages/711temp.html#:~:text=ASHRAE%20recommends%20that%20relative%20humidity,should%20be%20greater%20than%2030%25.>
- PAO. (25 de 11 de 2022). *Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial de la CDMX*. Obtenido de Paot.org.mx
- Pech, R. (8 de Febrero de 2021). *Energía hoy*. Obtenido de <https://energiahoy.com/2021/02/08/que-compromisos-tiene-mexico-sobre-cambio->

- Sosa Rodriguez, F. S. (2015). Política del Cambio Climático en México: avances, obstáculos y retos. *Realidad, datos y espacio. Revista internacional de estadística y geografía*, 90. Obtenido de <https://rde.inegi.org.mx/index.php/2015/05/10/politica-del-cambio-climatico-en-mexico-avances-obstaculos-y-retos/>
- Sterling, S. (2004). Higher Education, Sustainability, and the Role of Systemic Learning. In P. Blaze-Corcoran and A. E. Wals (Eds.) Higher education and the challenge of sustainability. *Netherlands: Springer*, 49-70. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/227291244_Higher_Education_Sustainability_and_the_Role_of_Systemic_Learning
- Tejada, F. C. (2014). Deserción, calidad y reforma universitaria. Apuntes para el debate. *Cuaderno 10*, 104. Obtenido de <https://dds.cepal.org/redesoc/publicacion?id=3606>
- Tetreault, D. (2004). Una taxonomía de modelos de desarrollo sustentable. *Espiral No. 10*, 77. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/138/13802902.pdf>
- UANL. (03 de febrero de 2017). *Universidad Autónoma de Nuevo León*.
- UNC. (2002). *La ciudad: hábitat de diversidad y complejidad*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- UNESCO. (1998). *Conferencia Mundial sobre la Educación Superior en el siglo XXI: Visión y acción*. Paris : UNESCO .
- UNFCCC. (1992). *Convención del marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*. UNFCCC.
- United National Climate Change. (28 de noviembre de 2021). *United National Climate Change*. Obtenido de <https://unfccc.int/es>
- Universidad del Valle de Atemajac. (2019). *Plan Institucional de Desarrollo*. Universidad del Valle de Atemajac, Dirección General Académica. Zapopán: UNIVA. Recuperado el 25 de septiembre de 2021
- UPV. (17 de 03 de 2022). *Ergonautas*. Obtenido de <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/fanger/fanger-ayuda.php#:~:text=El%20m%C3%A9todo%20de%20Fanger%20considera,a%20la%20sensaci%C3%B3n%20de%20confort>.
- Urbano, M. (25 de 08 de 2022). *BIO arquitectura y Paisaje*. Obtenido de <https://biuarquitectura.com/2012/04/13/la-vegetacion/>
- Van Hoof, J. (30 de Diciembre de 2007). *Blackwell Munksgaard*, págs. 182-201.

- Wassouf, M. (2014). *Passivhaus La arquitectura pasiva en clima calidos*. Barcelona : Gustavo Gili.
- WCED. (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo "Nuestro futuro común"*. Río de Janeiro: ONU. Obtenido de <https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>
- Womeldorf, W. A. (2015). *Passive Design strategies in Architecture. Construction Technology at UMASS Amherst*, 9.
- Wright, T. (2004). *The evolution of sustainability declarations in higher education. Higher education and the challenge of sustainability*. Netherlands: Klower Academic Publishers. Obtenido de https://link.springer.com/chapter/10.1007/0-306-48515-X_2
- Zapata González, L. J., Quiceno Hoyos, A., & Tabares Hidalgo , L. F. (2016). Campus universitario sustentable. *Revista de Arquitectura Vol. 18* , 107-119.
- Zapata González, L. J., Quiceno Hoyos, A., & Tabares Hidalgo, L. (2016). Campus Universitario sustentable . *Revista de Arquitectura, Universidad católica de Colombia* , 107.

Anexo A Encuesta

Encuesta sobre el confort higrotérmico en las edificaciones de UNIVA Campus Guadalajara

Esta encuesta forma parte de un estudio para determinar por medio del usuario la satisfacción sobre el confort higrotérmico dentro de las edificaciones de UNIVA Campus Guadalajara.

La encuesta consta de 12 preguntas de opción múltiple y te tomará 3 minutos. La información que proporcionas es anónima y no puede ser rastreada a la persona que la proporcionó. Será utilizada únicamente para los fines de este estudio. La encuesta está a cargo del Arq. Néstor Joel Ponce Barreto. Si tienes alguna duda puedes contactarlo al correo **nestor.ponce@univa.mx**

La información que proporcionas será de gran utilidad para mejorar las condiciones de confort en nuestros espacios.

Muchas gracias por tu colaboración.

Fecha: _____ Hora _____

Edificio: _____ Número de aula: _____

1- ¿Cuál es el género de la persona que responde el cuestionario: _____

2- ¿Cuál es la edad de la persona que responde el cuestionario? _____

3- La persona que responde este cuestionario ¿cuenta con calefacción o aire acondicionado en casa? () Si () No

4- ¿Cómo te encuentras vestido en este momento? **Seleccione las opciones que más se acerquen a la realidad.**

	Extra	
D	Sudadera / Suéter / Bleiser	

Parte de arriba

E	Bata de laboratorio	
F	Chamarra o abrigo	

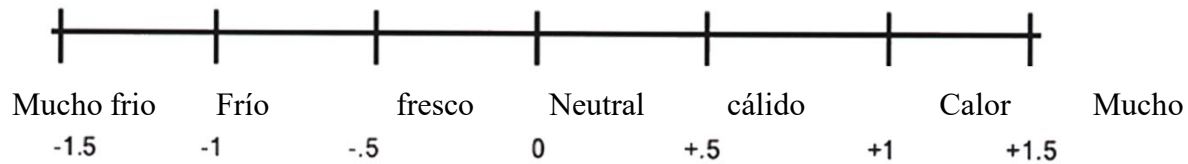
	Camisa	
A	Manga corta	
B	Manga larga	
C	Sin mangas	

Parte de abajo

	Pantalones	
A	Pantalones largos	
B	Pantalones cortos	
C	Falta	

	Calzado	
A	Zapatos o zapatillas	
B	Tenis	
C	Botas	

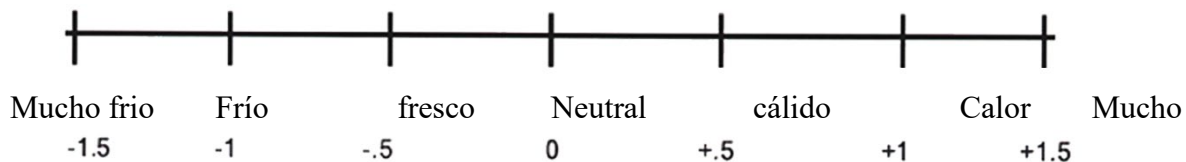
5- Utiliza la siguiente escala para evaluar tu percepción de la temperatura en este salón en este momento.



6- En la siguiente escala, evalúa tu nivel de satisfacción con la temperatura dentro del aula:

Muy satisfecho () Satisfecho() Poco satisfecho () Nada satisfecho ()

7- Antes de ingresar al salón ¿qué sensación de la temperatura esperabas encontrar dentro del aula?



8- En la siguiente escala evalúa el nivel de humedad al interior del aula / salón

Muy seco () Seco() Normal () Húmedo () Muy húmedo ()

9- En la siguiente escala, evalúa tu nivel de satisfacción la humedad del aire dentro del aula.

Muy satisfecho () Satisfecho() Poco satisfecho () Nada satisfecho ()

10- ¿Qué tipo de ventilación prefieres?

Aire acondicionado () Ventilación natural ()

11- Desde tu punto de vista ¿qué elementos del aula contribuyen a mejorar el confort térmico?

12- Desde tu punto de vista ¿qué elementos del aula **NO** contribuyen a mejorar el confort térmico dentro del aula?

¡MUCHAS GRACIAS POR TU APOYO!

Anexo B Cálculo de la NOM 008

Cálculo de la eficiencia energética en la losa del Edificio 6

Cálculo de coeficiente global de transferencia de calor de las porciones de la envolvente

Descripción de la porción	Bóveda de concreto aligerada con poli estireno		Número	Techo
Material	Espesor (M)	Conductividad térmica w/m k	Aislante térmico m2 *w	
Convención exterior	1.00	13.00	0.08	
Membrana asfáltica	0.003	0.17	0.02	
Mortero de cemento y arena	0.15	0.63	0.24	
Mortero de cal interior	0.01	0.70	0.01	
EPS	0.10	0.03	2.94	
Concreto armado	0.05	1.74	0.03	
Convención interior	1	8.10	0.12	
			M	3.44

$$M_{\text{parcial}} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{\ell_1}{\lambda_1} + \frac{\ell_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\ell_n}{\lambda_n}$$



Cálculo de coeficiente global de transferencia de calor de las porciones de la envolvente

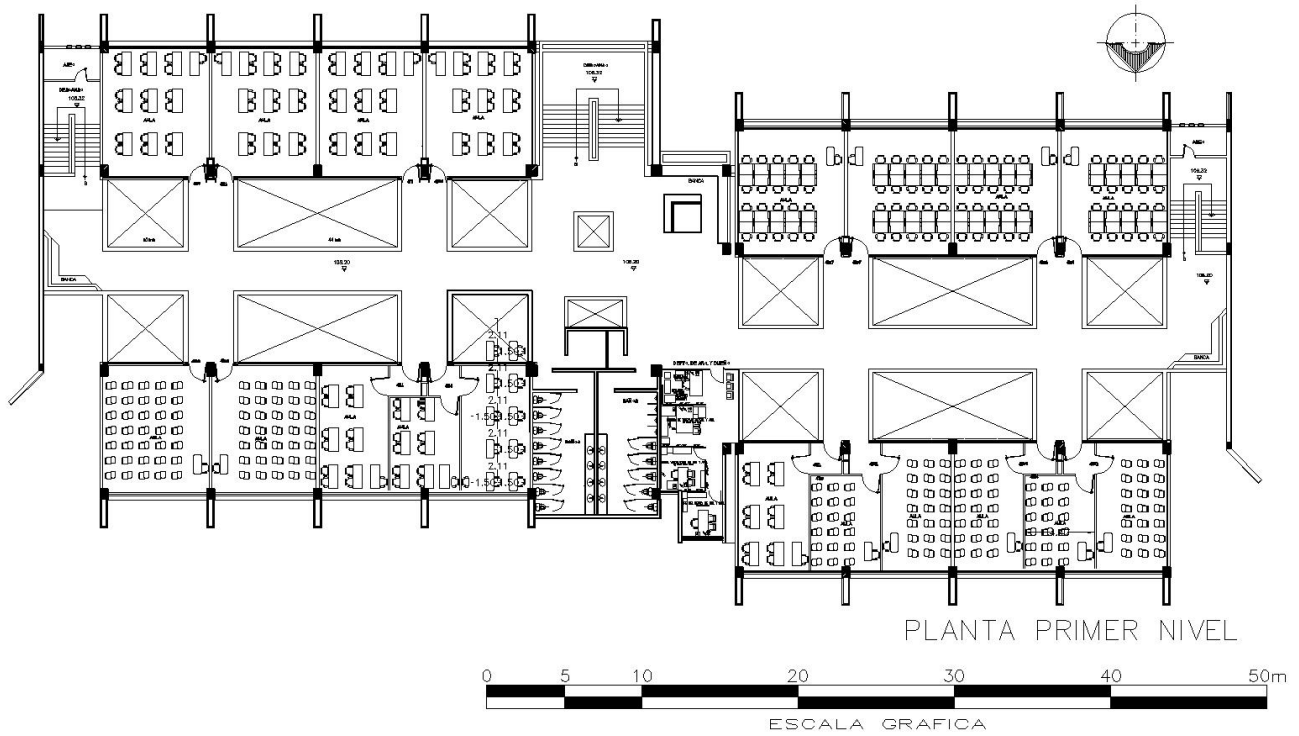
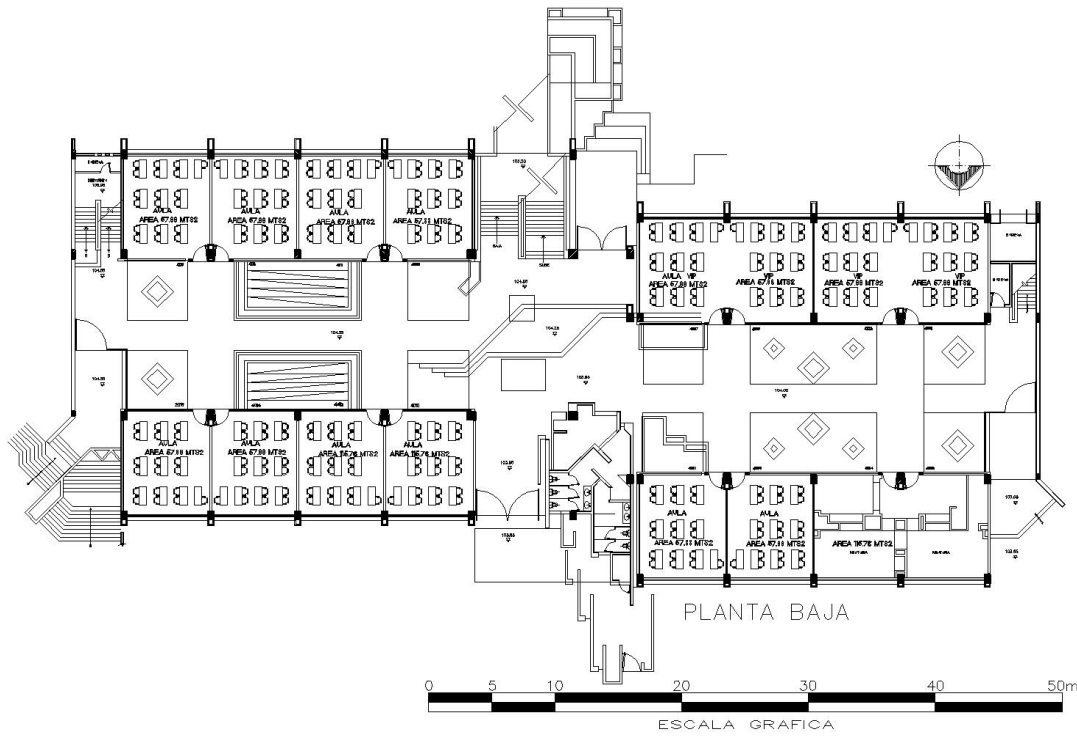
Fracción	Material	Espesor	Conductividad	(g/λ)
0.78	EPS	0.10	0.03	2.94
			Σ [g/ λ _i]	0.27

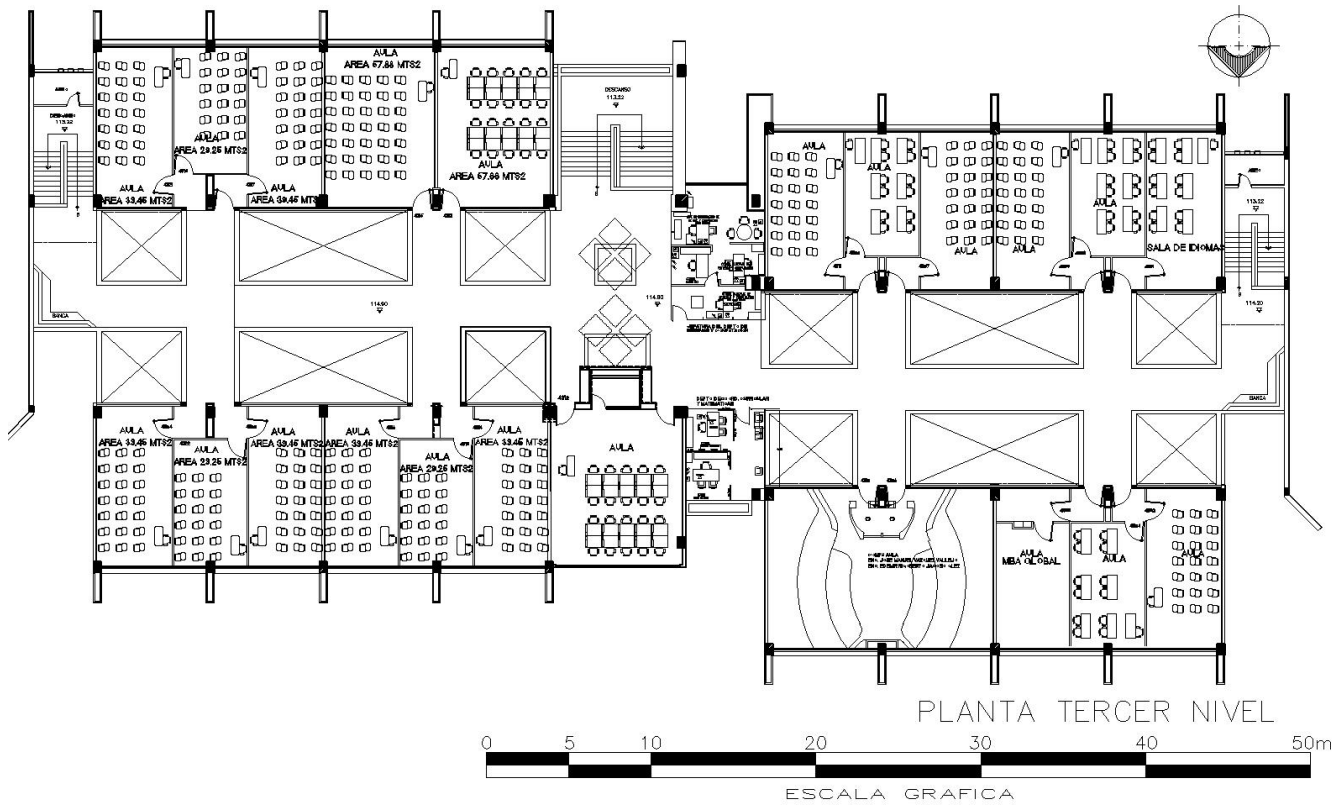
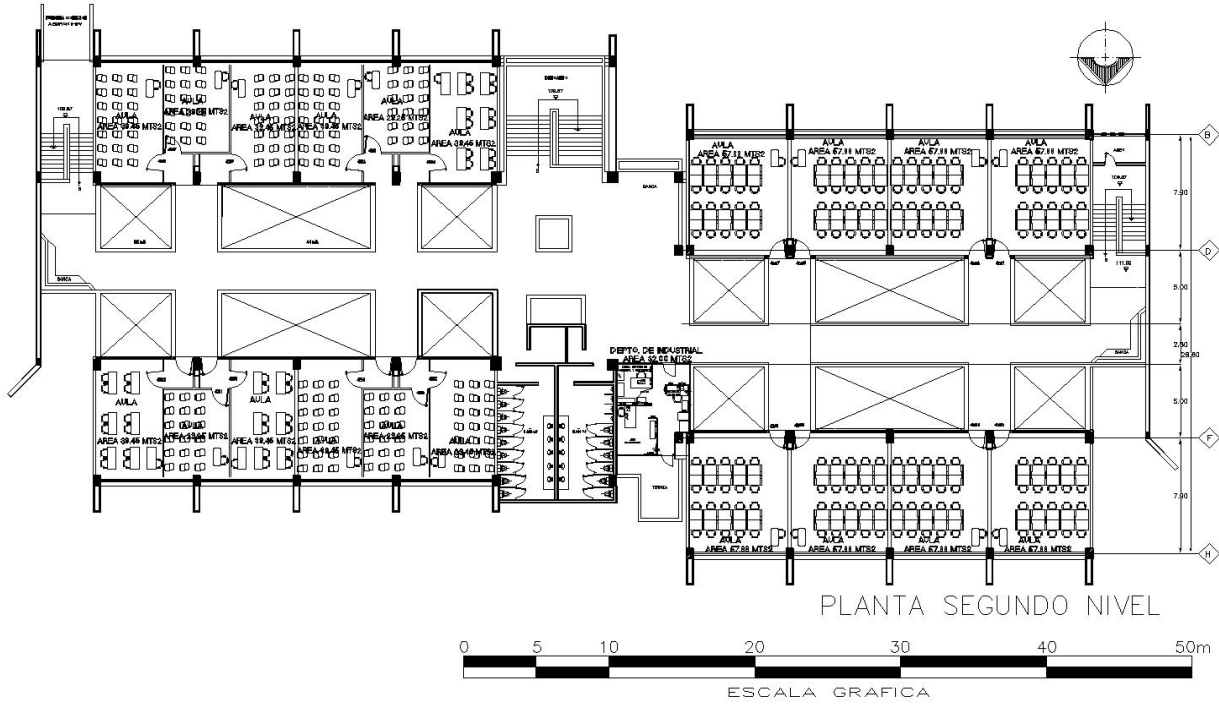
0.22	Concreto armado	0.10	$\sum_{i=1, j=1}^{n,m} \frac{F_i}{M_{parcial} + (g/\lambda_n)} =$	0.21
			1./4	0.06
			$\Sigma [g/\lambda_i]$	3.83
			$\sum_{i=1, j=1}^{n,m} \frac{F_i}{M_{parcial} + (g/\lambda_n)} =$	0.03
			M	3.68
			$M = \frac{1}{\frac{F_1}{M_{parcial} + (g/\lambda_1)} + \frac{F_2}{M_{parcial} + (g/\lambda_2)} + \dots + \frac{F_n}{M_{parcial} + (g/\lambda_n)}}$	0.27
			K	0.28

Cálculo de coeficiente global de transferencia de calor de las porciones de la envolvente

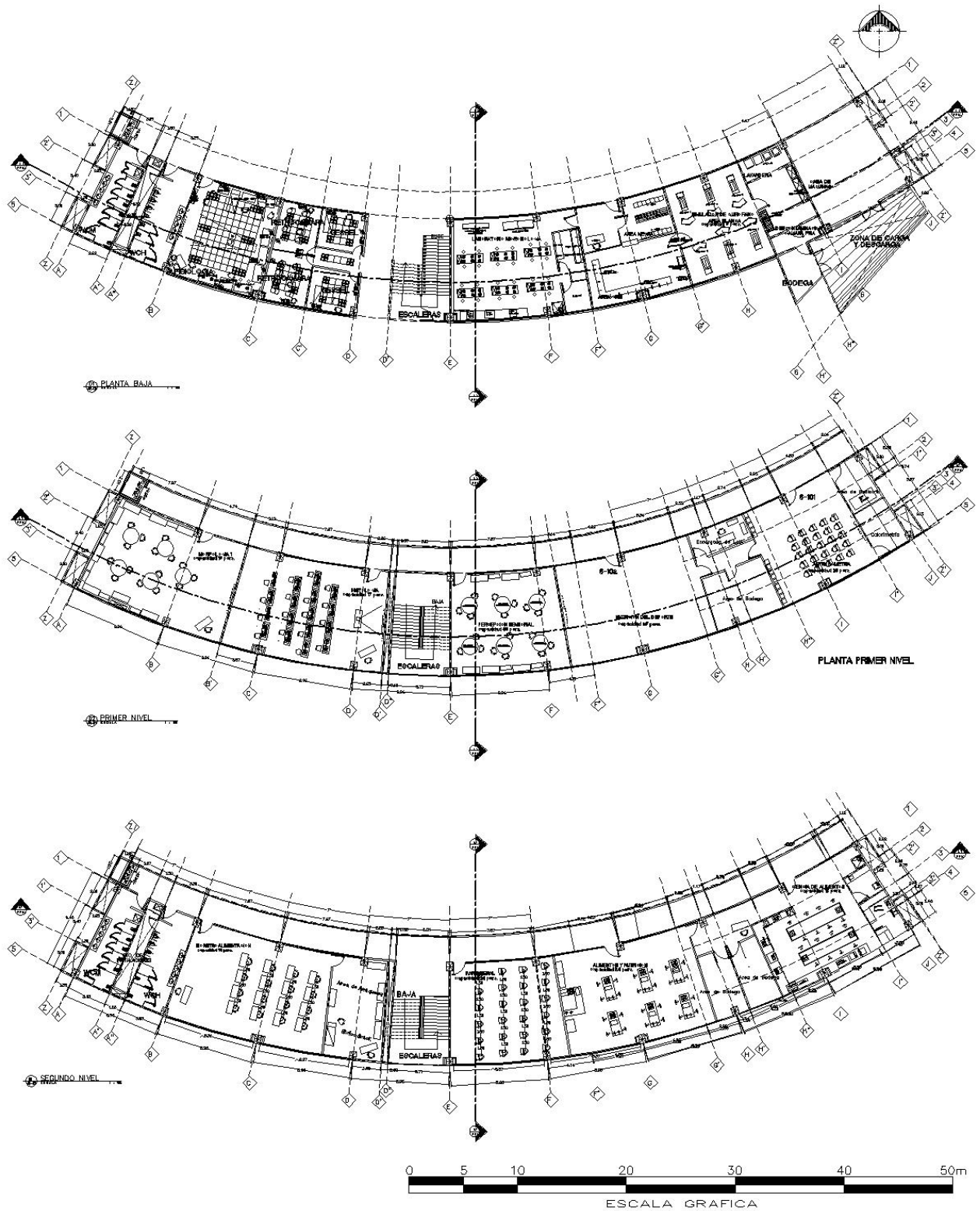
Descripción de la porción	Bóveda de concreto aligerada con poli estireno y aislante térmico de panel XPS de 2"			Número	Techo
Material	Espesor (M)	Conductividad térmica w/m k	Aislante térmico m2 *w		
Convención exterior	1.00	13.00	0.08		$M_{parcial} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{\ell_1}{\lambda_1} + \frac{\ell_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\ell_n}{\lambda_n}}$
Membrana asfáltica	0.003	0.17	0.02		
Espuma térmica Formular	0.05	0.028	1.785714286		
Mortero de cemento y arena	0.2	0.63	0.32		
Mortero de cal interior	0.01	0.70	0.01		
EPS	0.10	0.03	2.94		
Concreto armado	0.05	1.74	0.03		
Convención interior	1	8.10	0.12		
		M	5.31		

Anexo C Planos del Edificio 4





Anexo D Planos del Edificio 6



Anexo F Presupuesto del Edificio 6

COSTO DEL AISLANTE TÉRMICO EN AZOTEA

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
PRE-03	Limpieza de azotea para colocación de producto aislante EN AZOTEA.	m2	904.60	\$20.00	\$18,092.00
ALB-01	Aislamiento térmico Tipo Fomular de espuma rígida de poliestireno extruido en placas de 1.22 x 2.44 mts para un R-5 de 1" de espesor (Paquete de 96 placas) no incluye colocación.	pza	768.00	\$484.30	\$371,942.47
ALB-02	Colocación de panel Tipo Famular Incluye malla electrosoldada y firme de 8cm espesor concreto f'c=100kg/cm2 resistencia normal, agregado máximo de 40mm, hecho en obra con revoladora, incluye: acarreo a la estación a 20m.	m2	904.60	\$360.81	\$326,388.73
ALB-03	Impermeabilizantes paraguas 10 años, color blanco, código 3810, presentación cubeta de 19 lts, marca Prisa, (cubre perfectamente pequeñas grietas), incluye: preparación de la superficie y aplicación, materiales, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	904.60	\$94.62	\$85,593.25
SUB TOTAL					\$802,016.45
IVA					\$128,322.63
TOTAL CON IVA					\$930,339.08

COSTO DEL CAMBIO DE VENTANERÍA EN LA FACHADA SUR

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
PRE-01	Desmontaje canceleria de aluminio, hasta 14.00 m una de altura, incluye: apile del material.	m2	390.00	\$53.40	\$20,826.00
PRE-03	Acarreo total en camión de material producto de despalme en zona urbana. Incluye: carga mecánica, transporte y descarga en tiradero autorizado.	m3	50.00	\$522.86	\$26,143.00
ALU-01	Cancelería de aluminio fabricada con perfiles anodizado natural para corrediza de 2" y cristal flotado de 6 mm de espesor, Incluye: Dimensionamiento, cortes, presentación ajustes y colocación; materiales, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	390.00	\$2,169.10	\$845,949.00
SUB TOTAL					\$892,918.00
IVA					\$142,866.88
TOTAL CON IVA					\$1,035,784.88

COSTO DEL ARBOLES EN LA PLAZOLETA SUR

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
-------	----------	--------	----------	------	---------

PRE-02	Excavacion a mano material tipo "I" zona "A" seco cepas 0 a 1 mts. incluye: afloje, extracción, amacice, limpieza de plantilla y taludes, medida en banco. PARA COLOCACIÓN DE ARBOLES	m3	15.00	\$175.21	\$2,628.15
JAR-01	Arboles Fresno de 15cm. de diam. max. de tronco, y altura de 0 a 3.20 m., incluye: excavación con herramienta manual de 0.40 m. de diámetro. x 0.40 de profundidad, relleno con tierra lama y acarreo a una 1a. estación a 20.00 m. de distancia horizontal, materiales, mano de obra, equipo y herramienta.	pza	10.00	\$ 12,500.00	\$125,000.00
				SUB TOTAL	\$127,628.15
				IVA	\$ 20,420.50
				TOTAL CON IVA	\$148,048.65

COSTO DE PARASOLES

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
ALU-02	Parasol de aluminio de 8.20 x 0.50 m Consola horizontal para fijación sobre las fachadas KAWNEERn2 tipo de consola redondeadas para orientación de las lamas a 45, incluye instalación	m2	280.00	\$2,500.00	\$700,000.00
				SUB TOTAL	\$700,000.00
				IVA	\$ 112,000.00
				TOTAL CON IVA	\$812,000.00
				Total de las propuestas en el Edificio 6	\$2,926,172.61

ANEXO G Presupuesto del edificio 4

COSTO DEL AISLANTE TÉRMICO EN AZOTEA

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
PRE-03	Limpieza de azotea para colocación de producto aislante EN AZOTEA.	m2	1914.00	\$20.00	\$38,280.00
ALB-01	Aislamiento térmico Tipo Fomular de espuma rígida de poliestireno extruido en placas de 1.22 x 2.44 mts. para un R-5 de 1" de espesor (Paquete de 96 placas) no incluye colocación.	pza	768.00	\$484.30	\$371,942.47
ALB-02	Colocación de panel Tipo Fomular incluye malla electrosoldada y firme de 8cm espesor concreto f'c=100kg/cm2 resistencia normal, agregado máximo de 40mm., hecho en obra con revolvedora, incluye: acarreo a la estación a 20m.	m2	1914.00	\$360.81	\$690,590.34
ALB-03	Impermeabilizantes paraguas 10 años, color blanco, código 3810, presentación cubeta de 19 lts, marca Prisa, (cubre perfectamente pequeñas grietas), incluye: preparación de la superficie y aplicación, materiales, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	1914.00	\$94.62	\$181,102.68
SUB TOTAL					\$1,281,915.49
IVA					\$ 205,106.48
TOTAL CON IVA					\$1,487,021.9

COSTO DEL CAMBIO DE VENTANERÍA EN LA FACHADA SUR

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
PRE-01	Desmontaje cancelería de aluminio, hasta 14.00 m una de altura, incluye: apile del material.	m2	615.50	\$53.40	\$32,867.70
PRE-03	Acarreo total en camión de material producto de despilme en zona urbana. Incluye: carga mecánica, transporte y descarga en tiradero autorizado.	m3	80.00	\$522.86	\$41,828.80
ALU-01	Cancelería de aluminio fabricada con perfiles anodizado natural para corrediza de 2" y cristal flotado de 6 mm de espesor, Incluye: Dimensionamiento, cortes, presentación ajustes y colocación; materiales, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	615.50	\$2,169.10	\$1,335,081.05
SUB TOTAL					\$1,409,777.55
IVA					\$ 225,564.41
TOTAL CON IVA					\$1,635,341.9

Total de las propuestas en el Edificio 4 \$3,122,363.9

Anexo H Cartas de vinculación

Guadalajara Jalisco 15 de abril del 2022

Universidad del Valle de Atemajac Campus Guadalajara

15 de abril del 2022

Estimado Arquitecto Néstor Joel Ponce Barreto,

A través de la presente carta, manifestamos nuestra aceptación y disposición para colaborar proporcionándole la información solicitada en su calidad de representante del Campus Universitario Guadalajara de la Universidad del Valle de Atemajac.

Nos comprometemos a facilitar el acceso a la institución para llevar a cabo la aplicación de la encuesta de confort higrotérmico dentro de las aulas del campus. Reconocemos la importancia de su investigación y estamos dispuestos a brindar el apoyo necesario para la recopilación de datos.

Quedamos a su disposición para cualquier consulta o comentario adicional que pueda surgir en el desarrollo de su proyecto.

Atentamente,



Mtro. Iván Josué Canales Gómez
Encargado Laboratorios de Medicina
Campus: Campus Guadalajara
Tel: (33) 3134 0800 Ext. 1206

DIRECCIÓN GENERAL DE
ADMINISTRACIÓN Y FINANZAS



Guadalajara Jalisco 1 de septiembre del 2021

Estimado Arquitecto Néstor Joel Ponce Barreto

A través de la presente carta, hacemos constar nuestra aceptación para brindarle el apoyo con la información solicitada por usted en calidad de representante del Campus Universitario Guadalajara de la Universidad del Valle de Atemajac.

Estamos comprometidos en facilitar la información necesaria para satisfacer sus requerimientos, y trabajaremos en estrecha colaboración con usted para garantizar una eficiente y efectiva gestión de los datos necesarios para sus fines.

Por favor, no dude en ponerse en contacto con nosotros para cualquier consulta adicional o para coordinar la obtención de la información necesaria.

Quedamos a su disposición para cualquier asistencia que requiera.

Atentamente



Mtro. Oswaldo Daniel Lira
coordinador de Mantenimiento

Campus Guadalajara, Tel: (33) 3134 0800 Ext. 1708, Email: oswaldo.lira@univa.mx
Edificio: 5Nivel: PB

Anexo J Participación en el Cuarto Congreso de Hábitat y Sustentabilidad

EL INSTITUTO TECNOLÓGICO
Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE



Por medio del
DEPARTAMENTO DEL HÁBITAT Y DESARROLLO URBANO
otorga la presente

CONSTANCIA

a

Néstor Joel Ponce Barreto

Por haber participado como PONENTE del trabajo titulado:

Metodología para la creación de estrategias de confort climático y ahorro energético en edificios universitarios en Zapopan, Jalisco, México

en el marco del 4º Congreso Internacional del Hábitat y Sustentabilidad.

Respuestas a los retos del siglo XXI en los entornos de vida y espacios urbanos.

Tlaquepaque, Jalisco, del 26 al 28 de abril de 2023

Dra. Sarah Alexandra Obregón Davis
Directora del Departamento del Hábitat
y Desarrollo Urbano