

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



*Bienestar ambiental interior y eficiencia energética: caso de estudio  
de oficina en clima cálido seco extremo.*

T E S I S

Para obtener el grado de

**MAESTRA EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO**

PRESENTA

**ANA SOFÍA SANTIBÁÑEZ HALPHEN**

DIRECTOR DE TESIS

**DR. ANÍBAL LUNA LEÓN**

**MEXICALI, BAJA CALIFORNIA**

**JUNIO 2021**



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA ARQUITECTURA Y DISEÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO**

**BIENESTAR AMBIENTAL INTERIOR Y EFICIENCIA ENERGÉTICA: CASO DE  
ESTUDIO DE OFICINA EN CLIMA CÁLIDO SECO EXTREMOSO**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRA EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO

PRESENTA:

**ANA SOFÍA SANTIBÁÑEZ HALPHEN**

Correo electrónico UABC: [ssantibanez@uabc.edu.mx](mailto:ssantibanez@uabc.edu.mx)

Identificador ORCID: 0000-0002-3321-1774

DIRECTOR DE TESIS:

**DR. ANÍBAL LUNA LEÓN**

Identificador ORCID: 0000-0003-3480-0607

COMITÉ TUTORIAL:

**DR. GONZÁLO BOJORQUEZ MORALES**

Identificador ORCID: 0000-0001-9303-9278

**DR. ALEJANDRO ADOLFO LAMBERT ARISTA**

Identificador ORCID: 0000-0002-9241-6374

CODIGO QR VINCULADO AL REPOSITORIO VIRTUAL DEL MYDAUD

**MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, JUNIO 2021**

## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Declaro que la tesis que se presenta contiene material original que no ha sido presentado para la obtención de un grado académico o diploma en esta u otra institución de educación superior. Asimismo, declaro que hasta donde yo sé no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona excepto donde se reconoce como tal a través de las citas.

Mexicali, Baja California a 2 de junio de 2021



Ana Sofía Santibáñez Halphen

Nombre y firma del estudiante

**AVAL DE TERMINACIÓN DE TESIS**Fecha: 2 de junio de 2021

---

DR. ALEJANDRO JOSÉ PEIMBERT DUARTE  
Director de la Facultad de Arquitectura y Diseño  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
Presente.-

Para dar cumplimiento al artículo 106 del ESTATUTO ESCOLAR DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA, en su TÍTULO CUARTO DE LOS TÍTULOS PROFESIONALES, GRADOS ACADÉMICOS Y DIPLOMAS, CAPÍTULO ÚNICO, sobre los requisitos para la obtención del grado de **Maestría en Arquitectura, Urbanismo y Diseño**, como director de tesis en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento de Arquitectura y Medio Ambiente de la Facultad de Arquitectura y Diseño Se emite la presente acta que avala que la estudiante:

**ANA SOFÍA SANTIBÁÑEZ HALPHEN**

ha concluido su tesis de grado titulada:

**BIENESTAR AMBIENTAL INTERIOR Y EFICIENCIA ENERGÉTICA: CASO DE ESTUDIO DE  
OFICINA EN CLIMA CÁLIDO SECO EXTREMOSO**

Lo anterior en virtud de que se realizaron las correcciones y recomendaciones del comité tutorial, por lo que ha sido aprobada para el proceso de presentación de examen de grado.

DIRECTOR DE  
TESIS

DR. ANÍBAL LUNA LEÓN

---



## DEDICATORIA

Al Universo, por conspirar a mi favor.

A mis padres: Aura Halphen Alvarado y Alejandro Santibáñez Alejandro, por todo su amor, motivación y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida. Gracias por plantar las semillas de libertad, conocimiento, cultura, ética y responsabilidad.

A mis hermanos, Angélica y Alejandro; a mis abuelos, Chepe, Elva, Gaby y León; a mis tíos, Julio, Candy, Cecy y Julián; a mi familia en México y Panamá; por abrirme puertas, ser mis maestros de vida y estar conmigo siempre.

A Luis Emilio: gracias por tanto amor, todo el conocimiento también es para ti.

A Fernanda Sabori; gracias por tu apoyo incondicional, por motivarme a continuar y amar cada parte del proceso.

A mi familia por elección, mis amigos: Sin importar que hayan pasado días o años, gracias. Gracias por crecer conmigo y acompañarme en las buenas y en las malas.

A mis colegas, clientes y alumnos; por creer en mis habilidades y enseñarme a ser mejor profesionista.

## AGRADECIMIENTO

Gracias a: Dr. Aníbal Luna León, tutor de tesis, profesor e investigador de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), por su asesoría, conocimiento, experiencias profesionales, disponibilidad de tiempo, pero, sobre todo, gracias por sus exigencias y creer en este trabajo. Dr. Gonzalo Bojórquez Morales, profesor e investigador de la UABC, por su asesoría y apoyo durante esta investigación. Dr. Jorge Armando Ojeda Sánchez, profesor investigador de la Universidad de Colima, por sus comentarios para la mejora del presente trabajo. A la Dra. Ramona A. Romero, Dr. Daniel Olvera García, Dr. Osvaldo Leyva Camacho, Dra. Adriana Margarita Arias Vallejo y Dr. Alejandro A. Lambert Arista, profesores de la UABC, por su tiempo y conocimiento brindado. A IBRS Consultores, despacho de abogados y contadores, por facilitar el ingreso al edificio para el trabajo de campo. A la Universidad Autónoma de Baja California, a través de la Facultad de Arquitectura y Diseño, por ser la casa de estudios de esta maestría. Al Programa de Maestría en Arquitectura, Urbanismo y Diseño por aceptarme y brindarme las facilidades para realizar mis estudios. Al Laboratorio de Diseño Ambiental de la UABC, por el préstamo de instrumentos para mediciones de campo. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT, por la beca otorgada durante los estudios de maestría.

## RESUMEN

Los edificios son responsables del 25% del consumo energético. En climas áridos es necesario climatizar artificialmente para generar confort, lo que aumenta el consumo eléctrico. Se estima que el sector laboral subordinado en Mexicali es de 63.7%, por lo que adaptar edificios de oficina según sus deficiencias de diseño, permitirá disminuir consumos energéticos y mejorar calidad ambiental, que beneficiará al usuario. El objetivo del estudio fue evaluar el desempeño ambiental y energético de una oficina en Mexicali, para determinar problemas que permitan sugerir adecuaciones que impacten positivamente al edificio. Se analizaron normas mexicanas e internacionales, para establecer niveles de bienestar ambiental; mediante monitoreo, se establecieron deficiencias ambientales; y, por último, se evaluó el comportamiento termo-energético y de iluminación en *Design Builder*. Los principales resultados establecen contaminación por Compuestos Orgánicos Volátiles y Dióxido de Carbono; baja resistencia térmica en muros y cubierta, además de iluminación deficiente para actividades laborales. Se sugieren modificaciones a la envolvente, para disminuir el uso de climatización artificial; al sistema de renovación de aire, para diluir contaminantes; y cambiar vanos a vidrio tinte azul turquesa, para disminuir ganancias de calor. Se requiere continuar la evaluación de otras adecuaciones que mejoren ventilación, iluminación y desempeño térmico del edificio.

## ABSTRACT

Buildings are responsible for 25% of energy consumption. In arid climates, air conditioning is necessary to generate comfort, which increases electricity consumption. It is estimated that the subordinate labor sector in Mexicali is 63.7%, so adapting office buildings according to their design deficiencies will reduce energy consumption and improve environmental quality that will benefit the user. The objective of the study was to evaluate the environmental and energy performance of an office in Mexicali, to determine problems that allow suggesting adjustments that positively impact the building. Mexican and international standards were analyzed to establish levels of environmental well-being; through monitoring, environmental deficiencies were established; and, finally, thermo-energy and lighting performance was evaluated in *Design Builder*. The main results establish contamination by Volatile Organic Compounds and Carbon Dioxide; low thermal resistance in walls and roof, in addition to poor lighting for work activities. Modifications to the envelope are suggested to reduce the use of artificial air conditioning; to air renewal system, in order to dilute pollutants; and change openings to turquoise blue tinted glass, to reduce heat gains. It is necessary to continue the evaluation of other adaptations that improve ventilation, lighting and thermal performance of the building.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>V</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>XI</b>
<b>CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	4
1.4 HIPÓTESIS	4
1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.5.1 OBJETIVO GENERAL	5
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.6 METAS	5
1.7 ALCANCES Y LIMITACIONES	6
1.8 ESTADO DEL ARTE	9
1.8.1 CALIDAD DE AMBIENTE INTERIOR	10
1.8.2 CALIDAD DE AIRE INTERIOR	12
1.8.3 CALIDAD DE ILUMINACIÓN	13
1.9 ANTECEDENTES	14
<b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO</b>	<b>17</b>
2.1 CAMBIO CLIMÁTICO	17
2.1.1 AGENDA 2030 PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE	19
2.1.2 SUSTENTABILIDAD EN LA EDIFICACIÓN	19
2.2 BIENESTAR Y PRODUCTIVIDAD	21
2.2.1 BIENESTAR PSICOLÓGICO	21
2.2.2 BIENESTAR HIGROTÉRMICO	22
2.2.3 BIENESTAR LUMÍNICO	22
2.2.4 BIENESTAR ACÚSTICO	22
2.2.5 BIENESTAR OLFATIVO	23
2.2.6 PRODUCTIVIDAD	23
2.2.7 PRODUCTIVIDAD LABORAL	24
2.2.8 EDIFICIO SALUDABLE Y ENTORNO LABORAL	25
2.3 CALIDAD DE AMBIENTE INTERIOR	26

2.3.1 CALIDAD ACÚSTICA INTERIOR	27
2.3.2 CALIDAD DE ILUMINACIÓN INTERIOR	29
2.3.3 CALIDAD DEL AIRE INTERIOR	31
2.3.3.1 MONÓXIDO DE CARBONO.	37
2.3.3.2 DIÓXIDO DE CARBONO.	37
2.3.3.3 ÓXIDOS DE NITRÓGENO	38
2.3.3.4 COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES.	39
2.3.3.5 MATERIAL PARTICULADO EN EL AIRE.	39
2.3.3.6 CLIMATIZACIÓN PARA EDIFICIOS COMERCIALES.	40
2.3.3.7 TIPOS DE VENTILACIÓN.	41
2.3.4 CALIDAD HIGROTÉRMICA	44
2.4 ENERGÍA EN LA EDIFICACIÓN	47
2.4.1 CARGAS EXTERNAS	49
2.4.2 CARGAS INTERNAS	50
2.5 NORMATIVIDAD Y CERTIFICACIONES PARA LA EDIFICACIÓN	51
2.5.1 NORMATIVIDAD INTERNACIONAL	52
2.5.2 NORMATIVIDAD NACIONAL	53
2.5.3 NORMATIVIDAD LOCAL	55
2.6 BIOCLIMA	55
2.6.1 CLIMATOLOGÍA DE MEXICALI	56
2.6.2 MONITOREO AMBIENTAL	56
2.6.3 SIMULACIÓN TÉRMOENERGÉTICA	57
2.6.4 SIMULACIÓN DE ILUMINACIÓN NATURAL	59
2.6.5 CALIBRACIÓN	60
<b>CAPITULO 3: METODOLOGÍA</b>	<b>61</b>
3.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	62
3.1.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN	63
3.1.2 POBLACIÓN	63
3.1.3 MUESTRA	64
3.2 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN Y GENERACIÓN DE DATOS	68
3.2.1 MONITOREO AMBIENTAL	68
3.2.2 SIMULACIÓN	69
3.3 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN Y GENERACIÓN DE DATOS	69
3.3.1 MONITOREO Y REGISTRO MONITOREO Y REGISTRO	70
3.3.2 SIMULACIÓN	74

3.4 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS	76
3.4.1 MATRIZ DE PUNTUACIÓN	77
3.4.2 HOJAS DE CÁLCULO	79
<b>CAPITULO 4: RESULTADOS</b>	<b>80</b>
4.1 MONITOREO AMBIENTAL	81
4.1.1 OCUPACIÓN	84
4.1.2 CALIDAD HIGROTÉRMICA	86
4.1.2.1 COMPORTAMIENTO HIGROTÉRMICO EN PERIODOS.	86
4.1.2.2 CALIDAD HIGROTÉRMICA SEMANAL.	89
4.1.3 DIÓXIDO DE CARBONO	92
4.1.3.1 CONCENTRACIÓN DE CO <sub>2</sub> EN PERIODOS DE MONITOREO.	93
4.1.3.2 CONCENTRACIÓN DE CO <sub>2</sub> EN SEMANA REPRESENTATIVA.	96
4.1.3.3 CONCENTRACIÓN CADA 8 HORAS.	99
4.1.4 COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLATILES	102
4.1.4.1 CONTAMINACIÓN DE COV EN UNA SEMANA REPRESENTATIVA.	105
4.1.4.2 SEGMENTACIÓN DE CONTAMINANTES POR PERIODOS.	108
4.1.5 MATERIAL PARTICULADO	110
4.1.5.1 SEGMENTACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE MP.	112
4.1.6 DÍA CON MALA CALIDAD EXTERIOR	114
4.1.7 CALIDAD DE ILUMINACIÓN INTERIOR	115
4.2 SIMULACIÓN TERMO-ENERGÉTICA Y DE ILUMINACIÓN NATURAL	117
4.2.1 CALIBRACIÓN DE SIMULACIÓN	118
4.2.2 CONSUMO ENERGÉTICO DE EDIFICACIÓN	124
4.2.2.1 CONSUMO ENERGÉTICO POR PLANTA.	126
4.2.3 COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LA ENVOLVENTE ARQUITECTÓNICA	130
4.2.3.1 COMPORTAMIENTO TÉRMICO PLANTA BAJA.	132
4.2.3.2 COMPORTAMIENTO TÉRMICO EN PLANTA ALTA.	134
4.2.3.3 APORTACIÓN TÉRMICA POR CARGA INTERNA.	136
4.2.3.4 COMPORTAMIENTO TÉRMICO POR TEMPERATURA.	138
4.2.3.5 CALOR A RETIRAR POR CLIMATIZACIÓN.	140
4.2.4 CALIDAD DE ILUMINACIÓN NATURAL	142
4.2.4.1 ESTUDIO POR TIPOS DE ACRISTALAMIENTO.	142
4.2.4.2 ILUMINACIÓN NATURAL ESTACIONAL.	144

4.2.4.3 ACRISTALAMIENTO Y CALIDAD DE ILUMINACIÓN.	151
4.2.4.4 GANANCIAS TÉRMICAS POR TIPO DE ACRISTALAMIENTO.	155
4.3 DIAGNÓSTICO DE BIENESTAR AMBIENTAL INTERIOR	159
4.3.1 CALIDAD DE AIRE.	159
4.3.2 CALIDAD HIGROTÉRMICA.	162
4.3.3 CALIDAD DE ILUMINACIÓN.	163
<b>CAPITULO 5: CONCLUSIONES</b>	<b>164</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>172</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>199</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Análisis de ciclo de vida de un edificio. (Saint Gobain, 2019, Análisis del Ciclo de vida) .....	20
Figura 2. Respuesta humana, psicológica y de salud a exposiciones prolongadas de temperatura. Elaboración propia a partir de ASHRAE, 2013.....	45
Figura 3 Secuencia de diseño de investigación. Elaboración propia a partir de Hernández, 2014 .....	62
Figura 4. Alzado principal edificio estudio. Fuente propia .....	64
Figura 5 Planta arquitectónica baja (izquierda) y alta (derecha) de caso de estudio. Elaboración propia, sin escala.....	65
Figura 6 Diseño correlacional-causal. Elaboración propia a partir de Hernández 2014 .....	67
Figura 7. Metodología para calibrar la simulación. Elaboración propia a partir de Tüysüz y Sözer, (2020).....	76
Figura 8 Límites para parámetros de calidad ambiental interior. Elaboración propia.....	79
Figura 9. Planta arquitectónica baja, indica ubicación del monitor ambiental (estrella) para P1: Recepción y vestíbulo (RV) y P2: Oficina 5 (O5). Elaboración propia .....	82
Figura 10. Fracción por ocupación de personas del espacio en P1. Elaboración propia. ....	85
Figura 11. Monitoreo de calidad higrotérmica en P1 (O5) y P2 (RV). Elaboración propia.....	88
Figura 12. Comportamiento higrotérmico semana representativa de P2. Elaboración propia .....	91
Figura 13. Concentración de CO <sub>2</sub> monitoreados en P1(O5) y P2 (RV). Elaboración propia.....	95
Figura 14. Concentración de CO <sub>2</sub> en una semana representativa. Elaboración propia.....	98
Figura 15. Concentración de CO <sub>2</sub> , segmentado en periodos de 8 horas. Elaboración propia. ...	101
Figura 16. Concentración de COV monitoreados en P1(O5) y P2 (RV). Elaboración propia ...	103
Figura 17. Concentración de COV en semana representativa de P2. Elaboración propia.....	106
Figura 18. Concentración COV en periodos de 8 horas. Elaboración propia.....	109
Figura 19. Concentración de MP en P1 y P2. Elaboración propia .....	111
Figura 20. Concentración de MP en periodos de 8 horas. Elaboración propia.....	113
Figura 21 Calidad de iluminación interior según ficha técnica de foco. Elaboración propia.....	116
Figura 22. Error en validación de datos de TBS en P1. Elaboración propia .....	119
Figura 23. Validación de datos TBS en P1. Elaboración propia .....	120
Figura 24. Error en validación de TBS en P2. Elaboración propia.....	121

Figura 25. Validación de datos TBS en P2. Elaboración propia ..... 122

Figura 26. Carga térmica por elementos arquitectónicos del edificio. Elaboración propia ..... 123

Figura 27. Consumo energético mensual por planta arquitectónica ..... 127

Figura 28. Consumo mensual en planta baja. Elaboración propia..... 129

Figura 29. Consumo mensual en planta alta. Elaboración propia..... 130

Figura 30. Balance energético de envolvente arquitectónica. Elaboración propia ..... 131

Figura 31. Balance energético planta baja. Elaboración propia..... 133

Figura 32. Balance energético planta alta. Elaboración propia ..... 134

Figura 33. Consumo por cargas internas. Elaboración propia ..... 137

Figura 34. Porcentaje de consumo por iluminación, equipos y usuarios. Elaboración propia ... 138

Figura 35. Temperatura de Bulbo Seco del edificio. Elaboración propia..... 139

Figura 36. Consumo por climatización. Elaboración propia ..... 141

Figura 37. Porcentaje de área por zona con iluminación mayor 300 lux. Elaboración propia ... 146

Figura 38. Distribución de iluminación natural en día nublado. Elaboración propia a partir de datos obtenidos en Design Builder ..... 148

Figura 39. Distribución de iluminación natural para día nublado. Elaboración propia..... 149

Figura 40. Iluminancia por zona, con diferentes tipos de vidrios. Elaboración propia ..... 154

Figura 41. Ganancia térmica mensual con diferentes tipos de vidrio. Elaboración propia ..... 157

Figura 42. Relación de desempeño lumínico y térmico del edificio. Elaboración propia ..... 158

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles máximos de ruido permitido según NOM-011-STPS-2001 sobre límites permitidos de nivel sonoro emitido por fuentes fijas..... 27

Tabla 2. Niveles máximos de ruido permitido según NOM-011 sobre límites permitidos de exposición de los trabajadores a ruido estable, inestable o impulsivo durante la jornada laboral 28

Tabla 3. Clasificación de ruido según niveles ..... 28

Tabla 4. Niveles mínimos de iluminación según NOM-025 sobre planos de trabajo para cada tipo de tarea visual o área de trabajo..... 30

Tabla 5. Categorías del índice de aire y salud (DOF, 2017)..... 32

Tabla 6. Fórmulas de color para el índice de aire y salud (DOF, 2017)..... 34

Tabla 7. Índice CAI asignados por la EPA ..... 35

Tabla 8 Principales contaminantes del aire interior en edificios .....	36
Tabla 9 Índice de CAI para monóxido de carbono .....	37
Tabla 10 Índice de CAI para NO <sub>2</sub> .....	39
Tabla 11 Índice de CAI para contaminantes PM10 .....	39
Tabla 12 Índice de CAI para contaminantes PM2.5 .....	40
Tabla 13. Ventilación mecánica recomendada para diferentes locales.....	44
Tabla 14. Sistemas constructivos de caso de estudio.....	66
Tabla 15 Instrumentos para realizar monitoreo de parámetros.....	70
Tabla 16. Matriz de puntuación para espacios internos.....	77
Tabla 17. Niveles monitoreados al interior del caso de estudio. ....	83
Tabla 18. Ocupación planta baja del edificio.....	84
Tabla 19. Cargas internas por equipo eléctrico, iluminación y usuarios. ....	117
Tabla 20 Parámetros de programación de cargas internas, sistemas de climatización e iluminación natural del edificio .....	118
Tabla 21. Calibración cargas internas mediante la técnica de validación empírica.....	125
Tabla 22. Consumo energético mensual y temperatura del aire del edificio.....	125
Tabla 23. Propiedades de sistemas de acristalamiento simulados .....	143
Tabla 24. relación vano-suelo, vano-muro e iluminación promedio por zona analizada. ....	145
Tabla 25. Reporte anti-plagio del presente documento .....	199

## **CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

Con la investigación se requiere un proceso para presentar el tema, dentro del cual se plantea el problema en cuestión, establecer objetivos para realizar la investigación, así como delimitar el tema por medio de metas, alcances y limitaciones del estudio, además, se expone un breve estado del arte y antecedentes al presente tema.

Es pues, que en este capítulo se incluyen los siguientes apartados: Planteamiento del problema, justificación, preguntas de investigación, hipótesis, objetivos de la investigación, metas, alcances y limitaciones, estado del arte y antecedentes.

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Se vive una etapa de transición hacia el desarrollo sustentable tanto en las ciudades como en el estilo de vida de las personas (Navarro, 2017), en 2019 el Instituto *Well* del Bienestar (IWB) hace un análisis sobre la dependencia del ser humano hacia la naturaleza y de como el hombre busca construir estructuras para su protección; este tiempo dentro de estructuras, se ha incrementado hasta un 90%; además, pauta que el diseño de edificios requiere una perspectiva holística, que incorporar las variables que componen a un medio ambiente saludable y de calidad (Instituto Well del Bienestar [IWB], 2019, pp. 1–5).

Diversos estudios han relacionado la exposición a contaminantes que provienen de los espacios interiores, con enfermedades degenerativas al usuario debido al mal diseño de un espacio, sistema de instalaciones, uso inadecuado de materiales de construcción, o falta de mantenimiento del equipamiento (Dzyan, 2014; Garrosa y Carmona, 2011; Morales et al., 2010; J. Subils y Domínguez, 2000).

Sin embargo, a pesar del esfuerzo de la comunidad científica, falta énfasis en el efecto que tienen estos espacios interiores sobre el desempeño y salud del usuario para así generar un compromiso por el bienestar de las personas: por parte del gobierno para implementar mejoras en la reglamentación y normativa que rigen la construcción; por parte de los profesionistas que ingieren en este ámbito, para tomar partida y responsabilidad en resolver las necesidades que apremian a los usuarios y el planeta; por parte de la sociedad, para hacer uso adecuado de los espacios y exigir ciudades y edificios de calidad; y por último, por parte de la comunidad científica para dar a conocer como estos espacios afectan la salud de las personas.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

La humanidad pasa más del 90% del tiempo al interior de edificios exponiéndose a microambientes que pueden resultar dañinos a su salud física y mental debido a que el aire interior puede contener concentraciones de contaminantes altas (IWB, 2019; Organización Mundial de la Salud [OMS], 2014; Reuben et al., 2019).

Según la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo, por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2019, la Población Económicamente Activa (POA) en México está en aumento durante el primer cuatrimestre de 2019 se otorgaron más de 303 mil 545 plazas formales en México (Instituto Mexicano del Seguro Social [IMSS], 2019), sin embargo, según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, 2018, el promedio de trabajo a las semana es de 43 horas con una productividad laboral baja .

Es a partir del 2018, que la normatividad Mexicana comenzó a tomar en cuenta ambientes laborales que propicien el bienestar de trabajador al implementar la NOM-035-STPS-2018 con el fin de disminuir trastornos psicosociales derivados de ambientes de trabajo negativos (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2018a).

En este contexto, es necesario concientizar a la sociedad sobre el efecto que los microambientes tienen sobre el trabajador ya que estudios como los de Canazei et al., 2017; Chaudhuri et al., 2020; Kaushik et al., 2020; Wargoeki y Wyon, 2017, concluyen en que la contaminación ambiental afecta la salud física y mental del usuario, que a su vez, afecta su productividad laboral.

Por otro lado, el diseño y construcción de edificios sustentables, tiene entre sus prioridades disminuir el consumo energético de la edificación (Fasi y Budaiwi, 2015), por lo que optimizar las condiciones del espacio al implementar medidas que propicien un ambiente interior de bienestar, permitirá mejorar la productividad (Abdul et al., 2017; Fasi y Budaiwi, 2015) y, a su vez, mejorar el desempeño energético del mismo (Han et al., 2019).

La ciudad de Mexicali, Baja California, está situada en un lugar estratégico en la frontera norte de México; es considerada como una ciudad en desarrollo dado a que sus habitantes cuentan con una edad promedio de 28 años, además, en el ámbito laboral y económico, cuenta con un POA de 63.7%, desarrollado principalmente en trabajadores subordinados (INEGI, 2019). Además, debido a la situación climática de la capital Baja Californiana, se requiere de climatización al interior del edificio para mantener el nivel de confort térmico lo que eleva el consumo energético de la edificación.

Estos aspectos posicionan al sector laboral como uno de los tipos de edificaciones que pueden generar un impacto al bienestar de la sociedad y al medio ambiente. Esta investigación está destinada en primera instancia hacia el sector laboral privado, sobre todo a aquellas empresas que busquen mejorar su productividad laboral y económica; sin embargo, pueden ser guía para todo profesional que busque diseñar espacios que propicien la salud del usuario.

### **1.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

1. **¿Cuál es la principal deficiencia de diseño y cómo afecta al desempeño energético y ambiental interior de edificios de oficina en clima cálido seco extremo?**
  - A. ¿Cuáles son los factores que benefician la calidad ambiental interior para la edificación de oficina para el clima cálido seco extremo?
  - B. ¿Qué impacto al desempeño energético de la edificación tienen las adecuaciones que generan bienestar ambiental interior?

### **1.4 HIPÓTESIS**

En la presente investigación, se identificaron como variables independientes a las cargas externas e internas de un edificio y como variable dependiente el bienestar ambiental y la eficiencia energética de un edificio de oficina. El tipo de relación de las variables es causal y la delimitación geográfica es en Mexicali, Baja California. Lo anterior permitió formular la siguiente hipótesis:

La evaluación por simulación dinámica avanzada de cargas externas e internas y monitoreo ambiental de un edificio de oficinas en Mexicali, Baja California, permite determinar problemas al bienestar ambientales y eficiencia energética del edificio y establecer condiciones para mejorar la calidad ambiental y eficiencia energética del edificio.

### **1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

Se plantearon dos niveles de objetivos para esta investigación, que en conjunto guiaron el estudio para lograr los resultados (R. Hernández et al., 2014b, p. 37), los cuales se formulan a continuación:

### ***1.5.1 OBJETIVO GENERAL***

Evaluar la calidad ambiental interior y consumo energético de un edificio de oficinas en clima cálido seco extremoso, mediante simulación dinámica avanzada y monitoreo ambiental, para determinar problemas ambientales y energéticos que afecten el bienestar interior del edificio.

### ***1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS***

- **Distinguir** los principales factores que afectan la calidad ambiental interior.
- **Evaluar** variables de bienestar ambiental interior en un edificio de oficina en clima cálido seco extremoso.
- **Analizar** los principales factores que generan calidad ambiental interior en el caso de estudio.
- **Determinar** problemas ambientales y energéticos que afecten al bienestar interior de la edificación.

### **1.6 METAS**

La presente investigación tiene las metas o fines siguientes:

1. **Elaborar un documento que analice** los índices que generan calidad ambiental interior, establecidos en normatividad nacional e internacional en que se distingan los principales parámetros de calidad ambiental interior que repercuten en el bienestar del usuario de edificios de oficina.
2. **Realizar** un levantamiento físico del espacio interior del edificio de oficina para dibujar el proyecto arquitectónico.

3. **Dibujar gráficos y tablas sobre los datos medidos** con herramienta especializada los parámetros de bienestar ambiental interior seleccionados.
4. **Diagnosticar** el comportamiento térmico y calidad ambiental del edificio.
5. **Proponer** adecuaciones al edificio para mejorar el bienestar ambiental interior.

Lo anterior permitirá evaluar el potencial ambiental y energético de adecuaciones arquitectónicas aplicadas al edificio de oficina que generen condiciones de bienestar para el usuario.

## 1.7 ALCANCES Y LIMITACIONES

Los aspectos puntuales que comprende la investigación están referidos a la calidad de ambiente interior (IEQ, por sus siglas en inglés) específicamente a los siguientes parámetros: calidad aire, calidad higrotérmica y calidad de iluminación, los que se analizan desde la perspectiva de bienestar al usuario y consumo energético de la edificación.

Los datos serán referidos a un edificio ubicado en la ciudad de Mexicali, Baja California, denominado “Edificio IBRS”.

La investigación tendrá los siguientes alcances:

- **Principales parámetros de calidad ambiental interior:** Se tomaron en cuenta los tres principales parámetros que afectan la calidad ambiental interior para el clima cálido seco extremo:
  1. **Calidad higrotérmica:** Temperatura de Bulbo Seco (TBS) y Humedad Relativa (HR)
  2. **Calidad de aire interior (CAI):** Partículas contaminantes en el ambiente tales como: Material Particulado en el aire con diámetro de 10 micrones de ancho o menos (MP<sub>10</sub>), Material Particulado en el aire con diámetro de 2.5 micrones de

ancho o menos (MP<sub>2.5</sub>), Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) y Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).

### 3. Calidad de iluminación: Natural y artificial.

- **Instrumentos para mediciones técnicas:** Se utilizan dos monitores y herramientas especializadas para hacer mediciones de los parámetros de bienestar:
  - **Elemento Awair:** Es un dispositivo independiente que monitorea cada cinco minutos TBS, HR, CO<sub>2</sub>, VOC, MP<sub>2.5</sub> y MP<sub>10</sub> del entorno, mediante un sensor de tecnología continua. Los datos se almacenan en la nube de la aplicación que aporta una calificación entre 0-100 para cada parámetro, según normas establecidas por la Sociedad de Ingenieros de Calefacción y Aire Acondicionado (ASHAE por sus siglas en inglés), Organización Internacional de Normalización (ISO por sus siglas en inglés), la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y estándares para cumplir con certificaciones sustentables establecidos por el Consejo de la Construcción Sostenible de los Estados Unidos (GBCI por sus siglas en inglés).
  - **HOBO U12-012:** Es un registrador de datos de TBS y HR, mediante sensores integrados que transmiten los datos mediante de manera inalámbrica hacia un dispositivo. Puede calcular estadísticas mínimas, máximas, promedio mediante la configuración que se especifique. El registrador de datos U12-012 puede medir las siguientes variables: velocidad del aire, CO<sub>2</sub>, flujo de aire comprimido, corriente CC, voltaje CC, punto de rocío, presión manométrica, intensidad de luz, TBS y HR, según normas establecidas por ISO y la Conformidad Europea.

- **Luxómetro (LED LT40):** Marca Extech con el que se mide la intensidad de la luz de fuentes LED blanca, fluorescentes, halogenuros metálicos, sodio de alta presión e incandescentes de hasta 400,000 lux.
- **Instrumentos para diagnóstico por simulaciones técnicas:** Se utiliza un programa de computador para realizar las distintas simulaciones:
  - **Design Builder:** Programa especializado en simulación ambiental y energética de edificios, permite evaluar aspectos como los niveles de confort, consumos energéticos, flujos de aire y emisiones de carbono.
- **Resultados:** Esta investigación diagnostica parámetros del ambiente interior para recomendar escenarios de solución mediante adecuaciones arquitectónicas con el fin de mejorar la calidad ambiental interior y reducir el consumo energético de la edificación.

Las presentes limitaciones restringirán la investigación:

- **Falta de instrumentos disponibles para mediciones técnicas:** Por el carácter técnico de la investigación algunos aspectos involucrados en la calidad ambiental interior no se tomaron en cuenta al no tener herramienta para ser medidos, además se consideran de menor relevancia para obtener bienestar al interior del espacio en edificios de oficina para el clima cálido seco extremoso. Respecto a la calidad del aire, hay contaminantes que no fueron considerados al requerirse instrumentación específica con la que no se cuenta, tales como: monóxido de carbono (CO), material particulado en el aire con diámetro menor a 1 micrón o menos (MP<sub>1.0</sub>), radón y otros contaminantes que se pueden encontrar presentes en los casos de estudio.

- **Periodo de medición:** Se realizó el levantamiento físico del inmueble y monitoreo ambiental interior en el periodo de invierno pues debido a la pandemia SARS-CoV-2 el inmueble estuvo cerrado. Se monitoreo durante 1,991 horas entre noviembre del 2020 a febrero del 2021, en los espacios más representativos del edificio: una oficina y una recepción.
- **Características del diagnóstico de bienestar ambiental:** Al tratarse de una investigación cuantitativa, las muestras de las mediciones técnicas físicas y simuladas fueron referencia para determinar el bienestar dentro del espacio, los aspectos de ocupación se obtuvieron por observación de uso del espacio interior y entrevista con el administrador del lugar; otros estratos referidos al bienestar del usuario no se toman en cuenta debido a que no se efectuarán encuestas directas al usuario. Para el registro de valores se tomarán en cuenta los espacios más representativos del edificio al no contar con más instrumentos de medición.
- **Resultados:** No serán incluidas las proyecciones de costo de recuperación de las adecuaciones al edificio por no contar con el tiempo suficiente para evaluarlas.

## 1.8 ESTADO DEL ARTE

A continuación, se presenta un análisis general de publicaciones e investigaciones sobre tres temas relevantes a la presente investigación, que estudian distintos métodos, teorías y herramientas que sustentan la importancia del bienestar ambiental y eficiencia energética.

El análisis del Estado del Arte se estructura en: Calidad de ambiente interior, Calidad de aire interior y Calidad de iluminación.

### ***1.8.1 CALIDAD DE AMBIENTE INTERIOR***

- Mukhtar, et al., 2019; plantean el problema sobre CAI desde un sistema de ventilación mecánica combinado con un sistema pasivo que parte del subsuelo como respuesta para una mejora de la calidad de ambiente interior. Su investigación se añade a la poca literatura que se encuentra de la combinación de sistemas activos y pasivos subterráneos para mejorar este factor.
- En 2018, Wang et al., estudiaron la eficiencia energética de los sistemas HVAC de edificios no residenciales mediante el efecto que la ocupación tiene en el espacio. Establecieron mediante un mapeo entregado por un algoritmo de clasificación vía inalámbrica y red Wi-fi, la relación que los distintos ocupantes tenían a lo largo de la jornada dentro de una sala típica de oficina; se obtuvo como resultado un análisis de rendimiento energético basado en la ocupación real contra la ocupación detectada.
- Yang y Becerik-Gerber (2016), analizaron como la presencia de ocupantes afecta la eficiencia energética de los sistemas HVAC. Clasificaron tres perspectivas de ocupación: transición, variación y heterogeneidad y concluyeron que a pesar de que no está claro como la ocupación se refleja detalladamente en la carga de calefacción y refrigeración, estas tres clasificaciones proporcionan información general para cuantificar las influencias en el balance de temperatura de cada zona.
- Rabania et al., (2017), estudiaron estrategias de adaptación y técnicas de reacondicionamiento de edificios para reducir el uso de energía y las emisiones de efecto invernadero, así como la viabilidad para adoptarla en distintos climas. Este estudio concluye que la integración de tecnologías pasivas y tecnologías renovables es el método

más efectivo para reducir el consumo de energía, el cual se vería reflejado en los aspectos económicos y ambientales.

- Bhamare et al., (2019), analizaron técnicas pasivas para satisfacer el confort térmico del usuario, las cuales clasificaron según su funcionamiento, aplicación, desarrollo y análisis significativo con la carga de enfriamiento del edificio. Concluyeron en que el enfriamiento pasivo tiene el potencial de mantener la temperatura interior dentro de los rangos de confort y a su vez, reducir la carga de enfriamiento activo del edificio.
- Gruber M. et al., (2014) realizaron una investigación en torno al rendimiento de los sistemas de automatización controlados por modelos. El trabajo se realizó en un entorno simulado y se centró en el control de TBS y concentraciones de CO<sub>2</sub> para salas de oficina al cual se aplicaron seis modelos de control distintos; su conclusión fue los controladores simples pueden funcionar tan bien como los complejos sin comprometer el rendimiento de cada sistema.
- Por su parte, Park y Seo, (2018a) analizaron los efectos de ahorro de energía de enfriamiento al considerar las condiciones de temperatura de recirculación de aire de escape y de suministro de aire. Se realizaron 13 estudios de caso, donde aplicaron economizadores directos e indirectos para el aire acondicionado; gracias a los resultados, concluyen que es importante desarrollar medidas para evitar la recirculación de aire de escape y asegurar una ruta para mejorar la eficiencia del aire acondicionado aplicable en la etapa de diseño.

### ***1.8.2 CALIDAD DE AIRE INTERIOR***

- Rackes y Waring, exploraron en 2014 el impacto, ubicación y veracidad de los sensores rutinarios para medir el CAI de edificios. Mediante simulación sobre sensores, midieron el CO<sub>2</sub> y la suma de COV de un edificio de oficinas típico. El resultado al comparar los distintos niveles de la red, demostraban que la concentración de áreas conectadas por un sistema mecánico permitía la recirculación de aire y un CAI homogéneo. Además, observaron que era más importante la calidad y ubicación del sensor que la distribución de los espacios para poder optimizar la red.
- Sekhar et al., (2005); proponen bajo el concepto de ventilación personalizada que la ventilación, CAI, confort térmico de aire acondicionado sean regulados mediante respiraderos que brindan aire limpio por tecnología con base de plasma, que no se mezclan con el aire contaminado que recircula, lo que ofrece microclimas adecuados a las necesidades de cada ocupante.
- Kaczmarczyk et al., 2004, en su estudio sobre la respuesta de la Ventilación personalizada y ventilación mixta, encuentra que este sistema disminuye los síntomas que llevan a un edificio a presentar el SEE.
- Wong, Mui, y Tsang, 2016a, establecen herramientas y parámetros que se usan para medir el CAI, y proponen una mejora que cubra el costo beneficio del manejo del CAI para los dueños de edificios.
- Park y Seo, (2018b), propusieron la estrategia *Beake-Out*, para mejorar espacios que se calientan por medio de piso, y logran demostrar que la ventilación mecánica es la más efectiva para reducir la concentración de contaminantes del espacio, demostraron que la

concentración de CO<sub>2</sub> provenía de la ventilación mixta y deficiente renovación de aire del espacio, que además estaba ligada a la falta de áreas verdes a su alrededor.

- Amodio et al., (2014), desarrollaron un sistema que analiza por medio de un mapeo cromático las áreas más críticas de edificios comerciales, relacionadas a concentraciones de COV detectadas.
- Qian et al., (2016), estudiaron el proceso Gaussiano basado en el mapeo de la distribución del CAI mediante un robot; su caso de estudio se desarrolló en un área geriátrica dado a la importancia de la buena calidad del aire en los espacios como respuesta a la buena salud de los ocupantes; estudiaron al espacio y establecieron puntos de mejora para la distribución y limpieza del aire.
- Coleman, et al., (2017), desarrollaron una tecnología nueva que entendía la temperatura radiante y el CAI desde una apreciación holística, mediante sensores que proveen un escaneo total de espacio a través de las transferencias de calor entre superficies; al demostrar su efectividad para descubrir fuentes de contaminación, de optimización de aire, puntos de mejora en los sistemas y una mayor eficiencia energética.

### ***1.8.3 CALIDAD DE ILUMINACIÓN***

- Al-Saadi et al., (2017), realizaron un estudio sobre estrategias aplicables para reducir el consumo energético de un edificio de gobierno en Omán. Tras analizar la auditoría energética y generar una simulación del edificio, identificaron estrategias para el reacondicionamiento de energía para reducir en un 38.5% el consumo de todo el edificio. Entre las estrategias más importantes y factibles a aplicar incluyen ajuste de termostato,

cambiar horarios de operación de aire acondicionado, aumentar estanqueidad y reemplazar las luces a tecnología LED.

- La investigación de Assimakopoulos et al., (2017), se centró en la correlación entre la ocupación, el rendimiento energético del edificio y la calidad del ambiente interior en aspectos térmicos y de calidad del aire. El estudio se realizó en un edificio Universitario equipado con un sistema BMS avanzado capaz de evaluar los esos aspectos; los resultados indican que la ocupación es el factor más relevante para el consumo energético y las concentraciones de CO<sub>2</sub>, e irrelevante sobre los niveles de iluminación los cuales solo influyen dentro del consumo energético.

## **1.9 ANTECEDENTES**

Parte de las actividades humanas se realizan al interior de ambientes construidos, diversos estudios afirman que los seres humanos pasamos del 60% al 90% del tiempo dentro de estos espacios (Dovjak y Kukec, 2019; IWB, 2016; McArthur y Powell, 2020), es así, que desde 2014 diversas asociaciones internacionales han sumado esfuerzos para el diseño y construcción de espacios saludables, mediante la arquitectura para el bienestar que busca construir edificios saludables.

En 2019, Dovjak y Kukec, analizaron los problemas entorno a un IEQ deficiente mediante una visión general de estudios epidemiológicos, datos estadísticos y quejas de los usuarios que demuestran claramente las consecuencias de actividades incorrectas en los procesos de diseño actuales; en su estudio señalan que 30% de los edificios nuevos y remodelados en todo el mundo pueden estar relacionados con entornos interiores poco saludables, con condiciones deficientes de calidad ambiental interior que derivan en riesgo a la salud.

En 2020, McArthur y Powell presentaron un estudio similar pero en este, analizan sistemas globales de calificación de edificios sustentables, con el fin de exponer la relación entre la calidad del espacio interior y la salud; concluyeron con ocho temas clave relacionados con la salud y productividad recurrentes en la literatura académica: CAI, confort térmico, confort visual, confort acústico, ergonomía y movimiento, dieta y agua limpia, bienestar social y bienestar psicológico.

Otros estudios como el de Mateo-Cecilia et al., (2018) y Pitts, (2018), presentan resultados basados en mediciones sincronizadas de diferentes parámetros de la edificación como calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC), aislamiento, iluminación y vidrio que se relacionan con el bienestar, salud y rendimiento de los empleados; ambas investigaciones, abre nuevas vías de investigación para diseñar y gestionar herramientas para la edificios saludables y sustentables.

Además, Abdul et al., (2017), Bustillos, (2018) y Alkabashi y Dökmeci, (2019), relacionan estos mismos parámetros con la satisfacción del ocupante y la productividad en la edificación; los resultados de la encuesta al ocupante indicaron que existe una relación significativa entre la IEQ, la satisfacción del ocupante y la productividad en un edificio de oficinas, especialmente con respecto al confort visual; estos resultados destacaron la importancia del IEQ para la productividad.

Por parte de la calidad de iluminación dentro de la edificación, Granados, (2019), realizó un diagnóstico del sistema de iluminación en una empresa de envasado; tras analizar la relación de la iluminación con el bienestar de los trabajadores, se demostró que el 77% de los trabajadores manifestaban sentir molestias en perjuicio de su salud ocupacional relacionadas al incumplimiento general de la Norma ISO 8995; se utilizó una metodología mixta con mediciones

técnicas en la estación de trabajo y aplicación de un cuestionario estructurado para cada área con variables de bienestar de los trabajadores por la iluminación.

En México, el estudio de Sánchez y Márquez, (2018), obtiene resultados que relacionan la calidad de iluminación con la salud física y mental del trabajador; en el que concluyen que las deficiencias en los sistemas de iluminación causan estrés en el usuario, lo que deriva en baja productividad.

En Ecuador, se realizó un estudio similar por Jiménez y Proaño, (2020), en el que se analizaron la eficiencia de la iluminación LED, como factor para reducir el consumo energético y mantener la calidad de iluminación de un área de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Los problemas de salud relacionados al IEQ se generan también por la calidad de aire; Moran-C et al., publicaron en 2017, una investigación en donde analizan las condiciones establecidas en la teoría contra datos recabados de distintas edificaciones; concluyen que a menor ventilación y mayor presencia de asbesto, madera y formaldehídos, habrá mayores problemas a la salud del ocupante.

En 2018, Quijano-Parra y Quijano-Vargas, realizan una evaluación de MP presentes al interior un edificio de oficina, estas partículas son consideradas a nivel mundial, una de los 10 principales riesgos que conducen a una menor expectativa de vida.

En el estudio de Azari et al., (2016), se presenta una metodología y herramientas que se aplican a seis características diseño y construcción de la envolvente del edificio, que a través de simulación busca reducir el consumo de energía no renovable y disminuir así impacto ambiental.

## **CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO**

La base teórica de este estudio se sustenta de diversos autores que estudian el bienestar y la eficiencia percibida desde los aspectos del diseño y construcción de edificios, el ambiente exterior e interior y su efecto en el usuario.

Se inicia el análisis con el efecto que la urbanización ha tenido en el medio ambiente y como la edificación ha tenido un impacto que a 2021 se busca mitigar. Posteriormente, se aborda el tema del bienestar, la productividad del humano y su entorno laboral en que se busca esclarecer la relación entre las variables.

Después se hace una revisión sobre la calidad de ambiente interior, para establecer rangos de bienestar para cada componente del microambiente de edificios y su posible repercusión a la salud humana.

También se aborda el consumo de energía en la edificación, para conocer como las cargas externas e internas tienen repercusión en el desempeño energético del edificio y que acciones se realizan desde distintas organizaciones mundiales.

En esta misma línea, se lleva a cabo un análisis de la normatividad internacional y nacional sobre el bienestar ambiental para edificios de trabajo y la eficiencia energética de edificios no-residenciales.

Finalmente se presenta un análisis climático de la ciudad de Mexicali, Baja California, el monitoreo ambiental para edificios y como la simulación dinámica avanzada puede apoyar para resolver el planteamiento del problema de esta investigación.

### **2.1 CAMBIO CLIMÁTICO**

Hasta 2021, el mundo ha experimentado un crecimiento urbano sin precedentes, lo que causa un aumento alarmante en la temperatura del planeta (Secretaría del Medio Ambiente y

Recursos Naturales [SEMARNAT], 2019b). La Organización Meteorológica Mundial establece que en 2019, la temperatura media mundial estuvo 1.1°C por encima del valor estimado de referencia (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2020), esto ha desencadenado desde el año 1900, que la temperatura atmosférica y del océano aumenten, se derrita el hielo y la nieve y aumente el nivel del mar, concentraciones de gases y compuestos de efecto invernadero (Pachauri y Meyer, 2019).

La respuesta para contrarrestar estos cambios se agrupan en acciones de mitigación y adaptación (Navarro, 2017). Molina et al., (2017), realizan un análisis sobre la evolución del clima y sus efectos, donde se establece que hay un consenso científico que da respaldo a la relación entre la actividad humana y el impacto climático, con un 97% de soporte a las investigaciones.

Sin embargo, existe otro tanto de científicos que invalidan esta teoría; Ponce y Cantú, (2015), plasman dos perspectivas basadas en la investigación de Durkin, 2007; la primera, al argumentar que el planeta está en constante cambio, por lo que los fenómenos meteorológicos no tienen que ver con las emisiones de contaminantes, sino, que proceden por factores naturales; y un segundo argumento, que manifiesta al impacto del calentamiento global como un producto de propaganda y mercadotecnia; además de esto, desacreditan al IPCC al ser un organismo político.

La postura de esta investigación apoya la teoría del cambio climático y observa los distintos fenómenos como consecuencia del cúmulo de acciones del uso inconsciente de los recursos naturales que eventualmente repercuten en el bienestar global.

### ***2.1.1 AGENDA 2030 PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE***

La Organización de las Naciones Unidas (ONU), aprobó en 2015, los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible plasmados dentro de La Agenda 2030; en donde proponen una visión de desarrollo integral a largo plazo para cambiar el estilo de vida de ciudadanos y gobiernos; esta visión propone la igualdad y dignidad de personas con respeto al medio ambiente. Esta investigación se puede relacionar con los siguientes objetivos:

- OBJETIVO 7: “Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna al priorizar soluciones energéticas fiables, ininterrumpidas y suficientes para una recuperación económica sostenible” (Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos [ONU-HABITAT], 2015b, p.).
- OBJETIVO 8: “Generar crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, mediante empleo pleno, productivo y decente que garantice servicios de salud esenciales” (ONU-HABITAT, 2015a).
- OBJETIVO 11: “Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles que fundamenten sus decisiones en datos urbanos, esquemas y conocimientos” (ONU-HABITAT, 2015c).

### ***2.1.2 SUSTENTABILIDAD EN LA EDIFICACIÓN***

El desarrollo de ciudades está encaminado hacia la sustentabilidad (Brebba y Galiano-Garrigos, 2016). El USGBC calcula que los edificios sustentables consumen 30% menos energía, de 30-50% consumo de agua, reduce 35% las emisiones de carbono y puede generar ahorros de 50-90% en desechos (Comisión para la Cooperación Ambiental [CCA], 2008).

Así pues, los impactos ambientales emitidos por las edificaciones están presentes en todas las etapas de vida, es por ello, que las decisiones tomadas a lo largo de estas etapas, afectan el valor comercial, pero también la salud y productividad de los trabajadores (Secretaría del Medio Ambiente [SEDEMA], 2012). Según datos recabados por la SEMARNAT, (2007) en México las edificaciones son responsables del consumo total de energía en 17%, agua en 5%, electricidad en 25%, dióxido de carbono en 20% y en 20% de los desechos generados.



Figura 1 Análisis de ciclo de vida de un edificio. (Saint Gobain, 2019, Análisis del Ciclo de vida)

Para contrarrestar el uso desmesurado de energía, algunos países han puesto en marcha diferentes planes para alcanzar mejores niveles de eficiencia energética en edificios (Briller, 2013). En México la normatividad existente que apoyan el camino a la sustentabilidad es de carácter voluntario y aunque el cambio climático es considerado por el Gobierno de México, como asunto de seguridad nacional, no hay medidas obligatorias para mitigar las emisiones de contaminantes que permita cumplir con el compromiso establecido con la Agenda 2030 (SEMARNAT, 2019b, p. 289); por lo que es responsabilidad de todo profesionista en el gremio de la edificación, construir y diseñar proyectos que respeten criterios sustentables, y aporten al plan de sustentabilidad global (Hernández, 2008).

## **2.2 BIENESTAR Y PRODUCTIVIDAD**

El bienestar se refiere a diversas e interconectadas dimensiones entre lo físico, mental y social, que se extiende más allá de la definición tradicional de salud. Eso incluye opciones y actividades destinadas a lograr la vitalidad física, rapidez mental, satisfacción social, sentido de logro y realización personal (Naci y Ioannidis, 2015).

Es pues, que más allá de los conceptos de salud y calidad de vida, el concepto de bienestar, abarca lo relacionado con la salud, la integridad y autonomía del individuo (Fernandez-Lopez et al., 2010), es decir, un estado ideal en donde el hombre encuentra en el medio ambiente, las condiciones ideales para su correcto desarrollo, sin embargo, estas condiciones son variadas ya que toman en cuenta a distintos aspectos naturales como las condiciones climáticas propias del lugar, como aquellos aspectos artificiales que pueden ser manipulados por el hombre en la construcción; la relación entre estas variables climáticas y la productividad se expresan a través de índices de bienestar.

### ***2.2.1 BIENESTAR PSICOLÓGICO***

Se refiere a la percepción global que tiene el cerebro sobre la información sensorial que recibe del medio ambiente, ésta es analizada y procesada en función de la información, de tal forma que el individuo responderá de una u otra manera; expresa satisfacción o desagrado ante los estímulos ambientales. Los aspectos psicológicos están involucrados en todos los medios de percepción: todos interactúan entre sí y se establece una red sumamente compleja, por lo que son analizados de manera independiente. Este aspecto interactúa por medio de factores visuales involucrados en el diseño de los espacios. (Escuela Abierta de Desarrollo en Ingeniería y Construcción, 2009).

### **2.2.2 BIENESTAR HIGROTÉRMICO**

Hace referencia a la ausencia de malestar térmico; los factores que influyen son la temperatura del aire, HR, movimiento del aire, temperatura radiante media, y temperatura operativa (Matesanz, 2013). Hay diferentes modelos para evaluar este bienestar, que consideran distintos parámetros y factores ambientales que repercuten el usuario, pero solo algunos toman en cuenta factores como sexo, edad, raza, origen geográfico, que son condiciones que afectan directamente la actividad metabólica que desarrolla el usuario y su vestimenta. Además, se debe tomar en cuenta otros factores propios del espacio interior como calidad del aire, luz y nivel de ruido; pues, si el usuario se siente en un ambiente de trabajo satisfactorio, se verá reflejado en su eficiencia (Fang et al., 2021; Juricic et al., 2021; Kaushik et al., 2020; Sekhar et al., 2005).

### **2.2.3 BIENESTAR LUMÍNICO**

Se refiere a la percepción de la luz a través del sentido de la vista sobre los aspectos físicos, fisiológicos y psicológicos. Es necesario considerar la calidad de la luz además de la cantidad, ya que estas características facilitan la visión (Escuela Abierta de Desarrollo en Ingeniería y Construcción, 2009; Rodríguez y Francisco, 2018).

### **2.2.4 BIENESTAR ACÚSTICO**

Se refiere a las sensaciones auditivas, al contar con niveles sonoros adecuados y de calidad; cuando el sonido es desordenado o intenso, se convierte en un factor contaminante denominado ruido. Se deben tomar en cuenta los parámetros arquitectónicos relacionados con el contacto auditivo y algunos factores personales y socioculturales como el tiempo de

permanencia, la salud, la edad, el sexo, educación y expectativas personales (Escuela Abierta de Desarrollo en Ingeniería y Construcción, 2009).

### **2.2.5 BIENESTAR OLFATIVO**

Se refiere a la percepción a través del sentido del olfato mediante dos vertientes de análisis, la primera, con la utilización de olores agradables para producir cierta sensación psicológica en el individuo y la segunda con el manejo que de olores desagradables, un aspecto relacionado a la contaminación ambiental (Escuela Abierta de Desarrollo en Ingeniería y Construcción, 2009).

### **2.2.6 PRODUCTIVIDAD**

La productividad es estudiada por diversas disciplinas, el concepto básico emitido por la Real Academia Española (RAE), 2019, lo relación entre lo producido y los productos empleados sin embargo, hay otros investigadores que analizan la multidimensionalidad del concepto y concluyen que la productividad es “el resultado de la articulación armónica entre la tecnología, la organización y el talento humano, que combina en forma óptima o equilibrada los recursos para la obtención de los objetivos (Jaimes et al., 2018).

La eficiencia de un proceso productivo puede medirse mediante una amplia variedad de criterios, pero, se dice que un proceso es eficiente si tiene una productividad muy elevada; de cumplirse, generaría una producción de calidad ya que hay pocos desperdicios. Además, se puede afirmar que el proceso al ser muy eficiente es producido a costos muy bajos, por lo que permite ofrecer un excelente servicio al cliente al acortar el tiempo de respuesta.

La productividad dentro del ámbito empresarial está ligada a la duración más adecuada que ha de tener una tarea determinada (Carro y González, 2012).

Investigaciones como la de Jaimes et al., (2018), estudian la Productividad Laboral (PL) desde dos dimensiones importantes: la humana y la de procesos, en esta investigación, se identifican factores para esta productividad, que incluye condiciones de salud, seguridad, satisfacción en el trabajo y medio ambiente laboral; sin embargo, concluye en que la PL debe estar en evaluación continua debido a condición multidimensional.

### ***2.2.7 PRODUCTIVIDAD LABORAL***

Desde 1920, científicos como Maslow, Vernon y Bedford, publicaron investigaciones sobre los efectos directos e indirectos de los espacios de trabajo sobre el entorno laboral, pero Herzberg y Heschong fueron los primeros investigadores que destacaron la influencia del entorno físico interior en la productividad de sus ocupantes en un entorno laboral. Más tarde, también destacaron el grado de influencia del entorno construido en la productividad de sus ocupantes (Al et al., 2016; Haynes, 2008).

Los lugares de trabajo con calidad ayudan a reducir el absentismo, la rotación del personal y, a su vez, aumenta la percepción de bienestar en los ocupantes del espacio, lo que deriva en una mejora de productividad y satisfacción del empleado. Las estrategias que mejoran la salud y productividad de los empleados resultan eficientes en el costo operativo del edificio ya que permite un retorno de inversión eficaz al costo de personal (Consejo de la Construcción Ecológica de Estados Unidos [GBCI], 2020). Estudios como los de Abdul et al., 2017; Al et al., 2016; Arroyo y Ojeda, 2019, evidencian el impacto de la calidad del ambiente interior en la PL y enfatiza la importancia de comprender el espacio interior.

### **2.2.8 EDIFICIO SALUDABLE Y ENTORNO LABORAL**

La OMS define desde 1992 que la salud laboral solo es posible cuando el ambiente está protegido de contaminantes, patógenos y peligros físicos que amenazan la vida y la salud (Dovjak y Kukec, 2019, p. 43). A diferencia de los términos “salud” o “ambiente saludable”, no existe una definición profesional estandarizada de un edificio saludable, pero si se resume las definiciones de salud oficialmente aceptadas por la OMS en 1946 y de medio ambiente en 2017, un edificio saludable puede definirse mejor como:

“Un edificio saludable es un componente dentro de un entorno construido saludable y es el entorno de vida o de trabajo donde están todos los factores de riesgo para la salud condiciones totalmente prevenidas y óptimas para la salud y el bienestar de Se alcanzan usuarios individuales. Las condiciones óptimas incluyen estimulante y condiciones orientadas a la curación, que resultan en el cumplimiento de condiciones específicas necesidades de usuarios individuales y vulnerables. Un edificio poco saludable es un entorno de vida o trabajo donde los usuarios están expuestos a factores de riesgo para la salud y sus parámetros, sin el logro de condiciones óptimas para población vulnerable (Dovjak y Kukec, 2019, pp. 42, 43, 44).

El objetivo principal del diseño de entornos construidos es el de satisfacer de las necesidades humanas fundamentales (Maslow 1943 al alcanzar lo óptimo condiciones estimulantes, saludables y cómodas para cada usuario individual (OMS, 1946).

La OMS 2017b, p. 1) define la calidad de vida como:

La percepción de un individuo de su posición en la vida en el contexto de la cultura y el sistema de valores donde viven, en relación con sus objetivos, expectativas, estándares y preocupaciones. [...] incorpora de manera compleja la salud física, el estado

psicológico, el nivel de independencia, las relaciones sociales, las creencias personales y las creencias de una persona en relación con características del medio ambiente.

Sin embargo, los datos del Observatorio Mundial de la Salud (GHO, por sus siglas en inglés) revelaron que, en 2012, el 23% del total de personas, es decir, 12.6 millones de personas, murieron como resultado de vivir o trabajar en un medio ambiente interior poco saludable (OMS 2017c).

Los edificios saludables conducen al bienestar de los usuarios por lo que es responsabilidad de los profesionistas en el ámbito del diseño y construcción, propiciar el bienestar del ocupante, pues un cambio en el bienestar del trabajador puede desencadenar un impacto masivo respecto a la productividad laboral, de la empresa y la ciudad (Al et al., 2016).

### **2.3 CALIDAD DE AMBIENTE INTERIOR**

La investigación sobre la calidad de ambiente interior inicia a finales de 196 y se considera como una de las características más importantes de los edificios sustentables ya que abarca las condiciones del edificio y sus interacciones con los factores entre los ocupantes y el ambiente interior-exterior; si bien es desafiante proporcionar un buen ambiente interior desde la perspectiva de eficiencia energética, no se debe justificar ningún sacrificio la calidad de ambiente interior para reducir el uso de la energía.

Los cuatro aspectos principales de un ambiente interior de positivo son la calidad del aire, calidad higrotérmica, calidad iluminación y calidad acústica; y se abordan mediante estrategias que buscan el bienestar para mejorar la calidad de vida del usuario (Abdul et al., 2017; Larsen et al., 2020; Lawrence et al., 2018; Pistore et al., 2015).

### 2.3.1 CALIDAD ACÚSTICA INTERIOR

Los edificios construidos se pueden evaluar por medio de los elementos de separación y por el bienestar acústico al interior de éstos. El primer parámetro de evaluación acústica se refiere al edificio dado por los elementos de separación y su capacidad de aislamiento acústico, propiedad física que tienen los muros interiores para minimizar la transmisión de acústica. La segunda hace referencia al bienestar de la persona según sensación de comodidad o incomodidad de un individuo, proporcionada por el ambiente sonoro en el que está inserto; esta sensación está estrechamente relacionada con la magnitud del ruido ambiental y el tiempo de reverberación (Amable et al., 2017; Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción, 2012).

Según un informe de la OMS en 2002, el ruido se incluye dentro de los cinco principales factores de riesgo de naturaleza física para la salud en el medio laboral (Martín y Rojas, 2014); la contaminación por ruido, se considera el contaminante más económico ya que proviene de diversos factores como ocupación, ambiente exterior, actividades de los sistemas del edificio, etcétera.

*Tabla 1. Niveles máximos de ruido permitido según NOM-011-STPS-2001 sobre límites permitidos de nivel sonoro emitido por fuentes fijas*

Horario limite	máximos permisibles
de 6:00 a 22:00	68dB(A)
de 22:00 a 6:00	65 dB(A)

Elaborado a partir de DOF, (2001)

Para medir los niveles de ruido se utiliza un aparato llamado sonómetro, que comprende un micrófono, un amplificador, redes de ponderación y un indicador de nivel; la unidad de medida para la intensidad del sonido son los decibeles dB (A,F) que es la fracción audible (Amable et al., 2017).

*Tabla 2. Niveles máximos de ruido permitido según NOM-011 sobre límites permitidos de exposición de los trabajadores a ruido estable, inestable o impulsivo durante la jornada laboral*

Nivel de exposición a ruido (dB(A))	Tiempo máximo permisible de exposición
90	8 horas
93	4 horas
96	2 horas
99	1 hora
102	30 minutos
105	15 minutos

Elaborado a partir de DOF, (2001)

La acústica es compleja de medir ya que la contaminación por ruido se produce de diferentes fuentes que tienen diferentes niveles e intensidades de sonido; están ligados a una dimensión subjetiva, ya que dependerá del escucha quien determine si el efecto sonoro es sonido o ruido (Alfie y Salinas, 2016).

*Tabla 3. Clasificación de ruido según niveles*

Zona de ruido dB	Percepción del ambiente	Caso	Puede causar
0	Silencioso	Umbral Auditivo	
10		Pisada, cámara de laboratorio	
20		Estudio de radio difusión, viento en los arboles	
30		Biblioteca, susurro a 5 m	
40	Poco ruidoso	Dormitorio, oficina tranquila	
50		Tránsito vehicular liviano (a 30 m)	Molestia en día y noche en un tiempo de exposición de 16 horas
60	Ruidoso	Aire acondicionado, conversación normal, televisión volumen alto	Dilatación de pupilas, dolor de cabeza, irritación

Zona de ruido dB	Percepción del ambiente	Caso	Puede causar
70		Restaurante ruidoso, tránsito por autopista, oficina de negocios	Esfuerzo vocal / Propenso a ataque cardíaco / Deficiencia auditiva en un tiempo de exposición de 24 horas
80	Ruido fuerte	Despertador	Molesto, alteración de sueño
90		Camión pesado (a 15 m), tránsito urbano	Muy molesto, daño auditivo, secreción gástrica, aumento del colesterol
100		Camión recolector, pirotecnia	Muy fuerte, enfermos con problemas cardiovasculares, arteriosclerosis o problemas coronarios pueden llegar hasta un infarto
110		Discoteca, martillo normativo, concierto	Extremadamente fuerte, deficiencia auditiva
120	Ruido intolerable	Despegue de jets (a 60m), bocina de auto (a 1 m)	Máximo esfuerzo vocal, límite de umbral del dolor
130		Trueno	
>140		Operación en pista de avión, sirena antiaérea	Dolorosamente fuerte
>180		Zona de lanzamiento de cohetes sin protección auditiva	Pérdida auditiva irreversible

Elaboración a partir de Alfie y Salinas, (2016)

### **2.3.2 CALIDAD DE ILUMINACIÓN INTERIOR**

La distribución de luz en un edificio, dependerá de diferentes factores de la envolvente como sus vanos, las características de las superficiales interiores y finalmente la organización del espacio interior, sin embargo una adecuada iluminación interior dependerá de la actividad que se realice (Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción, 2012).

Los efectos biológicos implican que una iluminación adecuada tiene una influencia positiva sobre la salud, la vigilia e incluso sobre la calidad del sueño (Van y Van, 2004); además de una notable influencia sobre la atmósfera y la impresión visual que produce el lugar de trabajo, es pues, que un entorno bien diseñado, tiene efecto estimulante sobre las personas que trabajan en él (Clements-Croome, D., et al. 1998).

Para el diseño interior de oficinas se ha puesto mucho énfasis en la disposición y tipología de lámpara, color del espectro de luz y su potencia lumínica, pues son factores que pueden fortalecer el diseño interior. El color mismo de la luz tiene un significado fisiológico y biológico, por lo que es importante para la atmósfera de un espacio.

*Tabla 4. Niveles mínimos de iluminación según NOM-025 sobre planos de trabajo para cada tipo de tarea visual o área de trabajo.*

Tareas visuales del puesto de trabajo	Área de trabajo	Niveles mínimos de iluminación (lx)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, caminar, vigilar, movimiento de vehículos.	Exteriores generales: patios y estacionamientos	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, caminar, vigilar, movimiento de vehículos.	Interiores generales: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia	50
Interiores	Áreas de circulación y pasillos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacén; plataformas; cuartos de calderas	100
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina	Servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y pailería	200

Tareas visuales del puesto de trabajo	Área de trabajo	Niveles mínimos de iluminación (lx)
Distinción moderada de detalles como ensamble, empaque e inspección simple, así como trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: acabado, ensamble, captura y procesamiento de información, instrumentos y equipo.	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500
Distinción fina de detalles: ensamble, inspección de piezas pequeñas, manejo de instrumentos de precisión.	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies y laboratorios de control de calidad.	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de precisión.	Proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulidos finos.	1,000
Alta especialización en detalles.	Proceso de gran exactitud por tareas visuales de bajo contraste y tamaño muy pequeño por periodos prolongados.	2,000

Elaboración a partir de DOF, (2015)

### **2.3.3 CALIDAD DEL AIRE INTERIOR**

La CAI es una de las principales causas de problemas sociales, económicos y ambientales a nivel mundial; según la OMS, en 2012 el aire contaminado fue responsable de 3.7 millones de muertes en el planeta, que se divide en enfermedad pulmonar, cáncer de pulmón, enfermedad isquémica del corazón, accidentes cerebrovasculares e infección respiratoria aguda.

En cuanto a la mala calidad del aire en el ámbito económico, que deriva de problemas a la salud que afectan la productividad del usuario, afectan la competitividad económica de los países debido a la necesidad de destinar presupuesto para gastos a la salud (México Competitivo, 2018).

El volumen y características de diferentes contaminantes, determinan la calidad del aire (SEMARNAT, 2019b). Así pues, distintos índices establecen rangos para la calidad de aire; el Diario Oficial de la Federación (DOF) lo define como una “Herramienta analítica desarrollada para informar sobre los niveles de contaminación existentes en el aire de forma clara y oportuna a la población, de tal forma que funcione como un indicador de las medidas precautorias que deben tomarse ante altos niveles de contaminación”; de esta manera, organiza en distintas tablas riesgos a la salud, los cuales se describen a continuación:

*Tabla 5. Categorías del índice de aire y salud (DOF, 2017)*

<b>Índice AIRE Y SALUD</b>	<b>Riesgo asociado</b>	<b>Descripción del riesgo</b>	<b>Color</b>
Buena	Bajo	Se considera que el riesgo es mínimo o nulo	Verde
Aceptable	Moderado	Ozono (O <sub>3</sub> ). Las personas sensibles pueden experimentar síntomas respiratorios (asmáticos) Partículas suspendidas iguales o menores a 10 micrómetros (PM10) y partículas suspendidas iguales o menores a 2.5 micrómetros (PM2.5). Posible agravamiento de enfermedad pulmonar y cardiaca en personas con enfermedad cardiopulmonar y adultos mayores	Amarillo
Mala	Alto	Para todos los contaminantes criterio, disminución en la capacidad pulmonar en personas sanas	Naranja

Índice AIRE Y SALUD	Riesgo asociado	Descripción del riesgo	Color
Mala	Alto	<p>Incremento en la probabilidad de aparición de síntomas respiratorios en personas sensibles (niños, ancianos, personas con deficiencias nutricionales, personas de bajo nivel socioeconómico, personas que realizan actividades en exteriores, ciclistas, trabajadores)</p> <p>En personas con enfermedades respiratorias (EPOC, asma) y cardíacas (angina de pecho) hay aumento en la probabilidad de agravamiento y disminución en la tolerancia de la actividad física, así como mayor probabilidad de muertes prematuras en personas con enfermedad cardíaca o pulmonar</p>	
Muy Mala	Muy Alto	<p>Para todos los contaminantes criterio, mayor probabilidad de presencia de síntomas respiratorios en población general. Agravamiento de síntomas respiratorios en poblaciones sensibles (niños, adultos mayores, personas que trabajan en exteriores, ciclistas, personas con bajo nivel socioeconómico) y en personas con enfermedad pulmonar. Incremento en síntomas cardiovasculares, como dolor precordial, en personas enfermas del corazón, así como mayor probabilidad de muertes prematuras en personas con enfermedad cardíaca o pulmonar</p>	Rojo
Extremadamente Mala	Extremadamente Alto	<p>Para todos los contaminantes criterios, incremento en la probabilidad de síntomas severos respiratorios en población general</p>	Morado

<b>Índice AIRE Y SALUD</b>	<b>Riesgo asociado</b>	<b>Descripción del riesgo</b>	<b>Color</b>
		Serios efectos respiratorios y agravamiento de síntomas en personas sensibles (niños, adultos mayores, persona con deficiencias nutricionales, personas de bajo nivel socioeconómico) y en personas con enfermedad. Agravamiento de síntomas cardiovasculares en enfermos del corazón e incremento en la probabilidad de muerte prematura en personas con enfermedad pulmonar y cardíaca	

Elaboración a partir de (DOF, 2017)

Cada color asociado al índice de aire y salud es definido y caracterizado nacional e internacionalmente con base en fórmulas de color “rojo, verde y azul” (RGB, por sus siglas en inglés) y cian, magenta, amarillo y negro (CMYK, por sus siglas en inglés), las cuales se utilizarán dependiente del formato de impresión; este estándar de color se muestra en la Tabla 6.

*Tabla 6. Fórmulas de color para el índice de aire y salud (DOF, 2017)*

<b>Color</b>	<b>R</b>	<b>G</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>M</b>	<b>Y</b>	<b>K</b>
Verde	0	228	0	40	0	100	0
Amarillo	255	255	0	0	0	100	0
Naranja	255	126	0	0	51	100	0
Rojo	255	0	0	0	100	100	0
Morado	143	63	151	51	89	0	0

Elaboración a partir de DOF, (2017)

Otras instituciones internacionales como la EPA han diseñado tablas con índices de CAI, estos niveles están referidos a investigaciones que relacionan contaminantes que pueden generar enfermedades físicas y mentales a la persona expuesta en el espacio.

*Tabla 7. Índice CAI asignados por la EPA*

Nivel del índice de la calidad del aire	Valor numérico	Significado
Bueno	0 a 50	La calidad de aire se considera satisfactoria y la contaminación atmosférica presenta un riesgo escaso o nulo
Moderado	51 a 100	La calidad de aire es aceptable, pero para algunos contaminantes podría existir una preocupación moderada para la salud de un grupo muy pequeño de personas excepcionalmente sensibles a la contaminación ambiental
Insalubre para grupos sensibles	101 a 150	Los miembros de grupos sensibles pueden padecer efectos en la salud. Probablemente no afectará a las personas en general
Insalubre	151 a 200	Todos pueden comenzar a padecer efectos en la salud y los miembros de grupos sensibles pueden padecer efectos más graves
Muy insalubre	201 a 300	Advertencia sanitaria de condiciones de emergencia. Son mayores las probabilidades de que toda la población esté afectada.
Peligroso	301 a 500	Alerta sanitaria: todos pueden padecer efectos sanitarios más graves.

Elaboración propia a partir de EPA, (2017)

Según la investigación de Ram, (2019), la contaminación del aire interior es el segundo factor que más muertes ocasiona en el mundo, seguido de cáncer, ambos casos ligados a la calidad del aire interior al estar relacionados directamente. Tham, realiza en 2016 una reflexión en los últimos 30 años (1986-2016) sobre el impacto que tiene la calidad del aire interior en los usuarios, y concluye que el impacto en el bienestar físico y mental, la salud y la productividad es grande por lo que se necesita un entendimiento holístico de las características y su solución con las nuevas tecnologías.

La calidad del aire interior debe tomar en cuenta las fuentes de contaminantes ya que pueden tomar forma de gases, vapores y de partículas, provenientes desde el interior y el

exterior. La importancia relativa al origen de los contaminantes varía según los distintos contaminantes y en función del tiempo; todos estos factores, propician el SEE.

A continuación, se describen las contaminantes más comunes en el aire interior de edificios, así como los rangos establecidos según las Normas Oficiales Mexicanas (NMX):

*Tabla 8 Principales contaminantes del aire interior en edificios*

<b>GASES Y VAPORES</b>	<b>Compuestos Orgánicos Volátiles</b>
	Alcanos y ciclo alcanos
	Alcoholes alifáticos y sus esteres
	Aldehídos y Cetonas
	Bencenos
	Gas natural
	Cloroformo
	Cloruro de metilo
	Diclorobencenos y diclorometanos
	Formaldehídos y sus derivados
	Halocarbonos
Naftalenos	
<b>COMPUESTOS ORGÁNICOS - INORGÁNICOS VOLÁTILES</b>	Gases nitrosos e hidrocarburos poli acromáticos
	Nitrosaminas
<b>COMPUESTOS RADIOACTIVOS</b>	Radón y sus descendientes
	Productos radioactivos artificiales
<b>GASES Y VAPORES INORGANICOS</b>	Amoniaco
	Ácido cianhídrico y anhídrico carbónico
	Metales y compuestos metálicos
	Monóxido de carbono
	Óxidos nitrosos y óxidos sulfurosos. Sulfuro de hidrogeno
	Ozono
<b>COMPUESTOS SOLIDOS Y LIQUIDOS EN DISPERSION (PARTICULAS RESPIRABLES)</b>	Humo de tabaco
	Humo de combustión por calefacción
	Polvo (solidos dispersos)
	Fibras minerales naturales: asbestos
	Fibras minerales artificiales
	Lana de vidrio
	Fibras cerámicas

Elaboración a partir de DOF, (2019)

### 2.3.3.1 MONÓXIDO DE CARBONO.

El monóxido de carbono (CO) es un gas inodoro e incoloro que en concentraciones altas puede causar la muerte; se produce con la quema de combustible como gas natural, gas propano, gasolina, petróleo, madera, o carbón; la exposición prolongada incluye síntomas de gripe, dolores de cabeza fuertes, mareos cansancio, náuseas, confusión, irritabilidad, pensamiento confuso, falta de memoria y coordinación (Agencia de Protección Ambiental [EPA], 2017; Iniciativa Factor Verde, 2019).

*Tabla 9 Índice de CAI para monóxido de carbono*

<b>Índice AIRE y SALUD</b>	<b>Nivel de riesgo</b>	<b>Intervalo de monóxido de carbono promedio móvil de 8 horas</b>
<b>Buenas</b>	Bajo	<4ppm
<b>Aceptable</b>	Moderado	5-9 ppm
<b>Mala</b>	Alto	10 a 12 ppm
<b>Muy mala</b>	Muy alto	13 – 15 ppm
<b>Extremadamente mala</b>	Extremadamente alto	>16 ppm

Elaboración a partir de DOF, 2017

### 2.3.3.2 DIÓXIDO DE CARBONO.

Es un gas incoloro e inodoro que forma parte de la naturaleza pues se genera cuando se quema cualquier sustancia que contiene carbono, sin embargo, está presente en la exhalación humana, algunas plantas y por descomposición de materia orgánica, por lo que la concentración excesiva de CO<sub>2</sub> es de las principales causas de contaminación medioambiental, además, contribuye al cambio climático mediante el efecto invernadero (Pang et al., 2021).

La cantidad de CO<sub>2</sub> que el ser humano promedio exhala es de 1 kg al día, sin embargo, la cantidad exacta depende de su nivel de actividad ya que una persona que se ejercita, podría

producir hasta ocho veces más CO<sub>2</sub> (Consejo para la Defensa de los Recursos Naturales, 2021); es por esto, que uno de los principales indicadores de su concentración se relaciona a la ocupación interior, sin embargo, estas emisiones están determinadas por factores de orden territorial y geográfico; así como por características demográficas de la población (Cruz, 2016).

Cuando la concentración del gas excede de 800 ppm, se generan olores y problemas en la salud como dolores de cabeza, falta de concentración, somnolencias, mareos y problemas respiratorios.

Según la guía Norma Española 549 de buenas prácticas para el ambiente interior, el valor límite de exposición profesional para exposiciones diarias de 8 horas es de 5.000 ppm, ya que una exposición superior a esta concentración puede producir desvanecimientos (Sáez Cifre, 2017; J. B. Subils y Domínguez, 2000).

### **2.3.3.3 ÓXIDOS DE NITRÓGENO**

Se designa a un grupo de compuestos químicos gaseosos formados por Oxígeno y Nitrógeno ( $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$ ), depende de la concentración de nitrógeno para denominar al gas, los más importantes son el monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>); ambos se producen de forma natural durante la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, sin embargo, también se generan por la quema de combustibles. Elevadas concentraciones pueden producir infecciones respiratorias como irritación del tracto respiratorio y ojos, y en caso extremo, efecto en la sangre, hígado, pulmón y bazo (Sáez Cifre, 2017; EPA, 1999).

Tabla 10 Índice de CAI para NO<sub>2</sub>

Índice AIRE y SALUD	Nivel de riesgo	Intervalo de dióxido de nitrógeno promedio de 1 horas
Buenas	Bajo	< 0.053 ppm
Aceptable	Moderado	0.054 a 0.100 ppm
Mala	Alto	0.101 a 0.360 ppm
Muy mala	Muy alto	0.361 a 0.649 ppm
Extremadamente mala	Extremadamente alto	>0.650 ppm

Elaboración a partir de DOF, 2017

#### 2.3.3.4 COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES.

Proceden de materiales aislantes mobiliario, productos de limpieza, mobiliario, compuestos desprendidos de impresoras, fotocopiadoras, pinturas y barnices (Sáez Cifre, 2017).

#### 2.3.3.5 MATERIAL PARTICULADO EN EL AIRE.

Pueden estar presentes por polvo o fibras del ambiente interior, por medio del asbesto, fibra de vidrio, polvo de papel, descomposición de materiales de construcción y suciedad (Sáez Cifre, 2017).

- PM 10: Se refiere a aquellas partículas de diámetro aerodinámico igual o inferior a 10 µm, que suelen llegar más allá de la garganta.

Tabla 11 Índice de CAI para contaminantes PM10

Índice AIRE y SALUD	Nivel de riesgo	Intervalo de dióxido de PM10 en un promedio o de 12 horas
Buenas	Bajo	< 0.050 µg/m <sup>3</sup>
Aceptable	Moderado	51 – 75µg/m <sup>3</sup>

Índice AIRE y SALUD	Nivel de riesgo	Intervalo de dióxido de PM10 en un promedio o de 12 horas
Mala	Alto	76 – 155 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Muy mala	Muy alto	156 – 235 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Extremadamente mala	Extremadamente alto	>236 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Elaboración a partir de DOF, 2017

- PM2.5: También conocido como polvo fino, se refiere a aquellas partículas de diámetro igual o inferior a 2.5  $\mu\text{m}$  que pueden llegar más allá de los pulmones.

*Tabla 12 Índice de CAI para contaminantes PM2.5*

Índice AIRE y SALUD	Nivel de riesgo	Intervalo de dióxido de PM2.5 en un promedio móvil ponderado de 12 horas
Buenas	Bajo	< 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Aceptable	Moderado	26 – 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Mala	Alto	46 – 79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Muy mala	Muy alto	80 – 147 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Extremadamente mala	Extremadamente alto	>148 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Elaboración a partir de DOF, 2017

### 2.3.3.6 CLIMATIZACIÓN PARA EDIFICIOS COMERCIALES.

El aire del ambiente exterior contiene distintos gases, entre nitrógeno (78% por volumen), oxígeno (21%) y argón (0.9%), con cantidades variables de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), vapor de agua y gases inertes (Lawrence et al., 2018).

Los edificios necesitan cierta cantidad de aire para asegurar niveles de bienestar por lo que se requiere ventilación para suministrar oxígeno y mantener condiciones higrotérmicas adecuadas (Tovar, 2018), ya que, el aire interior de edificios comerciales normalmente contiene

concentraciones elevadas de CO<sub>2</sub>, polvo, tóner de copiadora, gases de escape de materiales, agentes de limpieza y olores corporales, por lo que la concentración de CO<sub>2</sub> es un indicador de la calidad aire y también, de la renovación de aire del exterior al interior de los espacios.

El diseño del edificio, uso de los espacios y/o ubicación geográfica son razones para implementar ventilación mecánica específica para mantener bienestar ambiental interior; sin embargo, estos sistemas pueden consumir hasta el 60% de energía en un edificio (Khan, et al. 2008; Bayoumi, 2017), por lo que se debe propiciar un diseño para optimizar la operación y minimizar el mantenimiento de los sistemas HVAR para mantener en niveles de bienestar la CAI y calidad sonora.

Investigaciones indican que el virus que causa la enfermedad COVID-19, puede propagarse por transmisión área debido al sistema de climatización de un edificio (Bin et al., 2016; Liu et al., 2020; Morawska y Milton, 2020; Zhang et al., 2020), por lo que espacios comerciales con poca ventilación se consideran de alto riesgo para propagar el virus (Nishiura et al., 2020; OMS, 2014).

### **2.3.3.7 TIPOS DE VENTILACIÓN.**

Un edificio ventilado naturalmente de manera adecuada permite ahorrar energía en el sistema HVAC, siempre y cuando la situación climática permita un comportamiento térmico adecuado del edificio y el bienestar térmico interior (Ghiaus et al., 2005); es por ello que las decisiones de diseño en las primeras etapas de planeación del edificio permite soluciones arquitectónicas eficientes para ventilación del edificio.

La ventilación se utiliza para renovar aire del exterior al interior, las condiciones ambientales de aire se pueden canalizar mediante diferentes estrategias para ventilar

naturalmente a un edificio, las cuales se engloban en tres ramas: ventilación unilateral o cruzada, inducida por la variación y presión del viento; y ventilación de chimenea, impulsada por presión de flotabilidad; y ventilación mecánica; para forzar la ventilación mediante aparatos (Santamouris y Wouters, 2006). Además, se puede generar un sistema que combina la fuerza natural con la fuerza artificial para ventilación, que recibe el nombre de ventilación híbrida; todas las estrategias mencionadas, tienen como finalidad es asegurar la calidad de aire en un edificio (Atkinson y OMS, 2009).

Así pues, el aire exterior que fluye al edificio se usa frecuentemente para diluir y eliminar contaminantes del aire interior, sin embargo, cuando las condiciones ambientales afectan el bienestar térmico del espacio, es necesario optar por medios mecánicos para garantizar un espacio térmicamente aceptable con una calidad de aire buena; esto se logrará al calcular la tasa de renovación de aire exterior introducido intencionalmente (Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción Refrigeración y Aire Acondicionado [ASHRAE], 2013).

Es importante mencionar, que el aire exterior no solo fluye por vanos intencionados, sino que, dependerá de la hermeticidad de la envolvente para garantizar menor infiltración al edificio (ventilación involuntaria) (Thébault y Bouchié, 2015). A continuación, se mencionan con mayor detalle diferentes estrategias de ventilación:

- Ventilación natural: Uso de fuerzas naturales por presión de viento o diferencia de densidad de aire, para introducir y distribuir aire exterior a un edificio; se implementa mediante análisis del sitio y resulta de bajo costo debido al diseño de vanos según su emplazamiento (Atkinson y OMS, 2009, p. 7).
- Ventilación cruzada: Hace referencia a aberturas que se ubican en paredes opuestas adyacentes y permiten la entrada y salida de aire de manera eficiente, permite la renovación de aire y enfriamiento del espacio (Pereira, Matheus, 2018).

- Ventilación convectiva: Consiste en el reemplazo del aire caliente en su ascenso por aire más frío, requiere aberturas en las partes altas de espacio (Santamouris y Wouters, 2006).
- Ventilación forzada: Consiste en inyectar o extraer aire por medios mecánicos, los sistemas más comunes son: Ventiladores, extractores de humo, sistemas de aire acondicionado (Medina, 2013).
- Ventilación híbrida: Un sistema combinado entre ventilación natural y mecánica que utiliza renovar aire exterior cuando sea favorable; suelen ser sistemas de alta eficiencia energética al estar monitoreados mediante un centro de control, y tiene el beneficio de adaptarse a diferentes condiciones climáticas (Zhou et al., 2019).
- Infiltración: Se refiere al flujo de aire a través de fugas no intencionales como grietas o juntas de unión no selladas en los edificios; a pesar de no considerarse un tipo de ventilación, se deben tomar en cuenta ya que producen un cambio de temperatura y contaminantes al espacio interior (Atkinson y OMS, 2009, p. 24).

Desde la perspectiva de prevención y control de infecciones, la OMS, (2009), hace un análisis entre las diferencia de sistemas de ventilación natural y mecánica, en donde concluyen que, en la práctica, ambos sistemas son eficaces, sin embargo, la ventilación natural solo funciona cuando el entorno exterior presenta vientos y brisas para el intercambio de aire del exterior al interior; y que la eficacia de un sistema mecánico, reside en la instalación y mantenimiento del mismo, para evitar una alta concentración de contaminantes. La decisión para seleccionar el tipo de ventilación de un edificio, se basará en las necesidades, disponibilidad de recursos y costo del sistema en un edificio (Atkinson y OMS, 2009, pp. 13–15).

*Tabla 13. Ventilación mecánica recomendada para diferentes locales*

<b>ESPACIOS A VENTILARSE</b>	<b>CAMBIOS POR HORA</b>	<b>MINUTOS POR CAMBIO</b>
Almacenes	4-6	15- 12
Auditorios	12	5
Aulas	10	6
Casetas de proyección	30	2
Clubes	12	6
Cocinas	30	2
Cocheras	12	6
Cuartos de máquinas	7.50	8
Laboratorios	10-20	6-3
Lavanderías	20-30	3-2
Oficinas	10	6
Panaderías y reposterías	20	3
Restaurantes	12	5
Sanitarios privados	12	5
Sanitarios públicos	20	3
Talleres	10	6
Vestidores	10	6

Elaborado a partir de: *Secretaría de Educación Pública [SEP], 2015*

### **2.3.4 CALIDAD HIGROTÉRMICA**

Las condiciones interiores del espacio determinan la calidad por temperatura y HR; estos factores afectan directamente la actividad metabólica que desarrollen los usuarios y su vestimenta; además, para evaluar el confort se tomará en cuenta el ambiente térmico, el cual se considera junto con otros factores como la calidad del aire, luz y nivel de ruido, si el usuario se siente en un ambiente de trabajo satisfactorio, se verá reflejado en su eficiencia (Brebbia y Galiano-Garrigos, 2016; Wargocki y Wyon, 2017).

Hay diferentes modelos para determinar el bienestar térmico, ya que se consideran factores ambientales determinados por la ubicación y envolvente del edificio, así como otros

determinados por el usuario, tales como sexo, edad, raza, origen geográfico. El frecuente sobrecalentamiento y/o sobre enfriamiento durante veranos e inviernos aumenta la incomodidad por temperatura, así como el consumo energético de la edificación (Khatami y Hashemi, 2017).

El usuario podría minimizar la incomodidad térmica de diversas formas, que incluyen el aumento o decremento de ropa, actividad física, o bien, mediante climatización artificial que propicien una mayor pérdida o ganancia de calor (ASHRAE, 2013), la relación de respuesta psicológica, sensorial y de salud se muestran en la Figura 2.

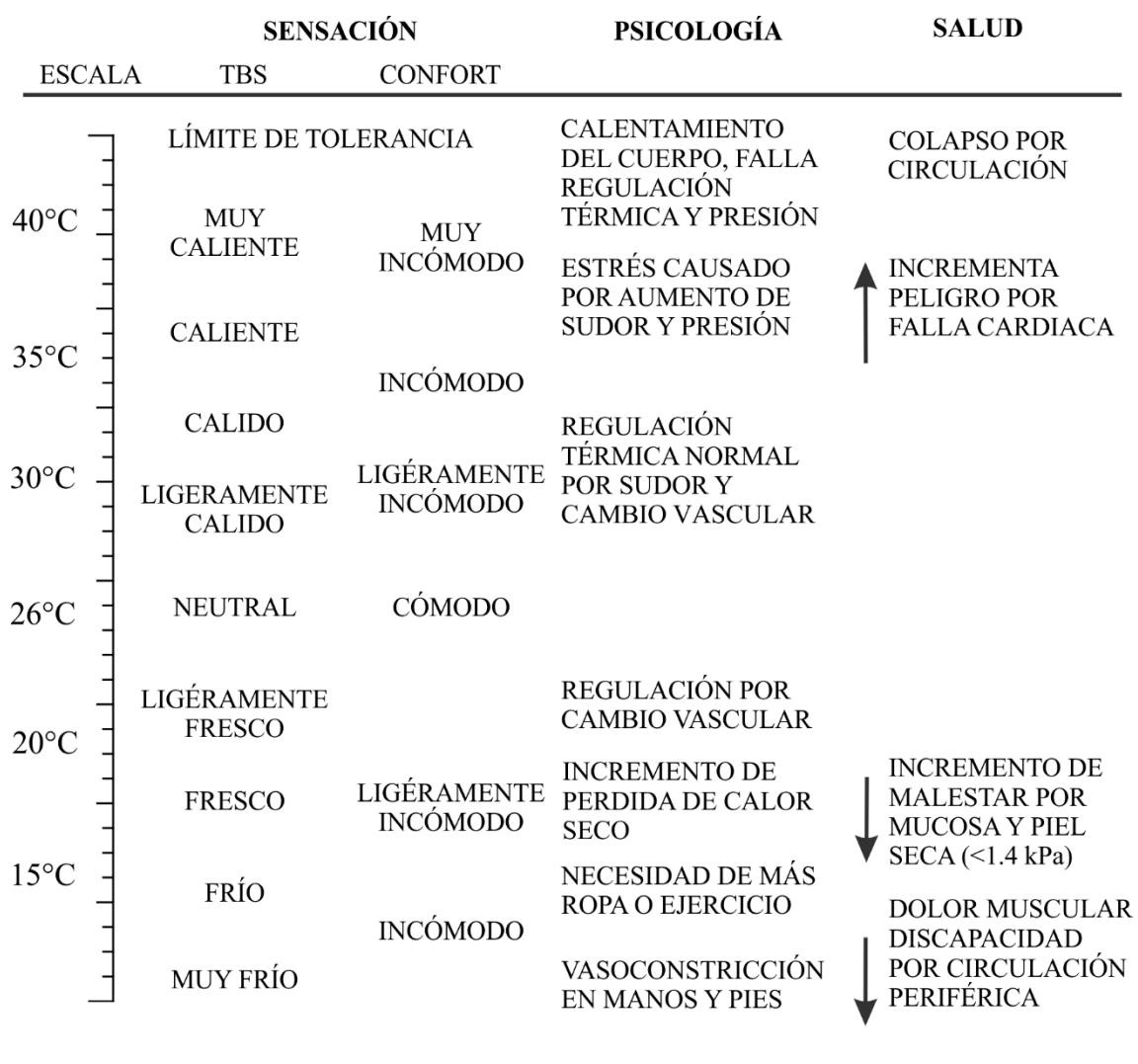


Figura 2. Respuesta humana, psicológica y de salud a exposiciones prolongadas de temperatura. Elaboración propia a partir de ASHRAE, 2013

Ambientes más calientes pueden causar sudor, fatiga, sensación de mareos, debilidad, confusión, calambres musculares y náuseas al usuario, pero también puede causar el crecimiento de moho en la edificación.

Estudios como el de Kaushik et al., (2020) aportan una revisión extensa sobre condiciones térmicas en edificios de oficina, en que resaltan el efecto de la temperatura para la productividad del usuario; en estos entornos se observa que el rango óptimo preferido por el usuario fue de 21-25 °C; además, se observó que cada grado por arriba de los 25 °C, redujo la productividad en un 2%.

La HR ocupa la segunda posición sobre la calidad higrotérmica, sin embargo, también está ligada a la productividad de los ocupantes (Torresin et al., 2018).

La humedad se expresa como relativa o absoluta y se expresa en porcentaje, esta se entiende por la cantidad de agua o vapor de agua que está presente en un cuerpo o un espacio determinado, esto dependerá de las condiciones de presión y temperatura, pero también puede verse afectada por actividades humanas como lavar y cocinar (Chavez-Del-Valle, 2002; Soler, 2018).

Una HR deficiente en el espacio interior puede ser resultado de ventilación inadecuada, diseño incorrecto de la envolvente del edificio y/o sistemas de plomería dañados, inundaciones, hábitos de los ocupantes y la posición de muebles.

ASHRAE, (2019), establece que el rango ideal de HR será alrededor de 40-50%, ya que ambientes que superan este límite pueden generar en el espacio ácaros, moho y hongos, que pueden generar alergias y ataques de asma al usuario. Así mismo, ambientes con por debajo del límite, pueden reseca la piel y provocar picazón, además de propiciar ambientes con bacterias o virus.

En la investigación de Al et al., (2016), concuerda con Fang et al., (2021), en que ambientes de baja HR propician un ambiente eficiente, ya que, a pesar de no haber diferencias significativas con otras condiciones de humedad, las personas expresaron mayor cansancio en ambientes más húmedos.

Además, la HR, temperatura y evaporación pueden aumentar la transmisión de virus como el SARS-CoV-2, ya que investigaciones como las de Chong et al., (2021) y Yao et al., (2020), informan que un aumento de HR del 50% al 90%, pueden prolongar la vida útil de las gotas con un diámetro de 10  $\mu\text{m}$  y afectar la transmisión aérea de virus, sin embargo, enfatizan que gotas más pequeñas viven más tiempo y viajan más lejos que las gotas grandes.

Además, el estudio de Ng et al., (2020), expone que ambientes fríos y húmedos reducen la capacidad del aire para retener el vapor de agua, lo que aumenta la propagación de virus debido a que se tiene un saturado de vapor en el aire.

Finalmente, es importante recalcar que climas cálidos podrían reducir las tasas de crecimiento de virus, pero es necesario contar con una correcta ventilación del espacio, además de un protocolo de seguimiento social para poder controlar la propagación de virus (Chaudhuri et al., 2020; Delikhoon et al., 2021).

## **2.4 ENERGÍA EN LA EDIFICACIÓN**

Según los cambios climáticos y sus problemas, el diseño arquitectónico debería seguir los principios básicos del diseño bioclimático, para así, disminuir el uso desmesurado de recursos no renovables (Dovjak y Kukec, 2019, p. 23).

El consumo energético de un edificio varía conforme al clima de la localidad, su diseño, la calidad de los procesos constructivos utilizados, el uso y gestión energética, los sistemas de

control, etcétera; además, los edificios están expuestos de manera dinámica a múltiples y variadas influencias físicas que también afectan el consumo de la edificación.

En México, el Instituto Mexicano para la Competitividad, realiza diversos estudios para medir la competitividad del país, entre ellos el de la eficiencia energética. Datos otorgados por el Sistema de Información Energética (SIE) la vivienda demanda el 27% de la electricidad que genera la CFE (Comisión Nacional para el Uso de Eficiencia de la Energía [CONUEE], 2018); la meta de mitigación a 2024 se pretende que se genere el 35% de energía limpia y que para 2030 se aumente a 43%, además de reducir en 22% las emisiones de GEI (SEMARNAT, 2019a, p. 389).

Los problemas en materia energética que se derivan de la edificación han sido estudiados en distintos países, esto ha llevado a propuestas más eficientes que disminuyen mediante sistemas inteligentes el consumo energético del edificio, así como por la implementación de materiales menos contaminantes y al utilizar fuentes de energía renovables; un ejemplo de estas innovaciones, es el caso de los edificios Energía Neta Cero (NZE por sus siglas en inglés), este método de diseño y construcción, establece estrategias prácticas y eficientes que reducen las necesidades energéticas de edificios por medio de energías limpias; su meta es generar la misma energía que consume a lo largo del tiempo, con un diseño acorde a las condiciones climáticas del lugar (Eley, 2016; Wei, et al, 2019).

Estudios relacionados a los edificios NZE, presentan una perspectiva holística para la edificación al adoptar tres principios esenciales: social, ambiental y económico. El principio social se cumple mediante condiciones de confort obtenidas por estrategias como el contacto directo con la naturaleza, aprovechamiento de luz de día y climatización natural; la parte ambiental la cumple mediante la eficiencia energética y la económica al introducir el ciclo de

vida, costo del edificio y tiempo de recuperación; sin embargo, este estudio se reduce a una vivienda común (Lan et al., 2011).

La configuración e implementación de los sistemas para lograr NZE deben de ser analizados y seleccionados para poder alcanzar el desempeño deseado; Harkouss Fátima, (2019), planteó soluciones de diseño para 3 climas distintos en China: dominante frío, dominante caliente, y clima mixto. Estas soluciones de diseño estaban evaluadas desde los mismos tres principios descritos en el estudio de Lan Lan, sin embargo, añade el tema de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Los resultados arrojan sistemas de ventilación, y climatización mixtos para los 3 climas.

#### ***2.4.1 CARGAS EXTERNAS***

El factor principal para mediar la climatización entre el interior y exterior de un edificio, además de generar condiciones de bienestar, es la envolvente y su relación con la orientación del edificio, diseño y ubicación de las ventanas (Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción, 2012).

En general, se logra reducir la transmitancia de la envolvente de edificios al incorporar materiales de mayor resistencia térmica, que cumplan estándares determinados según la zona climática. De esta manera, la edificación que evite pérdidas de calor, tendrá un mejor bienestar térmico interior, que permitirá un mejor bienestar del usuario y mayor durabilidad del edificio, cuando un edificio es climatizado artificialmente, se logra disminuir la demanda energética por el sistema HVAC (Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción, 2012).

### **2.4.2 CARGAS INTERNAS**

La eficiencia energética y el confort humano son las principales prioridades de la ocupación en la operación del edificio. En este sentido, el rendimiento coordinado de los sistemas HVAC, dispositivos de sombra e iluminación eléctrica aseguran el bienestar lumínico y térmico a los usuarios (F. F. Hernández et al., 2017)

Los equipos eléctricos en los edificios son uno de los principales consumidores de energía, más aún, en edificios de oficina donde se requiere como apoyo para cumplir con las tareas laborales (Doherty y Trenbath, 2019), por lo que administrarlas se vuelve un desafío importante pues éstas puede representar un consumo de 40% de la carga total (Bennet y O'Brien, 2017).

Además, el impacto de los ocupantes en el microclima interior dependerá de distintas características temporales y espaciales de las actividades que realice dentro del edificio y que, a su vez, pueda modificar el espacio interior.

Así pues abrir y cerrar vanos, modificar la operación de extractores de aire y climatización, el número de personas dentro del edificio o su actividad física como respiración pueden aumentar o disminuir la emisión de sustancias químicas en el aire, vapor de agua o la temperatura del espacio (Szcurek et al., 2016).

Para la toma de datos y clasificación de espacios, se deben tomar en cuenta todas las actividades, requisitos y condiciones para los espacios activos circundantes. Por medio de encuestar y observaciones en sitio De esta manera se clasifican las zonas con ocupación constante como oficinas, sanitarios, cocineta, salas de juntas, etcétera; así como espacios sin ocupación, pero con grandes aportaciones de calor y ruido.

A través de encuestas y observaciones de campo, los investigadores concluyen que el patrón de comportamiento de los ocupantes del edificio afecta significativamente su uso de energía.

Los ocupantes del edificio pueden ser una fuente importante para los problemas del comportamiento térmico del edificio, debido a que este buscará sentirse en un ambiente confortable por lo que podría optar por abrir o cerrar ventanas, modificar la temperatura de climatización, o bien, realizar actividades que no se contemplaron en el diseño del edificio. Esto puede desencadenar un incremento de contaminantes en el ambiente, incremento o decremento de temperatura y ventilación (Bhagat et al., 2020; Szczurek et al., 2016).

## **2.5 NORMATIVIDAD Y CERTIFICACIONES PARA LA EDIFICACIÓN**

A pesar de las investigaciones que existen en materia de edificación y sustentabilidad, hay un gran campo de oportunidad en México para detallar los beneficios de la edificación sustentable, su desempeño ambiental y su penetración en el mercado (CCA, 2008; S. Hernández, 2020).

Una de las principales herramientas regulatorias que el Gobierno de México utiliza para impulsar la eficiencia energética, son las Normas Oficiales Mexicanas (NOM). Este tipo de regulaciones son obligatorias y establecen, entre otras cosas, las características técnicas, especificaciones y parámetros de rendimiento para equipos que se comercializan en el país; estas NOM se distribuyen en los siguientes sectores: residencial, servicios, comercial, agrícola e industrial (Instituto Mexicano para la Competitividad A.C, 2016).

Para poder entender las bases de las Normas Mexicanas y Reglamentos de Edificación, se debe primero analizar casos análogos en otros países que implementan desde hace tiempo la construcción y el diseño sustentable.

### 2.5.1 **NORMATIVIDAD INTERNACIONAL**

- Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental (LEED, por sus siglas en inglés): Es la certificación, que otorga el USGBC, para evaluar el comportamiento medioambiental que tendrá un edificio a lo largo de su ciclo de vida. El sistema de evaluación depende de cada una de las cinco categorías existentes que califican elementos como la ubicación y transporte, la eficiencia en el uso de agua, innovación en estrategias de generación de energía, entre otras. Además, existe un rango para cada certificación que depende del puntaje alcanzado: Certificación LEED (40-49 puntos), Plata (50-59), Oro (60-79) y Platinum (80+) (GBCI, 2019).
- *Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology*, BREEAM por sus siglas en inglés: La primera certificación creada; la realizó un grupo de empresas sin fines de lucro en el Reino Unido y establece un método de evaluación del diseño, construcción y mantenimiento, que favorece la sustentabilidad y genera una mayor rentabilidad del edificio. Evalúa 10 categorías: Gestión, Salud y Bienestar, Energía, Transporte, Agua, Materiales, Residuos, Uso ecológico del suelo, Contaminación e Innovación.
- Sistema de evaluación *Energy Star*: La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), en conjunto con el Instituto Nacional de Ecología, reproducen este sistema de evaluación. El programa voluntario fue establecido en 2005 por la EPA, promueve el uso de energía eficiente en gobiernos locales, en el caso específico de un edificio, que reduzca el consumo de energía (S. A. Sánchez, 2014).

- *International Organization for Standardization*: ISO por sus siglas en inglés, es una organización internacional formada de organizaciones de diferentes países; que promueve estándares para los sectores privado, industrial y comercial.
- *American National Standards Institute*: ANSI por sus siglas en inglés, es un Instituto privado, sin fines de lucro, que forma parte de ISO; coordina y administra sistemas de estandarización voluntarias para Estados Unidos, y muchos de estos estándares son tomados como base para diferentes reglamentos internacionales.
- ASHRAE: Es una asociación global que promueve el bienestar humano y fomenta un mundo sustentable mediante la industria de la construcción, con propuestas en materia de climatización, ventilación y refrigeración que favorecen la eficiencia energética, calidad del ambiente del aire.

### **2.5.2 *NORMATIVIDAD NACIONAL***

En México las Normas para la edificación sustentable son emitidas por la Secretaría de Energía (SENER) y la SEMARNAT, sin embargo se utilizan únicamente como un sistema de evaluación y no como normas obligatorias (SEDEMA, 2012). Algunas de ellas son:

- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE): Que mide índices de bienestar y confort del usuario mediante normatividades sobre el desempeño energético de edificios (Sánchez, 2014).
- NMX-AA-164-SCF1-2013 de Edificación Sustentable: Esta norma mexicana, de aplicación voluntaria a nivel nacional, especifica los criterios y requerimientos ambientales mínimos de una edificación sustentable (DOF, 2013).

- NOM-008-ENER-2001: Esta Norma mexicana para edificaciones no residenciales, establece parámetros para la eficiencia energética mediante materiales aislantes para la envolvente del edificio (DOF, 2001).
- NOM-024-ENER-2012: Esta Norma Mexicana establece características térmicas y ópticas del vidrio y sistemas de vidriado para edificaciones y así poder obtener una mayor eficiencia energética (DOF, 2012).
- NOM-007-ENER-2014: Sobre eficiencia energética en términos de sistemas de alumbrado para edificios no residenciales, aplicables a nuevos, ampliaciones, y modificaciones de los ya existentes; con la intención de optimizar el diseño y uso de equipos y tecnologías. (DOF, 2014a).
- NOM-028-ENER-2010: Establece los límites mínimos de eficacia y métodos de prueba para las lámparas de uso general en todos los sectores de edificación (DOF, 2010).
- NOM-030-ENER-2016: Tiene como objetivo establecer las especificaciones y métodos de prueba para obtener eficiencia energética mediante lámparas led (DOF, 2016).
- NOM-064-SCFI-2017: Establece los rangos y requisitos de seguridad para productos eléctricos y lumínico, así como métodos de prueba aplicables a todo luminario que se alimente con energía eléctrica, incluye señalización y emergencia (DOF, 2018b)
- NOM-058-SFCI-2017: Controladores para fuentes luminosas artificiales (DOF, 2017).

Respecto a las Normas Mexicanas que hablan sobre el bienestar y calidad de ambientes interiores para los trabajadores, encontramos las siguientes:

- NOM-035-STPS-2018: Establece factores de riesgo psicosocial en el trabajo, en donde obliga al patrón a propiciar el bienestar del trabajador (DOF, 2018a).

- NOM-172-SEMARNAT-2019: Establece lineamientos para la obtención y comunicación del CAI y riesgos a la salud, mediante diferentes niveles de contaminación (DOF, 2019).
- NOM-116-STP-2009: Establece parámetros, especificaciones y métodos de prueba para respiradores de aire de presión negativa contra partículas nocivas en el aire (DOF, 2009).
- NOM-025-SSA1-2014: Establece valores límites permisibles para concentraciones de partículas contaminantes en el ambiente, y sus criterios para evaluación; su finalidad es proteger la salud humana y asegurar el bienestar de la población (DOF, 2014b).
- NOM-025-STPS-2008: Establece requerimientos de iluminación requerida para cada actividad visual, propicia un ambiente saludable para los trabajadores (DOF, 2015).

### ***2.5.3 NORMATIVIDAD LOCAL***

En los Reglamentos y Normas que rigen la construcción en Baja California no hay apartados exclusivos que apoyen la edificación sustentable y el bienestar del trabajador dentro de los espacios de trabajo o la calidad del ambiente, sin embargo, hay estudios realizados por profesionistas en el ámbito de la construcción que sirven como guía para aquellos que buscan diseñar, construir o fomentar la sustentabilidad desde este punto (DOF, 2005, 2020)

## **2.6 BIOCLIMA**

El clima es uno de los factores que más afecta el comportamiento de los edificios, así como el confort ambiental del usuario debido a que la condición higrotérmica de un territorio es desigual (Tudela, 1982). Así pues, es necesario conocer la media estadística climática para entender el sitio y poder adaptar el entorno construido al sitio.

### **2.6.1 CLIMATOLOGÍA DE MEXICALI**

Mexicali se encuentra en la frontera con Estados Unidos de América, ubicado en el desierto de Altar; su clima predomina el árido cálido, denominado Bwh en la clasificación de Köppen-Geiger, 1936; debido a que la TBS media anual es de 18-19 °C; las TB más altas se registran durante los meses de julio y agosto donde la evaporación excede en gran medida a la precipitación y deriva en temperatura mayor a 30°C. Además, su precipitación total anual es de alrededor de 200 mm, con los registros más bajos de precipitación de todo el país, menores a 50 mm (INEGI, 2015).

Esta condición higrotérmica genera distintos problemas en el comportamiento de los edificios, principalmente en los meses de verano crítico, debido a la necesidad de mantener el espacio en temperatura de bienestar.

### **2.6.2 MONITOREO AMBIENTAL**

Una herramienta que permite dar seguimiento a actividades y proyectos implementados, es el monitoreo ambiental, ya que se pueden tomar acciones correctivas o que mitiguen el impacto ambiental (Y. Hernández et al., 2019); requiere de otras técnicas como observación, muestreo, medición y análisis de datos; debe ser flexible para adaptarse a situaciones imprevistas, pero es necesario identificar y evaluar los impactos que aquellas situaciones tienen en el proceso.

Además, el monitoreo ambiental, permite verificar la eficiencia de las medidas propuestas ya que aporta información periódicamente acerca de los problemas y logros alcanzados con las medidas la verificación del cumplimiento y de la eficiencia de las medidas implementadas (Romero et al., 2016).

La ISO establece que en el estudio de monitoreo y medición en campo, podrá confirmar si las condiciones de estos cumplen de con criterios establecidos, sin embargo, enfatiza que la correcta implementación del proceso es lo que asegura un producto de calidad y minimiza el riesgo de resultados incorrectos en las mediciones (ISO, 2008, p. 90).

La principal diferencia entre medición y monitoreo se encuentra en el control del valor del producto en análisis, ya que, para la medición en tiempo real, se requiere de estándares de normas o reglamentos que avalen la toma de lecturas, así como los sensores, mientras que para el monitoreo además de los componentes de la herramienta, la ubicación en el espacio en que se establecerá el monitor está establecida en la ficha técnica de la herramienta y en estándares. En cuanto al producto final, en la medición se determinará con métodos matemáticos, mientras que para el proceso de monitoreo es suficiente tener un valor predeterminado (Dyskin et al., 2018; Giniotis y Hope, 2014; ISO, 2008).

Seleccionar la herramienta adecuada dependerá de la variable a medir, así como la correcta capacitación de quien manipulará el instrumento o tomará los datos, así como la factibilidad de adquirirlo por disponibilidad (V. Jiménez et al., 2018).

### **2.6.3 SIMULACIÓN TÉRMOENERGÉTICA**

Tradicionalmente, la palabra *modelo* utilizada como sustantivo, ha significado la representación de un objeto físico, sin embargo, desde el punto de vista de la ingeniería y ciencia el térmico modelado ha adquirido significados alteños que incluyen tanto la representación no real de un objeto físico, como la manipulación de este. Por otro lado, la simulación representa una interpretación alternativa de usar una computadora para presentar soluciones a un problema

que no podría ser resueltos por las matemáticas tradicionales, o bien, el tiempo para resolverlos sería más amplio (Rieder, 2003).

Así pues, el modelo es una representación conceptual, numérica o gráfica de un objeto que destaca las características más importantes del fenómeno que se analiza (Candelaria et al., 2011), y la simulación, es la acción de generar soluciones a un fenómeno; ambas técnicas se utilizan en la ciencia como un método eficiente para analizar distintos escenarios y predecir el comportamiento del fenómeno en estudio. Sin embargo, es importante hacer la distinción entre los dos términos, que para este estudio, la simulación transmite la acción de imitar la realidad y el modelo representa el objeto al que se le aplicaran los experimentos (R. D. Smith, 2003),

La simulación térmica, energética y de iluminación se lleva a cabo por medio de programas computacionales más avanzados (Resende et al., 2020) ya que distintos métodos, herramientas y algoritmos que dependen de la complejidad de la edificación y distintas variables a analizar, sin embargo, organizaciones como ASHRAE establecen normas con requisitos para el procedimientos de diseño asistido por simulación para edificios no-residenciales y cuantificar el impacto de las decisiones de diseño (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares [ANSI], 2021).

Algunos de los principales programas para simulación térmica se enlistan a continuación.:

- DOE-2: Herramienta gratuita que predice el uso de energía por hora y el costo de energía de un edificio según la información climática horaria, envolvente y sistema HVAC. Fue desarrollado por el Departamento de Energía de Estados Unidos (Coakley et al., 2014).
- Energy-Plus: Herramienta avanzada de simulación energética de edificios completos, desarrollada sobre la base del trabajo realizado en DOE-2 por lo que tiene las mismas

funciones con mayor detalle, al permitir informe horario y sub-horario, análisis de flujo de aire y amplias especificaciones HVAC (Coakley et al., 2014).

- TRNSYS: Programa para simulación de sistemas con una estructura modular que implementa un componente enfoque de simulación para bombas ventiladores o sistemas complejos como edificios multi-zona (Coakley et al., 2014).
- ESP-r: Programa de modelado para la simulación del comportamiento térmico, visual y acústico de los edificios, requiere de datos sobre ocupación, envolvente y/o sistemas HVAC para realizar análisis horarios. Además, puede entregar análisis de sensibilidad e incertidumbre inherentes a capacidades (Coakley et al., 2014).

Para obtener resultados cercanos al comportamiento del edificio, se requiere información precisa sobre la operación y características de equipos que consuman energía y/o aporten y retiren calor al espacio, ocupación del espacio y sistemas constructivos (Díaz-Torres et al., 2017).

#### ***2.6.4 SIMULACIÓN DE ILUMINACIÓN NATURAL***

En espacios interiores, la disponibilidad de luz natural depende de la cantidad de radiación solar incidente en una superficie dada según su orientación, para poder determinarla se le atribuyen aspectos como luz directa del sol, luz directa del cielo y luz reflejada en las superficies aledañas; así pues, investigaciones como las de Arias y Ávila, (2004), y Rodríguez y Francisco, (2018), hacen referencia al Factor Luz Diurna (FLD) cómo un método eficiente para definir este parámetro ya que refiere la iluminación natural medida en un punto situado normalmente al centro de un plano determinado.

El programa *Design Builder* utiliza el motor de cálculo de *EnergyPlus* para evaluar con precisión diversos aspectos que afectan el desempeño ambiental y energético de los edificios (García, 2014); permite dos tipos de informe de simulación para iluminación natural, el primero mediante un mapa de luz diurna que expresa los niveles de luz natural en lux [lx] y FLD. El segundo informe, permite analizar los datos en una tabla con valores numéricos.

El adecuado uso de iluminación natural en oficinas es favorable ya que se produce un efecto positivo en la productividad y bienestar de los empleados (Baglivo et al., 2017; Triantafyllidou y Michael, 2020), además, al reducir el uso de iluminación artificial, se logra una eficiencia energética en las edificaciones (Assimakopoulos et al., 2017),

### **2.6.5 CALIBRACIÓN**

La calibración de un modelo para simulación se hace para validar que los resultados de la simulación estén apegadas a la realidad. ASHRAE (2017) define la calibración como: "el proceso de comparar la salida o los resultados de una medición o modelo con los de algunos estándares, determinando la desviación y la incertidumbre relevante y ajustando el dispositivo de medición o el modelo en consecuencia" (Ramos y Fernández, 2017).

Existen distintos estudios sobre la calibración de modelado termo-energético, en que se analizan distintas técnicas; Coakley et al., (2014) dividieron la calibración en dos categorías: manual y automatizada, pero otros estudios como el de Ascione et al., (2021) han adaptado la técnica de Coakley et al., 2014 para dividir la calibración en cinco niveles que incluyen datos del proyecto arquitectónico, levantamiento físico, monitoreo en corto plazo y monitoreo a largo plazo y generar así, una calibración detallada del modelo.

La calidad de datos disponibles sobre la edificación, así como la programación de todos los parámetros en los programas de simulación (clima, ocupación, iluminación, cargas de equipos, etcétera), están vinculados al desempeño ambiental y térmico y energético ya que los programas de simulación energética permiten cálculos detallados con los que se logra predecir el rendimiento del edificio bajo la influencia de algún fenómeno.

La metodología para calibrar un edificio de Tüysüz y Sözer, (2020) incluye recopilar datos específicos del edificio a simular para poder validar el modelo. Así pues, la ubicación del edificio; climatología; tipo y patrones de horario; datos arquitectónicos, mecánicos y eléctricos; propiedades de los materiales utilizados; tasa de ocupación y tasa de infiltración son necesarios para lograr una calibración detallada.

Estos datos se verán reflejados al cumplir con criterios aceptables en el consumo total de energía del edificio, consumo de energía de refrigeración (kWh), consumo de electricidad (kWh), TBS (°C) y HR (%); por lo que, una simulación se considera calibrada, cuando los datos que estima el programa contra los medidos en sitio, tienen una diferencia horaria de  $\pm 10\%$ , según criterios establecidos en ASHRAE (Godoy y Cuchí, 2015; Landsberg et al., 2014).

### **CAPITULO 3: METODOLOGÍA**

El capítulo 3, describe la metodología que se utilizó para este estudio, en el cual engloba el diseño de investigación, población y muestra, así como las técnicas, instrumentos de recolección de datos y análisis de estos. La secuencia de diseño de una investigación cualitativa de tipo muestra dirigida adaptada al presente estudio se puede observar en la Figura 3.

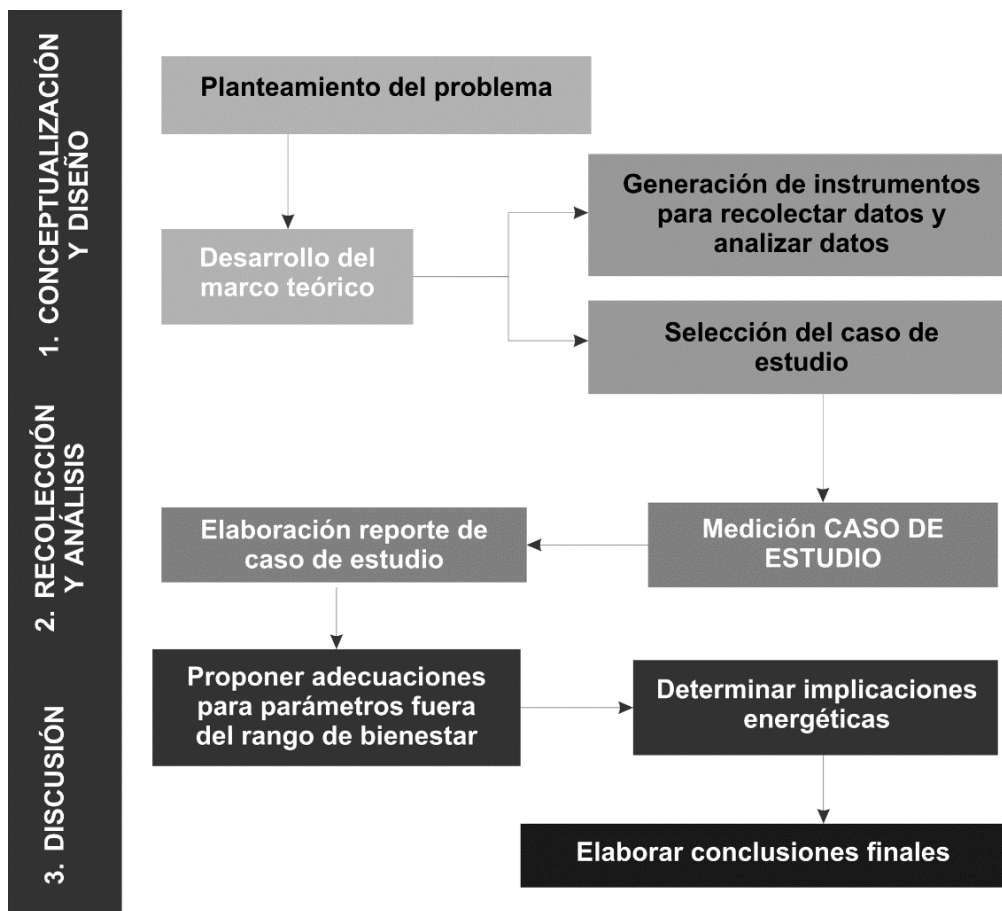


Figura 3 Secuencia de diseño de investigación. Elaboración propia a partir de Hernández, 2014

### 3.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Se recurrió a un diseño no experimental que se aplicó de manera transversal al considerar que el tema de investigación tuvo el sustento teórico suficiente; se realizó una investigación tipo explicativa al describir problemas ambientales y energéticos para exponer su relación con las cargas externas e internas del edificio.

Distintos autores han adoptado diversos criterios para catalogar la investigación no experimental, pero Hernández et al., (2014; p.154), lo clasifican por su dimensión temporal o el número de momentos o puntos en el tiempo en los cuales se recolectan datos, ya que la

investigación se centra en determinar o ubicar cuál es la relación entre un conjunto de variables en un momento.

En cuanto al diseño de investigación transversal, recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único (Liu, 2008 y Tucker, 2004); de esta manera, se podrá describir y analizar las variables planteadas en este estudio, con la finalidad de evaluar su relación (R. Hernández et al., 2014b, p. 154).

### ***3.1.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN***

La presente investigación se diseñó bajo el planteamiento metodológico del enfoque cuantitativo, al considerar que se adapta a la características y necesidades de esta investigación, a partir de (R. Hernández et al., 2014b, p. 7).

Tiene un alcance de estudio explicativo ya que busca recoger información de calidad de ambiental y consumo energético para poder describir problemas ambientales y energéticos al enfocarse en responder en qué condiciones se manifiesta un fenómeno y por qué se relaciona con otras variables del edificio.

### ***3.1.2 POBLACIÓN***

La población, acorde a (R. Hernández et al., 2014b, pp. 173, 174), fue determinada como un subgrupo de edificios de oficina en que mediante una muestra dirigida se pretende recolectar datos que sean representativos para el estudio.

El objeto de investigación fue un edificio de oficina en Mexicali, Baja California en la que se analizaron las siguientes unidades: calidad higrotérmica, calidad de aire, calidad de iluminación y consumo por cargas externas e internas.

### 3.1.3 MUESTRA

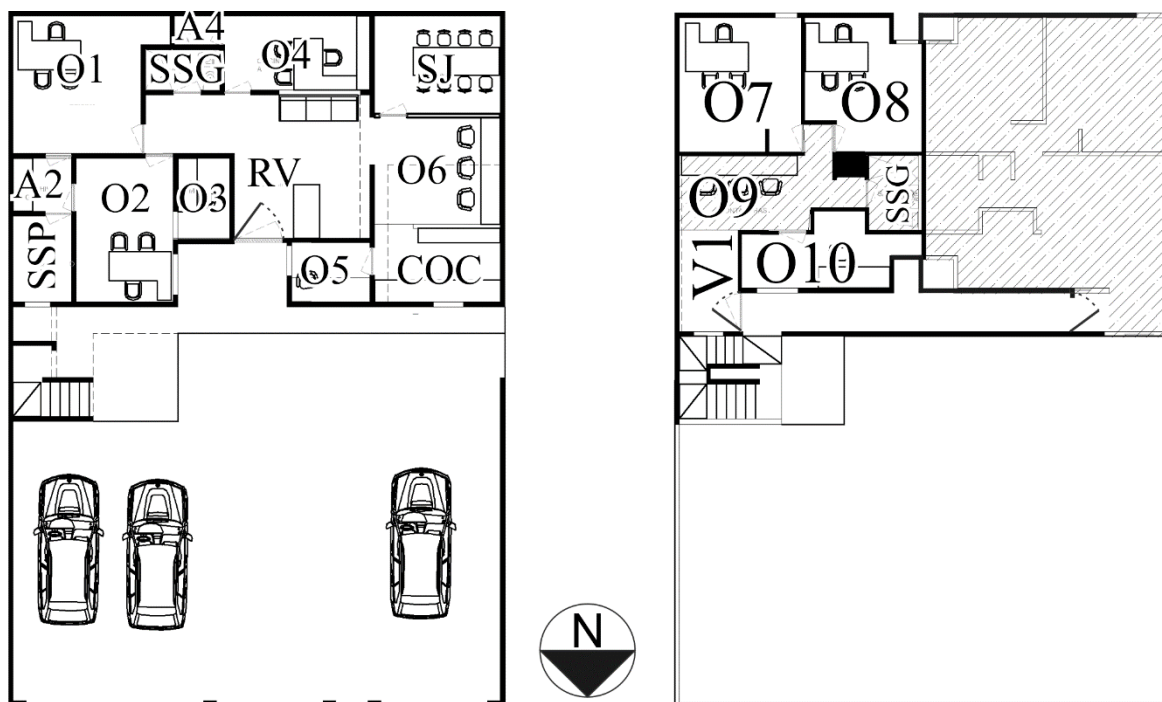
Para este trabajo, se utilizó el tipo de muestra dirigida con diseño de caso de estudio holístico, ya que (R. Hernández et al., 2014a, p. 10) define por los autores Gondo, et al., (2009), que el diseño de estudios de caso holísticos, es utilizado para confirmar una hipótesis, ya que permite evaluar de manera completa y profunda una situación única dependiendo del planteamiento del problema.

La muestra se conformó al seleccionar un edificio de oficina del sector privado, con características “típicas” de la edificación de Mexicali, ubicado en Mexicali, Baja California. El edificio se sitúa sobre de un terreno de forma rectangular de 284.78 m<sup>2</sup>, con un área construida de 267 m<sup>2</sup> y un volumen de 747 m<sup>3</sup>, dividido en dos niveles, la planta arquitectónica alta de 136 m<sup>2</sup> con un volumen de 381 m<sup>3</sup> y planta baja de 131 m<sup>2</sup> con un volumen de 367 m<sup>3</sup>, el edificio completo se muestra en la Figura 4.



*Figura 4. Alzado principal edificio estudio. Fuente propia*

Se considera parte del caso de estudio, la totalidad de planta baja 131 m<sup>2</sup> y la zona este de la planta alta (68 m<sup>2</sup> y volumen de 190 m<sup>3</sup>), ya que la parte derecha forma parte de otra empresa, es decir, el caso de estudio se evaluó con un área construida de 199 m<sup>2</sup> y volumen de 557 m<sup>3</sup>, tal como se muestra en la Figura 5.



*Figura 5 Planta arquitectónica baja (izquierda) y alta (derecha) de caso de estudio. Elaboración propia, sin escala*

Su elevación principal está orientada al norte, en esta misma orientación se encuentra ubicado el acceso a planta baja, sin embargo, para planta alta, el acceso principal se encuentra orientada hacia el oeste; las elevaciones este y oeste se encuentra colindante a otros edificios, no tienen ventanas perimetrales; y, por último, en la elevación al sur, también colindante con edificios se ubican dos ventanas. Los sistemas constructivos de la envolvente y su interior, se describe en la Tabla 14.

Tabla 14. Sistemas constructivos de caso de estudio

	Parámetro	Descripción	Unidad
Sistema constructivo	Piso	Concreto armado de 0.10m, loseta cerámica rectificada	198.8 m <sup>2</sup>
			Emisividad: 0.90 <sup>(1)</sup>
			Absortancia: 0.60 <sup>(1)</sup>
			Valor U: 2.68 W/m <sup>2</sup> -K
	Cubierta	0.003m pintura elastomérica exterior, vigueta y bovedilla de 0.17m	198.8 m <sup>2</sup>
			Emisividad: 0.90 <sup>(1)</sup>
			Absortancia: 0.30 <sup>(1)</sup>
			Valor U: 0.84 W/m <sup>2</sup> -K
	Plafón	Rígido, tablaroca y yeso de 0.015 m	174.0 m <sup>2</sup>
			Emisividad: 0.77 <sup>(2)</sup>
			Absortancia: 0.23 <sup>(2)</sup>
			Valor U: 0.43 W/m <sup>2</sup> -K
	Muros perimetrales	Mortero cemento arena 0.015, bloque de concreto de 0.20m x 0.40m x 0.15m y yeso de 0.015	223.2 m <sup>2</sup>
			Emisividad: 0.82 <sup>(1)</sup>
			Absortancia: 0.18 <sup>(1)</sup>
			Valor U: 2.3 W/m <sup>2</sup> -K
	Muros interiores	Yeso 0.015m, cartón de yeso de 0.013m, fibra en rollo de 0.12m, Yeso 0.015m	266.8 m <sup>2</sup>
			Emisividad: 0.82 <sup>(1)</sup>
			Absortancia: 0.18 <sup>(1)</sup>
			Valor U: 0.63 W/m <sup>2</sup> -K
	Ventanas perimetrales	Marquetería de aluminio, vidrio claro 6 mm	10.9 m <sup>2</sup>
			Transmisión solar: 0.82
			Transmisión de luz: 0.85
Porcentaje de apertura		0.50	
Ventanas interiores	Marquetería de aluminio, vidrio claro 6 mm	17.2 m <sup>2</sup>	
		Transmisión solar: 0.82	
		Transmisión de luz: 0.85	
		Valor U: 5.8 W/m <sup>2</sup> -K	
Pueras exteriores	Madera	6.5 m <sup>2</sup>	
Puertas interiores	Tipo tambor	29 m <sup>2</sup>	

Elaboración propia

Se utilizó un estudio de caso ya que “puede ayudar o contribuir, tanto en las ciencias físicas o naturales como en las sociales a establecer regularidades y patrones, anomalías y excepciones (Thomas, 2011a); apoya la generalización, pero sus conclusiones no son definitivas. Esto quiere decir que las condiciones del edificio dictaron las condiciones del espacio interior.

Las variables se analizaron mediante los principales parámetros que componen a la calidad ambiental interior para edificios en clima cálido seco extremo, que son: Calidad higrotérmica, calidad de aire y calidad de iluminación; la relación entre parámetros de bienestar y sus variables se observan en la Figura 6.

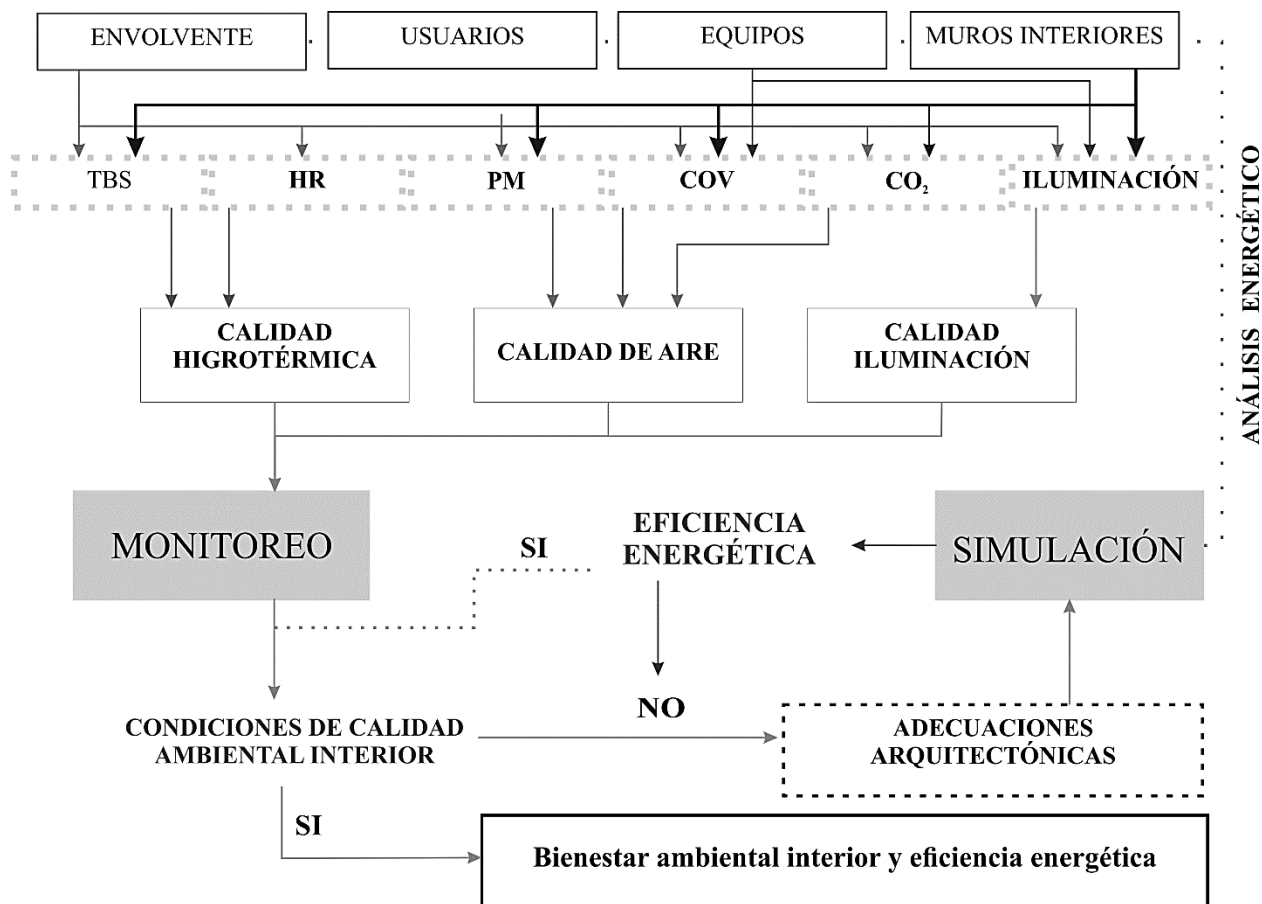


Figura 6 Diseño correlacional-causal. Elaboración propia a partir de Hernández 2014

## **3.2 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN Y GENERACIÓN DE DATOS**

La técnica de recolección de datos que se utilizó en la presente investigación fue la técnica de registro de contenido (análisis de contenido), observación cuantitativa y medición por instrumentos mecánicos.

Hernández Sampieri (2014), define a la técnica de análisis de contenido como “una técnica para estudiar cualquier tipo de comunicación de una manera “objetiva” y sistemática, que cuantifica los mensajes o contenidos en categorías y subcategorías, y los somete a análisis estadístico” (página 251); en cuanto a la técnica de observación, el mismo autor la define como “método que consiste en el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos y situaciones observables, a través de un conjunto de categorías y subcategorías” (página 252); por otro lado, la técnica de medición por instrumentos mecánicos, como su nombre lo dice, se trata de recolectar datos para codificarlos y finalmente analizarlos (página 254).

El análisis de los parámetros se dividió en dos partes, la primera de ellas mediante monitoreo ambiental, que incluyó el monitoreo del microclima de 3 zonas representativas del edificio respecto a TBS, HR, COV y MP. La segunda parte consistió en simulación termoenergética, que incluyó los parámetros de temperatura de bulbo seco, humedad relativa, iluminación, así como la estimación de cargas internas y externas.

### ***3.2.1 MONITOREO AMBIENTAL***

El monitoreo ambiental tuvo como propósito medir los valores de calidad higrotérmica y de aire, para establecer una relación entre las principales deficiencias o exceso de las variables, además, estos datos se usaron para la validación del modelo para simulación.

Los datos almacenados tuvieron un intervalo de 5 minutos entre toma debido a la programación predeterminada del aparato, el cual se colocó a la altura de plano de trabajo (0.75m) que corresponde a la altura del murete de recepción, con una separación del muro acorde a lo recomendado en el manual del proveedor.

Además, se usó herramienta especializada como monitores ambientales y registradores para obtener valores y poder comparar la diferencia entre tomas. En este registro de datos, se tomaron las variables TBS, HR, COV, MP e iluminación del espacio, durante 7 días, a las 12:00 horas civiles, en 3 intervalos con 15 minutos de espacio entre ellos.

### ***3.2.2 SIMULACIÓN***

Este apartado se dividió en dos secciones: la primera de ellas para analizar el consumo por cargas internas, en la que se recolectó información mediante levantamiento físico de cada equipo que consume energía, así como de los sistemas constructivos y distribución espacial y de instalaciones de este. En la segunda sección se analizó la iluminación natural del edificio al evaluar el Factor Luz Día expresado en lx.

## **3.3 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN Y GENERACIÓN DE DATOS**

A continuación, se presenta el diseño de instrumentos de recolección de información en campo y generación de datos para simular el caso de estudio, lo que permitió mediante instrumentos estandarizados y reconocidos por organizaciones internacionales responder al objetivo de este estudio.

El diagnóstico ambiental y energético se dividió en dos apartados para recolectar y generar información, el primero mediante monitoreo ambiental, y el segundo por medio de simulación dinámica avanzada.

### 3.3.1 MONITOREO Y REGISTRO MONITOREO Y REGISTRO

Los instrumentos para el monitoreo ambiental y registro de datos se describen a continuación, sus características técnicas como rango, precisión, exactitud, entre otros se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15 Instrumentos para realizar monitoreo de parámetros

EQUIPO	VARIABLE	RANGO	ALCANCE	EXACTITUD	FIDELIDAD / PRESICIÓN	PESO (gr)	DIMEN-SIONES (mm)
1/2/3/4/5/6/7 Awaair Element	Temperatura de bulbo seco	-40° a 125°C	165°C	± 0.3%	± 0.3°C	52	154 x 457 x 838
	Humedad Relativa	0-95%	95%	± 0.3%	± 0.3 a - 40°C a 90°C		
	Dióxido de Carbono	0-4000 ppm	4000 ppm	± 75 ppm	±30 ppm ±3% lectura		
	Compuestos Orgánicos Volátiles	ppb	a)<2008 ppb: 1 ppb b)2008- 11110 ppb: 6 ppb c)>11110: 32ppb	450 ppb	1.3% a 25°C		

EQUIPO	VARIABLE	RANGO	ALCANCE	EXACTITUD	FIDELIDAD / PRESIÓN	PESO (gr)	DIMEN-SIONES (mm)
	Material Particulado 2.5	0-1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\pm 15\%$	0 a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 15$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 100 a 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ $\pm 15\%$		
819 HOBBO U 120	Temperatur a de bulbo seco	-20 a 70°C	50°C	T: +/- 0.35°C	de 0°C a 50°C	107.5	108 x 541 x 254
	Humedad Relativa	5-95%	90% HR	+/- 2.5%; +/- 5%	de 10% a 90% HR típica; histéresis a 25°C; de <10% a >90%		
10 Thermo Scientific 1500	Material Particulado 10	0-400 $\text{mg}/\text{m}^3$	10mm	+/- 5%	+/- 2% >1 seg	1200	181 X 143 X 84
	Material Particulado 2.5	0-400 $\text{mg}/\text{m}^3$	10mm	de lectura trazable a prueba	+/- 0.5% a 10 seg		
	Material Particulado 1.0	0-400 $\text{mg}/\text{m}^3$	10mm	fino	+/- 0.2% > 60 seg		
9 Luxometro LED LT40	iluminación	0-400,000 lux	400,000 lux	+/- 3% + 3 lux a <500 lux; +/- 3% > 500 lux	Hasta 46 Fc	181	133 x 348 x 23

EQUIPO	VARIABLE	RANGO	ALCANCE	EXACTITUD	FIDELIDAD / PRESIÇÃO	PESO (gr)	DIMEN-SIONES (mm)
" CO <sub>2</sub> meter CO240	Dióxido de Carbono	0-9999 ppm	9999 ppm	CO <sub>2</sub> : +/- 75ppm	5% lectura a 2000 ppm	250	211 x 60 x 40
" Medidor estrés térmico HT30	Temperatura de bulbo seco	0°C a 50°C	50°C	0.1°C	+/- 1°C	136	254 x 487 x 294 ESFERA 40 x 35
	Temperatura globo negro	-30°C a 550°C	580°C	0.1°C	IN +/- 2°C OUT +/- 3°C		
	Temperatura de aire	0°C a 50°C	50°C	0.1°C	+/- 1°C		
	Humedad Relativa	0-100%	100%	0.1%HR	+/- 3% @25°C, 10 a 95%		

### Elemento Awair

Es un dispositivo independiente que monitorea cada cinco minutos: TBS, HR, CO<sub>2</sub>, COV, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> del entorno, mediante un sensor de tecnología continua. En particular, el sensor de monitoreo de COV estima el número total de 55 diferentes productos químicos:

- |                   |                         |                           |
|-------------------|-------------------------|---------------------------|
| 1. Acetona        | 9. O-xileno             | 17. Metanol               |
| 2. Ácido acético  | 10. D-limoneno          | 18. Isopropanol           |
| 3. Tolueno        | 11. Benceno             | 19. Etilbencina           |
| 4. M- y p-xilenos | 12. 1,1,1-tricloroetano | 20. 1,2,4-trimetilbenceno |
| 5. N-undecano     | 13. Hexanal             | 21. Tetracloroetano       |
| 6. N-Dodecano     | 14. Etanol              | 22. Fenol                 |
| 7. Nonanal        | 15. Ethanal             | 23. Acetato de etilo      |
| 8. N-Decano       | 16. Isopreno            |                           |

- |                       |                        |                        |
|-----------------------|------------------------|------------------------|
| 24. 2-butanona        | 37. Texanol 1 y 3      | 47. Tricloro-          |
| 25. Estireno          | 38. 4-metil-2-         | trifluoroetano         |
| 26. TXIB              | pentanona              | 48. Cloroformo         |
| 27. 4-etiltolueno     | 39. Naftalina          | 49. Tetracloruro de    |
| 28. 2-butoxietanol    | 40. 1-butanol          | carbono                |
| 29. 2-etil-1-hexanol  | 41. 1,4-diclorobenceno | 50. 4-fenilciclohexeno |
| 30. Nonano            | 42. 3-metil pentano    | 51. Disulfuro de       |
| 31. Octano            | 43. Tricloroeteno      | carbono                |
| 32. Acetato de butilo | 44. Cloruro de         | 52. Clorobenceno       |
| 33. N-hexano          | metileno               | 53. 1,2,4-             |
| 34. Pentanal          | 45. Triclorofluorometa | triclorobenceno        |
| 35. 1,3,5-            | no                     | 54. 1,2-diclorobenceno |
| trimetilbenceno       | 46. T-butil metil éter | 55. Formaldehído       |
| 36. A-Pineno          |                        |                        |

1

## 2 **HOBO U12-012**

3 Es un registrador de datos de TBS y HR, mediante sensores integrados que transmiten lo  
 4 datos vía inalámbrica hacia un dispositivo. Puede calcular estadísticas mínimas, máximas,  
 5 promedio mediante la configuración que se especifique.

6

## 7 **Luxómetro (LED LT40)**

8 Marca Extech para medir la intensidad de la luz de fuentes LED blanca, fluorescentes,  
 9 halogenuros metálicos, sodio de alta presión e incandescentes de hasta 400,000 lux.

10

## 11 **Térmico-Científico**

12 Es un dispositivo que monitorea en tiempo real: HR, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>1</sub>. Sus  
 13 dimensiones no superan los 0.15 x 0.16 x 0.08 m.

14

15 Se utilizó principalmente el monitor ambiental Elemento Awair con el que se registraron  
 16 datos de dos zonas de la planta baja, pero se utilizó el resto de los equipos para comparar los  
 17 datos monitoreados con los registrados con cada herramienta.

### 1 3.3.2 SIMULACIÓN

2 La selección del programa para simulación se realizó al tomar en cuenta las  
3 características necesarias para el análisis de las distintas variables, así como su validación  
4 internacional, tal como se explica en la sección 2.6.3 y 2.6.4.

5 El programa computacional *Design Builder* utiliza el motor de cálculo de *EnergyPlus*  
6 para evaluar con precisión diversos aspectos que afectan el desempeño ambiental y energético de  
7 los edificios (García, 2014).

8 Se utilizó la versión 5.4.0 del programa, para modelar el caso de estudio. En este  
9 programa, se programaron distintos parámetros extraídos del proyecto arquitectónico, así como  
10 de levantamiento físico para obtener la simulación termo-energética y de iluminación natural.

11 La simulación termo-energética se utilizó para analizar distintos componentes del sistema  
12 constructivo del edificio mediante datos plasmados en hojas de cálculo, expresados en kWh.

13 Para la simulación de iluminación natural, se utilizaron los dos tipos de muestra de datos  
14 que el simulador permite: el primero mediante un mapa de luz diurna que muestra la distribución  
15 de iluminación en las zonas del edificio que expresa la iluminancia en lx y el segundo informe,  
16 mediante hoja de cálculo que con los valores numéricos.

17 Respecto a la simulación por iluminación natural, se evaluaron cuatro condiciones de  
18 cielo claro (CIE claro), con la intención de conocer distintos escenarios de la edificación. El  
19 estudio se realizó a las 12 horas para el 21 de marzo con una altitud solar de 57° y una  
20 iluminancia global de cielo de 91,169 lx, 21 de junio con una altitud solar de 81° e iluminancia  
21 global de 100,737 lx, el 21 de septiembre a una altitud solar de 58° e iluminancia global de  
22 88,917 lx y el 21 de diciembre con altitud solar de 34° con una iluminancia global de cielo de  
23 34,070 lx.

1 Finalmente, se evaluó un día de cielo nublado (CIE nublado) con iluminancia global  
2 horizontal de cielo de 34,324 lx, que representa el día promedio mínimo de iluminancia de cielo  
3 para día nublado para el clima analizado.

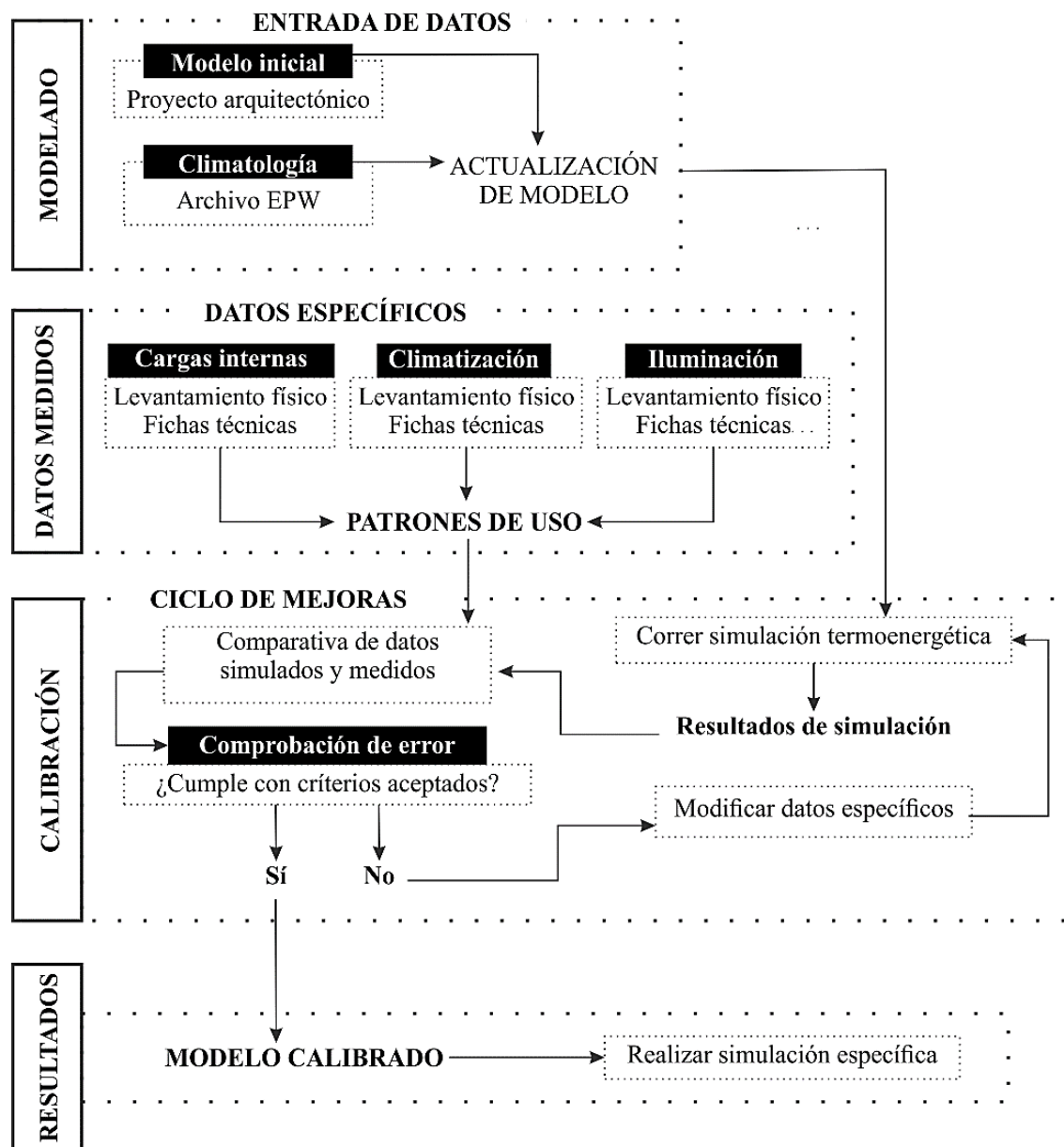
4 La precisión de los resultados de simulación se validó mediante la técnica de validación  
5 empírica (Lomas y Eppel, 1992), que consiste en comparar los resultados de TBS interior  
6 obtenidos por simulación térmica con datos monitoreados en tiempo real (Godoy y Cuchí, 2015).

7 La metodología empleada para la simulación se aprecia en la Figura 7, que inicia con el  
8 modelo del edificio dentro del programa, posteriormente se suministraron datos específicos al  
9 simulador respecto a climatología del caso de estudio, los cuales se describen en el apartado  
10 2.6.1 y sobre cargas internas, climatización e iluminación descritos en el apartado 3.1.4.

11 Se calibró el modelo al comparar los resultados de TBS de simulación con los datos  
12 monitoreados de noviembre a febrero. La validación de la simulación incluyó el cálculo del error  
13 medio ( $^{\circ}\text{C}$ ), desviación absoluta media ( $^{\circ}\text{C}$ ), el porcentaje de error absoluto promedio (%) y el  
14 coeficiente de determinación múltiple ( $R^2$ ) basado en el estudio de Tüysüz y Sözer, (2020).

15 La calificación de la diferencia de los datos obtenidos tuvo base con los criterios  
16 definidos por ASHRAE (2017), el cual indica que, para un análisis horario, la diferencia del  
17 Porcentaje de Error Relativo Absoluto Medio debe estar por debajo del 10%.

18



1  
2 *Figura 7. Metodología para calibrar la simulación. Elaboración propia a partir de Tüysüz y*  
3 *Sözer, (2020).*  
4

### 5 3.4 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS

6 Una vez recolectada información de monitoreo ambiental y simulación dinámica  
7 avanzada, los datos se resumieron y procesaron mediante hojas de cálculo, las cuales se

1 analizaron y transcribieron a una matriz de puntuación ambiental; las técnicas se detallan a  
 2 continuación:

3

#### 4 **3.4.1 MATRIZ DE PUNTUACIÓN**

5 Para el procesamiento de datos de esta investigación se utiliza la **codificación de datos**  
 6 mediante una **matriz de puntuación** para la calidad ambiental interior. Esta matriz tomó en  
 7 cuenta las variables de análisis: calidad higrotérmica, calidad de aire y calidad de iluminación.

8 A cada valor registrado según la variable se le asignó una calificación, la cual fue  
 9 comparada con información teórica recopilada en el capítulo 2, otorgada por normatividad  
 10 nacional e internacional, que se muestra en la Tabla 16.

11

12

*Tabla 16. Matriz de puntuación para espacios internos.*

NOMBRE DE MATRIZ DE PUNTUACIÓN					
Nombre	Muy insalubre	Insalubre	Moderado	Aceptable	Bienestar
<sup>1</sup> Riesgo a la salud humana	Extremadamente malo	Muy Alto	Alto	Moderado	Bajo
<sup>1</sup> Índice Aire y Salud	Extremadamente mala	Muy mala	Mala	Aceptable	Buena
<sup>2</sup> Índice EPA	Muy insalubre	Insalubre	Insalubre para grupos sensibles	Moderado	Bueno
<sup>2</sup> Índice AWAIR	Pobre	Poco Saludable	Moderado	Bueno	Saludable
ESCALA DE MATRIZ DE PUNTUACIÓN					
<sup>2</sup> Temperatura Bulbo Seco	<13°C y >32°C	13-16°C y 30-32°C	16-19°C y 28-30°C	19-22°C y 26-28°C	22-26°C
<sup>2</sup> Humedad Relativa	<15% y >80%	15-20% y 65-80%	20-35% y 60-65%	35-40% y 50-60%	40-50%

<sup>2</sup> Dióxido de Carbono	>2500 ppm	2500-2500 ppm	1000-1500 ppm	600-1000 ppm	0-600 ppm
<sup>2</sup> Compuestos Orgánicos Volátiles	>8332 ppb	3333-8332 ppb	1000-3333 ppb	333-1000 ppb	<333 ppm
<sup>1</sup> ' <sup>2</sup> Material Particulado 2.5 y 10	PM2.5: >147 µg/m	, <sup>2</sup> PM2.5: 79-147 µg/m	PM2.5 46-78 µg/m	PM2.5: 26-45 µg/m	PM2.5: <25 µg/m
	PM10: >235 µg/m	PM10: 155-235 µg/m	PM10: 75-155 µg/m	PM10: 50-75 µg/m	PM10: <50µg/m
<sup>1</sup> Iluminación	<50 lx y >1,000 lx	50-100 lx y 750-1,000 lx	100-200 lx y 500-750 lx	200-300 lx y 400-500 lx	300-400 lx

<sup>1</sup> Basado en Norma Mexicana

<sup>2</sup> Basado en Norma Internacional

1

2 Los valores registrados en el ambiente interior se basaron en normas y reglamentos

3 internacionales (EPA, AWAIR, WELL y LEED) así como Normas Mexicanas analizadas en la

4 sección 2.3 y 2.5, a los cuales se les asignó una calificación dentro de la matriz de puntuación:

5 “muy insalubre” representado en color rojo, “insalubre” de color naranja, “moderado” de color

6 mostaza, “aceptable” de color amarillo y por último, el rango deseado se asocia al color verde,

7 con el nombre de “bienestar”; las concentraciones asociadas a cada puntuación se observan en la

8 Tabla 16 junto con las equivalencias en nombres de otros índices, esta misma información, se

9 presenta de manera gráfica en la Figura 8 debido a que esta escala es asociada a los gráficos de

10 resultados.

11

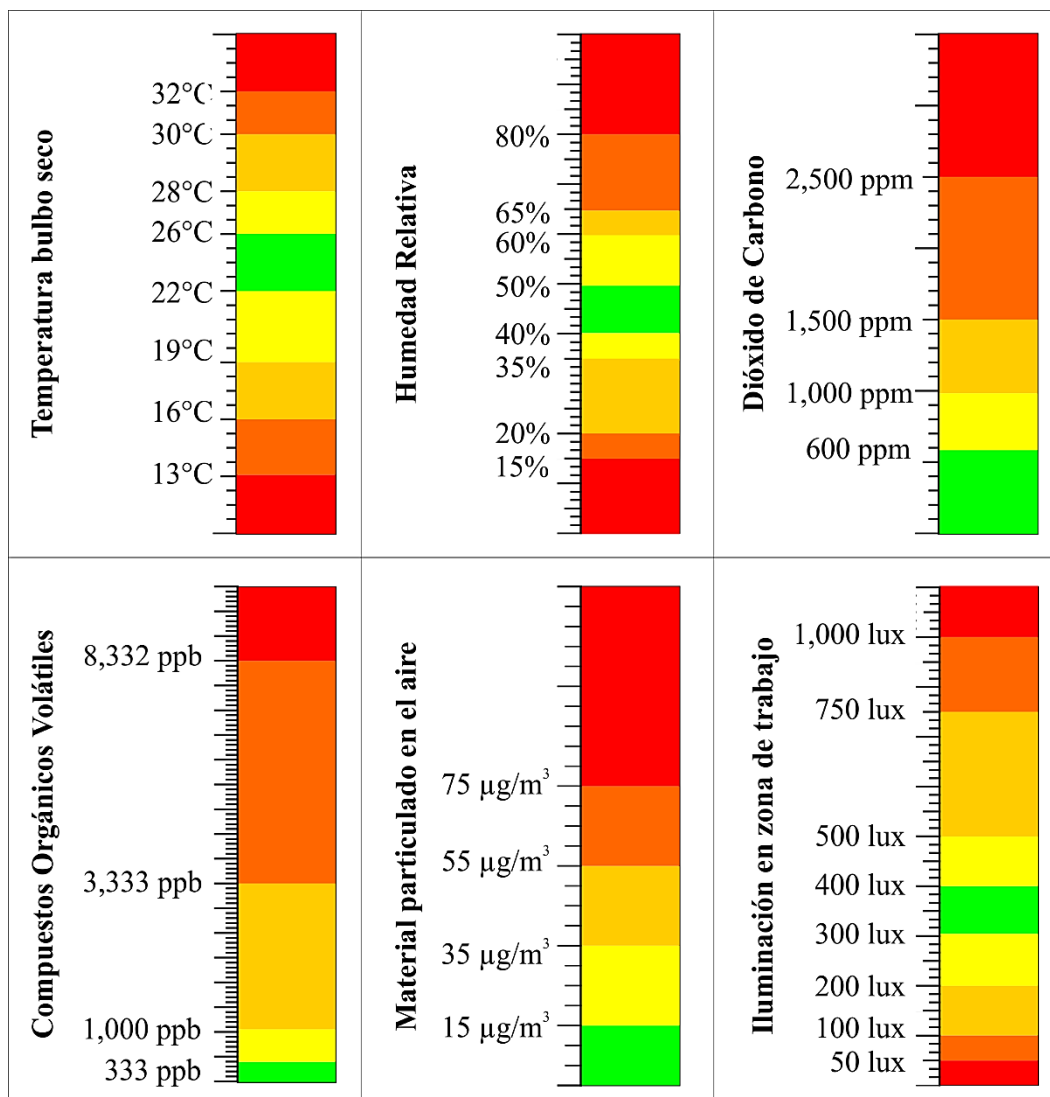


Figura 8 Límites para parámetros de calidad ambiental interior. Elaboración propia

### 3.4.2 HOJAS DE CÁLCULO

La principal herramienta fue mediante hojas de cálculo en el programa *Excell*, en el que se realizaron distintos cálculos matemáticos, esta herramienta consiste en una serie de datos distribuidos en celdas dispuesta por filas y columnas, para así relacionar datos y obtener la resolución final del cálculo. Además, permite representar datos matemáticos mediante gráficos (Microsoft, 2021).



1           Posterior, la simulación incluyó las variables: térmica y de iluminación natural, al mostrar  
2 distintas adecuaciones arquitectónicas aplicadas al edificio con el fin de reducir el consumo por  
3 cargas internas y propiciar un entorno iluminado naturalmente.

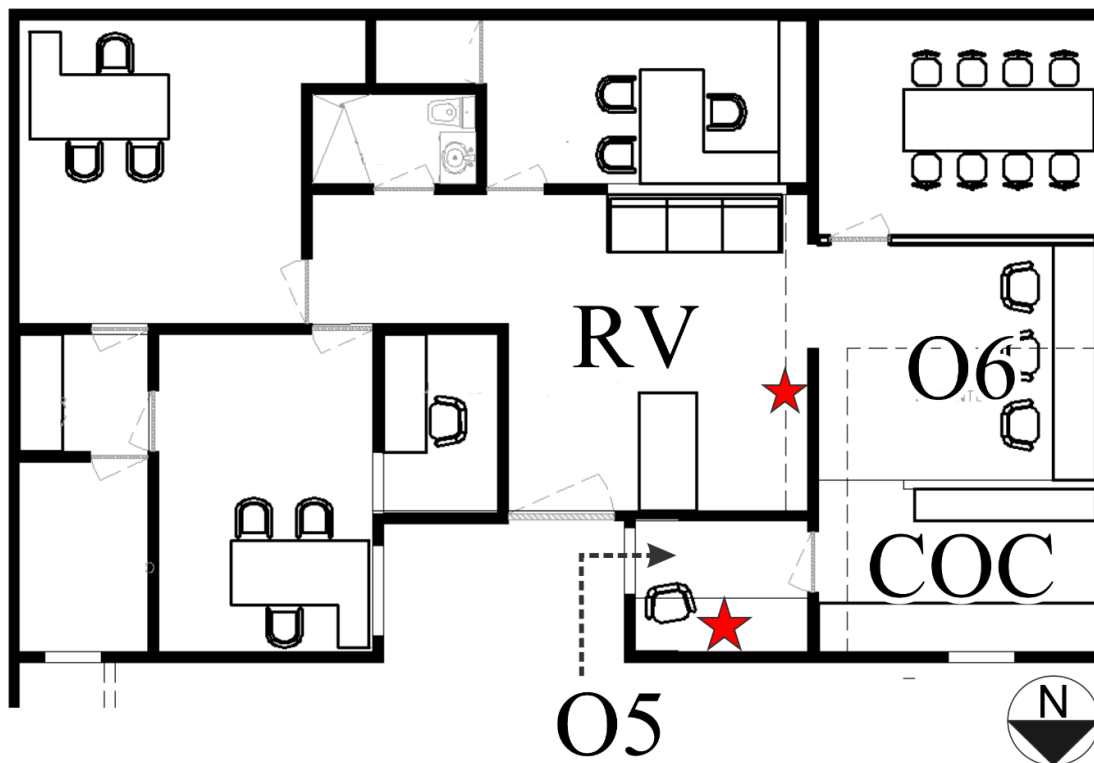
4           Finalmente, se relacionan las variables de calidad ambiental y consumo energético con la  
5 intención de describir escenarios de mejora para el caso de estudio una vez puntualizadas las  
6 principales deficiencias.

#### 7 **4.1 MONITOREO AMBIENTAL**

8           El monitoreo se realizó en dos periodos, el primero comprende del 1ero de noviembre al  
9 16 de diciembre del 2020 (P1), con un total 974 horas (46 días) monitoreadas en la Oficina 5  
10 (O5), la cual tiene un área de suelo de 4.4 m<sup>2</sup> y volumen de 11.9 m<sup>3</sup>.

11           El segundo periodo, comprende del 10 de enero al 28 de febrero del 2021 (P2), con un  
12 total de 1,017 horas (49 días) registradas en la recepción del caso de estudio (RV) que también  
13 funge como sala de espera y transición entre oficinas, esta tiene un área de suelo de 21.2 m<sup>2</sup> y  
14 volumen de 57.2 m<sup>3</sup>, cabe destacar RV está en conexión con el área trabajo múltiple (O6) y  
15 Cocineta (COC), lo que permite una mezcla de volumen de aire de 57 m<sup>3</sup> (área de suelo en  
16 conjunto de 21.2 m<sup>2</sup>); la distribución de estos espacios y ubicación del monitor se observa en la  
17 Figura 9.

18           Es importante mencionar que, debido a fallas eléctricas, el dispositivo de monitoreo se  
19 desconectó, lo que ocasionó la pérdida de conexión a internet y no se obtuvieron registros; esto  
20 representa para P1, la pérdida de 130 horas (5.4 días) en datos, y para P2, un total de 168 horas  
21 (7 días) sin registro de información.



1  
2 *Figura 9. Planta arquitectónica baja, indica ubicación del monitor ambiental (estrella) para P1:*  
3 *Recepción y vestíbulo (RV) y P2: Oficina 5 (O5). Elaboración propia*

4  
5 Las variables monitoreadas fueron referentes a dos parámetros de bienestar ambiental  
6 interior: 1) Calidad higrotérmica, de la que se registró Temperatura de Bulbo Seco (TBS) y  
7 Humedad Relativa (HR); y 2) Calidad de aire, que se subdivide en: a) Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>),  
8 b) Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) y c) Material Particulado (MP).

9 El análisis de las variables monitoreadas se presenta a partir de gráficas, tablas y matrices  
10 de puntuación mostrada en la sección 3.4, para determinar en base a rangos obtenidos a partir de  
11 normas internacionales descritas en la sección 2.5, si la calidad del aire se encuentra en los  
12 rangos recomendados según el tipo de zona analizada.

13 Como medio de interpretación de los 23,900 datos registrados en el monitoreo (11,692 en  
14 P1 y 12,208 en P2), se presenta la Tabla 17, que describe mediante distintos valores la

- 1 calificación dentro de la matriz de puntuación, del valor máximo, mínimos y promedios, así  
 2 como la oscilación entre máximo y mínimo; además se estimaron los percentiles 5, 50, y 95 (P5,  
 3 P50 y P95), así como su desviación estándar (D.E.).

4 *Tabla 17. Niveles monitoreados al interior del caso de estudio.*

Parámetro / Valor	Temperatura de Bulbo Seco(°C)		Humedad Relativa (%)		Dióxido de Carbono (ppm)		Compuestos Orgánicos Volátiles (ppb)		Material Particulado 2.5 y 10 (Ug/m3)	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
<b>Max</b>	27.4	23.1	50.7	64	2622	2755	21910	6684	1,000.0	230.9
<b>P 95</b>	26.2	22.2	43	55	1354	900	3681	1848	31.5	25.6
<b>P 50</b>	20.5	20.0	34	40	636	648	947	682	31.5	5.1
<b>P 5</b>	17.3	17.3	28	24	400	410	333	268	1.8	1.1
<b>Min</b>	16.7	14.0	22	15	400	400	24	20	1.0	0.3
<b>Prom</b>	20.7	19.9	34	39	718	752	1273	814	23.8	7.8
<b>Desv. Est</b>	2.6	1.5	5	9	306	355	1227	596	105.8	8.8
<b>Oscilación max-min</b>	10.7	9.1	29.0	49.0	2222	2355	21886	6664	999.0	230.6
<b>Horas dentro de rango (%)</b>	18%	7%	10%	39%	45%	42%	5%	11%	72%	87%
<b>Horas fuera de rango (%)</b>	82%	93%	90%	61%	55%	58%	95%	89%	28%	13%
<b>Horas analizadas</b>	974	1017	974	1017	974	1017	974	1017	974	1017
Calificación aplicada a valores:										
	Bienestar		Aceptable		Moderado		Insalubre			Muy insalubre

Notas: Max (Valor máximo), P 95 (Percentil 95), P 50 (Percentil 50), P5 (Percentil 5)

Min (Valor mínimo), Prom (Promedio total), Desv. Est. (Desviación Estándar)

P1 (Periodo 1, corresponde a valores entre noviembre y diciembre)

P2 (Periodo 2, corresponde a valores entre enero y diciembre)

Elaboración propia

5

6

1 A continuación, se presenta un análisis detallado y su interpretación por distintos  
2 comportamientos durante el monitoreo.

3

#### 4 **4.1.1 OCUPACIÓN**

5 La ocupación se describe mediante tres patrones de comportamiento distintos que toman  
6 en cuenta la cantidad de personas, su entrada y salida del espacio a lo largo del día.

7 Durante el horario laboral se consideran dos actividades básicas, la primera que refleja  
8 trabajo de oficina ligero que representa una aportación de calor individual de 117 W, y la  
9 segunda de un caminado ligero, que aporta 123 W de calor por persona, la cantidad de personas  
10 que ocupan la planta baja del caso de estudio, se detalla en la Tabla 18.

11

12

*Tabla 18. Ocupación planta baja del edificio.*

TRABAJADORES		CANTIDAD (PERSONAS)	EDAD PROMEDIO
PLANTA BAJA	HOMBRES	7	30
	MUJERES	3	34
	CLIENTES	9	N/A

Elaboración propia

13

14 El primer patrón (OCUP-A) se refiere al horario laboral entre lunes y viernes, el cual  
15 inicia a las 09:00 horas con una ocupación del 16%, después aumenta a 47% a partir de las 11:00  
16 horas; posterior a esto, la ocupación fluctúa entre el 47% y 74% hasta las 15:00 horas, en que  
17 vuelve a 47% de ocupación.

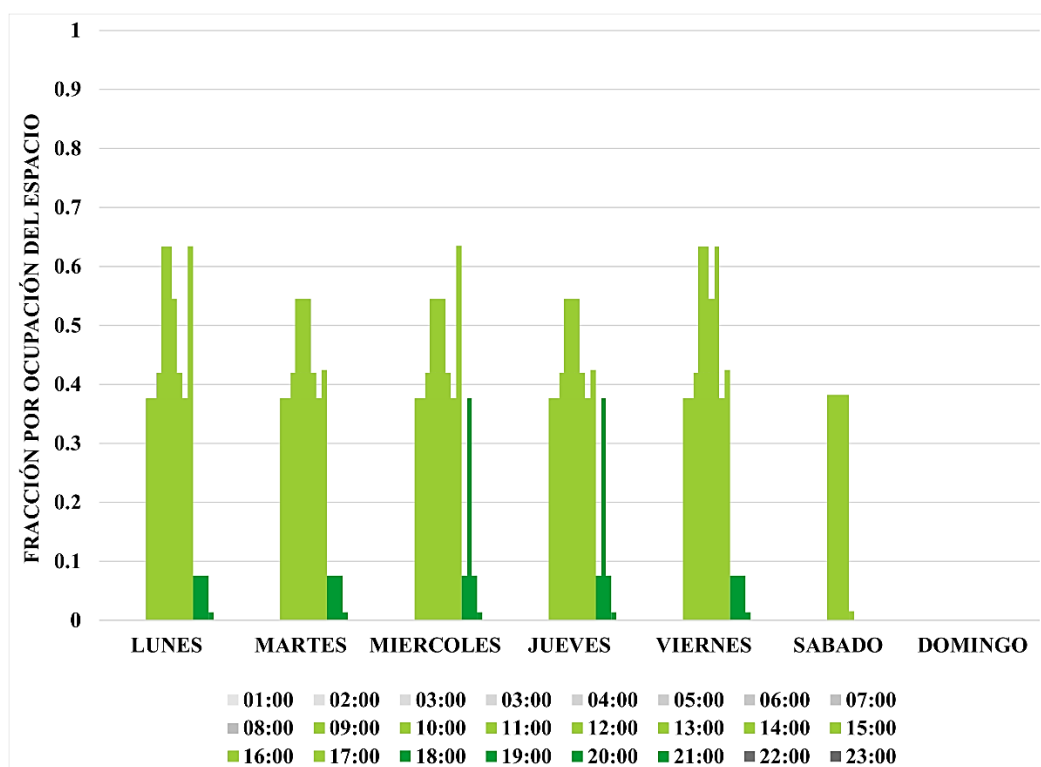
18 El horario laboral para la mayoría de los trabajadores termina a las 17:00 horas, sin  
19 embargo, se considera una extensión de trabajo hasta las 21:00 horas en que la ocupación es de

1 16%. Durante las 17:00 y las 21:00 horas, se programan citas en algunas ocasiones, lo que puede  
 2 aumentar la ocupación del espacio hasta un 74%.

3 El segundo patrón de ocupación (OCUP-B) se repite cada sábado, ya que de las 10:00 a  
 4 12:00 horas la ocupación es de 11%.

5 Por último, se considera un tercer patrón de ocupación (OCUP-C), referente al domingo o  
 6 día inhábil en el que el edificio está desocupado; en la Figura 10 se puede observar una gráfica  
 7 de barras referente a la fracción por ocupación de los distintos patrones, en donde 0 es  
 8 desocupado y 1 es ocupado en su totalidad.

9



10

11 *Figura 10. Fracción por ocupación de personas del espacio en P1. Elaboración propia.*

12

## 1 **4.1.2 CALIDAD HIGROTÉRMICA**

2 Dos de las principales variables climáticas que permiten al usuario experimentar el  
3 confort ambiental interior son la TBS y HR, sin embargo, dependerá de diversas circunstancias  
4 ambientales, tales como época del año, humedad y velocidad del aire, corporales y sociales como  
5 vestimenta, actividad física y metabólica, o bien, circunstancias culturales y de vida, para poder  
6 determinar un bienestar higrotérmico (Kong et al., 2019) tal como se explica en la sección 2.3.4.

7 Fanger, (1970), establece que una persona que viste prendas ligeras como pantalón y  
8 camisa de manga larga podría experimentar una sensación de confort cuando se encuentre en un  
9 espacio con TBS de 24 °C, siempre y cuando el ambiente tenga aire en calma y esta persona se  
10 encuentre en reposo; este rango de confort se puede extender en  $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ , es decir entre los 22.5°C  
11 a 26.5°C (ASHRAE, 2019).

12 No obstante, para que el usuario se sienta en confort, el ambiente debe tener una HR de  
13 entre 20-30% en la temporada de invierno y de 50-60% en verano (ASHRAE, 2019); sin  
14 embargo, es importante recalcar que la TBS y HR ideal estará determinada por la actividad que  
15 el usuario realice.

16 De acuerdo con las actividades predominantes del edificio se determinó en base a las  
17 investigaciones plasmadas en la sección 2.3.4 y 2.4.1 que el rango de bienestar para la calidad  
18 higrotérmica será con TBS interior entre 22-26 °C con HR entre 40-50%, tal como ASHRAE,  
19 (2019) recomienda; la escala completa se puede observar en la sección 2.4.1.

20

### 21 **4.1.2.1 COMPORTAMIENTO HIGROTÉRMICO EN PERIODOS.**

22 A continuación, se describe los datos de TBS y HR en el periodo de monitoreo, el cual  
23 opera sin climatización artificial.

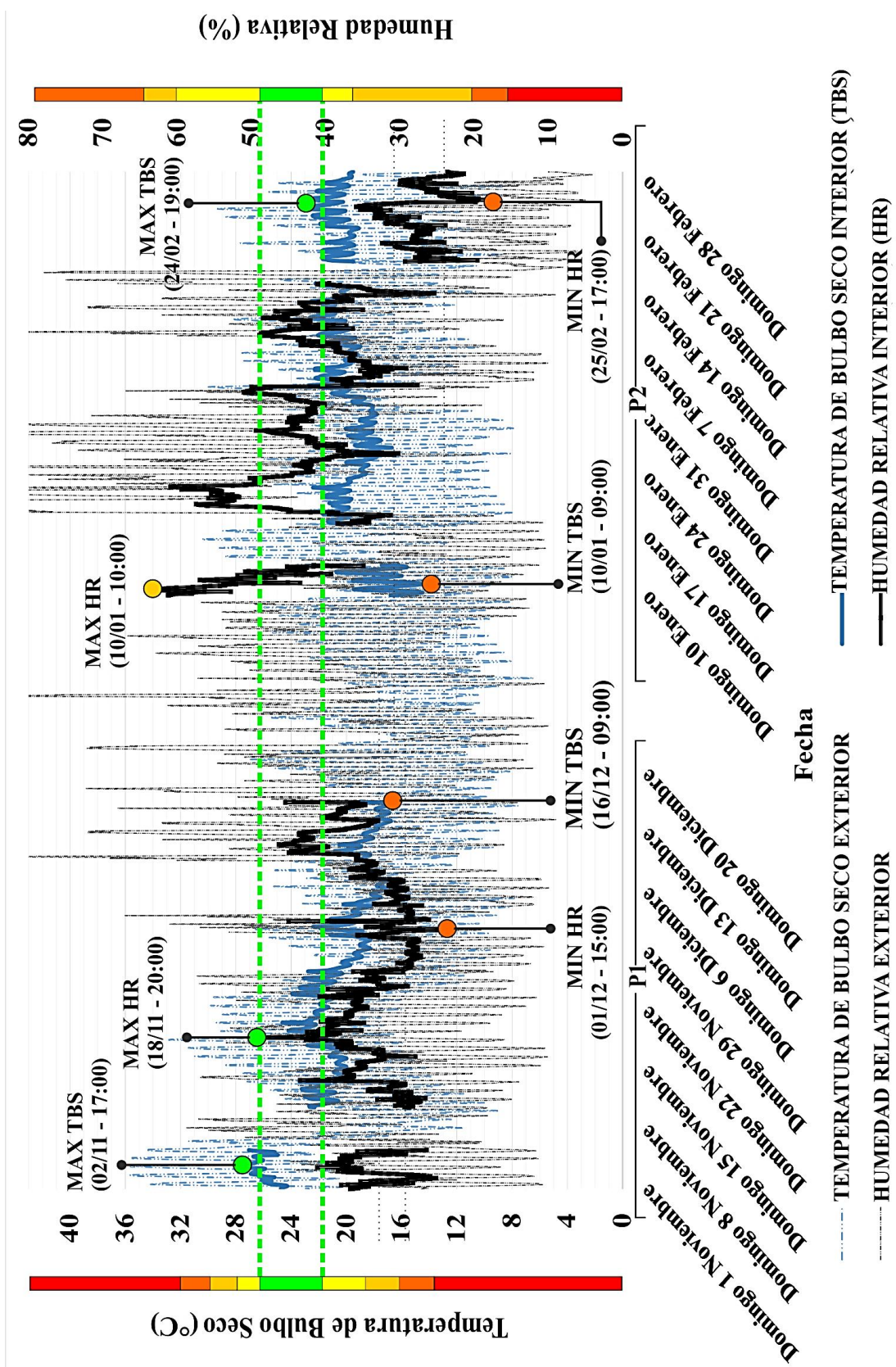
1           En el primer periodo de monitoreo (P1) de calidad higrotérmica en O5, se estimó que  
2 solo 176 horas (18%) de las 974 horas (h) monitoreadas se encuentran entre 22-26 °C, esto  
3 representa que el 82% del tiempo, el espacio estuvo fuera de “bienestar”; además, en términos de  
4 HR, 100 h (10%) se registraron valores entre 40-50%, que representa un 90% de los datos fuera  
5 de “bienestar”.

6           En el análisis del conjunto de datos resumido en la Tabla 17, se estimó que el 49% del  
7 tiempo, la calificación de TBS se encuentra “aceptable” y el 32% como “moderada” con tendencia  
8 a ambientes con sensación fresca desde noviembre hasta diciembre; estos valores se pueden  
9 observar gráficamente en la Figura 11.

10           Para el segundo periodo de monitoreo (P2), solo el 6.8% del total de horas registradas (67  
11 de 1,017 h) se encuentran con TBS de “bienestar” entre 22-26°C, estos datos se encuentran  
12 distribuidos en su mayoría durante las tardes de febrero entre las 17:00-20:00 h, sin embargo, lo  
13 que respecta a HR del mismo periodo, se registra una mejor humedad en el espacio ya que el  
14 39% del total de datos (393 de las 1017 h) se encuentran en “bienestar” al tener HR entre 40-  
15 50%.

16           El resto de los datos de TBS se encuentran divididos con un 70.4% entre 19-22 °C  
17 (calidad “aceptable”), 20.3% de TBS “moderada” (entre 16-19°C) registrados en su mayoría  
18 durante 11:00-21:00 h de enero. Finalmente, el 2.5% de datos restantes se encuentran con TBS  
19 entre 13-16 °C registrados durante las 8:00-9:00 h del 11 al 13 de enero, esto indica una  
20 sensación fría para estas horas.

21



1  
2

Figura 11. Monitoreo de calidad higrotérmica en P1 (O5) y P2 (RV). Elaboración propia

1           Así mismo, en cuanto a HR, predomina un ambiente ligeramente más “seco”, pues 33%  
2 de los datos se encuentran con calidad “moderada” al estar dentro del 20-35% de HR; además,  
3 un 15% del total de datos se encuentran entre 35%-40% de HR. El resto de los datos, se  
4 consideran de sensación más húmeda, al superar el 50% de HR, 11% en calidad “aceptable” y  
5 1% en calidad “moderada”.

6           El promedio general de TBS en P1 fue de 20.7 °C registrados en su mayoría durante el  
7 mes de noviembre con una HR de 34.1%; esto se traduce según la matriz de puntuación, en una  
8 calidad “aceptable” respecto a TBS con una sensación ligeramente frío y de HR “moderado”; sin  
9 embargo, en términos de recomendaciones de ASHRAE, (2019) para oficinas, explicados en la  
10 sección 2.3.4, estos mismos valores representarían una TBS adecuada para el usuario, pero con  
11 una HR ligeramente por encima del 30% sugerido para mejorar su productividad.

12           En el espacio P2, se estimó una TBS promedio de 19.9°C que se considera por ASHRAE,  
13 (2019) como sensación ligeramente fresca, pero de calificación “aceptable”; con una HR de 39%  
14 considerado como un ambiente de humedad “aceptable”.

15           Al comparar la calidad higrotérmica entre los dos periodos monitoreados, se observa un  
16 ambiente más fresco y húmedo en P2 que en P1.

17

#### 18           **4.1.2.2 CALIDAD HIGROTÉRMICA SEMANAL.**

19           A continuación, se describe el comportamiento higrotérmico de la edificación durante la  
20 semana del 25 al 31 de enero como semana representativa del espacio P2, para explicar los distintos  
21 valores de TBS y HR que se repiten en la Figura 11, y así conocer el comportamiento con respecto  
22 a los tres patrones de ocupación explicados en la sección 4.2.1.

1           La TBS durante el patrón OCUP-A se mantiene mayormente en calificación “aceptable”  
2 con el registro de TBS más alto por la tarde (lunes, martes y viernes a las 17:00 h, miércoles a las  
3 18:00 h y jueves a las 21:00 h).

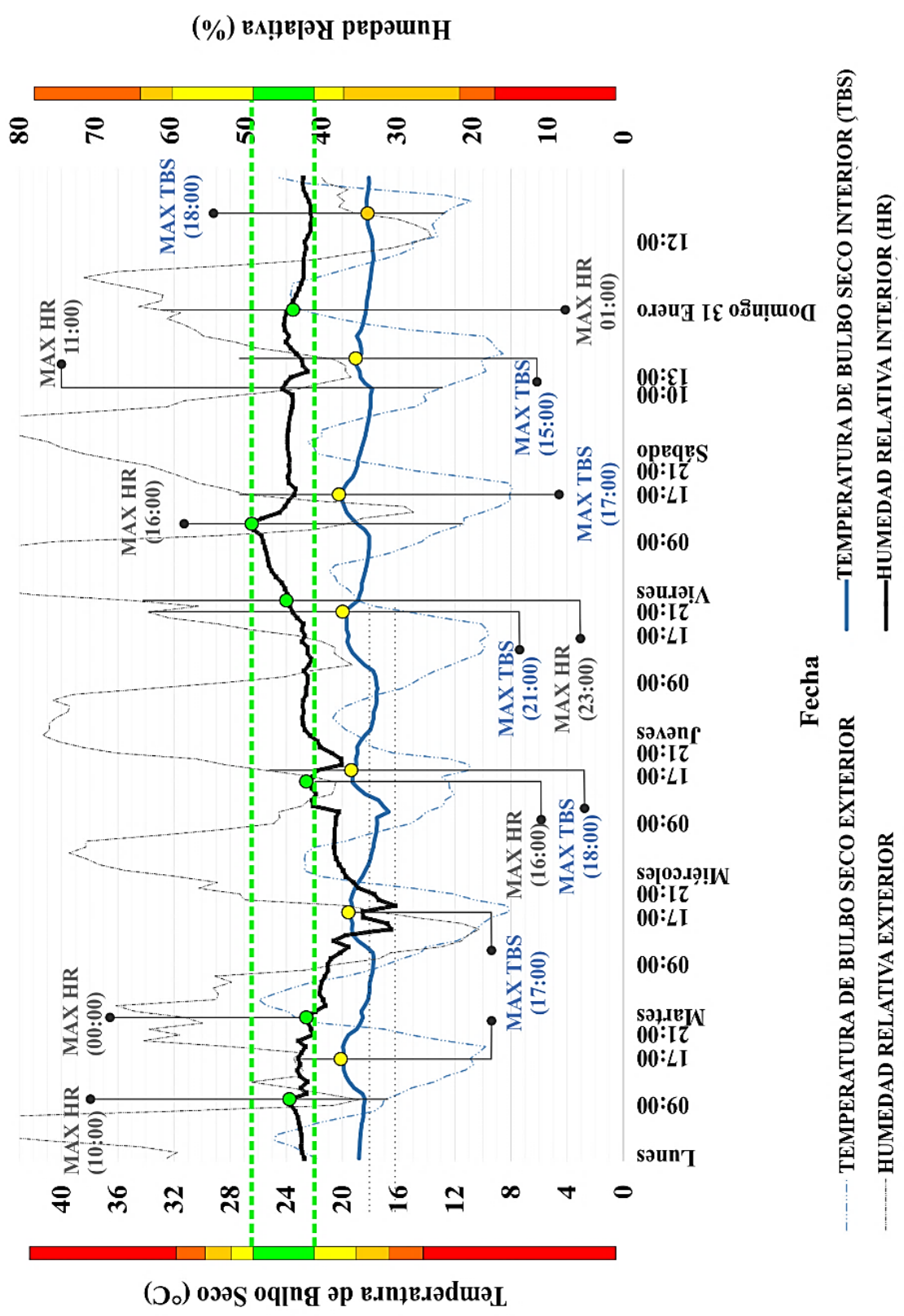
4           En el caso de los valores de HR, los datos se encuentran en su mayoría dentro del rango  
5 de bienestar, pues los registros de humedad más altos no superan el 50% de humedad  
6 recomendado para un ambiente óptimo; la hora del día con este registro máximo se puede  
7 observar en la Figura 12.

8           La TBS promedio durante la jornada laboral normal de OCUP-A (9:00-17:00 h) es de  
9 19°C, que dentro del matriz de puntuación se cataloga como “aceptable”, ligeramente por debajo  
10 de la recomendación de ASHRAE, (2019) para propiciar la productividad del usuario.

11           La HR durante OCUP-A, se mantiene en nivel de “bienestar” con un promedio de lunes a  
12 viernes de 41.5%; se observa en la Figura 12, que la humedad del espacio disminuye en 0.5%  
13 desde las 09:00-17:00 h, a pesar de que al exterior la humedad disminuye en 5% desde las 09:00-  
14 14:00 h.

15           En esta semana representativa se observa que el lunes a las 09:00 h, la TBS es de 20.5°C  
16 con HR de 29%, que se considera dentro de la matriz de puntuación como una TBS “aceptable”  
17 pero con humedad “moderada”.

18



1  
2  
3

Figura 12. Comportamiento higrotérmico semana representativa de P2. Elaboración propia

1           En cuanto al comportamiento térmico de la TBS exterior, se encontró que entre las 8:00-  
2 9:00 h hay un aumento de 1.6 °C que repercute tres horas después en la TBS interior, ya que es a  
3 partir de las 11:00 h en que la TBS aumenta gradualmente. Sin embargo, mientras la TBS  
4 exterior disminuye a partir de las 14:00 h, la TBS interior aumenta 0.2 °C debido a la falta de  
5 masa térmica, así como el aumento en la ocupación del edificio después de esta hora. La TBS  
6 tiene su registro máximo entre las 17:00-21:00 h, esto es tres a seis horas después de la TBS  
7 exterior.

8           En el caso del fin de semana en los periodos OCUP-B y OCUP-C, se presentan aumentos  
9 de TBS exterior, de las 08:00-09:00 h, sin embargo, se encuentra un comportamiento  
10 higrotérmico diferente a OCUP-A, ya que el sábado el registró máximo de TBS se da a las 14:00  
11 h, al igual que en el exterior, sin embargo, en este mismo día, la TBS máxima para OCUP-B  
12 aumenta en 0.2°C a las 14:00 h y representa el pico del día.

13           A pesar de que el edificio se desocupa el sábado a las 14:00 h, se registra la misma TBS  
14 dos horas después, lo que indica que el calor por ocupación se mantiene en el espacio después de  
15 que se termina el horario laboral. La TBS promedio durante el horario laboral de OCUP-B es de  
16 18.7 °C, que dentro del matriz de puntuación se cataloga como “aceptable”, ligeramente por  
17 debajo de OCUP-A que se encuentra en 19 °C; esta diferencia se debe a la cantidad de personas  
18 que se encuentran en el espacio.

19

### 20 **4.1.3 DIÓXIDO DE CARBONO**

21           La concentración de CO<sub>2</sub> es un indicador de la calidad de entrada de aire “limpio” a los  
22 espacios. ASHRAE, (2019), recomienda que las edificaciones deben tener niveles de

1 concentración inferiores a 700 ppm para evitar un efecto negativo al usuario; y considera como  
2 rango adecuado valores de entre 300 ppm y 500 ppm.

3 Sin embargo, distintos autores establecen que el aire exterior en promedio tendrá una  
4 concentración de 400 ppm (Hashimoto, 2019; SEMARNAT, 2019a; ASHRAE, 2019). Derivado  
5 estas fuentes, se establece como concentración mínima a considerar 400 ppm de CO<sub>2</sub>.

6 Como se describe en la sección 2.3.3, las emisiones naturales de CO<sub>2</sub>, están relacionadas  
7 principalmente al número de ocupantes de un espacio, así como la actividad que realiza; se  
8 estima que, si en promedio una persona exhala 1,000 gr de CO<sub>2</sub> al día (Consejo para la Defensa  
9 de los Recursos Naturales, 2021), en un periodo laboral, este produciría 42 gr cada hora. Otras  
10 fuentes de emisiones que podrían aumentar los niveles de concentración al interior de edificios  
11 de oficina están relacionadas a la presencia de plantas, así como a descomposición de materia  
12 orgánica; más información relacionada a este tema se puede revisar en la sección 2.3.3.2.

13 Para el presente monitoreo ambiental se consideró que entre los 400-600 ppm, la  
14 concentración se encuentra en rango de “bienestar”, además se especifica en la matriz de  
15 puntuación que de 600-1,000 ppm se considera “aceptable”; de 1,000-1,500 ppm “moderado”; de  
16 1,500-2,500 ppm “insalubre” y cuando la concentración es superior a 2,500 ppm la calidad será  
17 “muy insalubre”; estos valores están basados en ASHRAE, (2019), y OMS, (2000).

18

#### 19 **4.1.3.1 CONCENTRACIÓN DE CO<sub>2</sub> EN PERIODOS DE MONITOREO.**

20 A continuación, se describe un análisis general de datos monitoreados con el fin de  
21 conocer promedio de concentración en cada periodo y su comportamiento horario.

22 En P1, el monitoreo para O5, en donde labora una persona y recibe clientes de forma  
23 esporádica, se registró un valor máximo de 2,622 ppm el 16 de diciembre a las 17:30 h, después

1 de un periodo de cuatro horas sin apertura de ventanas y de 8 h de ocupación; dicho valor  
2 representa de acuerdo con la escala planteada una condición de “muy insalubre” al estar por  
3 encima de los 2,500 ppm.

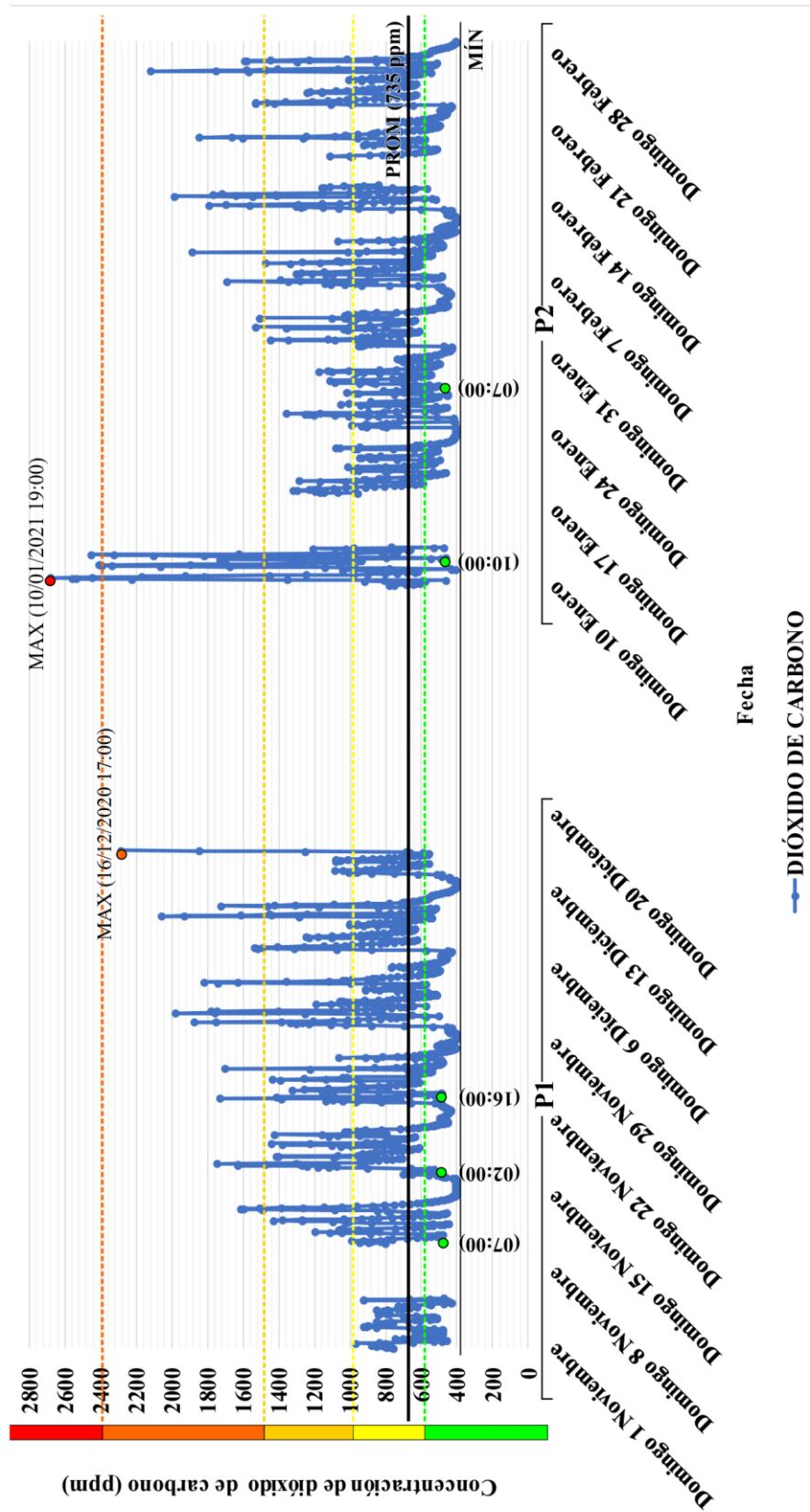
4 Tras analizar los datos registrados y contrastarlos con las actividades semanales, se  
5 encontró que el día en que se labora en un periodo más largo, los niveles de concentración de  
6 aire suben por encima de los 1,000 ppm, que representa una calidad de aire “moderado”.

7 A pesar de estos valores, esta oficina cuenta con una concentración promedio de 718  
8 ppm, valor que sobrepasa la recomendación de ASHRAE, (2019), para una concentración de  
9 bienestar, y cae dentro de la escala establecida como “aceptable” al estar por encima de los 600  
10 ppm.

11 Del conjunto de datos analizados en este periodo solo el 41% del tiempo monitoreado, la  
12 concentración de CO<sub>2</sub> está debajo del límite para una calidad de concentración de “bienestar”; el  
13 registro de datos se puede observar de forma gráfica en la Figura 13.

14 En la zona RV evaluada durante P2, se encontró un promedio de concentración de CO<sub>2</sub>  
15 de 755 ppm que, al igual que P1, indica una calidad de aire “aceptable”; el valor pico fue de  
16 2,755 ppm el 12 de enero a las 20:25 h después de un periodo de ocupación variable de 11 h, sin  
17 embargo, el aumento se atribuye a un periodo de 5 h con poca apertura de puertas.

18



1  
2

Figura 13. Concentración de CO<sub>2</sub> monitoreados en P1(O5) y P2 (RV). Elaboración propia

1           Es importante recalcar que esta zona es de transición y espera, con un mayor flujo de  
2 personas y actividades que eleva la concentración de CO<sub>2</sub>, sin embargo, el registro de datos para  
3 este periodo de monitoreo indica que el 45% del tiempo, la concentración está dentro del rango  
4 de bienestar, lo que indica que el espacio tiene una renovación de aire mayor que O5 debido al  
5 abrir y cerrar de la puerta principal, además, debido a distribución espacial de la zona, los  
6 espacios cercanos a RV permiten diluir la concentración de CO<sub>2</sub> más rápido, ya que en la zona  
7 Cocineta se encuentra una ventana que permanece abierta durante la mañana.

8           Por consiguiente, se encuentran similitudes en las observaciones planteadas para P1 y P2,  
9 a pesar de las diferencias por área de suelo y número de personas en el espacio. Además, dichas  
10 similitudes se reflejan en las horas dentro del rango del rango de bienestar presentados en la  
11 Tabla 17, y permite entender que la TBS y HR al exterior e interior del edificio no es un factor  
12 determinante para el nivel de concentración del periodo de frío, si no, que la ocupación del  
13 espacio y renovación de aire, son factores con mayor relevancia.

14

#### 15           **4.1.3.2 CONCENTRACIÓN DE CO<sub>2</sub> EN SEMANA REPRESENTATIVA.**

16           Para mayor precisión sobre las similitudes en cuanto a patrones de comportamiento, se  
17 analiza y relaciona distintos escenarios durante una semana representativa del periodo de  
18 monitoreo en RV, los cuales se describen a continuación:

19           Se tomó como referencia la semana del 25 al 31 de enero para entender la relación entre  
20 la concentración de CO<sub>2</sub> y la ocupación del edificio, ya que en estos días se registraron valores  
21 cercanos o iguales al P5, P25 y P95 que se muestran en la Tabla 17.

22           Así pues, de lunes a viernes, se encuentra que desde las 00:00 h el CO<sub>2</sub> disminuye  
23 paulatinamente debido a que no hay ocupación; es hasta las 10:00 h en que se registra la

1 concentración más baja, con un promedio de 475 ppm, que se cataloga en la matriz de  
2 puntuación como “bienestar”.

3           Esto indica que la ocupación afecta la concentración dos horas después del inicio del  
4 horario laboral (09:00 h) ya que a partir de las 11:00, la concentración pasa a una calidad de aire  
5 “aceptable” con un promedio de 605 ppm.

6           De las 11:00-14:00 h la concentración de CO<sub>2</sub> continua en aumento en 93 ppm por hora,  
7 la oscilación entre valores se relaciona con el flujo de empleados y clientes durante el transcurso  
8 del día, el cual se puede observar en la Figura 10 y Figura 14.

9           Los niveles más altos de CO<sub>2</sub> se encuentran a partir de las 14:00 h; con mayor  
10 concentración en lunes, al tener un promedio de 970 ppm, disminuye entre martes (771 ppm) y  
11 miércoles (685 ppm), pero aumenta entre jueves (820 ppm) y viernes (905 ppm); esto es  
12 consistente con el flujo de ocupantes, ya que al inicio de semana se da un mayor flujo de  
13 clientes; en la Figura 14, se puede observar cómo estos valores altos de concentración se repiten  
14 durante las horas analizadas en este periodo.

15           Respecto a OCUP-B, el nivel más bajo de concentración se encuentra también a las 10:00  
16 h con una puntuación de “bienestar”; esta puntuación perdura hasta las 12:00 h, ya que posterior  
17 a medio día, los niveles de concentración superan el límite para una concentración de bienestar, y  
18 pasa a concentración “aceptable”, ya que entre las 12:00-16:00 h la ocupación fluctúa entre 47%  
19 a 74%.

20



1 Durante el periodo desocupado (OCUP-C), el nivel más alto de concentración se registró  
2 a las 00:00 h con 615 ppm y disminuye en un promedio de 9 ppm por hora ya que no hay fuentes  
3 de emisión de CO<sub>2</sub>.

4 El análisis de los resultados del monitoreo muestra un vínculo entre la concentración de  
5 CO<sub>2</sub> (Figura 14) y los patrones de ocupación del edificio (Figura 10) determinada a partir de la  
6 segmentación por hora, en la que se infiere que a pesar de que el número de usuarios disminuya,  
7 el gas emitido por su exhalación dura un par de horas después de que este se retiró del espacio.

8

#### 9 **4.1.3.3 CONCENTRACIÓN CADA 8 HORAS.**

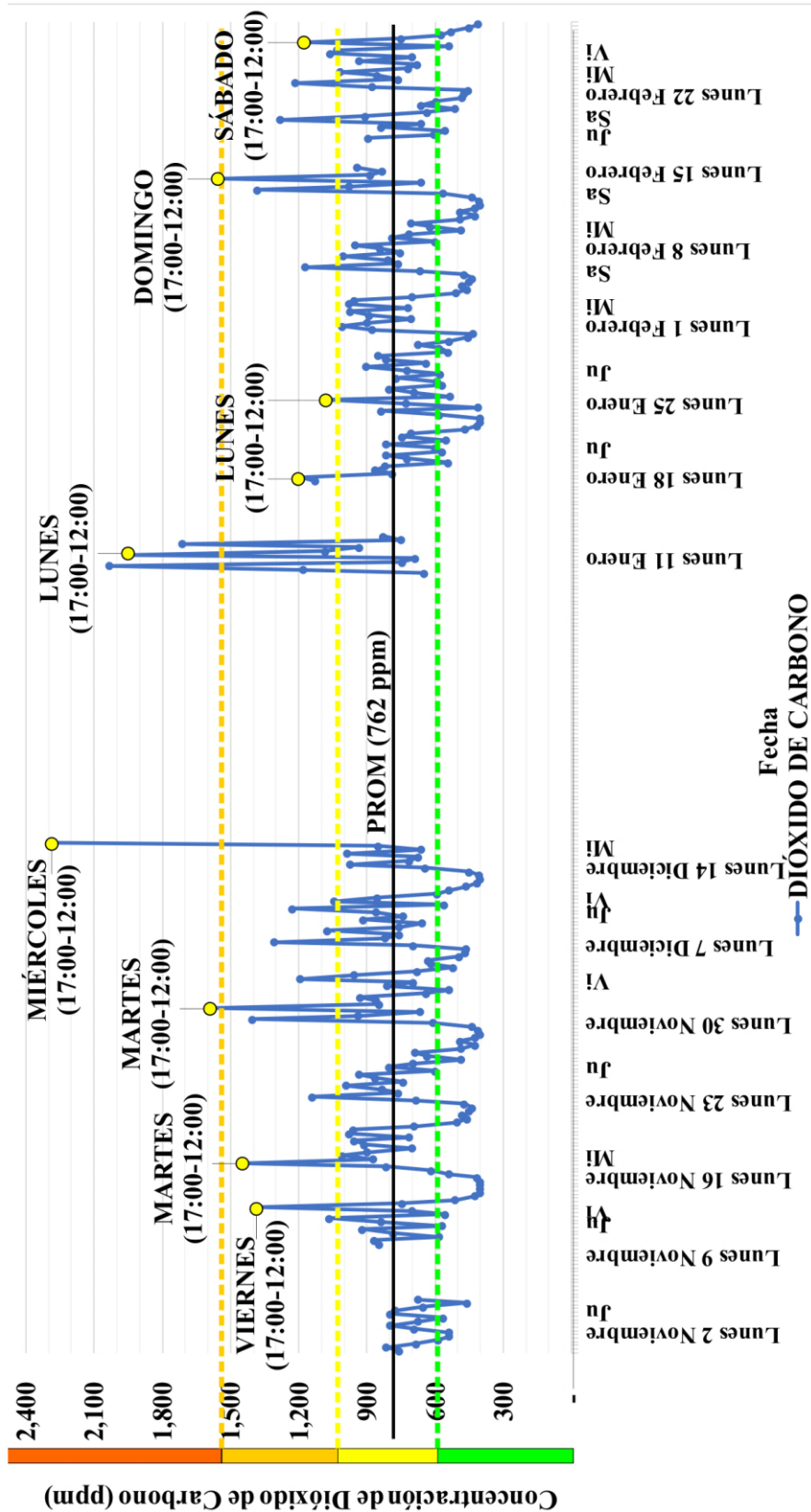
10 Los valores de concentración de CO<sub>2</sub> en el aire fueron segmentados en periodos de 8 h  
11 para establecer el nivel de daño que los trabajadores podrían tener a su salud debido a la  
12 exposición a este contaminante.

13 En P1 las concentraciones más altas se dan a partir de las 17:00 h, con una calidad de aire  
14 “moderado” que hace referencia a un promedio superior a los 1,000 ppm hasta calidad  
15 “insalubre” ya que en ocasiones supera los 1,500 ppm. Estos valores se presentan la mayor parte  
16 del periodo, en martes debido a que el usuario trabaja hasta más tarde, sin embargo, en días  
17 esporádicos hay concentraciones similares, debido a que la ventana permanece cerrada a partir de  
18 que baja el sol como medida de protección del frío.

19 Los segmentos de concentración más altos para P2 se registran también a partir de las  
20 17:00 h, pero en lunes al considerarse el día con mayor afluencia de personas; es así, que el  
21 efecto del flujo de usuarios durante el horario laboral, se ve reflejado en un periodo de 3-6 horas  
22 posterior al pico de usuarios debido a que a partir de las 14:00 h la afluencia de personas

1 disminuye, por lo que también disminuye el abrir y cerrar de puerta (fuente para renovar aire),  
2 pero al interior se continúa con actividades laborales.

3 Las concentraciones máximas se pueden observar en la Figura 15, misma que al  
4 compararse con la Figura 13 permite entender que a pesar de tener valores de concentración  
5 “muy insalubres” en un corto periodo de tiempo (hora a hora), la exposición del usuario no será  
6 tan grave, pero afectará principalmente a “grupos sensibles”. Esto representa problemas a los  
7 usuarios, pero en un grado distinto que depende del tiempo de exposición del mismo.



1

2

Figura 15. Concentración de CO<sub>2</sub>, segmentado en periodos de 8 horas. Elaboración propia.

#### 1 **4.1.4 COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLATILES**

2 Los materiales de construcción y acabados del edificio, pueden ser fuentes importantes de  
3 contaminación del aire interior ya que desprenden COV, sin embargo, otros materiales presentes  
4 en mobiliario y decoración, así como equipos electrónicos y productos de limpieza, pueden ser  
5 grandes fuentes de contaminación ambiental (ASHRAE, 2019). Más detalles sobre estas  
6 concentraciones y materiales se pueden encontrar en la sección 2.3.3.

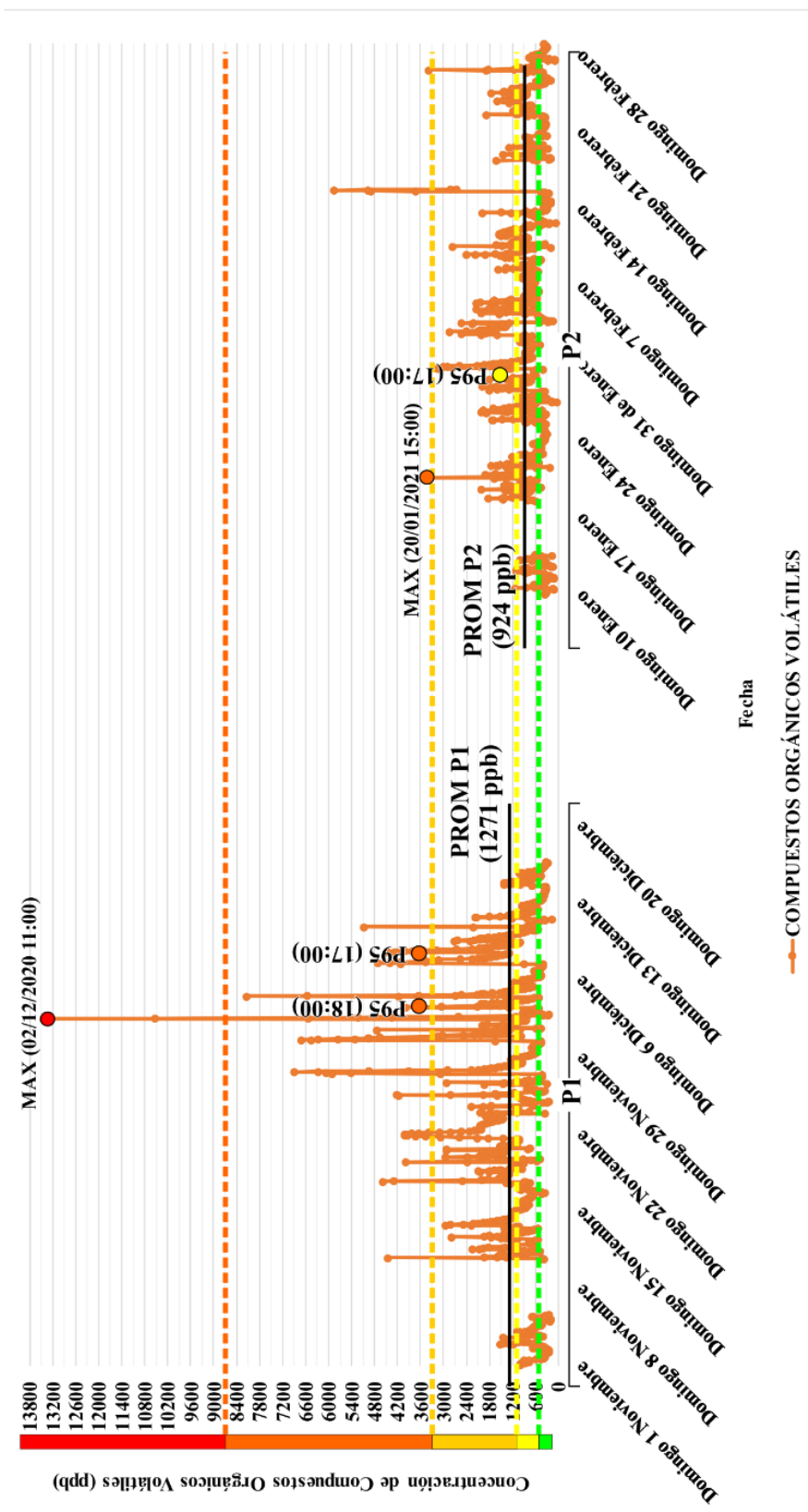
7 Así pues, después de analizar índices de aire, se establece que concentraciones menores a  
8 333 ppb la calidad será de “bienestar”; de 333-1,000 ppb “aceptable”; de 1,000-3,333 ppb  
9 “moderado” que afecta principalmente a grupos sensibles; de 3,333-8,332 “insalubre” y  
10 finalmente, cuando la concentración supera los 8,332 ppb se considera “muy insalubre”.

11 Los riesgos a la salud asociados a cada calificación se describen en la sección 2.3.3, así  
12 mismo, las equivalencias con otros índices de calidad de aire se muestran en la Tabla 16, de la  
13 sección 2.4.1.

14 Del conjunto de datos monitoreados en P1 sobre COV, se estimó que el 95% del tiempo  
15 la concentración de contaminantes en el aire está fuera del nivel de “bienestar”, esto representa  
16 que solo 49 h de las 974 h monitoreadas se encuentran concentraciones por debajo de los 333  
17 ppb.

18 Respecto al resto de las horas monitoreadas, el 48.3% del tiempo, la concentración se  
19 encontró en calidad “aceptable”, 40.6% en calidad “moderada”, 5.9% del total de datos se  
20 consideran con valores “insalubres” y 0.2% “muy insalubres”. Estos datos se pueden observar  
21 gráficamente en la Figura 16, mismos que determinan un problema importante de contaminación.

22



1

2

Figura 16. Concentración de COV monitoreados en P1(O5) y P2 (RV). Elaboración propia

1           Además, se observan algunos patrones de alta concentración que se repite semanalmente  
2 a las 12:00-17:00 h, en que la concentración de COV se eleva a nivel “insalubre” al registrarse  
3 valores por arriba de los 3,333 ppb, que coincide con los días de la semana en que se realiza la  
4 limpieza.

5           Cabe destacar, que el pico de P1 fue de 21,909 ppb a las 10:40 horas del 2 de diciembre,  
6 debido a un proceso de sanitización del edificio que elevó la concentración a “muy insalubre”  
7 desde las 10:25-11:50 h. A pesar de esta máxima atípica, la concentración promedio por hora fue  
8 de 13,424 ppb a las 11:00 h, que se puede observar en la Figura 16.

9           Para esta situación atípica, se observa que los compuestos esparcidos para sanitizar,  
10 disminuyen gradualmente con el pasar de las horas y se requieren al menos 8 horas para que la  
11 concentración se considere como “bienestar”.

12           Al examinar P2, se estima que, de las 1017 h monitoreadas, el 89% del tiempo se  
13 encuentra una concentración por encima de los 333 ppb, lo que representa que solo 112 h se  
14 encuentra en “bienestar”, ligeramente mejor que P1.

15           Para este periodo, se registra el 63.5% del total de como “aceptable”, 24.7% “moderado”  
16 y 0.8% “insalubre”, sin presentarse valores “muy insalubres”; sin embargo, que el 89% del  
17 monitoreo se encuentre fuera de bienestar, representa un problema serio de contaminantes por  
18 COV para esta zona del edificio.

19           Es importante mencionar que no se encuentra un patrón de comportamiento tan claro  
20 como en P1, a excepción que desde las 09:00-11:00 h la concentración de gases en el aire está  
21 por debajo de los 1,000 ppb, que se relaciona con el abrir y cerrar de puertas registrado en la  
22 bitácora.

1           La concentración máxima se dio el 15 de febrero a las 17:00 h con 5,841 ppb, sin  
2 embargo, el nivel comenzó a subir dos horas antes; esto indica que la fuente de emisión de COV  
3 está relacionada con las actividades del espacio ya que a partir de las 14:00 h las labores de  
4 oficina se incrementan, al igual que el número de personas que ocupan el espacio. Esto podría ser  
5 un factor determinante ya que el estacionamiento está 3 m de la puerta principal de RV y ventana  
6 de O5.

7

#### 8           **4.1.4.1 CONTAMINACIÓN DE COV EN UNA SEMANA REPRESENTATIVA.**

9           La semana del 25 al 31 de enero fue tomada como muestra para analizar a detalle las 24  
10 horas de cada día con relación a los tres patrones de ocupación del espacio con el fin de analizar  
11 la tendencia en el conjunto de datos.

12           Durante el patrón de comportamiento OCUP-A, se registraron valores de concentración  
13 de “bienestar” lunes entre 10:00-11:00 h, martes a las 10:00 h y miércoles entre las 11:00 h-  
14 13:00 h, que se puede asociar con la ventilación de la puerta principal ya que antes de iniciar la  
15 jornada laboral a las 9:00 h, la concentración de COV en el ambiente se encuentra con valores  
16 por encima de los 333 ppb, mismos que se pueden observar en la Figura 17.

17           Los niveles más altos se encuentran a partir de las 20:00 h en que la concentración pasa a  
18 nivel “moderado” al superar los 1,000 ppb; entre las fuentes de emisión que dispararon la  
19 concentración de gas se encuentra el uso de la copiadora y cafetera, sin embargo, este aumento  
20 tarda 4 horas en bajar concentración hasta llegar a una calidad “aceptable”, lo que indica poca  
21 ventilación por las tardes.

22



1 De lunes a viernes el promedio general de concentración tiene una calificación  
2 “aceptable”, ya que se estimó un promedio 838 ppb con la concentración más baja en lunes  
3 (promedio de 644 ppb) y más alta en jueves (promedio de 960 ppb). Del total de datos analizados  
4 para OCUP-A, el 61.7% del tiempo la concentración se encuentra como “aceptable” al  
5 registrarse valores entre los 333 ppb y 1,000 ppb.

6 Se observa una tendencia en que la concentración aumenta paulatinamente después de las  
7 11:00 h en que la ocupación fluctúa entre 47% y 74%, lo que indica que las posibles fuentes de  
8 emisión pueden ser por perfume de los usuarios, uso de gel antibacterial o bien, por otros gases  
9 que generan los carros al estacionarse debido a su cercanía con la puerta principal.

10 Las concentraciones más altas de este periodo se encuentran en calificación “moderada”  
11 y están presentes el 32.5% del tiempo, con los valores pico registrados a las 13:00 horas durante  
12 martes y viernes, y a las 22:00 h para lunes, miércoles y jueves.

13 Estos valores altos de concentración se pueden asociar a la afluencia de personas, pero  
14 también por la falta de ventilación del espacio, ya que por la noche se encuentran también  
15 concentraciones altas que superan los 1,000 ppb. Esto indica, que las fuentes de emisión pueden  
16 ser por mobiliario, materiales de la edificación como pinturas o bien, por contaminación  
17 suspendida en el air posterior a que el edificio se desocupó.

18 Por otro lado, el sábado (OCUP-B), se registra el 50% del día concentraciones  
19 “aceptables” antes de las 11:00 h, y durante el resto del día la concentración se eleva a  
20 “moderado”. Finalmente, para el periodo OCUP-C, la concentración de COV se ve afectada al  
21 no tener periodos de ventilación pues inicia el día (00:00 h) con concentraciones “moderadas”  
22 que bajan a “aceptables” a partir de las 06:00 h; esto refleja que, durante la noche, se pueden  
23 tener fuentes de emisión de gases que se emiten por coladeras.

#### 1           **4.1.4.2 SEGMENTACIÓN DE CONTAMINANTES POR PERIODOS.**

2           El total de datos monitoreados se segmentaron en periodos de ocho horas con el fin de  
3 establecer mediante la teoría mencionada en la sección 2.3.3, si el usuario está expuesto a  
4 grandes periodos de contaminación por COV y los posibles efectos a su salud.

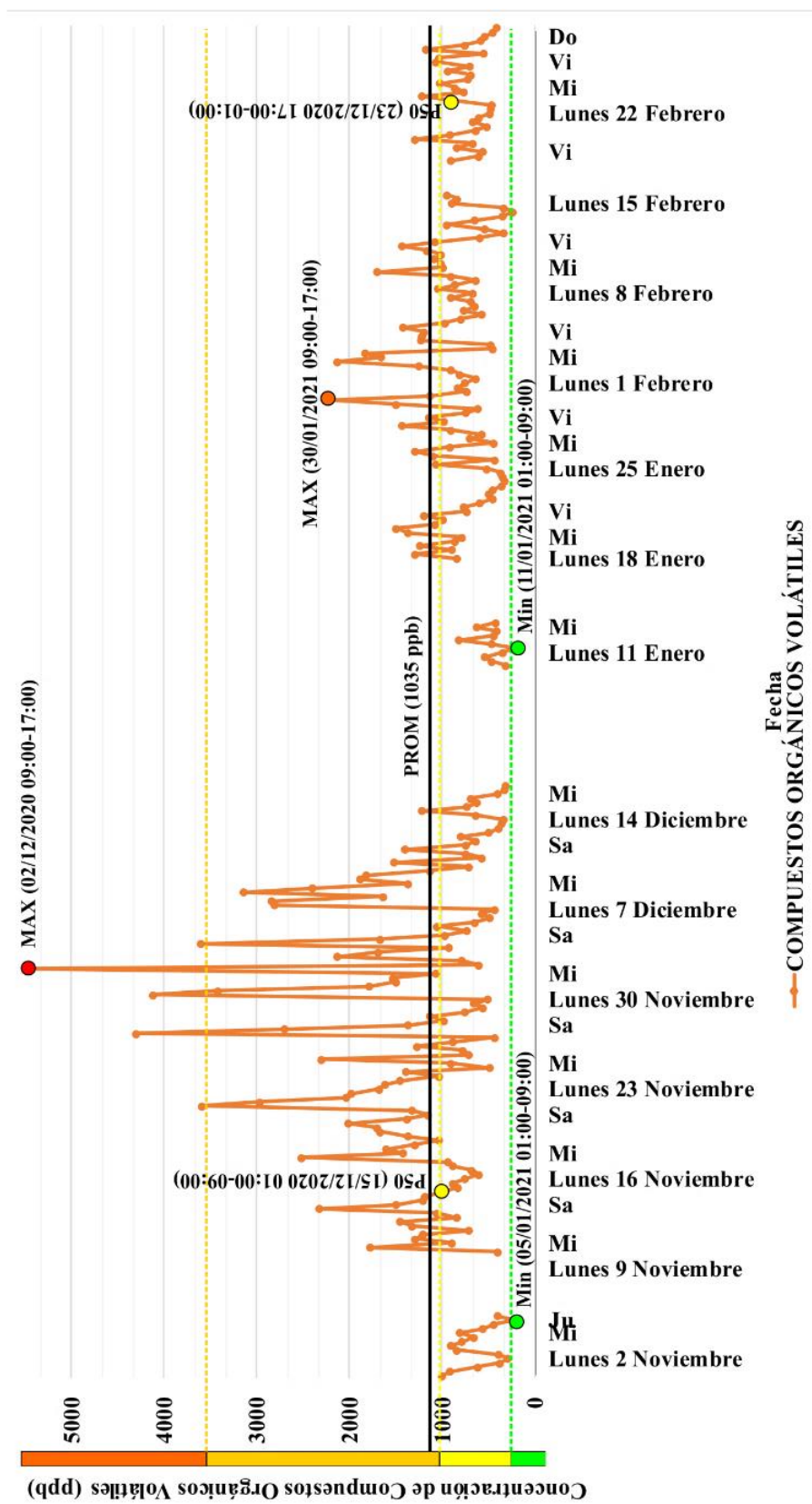
5           El día se simplificó en tres segmentos que empatan con el patrón OCUP-A debido a que  
6 es el que predomina, por lo que de las 1992 horas analizadas se encontraron 249 periodos  
7 repartidos en 36 semanas.

8           Una vez segmentados el conjunto de datos de noviembre a febrero presentados en la  
9 Figura 18, se estimó que el 35.7% del tiempo, es decir 89 de los 249 segmentos, la concentración  
10 se encuentra en calidad “moderada” al superar los 1,000 ppb; además, estas concentraciones se  
11 encuentran mayormente entre las 09:00 y 17:00 h, lo que representa un problema mayor a la  
12 salud de aquellos usuarios que trabajan el periodo completo debido a que los valores altos de  
13 concentración que superan los 3,333 ppb se encuentran también en este horario, esta calidad  
14 “insalubre” representa el 2.4% del total de datos.

15           Por otro lado, el segmento con concentración de “bienestar”, se encuentra entre las 00:00-  
16 09:00 h, mayormente en lunes. Estos segmentos representan solo el 4.4% del tiempo  
17 monitoreado, lo que representa que las principales fuentes de emisión son detonadas por la  
18 actividad del usuario.

19           El resto del tiempo (57.4%), la concentración se encuentra “aceptable” al presentarse un  
20 promedio entre los 333 ppb y 1,000 ppb.

21



1  
2

Figura 18. Concentración COV en periodos de 8 horas. Elaboración propia

#### 1 **4.1.5 MATERIAL PARTICULADO**

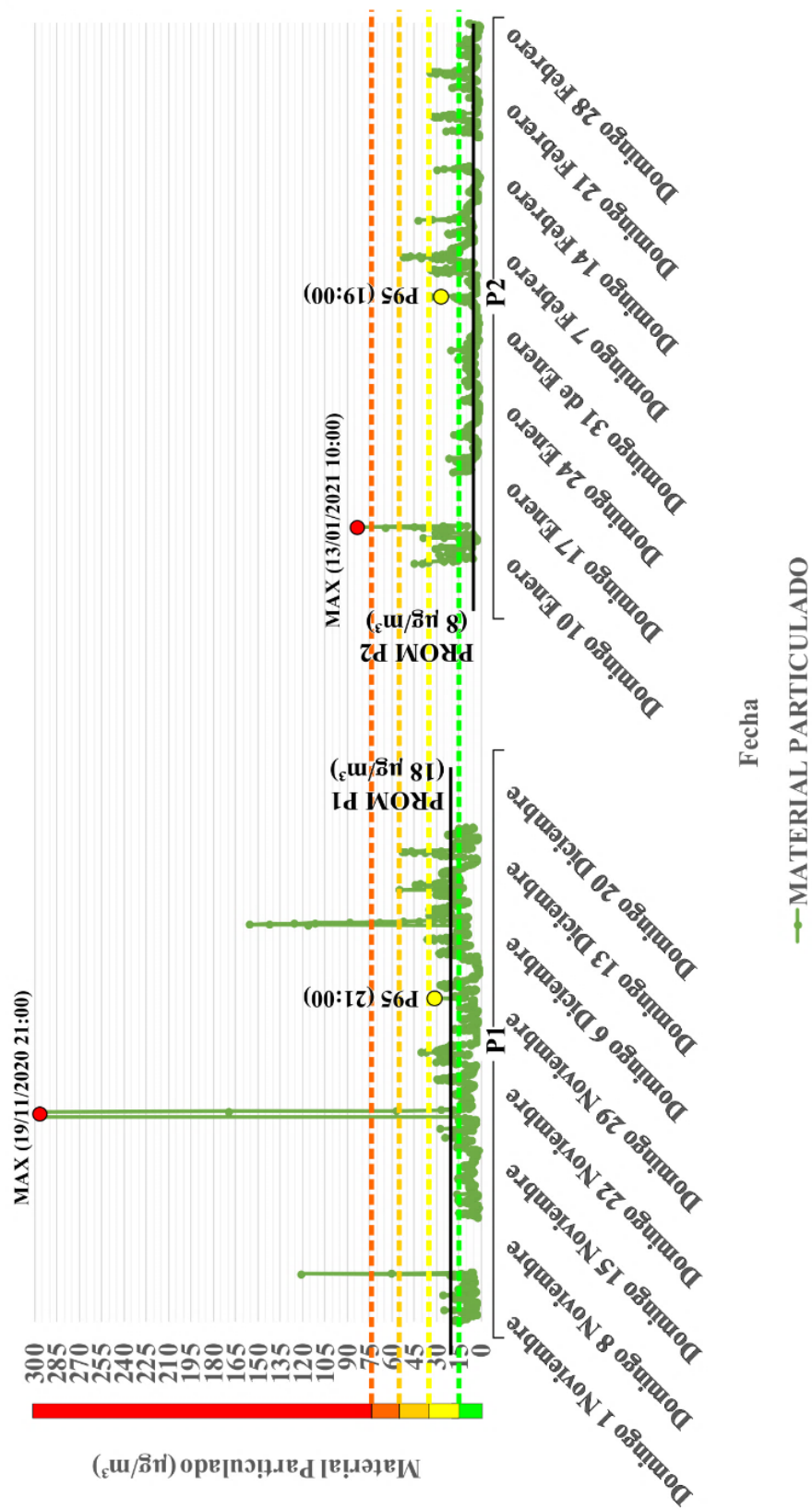
2 El nivel de concentración del Material Particulado (MP) en el aire se evalúa comúnmente  
3 por el promedio diario y promedio por hora del aire exterior, por esto, las condiciones exteriores  
4 permean la calidad de aire interior (Zhao et al., 2018). La concentración de MP de 10 micrones  
5 de ancho o menos (incluye 2.5 micrones o menos), se recomienda que esté por debajo de los 15  
6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

7 La calidad de aire analizada mediante la concentración de MP conforme a la sección  
8 2.3.3.5, se considera “bienestar” cuando esté debajo de  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , “aceptable” entre  $15\text{-}35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  
9 “moderada” de  $35\text{-}55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , “insalubre” de  $55\text{-}75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y “muy insalubre” cuando la  
10 concentración supera los  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

11 La concentración de MP para P1 tuvo su pico con  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , catalogado como “muy  
12 insalubre”; inició a las 21:00 h del 19 de noviembre y se regularizó el 20 de noviembre a las  
13 10:00 h en que la concentración bajó a “insalubre”, esto se asocia a que la calidad de aire exterior  
14 se encontraba una concentración “insalubre” y las ventanas y puerta principal de edificio estaban  
15 abiertas.

16 A pesar de esto, la concentración promedio es de  $23.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , catalogado como calidad  
17 “moderado”, debido a la concentración de MP en el pico del periodo; sin embargo, del total de  
18 horas monitoreadas en P1, mismas que se observan en la Figura 19, se estimó que el 72.8% del  
19 tiempo la concentración está dentro del rango de concentración de bienestar, el 24.8%  
20 “aceptable”, el 0.2% “insalubre” y 2.1% “muy insalubre”.

21 En el periodo de monitoreo 2, la concentración de MP es menor, a pesar de esto, se  
22 registra el pico con  $231 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , catalogado como “muy insalubre” durante un periodo de 5  
23 minutos, asociado a la limpieza del del equipo de monitoreo.



1

2

Figura 19. Concentración de MP en P1 y P2. Elaboración propia

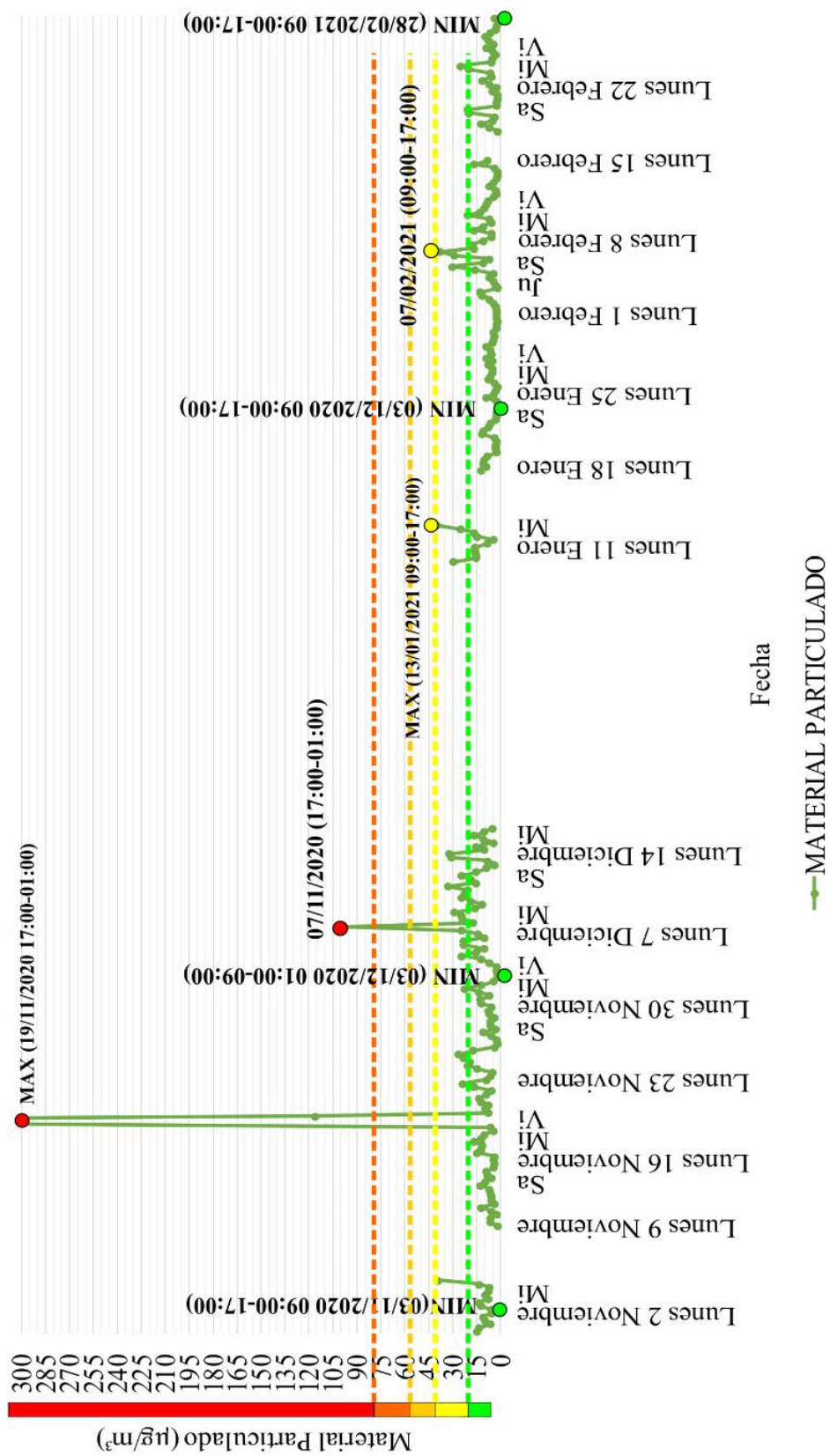
1 El 88% del tiempo, es decir 883 de las 1,017 h analizadas, la concentración se encuentra  
2 debajo de los  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (concentración de “bienestar”). El 11.8% de los datos se encuentra en  
3 concentración “aceptable” y tan solo el 0.2% de los datos, superan los  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Lo que  
4 representa que los problemas derivados de concentraciones altas de MP son casos particulares  
5 que dependerán de las condiciones exteriores, o bien, la actividad del usuario.

6 En cuanto al MP exterior, el horario con menor concentración de MP es entre las 14:00 y  
7 19:00 h, con un promedio de  $8.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; el nivel más alto es a las 09:00 h con un promedio de  $21$   
8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , fuera del horario laboral, los niveles más alto se encuentran después de las 22:00 h.

9

#### 10 **4.1.5.1 SEGMENTACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE MP.**

11 La concentración de  $\text{MP}_{2.5}$  y  $\text{MP}_{10}$  fue segmentado en periodos de 8 horas, con el fin de  
12 determinar el impacto de tiempo de exposición para el usuario; en la Figura 20 se puede  
13 observar, como a pesar de que se encuentran valores altos de concentración en algunos días, el  
14 rango dentro de la matriz de puntuación para periodos de 8 horas está entre de “bienestar” y  
15 “aceptable”.



1  
2

Figura 20. Concentración de MP en periodos de 8 horas. Elaboración propia.

#### 1 **4.1.6 DÍA CON MALA CALIDAD EXTERIOR**

2 Se seleccionó el 24 de febrero como día tipo, ya que la calidad de aire al exterior estaba  
3 catalogada como “insalubre” desde el inicio de la jornada laboral, con una calificación de 156  
4 debido a una concentración de  $101 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en partículas de 2.5 micrones de ancho o menos y de  
5  $286 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en partículas de 10 micrones de ancho o menos.

6 Conforme transcurrió la mañana, a las 11:30, la concentración de aire bajó a 93, que se  
7 considera como calidad “moderado” ( $\text{PM}_{2.5}$  en  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $\text{PM}_{10}$  en  $78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), esta  
8 concentración disminuye hasta las 14:30 h con índice general de 43 ( $\text{PM}_{2.5}$  en  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $\text{PM}_{10}$   
9 en  $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

10 Al interior la calidad de aire se encontraba en “moderado” con los siguientes parámetros  
11 ambientales: TBS de  $20^\circ\text{C}$ , HR de 32.6%,  $\text{CO}_2$  de 1,189 ppm, COV de 779 ppb y MP de 35  
12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Se percibía un olor fuerte, por lo que la puerta principal estuvo abierta hasta las 11:00 h,  
13 sin embargo, como la calidad de aire exterior también tenía un elevado índice de contaminación  
14 de aire, la concentración al interior no disminuyó hasta las 12:00 h. Así pues, a partir de esta hora  
15 la calidad de aire paso a ser “aceptable” con menor concentración de  $\text{CO}_2$  (995ppm) y MP (33  
16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), sin embargo, la concentración de COV, subió a 1,781ppb.

17 Durante el horario laboral, la concentración de  $\text{CO}_2$  tuvo un promedio de 967 ppm, inició  
18 en calidad “moderado” y pasó a “aceptable” a partir de las 12:00 h. Además, la concentración de  
19 MP fue de  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , catalogado como “aceptable”, sin embargo, al segmentar la concentración  
20 del día a periodo laboral de 09:00-17:00 h fue de  $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

21 Finalmente, en lo que respecta a COV, se estimó un promedio de concentración de 1,157  
22 ppb durante el horario laboral, con promedio de 1,118 ppb entre las 09:00-17:00 h, lo que  
23 representa un tiempo de exposición de 8 horas con calidad de aire “moderado”.

1 Este registro de datos permite entender que, si la calidad de aire al exterior es mala, al  
2 interior se requiere de filtros especiales para retirar MP, CO<sub>2</sub> y COV para purificar el aire. Así  
3 mismo, se observa, que la concentración de MP exterior se ve reflejado al interior, y que los  
4 COV tienen una concentración mayor independientemente de la ocupación y la calidad de aire  
5 exterior.

6

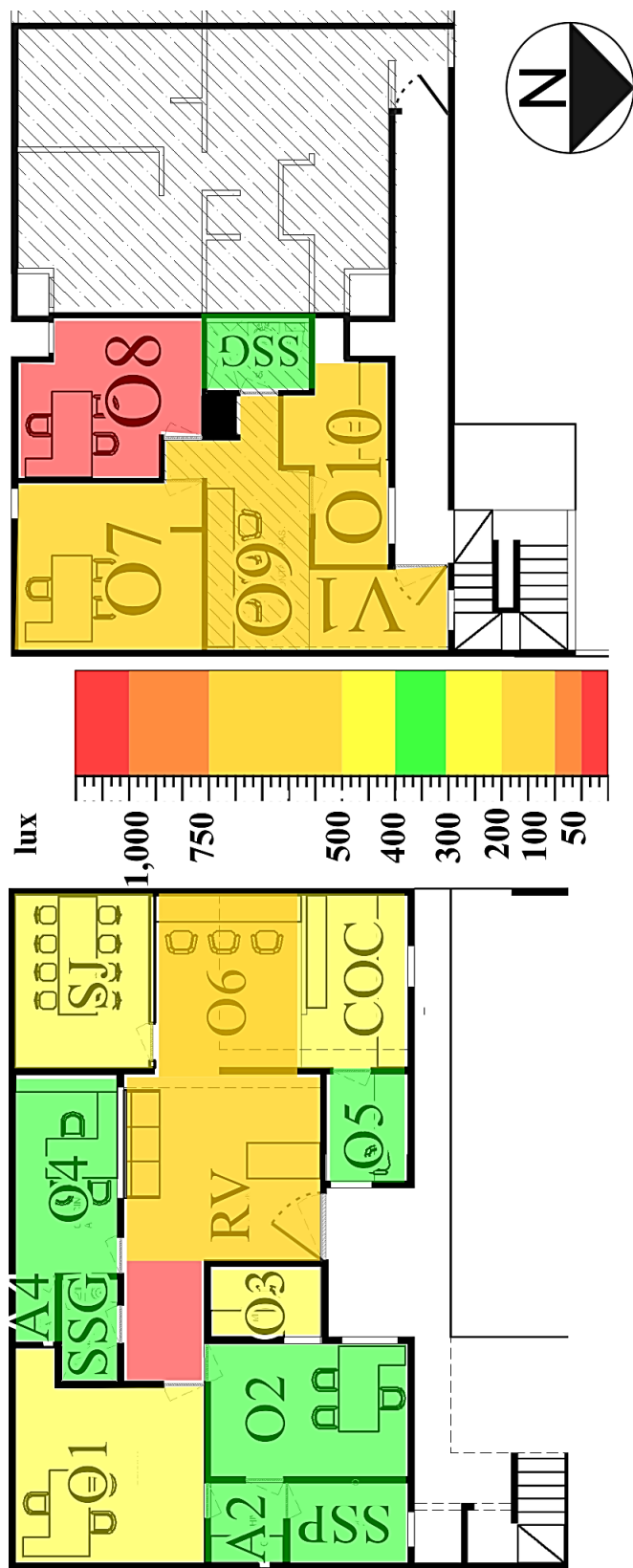
#### 7 **4.1.7 CALIDAD DE ILUMINACIÓN INTERIOR**

8 El registro de datos para la iluminación se tomó al centro del espacio y mediante  
9 levantamiento físico del tipo de foco de las luminarias.

10 En general siete de los 12 espacios analizados tienen iluminación sobre el rango de 300 lx  
11 para áreas de trabajo y 200 lx para áreas de circulación. Es importante recalcar que, por  
12 distribución de luz, la zona RV se dividió en 2 partes, la primera, por zonas de trabajo que cuenta  
13 con una calidad “moderada” y la segunda por zonas de circulación que cuenta con calidad  
14 “insalubre”.

15 El registro de iluminancia establece que la zona de circulación en planta baja tiene  
16 niveles críticos ya que solo tiene iluminación difusa. El resto de las zonas se encuentra en  
17 iluminación suficiente.

18 En cuanto a planta alta, solo el área de servicio se encuentra con iluminación óptima al  
19 superar el rango de 200 lx, el resto de las zonas se encuentran con iluminación deficientes al  
20 estar por debajo de los 200 lx solo con iluminación artificial.



1

2 *Figura 21 Calidad de iluminación interior según ficha técnica de foco. Elaboración propia*

## 1 4.2 SIMULACIÓN TERMO-ENERGÉTICA Y DE ILUMINACIÓN NATURAL

2 La simulación térmica permite analizar la edificación, con relación al comportamiento  
3 termo-energético, lumínico entre otros.

4 Para obtener una adecuada programación se procedió a obtener datos precisos del  
5 proyecto arquitectónico, pero también por levantamiento físico y observación cuantitativa para  
6 recabar el tiempo de uso de equipos eléctricos, así como sus características de consumo; también,  
7 se investigó el tiempo de ocupación y número de usuarios de cada espacio a lo largo de una  
8 semana tipo, además del tipo de luminaria y tiempo de funcionamiento para cada espacio.

9 A partir de esta recopilación se procedió a determinar los patrones de uso horario para  
10 suministrar con datos al simulador, para lo cual, se utilizó una hoja de cálculo elaborada por  
11 Luna-León, (2020), que permite obtener la fracción horaria por de cada parámetro descrito en la  
12 Tabla 19.

13  
14 *Tabla 19. Cargas internas por equipo eléctrico, iluminación y usuarios.*

<sup>1</sup> CARGAS INTERNAS	TOTAL	PROM	C1	M1	SJ	RV	O1	O2	O3	O4	O5
ÁREA (m <sup>2</sup> )	102		9	15	9	21	17	10	13	3	4
EQUIPOS (W)	54306	37	25148	1693	1252	2351	3860	6234	9348	1855	2565
LUMINARIAS (W)	8080	6	468	432	288	4060	871	497	960	108	396
USUARIOS (W)	14949	64	328	2638	2691	1914	1892	1679	1436	1064	1307
TOTAL (W)	77	107	25944	4763	4231	8326	6623	8410	11744	3027	4268
TOTAL / ÁREA (W/m <sup>2</sup> )	760	1	2883	317	496	393	398	830	878	867	961
<sup>1</sup> No se considera carga por sistema HVAC											
PROM: Promedio de datos C1: Cocineta M1: Barra de trabajo múltiple SJ: Sala de juntas RV: Recepción y espera O1: Oficina 1 O2: Oficina 2 O3: Oficina 3 O4: Oficina 4 O5: Oficina 5											

15 Elaboración propia

16

#### 1 4.2.1 CALIBRACIÓN DE SIMULACIÓN

2 Con la finalidad de verificar el modelo en *Design Builder*, se compararon los resultados  
3 de simulación térmica con los datos medidos por monitoreo, se realizó una calibración de los  
4 resultados de simulación dinámica avanzada a partir del método empírico de Tüysüz y Sözer,  
5 (2020), que compara los datos horarios arrojados por la simulación, con datos de monitoreo  
6 ambiental recolectados del inmueble, el método de análisis se describen en la sección 3.3.2.

7 En la Tabla 20, se describen los parámetros finales de simulación entre los que destacan:  
8 sistemas constructivos de la envolvente y su interior, la configuración del sistema de aire  
9 acondicionado necesario para el periodo de verano, así como la carga térmica por ocupación,  
10 equipos electrónicos e iluminación artificial. Por último, se estableció el rango iluminación  
11 óptimo recomendado para el tipo de edificio analizado.

12  
13 *Tabla 20 Parámetros de programación de cargas internas, sistemas de climatización e*  
14 *iluminación natural del edificio*

Parámetro	Descripción	Unidad	
Cargas internas	Ocupación	Densidad	0.17 persona/m <sup>2</sup>
		Tasa metabólica	119 W/persona
		Factor metabólico	0.93 met
		Vestimenta	Verano (0.50 clo) Invierno (1.00 clo)
	Equipo electrónico	Potencia absoluta de zona	66.99 W/m <sup>2</sup>
		Fracción radiante	0.2
	Iluminación artificial	Potencia absoluta	2.26 W/m <sup>2</sup>
		Fracción radiante	0.37
		Fracción visible	0.18
		Fracción convección	0.45
Sistema de climatización	SEER	Planta baja: 15 Planta alta: 15	
	Equipo de aire acondicionado de paquete	Toneladas Planta baja: 5 ton (6,000 btu) Planta alta: 3 ton (3,600 btu)	
	Consigna de temperatura de aire	9am-9pm:24°C < 9am:28°C > 9pm:28°C	
	SEER	Oficina A Planta baja: 16	

Parámetro		Descripción	Unidad
	Equipo de aire acondicionado mini-split	Toneladas	2 (2400 btu)
		Consigna de temperatura de aire	2pm-4pm: 24°C
Iluminación natural	Programación	Límite inferior áreas de trabajo	300 lux
		Límite inferior áreas de servicio	200 lux
		Deslumbramiento	900 lux
		Altura de plano de trabajo	0.75 m

Anotaciones:

(<sup>1</sup>) Valor para superficie exterior

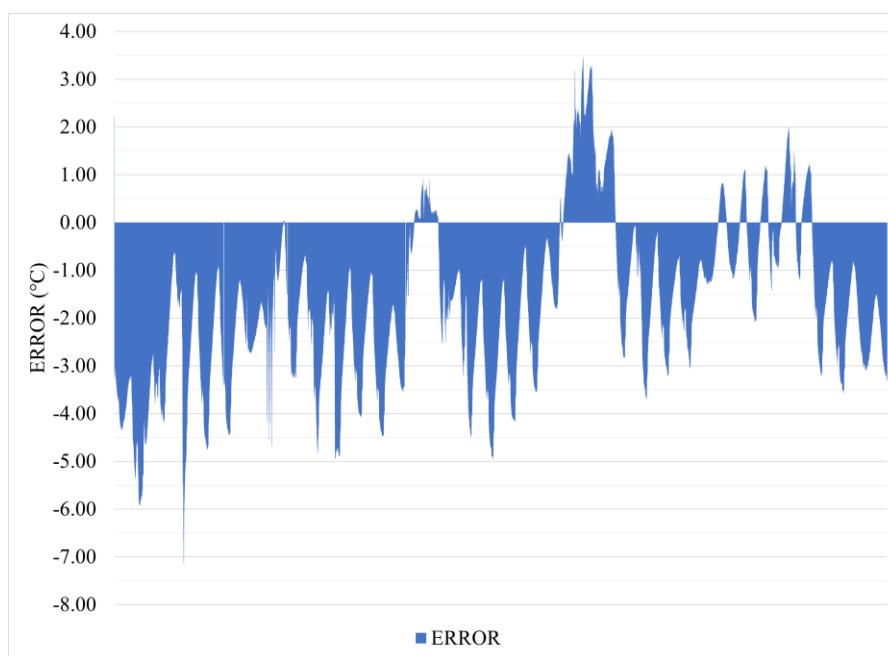
(<sup>2</sup>) Valor para superficie interiores

Elaboración propia

1

2 Los resultados obtenidos de calidad higrotérmica se dividieron en dos periodos que  
3 comprenden dos zonas diferentes de planta baja del edificio. Para P1 se compararon 974 h en  
4 datos de TBS, desde el 1ero de noviembre al 16 de diciembre para la Oficina 5 (O5).

5 Al comparar los resultados monitoreados descritos en la sección 4.2.2 con los resultados  
6 arrojados por simulación, se obtuvo que el error absoluto positivo fue de +3.46 °C y el negativo  
7 fue de -7.13 °C como se muestra en la Figura 22, esto indica que el modelo del edificio simulado  
8 tiene tendencia a generar ambientes más fríos.



9

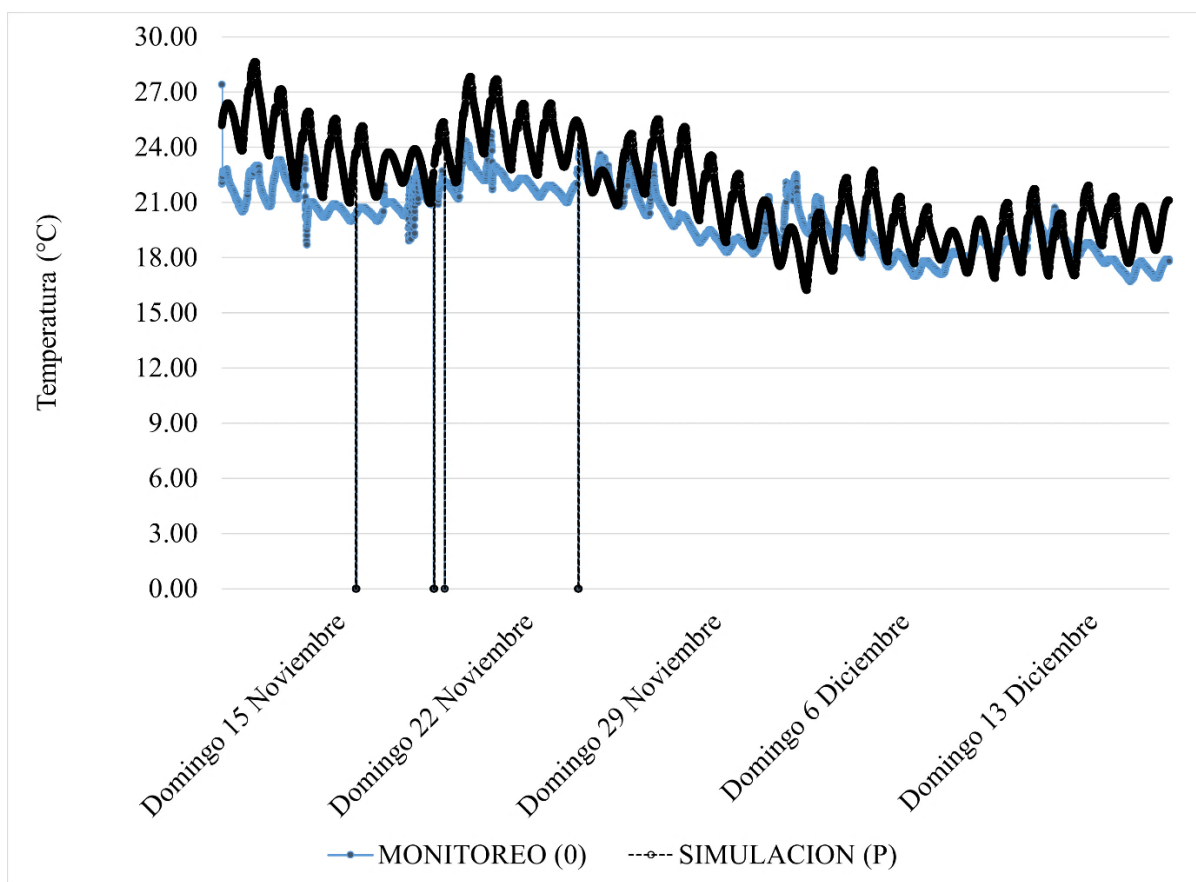
10

Figura 22. Error en validación de datos de TBS en P1. Elaboración propia

1 A pesar de tener una apertura gráfica de error de  $\pm 5.29$  °C, el promedio general del  
 2 monitoreo fue de 20.09 °C mientras que para la simulación fue de 21.76 °C, que representa una  
 3 diferencia promedio de -1.67 °C, con TBS más frías en el monitoreo.

4 El conjunto de datos monitoreados y simulados, se puede observar gráficamente en la  
 5 Figura 23; estos valores se procesaron en una hoja de cálculo realizada por (V. Jiménez et al.,  
 6 2018) en la que se estimó un Porcentaje de Error Relativo Absoluto Medio de 9.96%, aun dentro  
 7 del rango aceptable para simulación dinámica avanzada explicado en la sección 2.6.4.

8



9

10

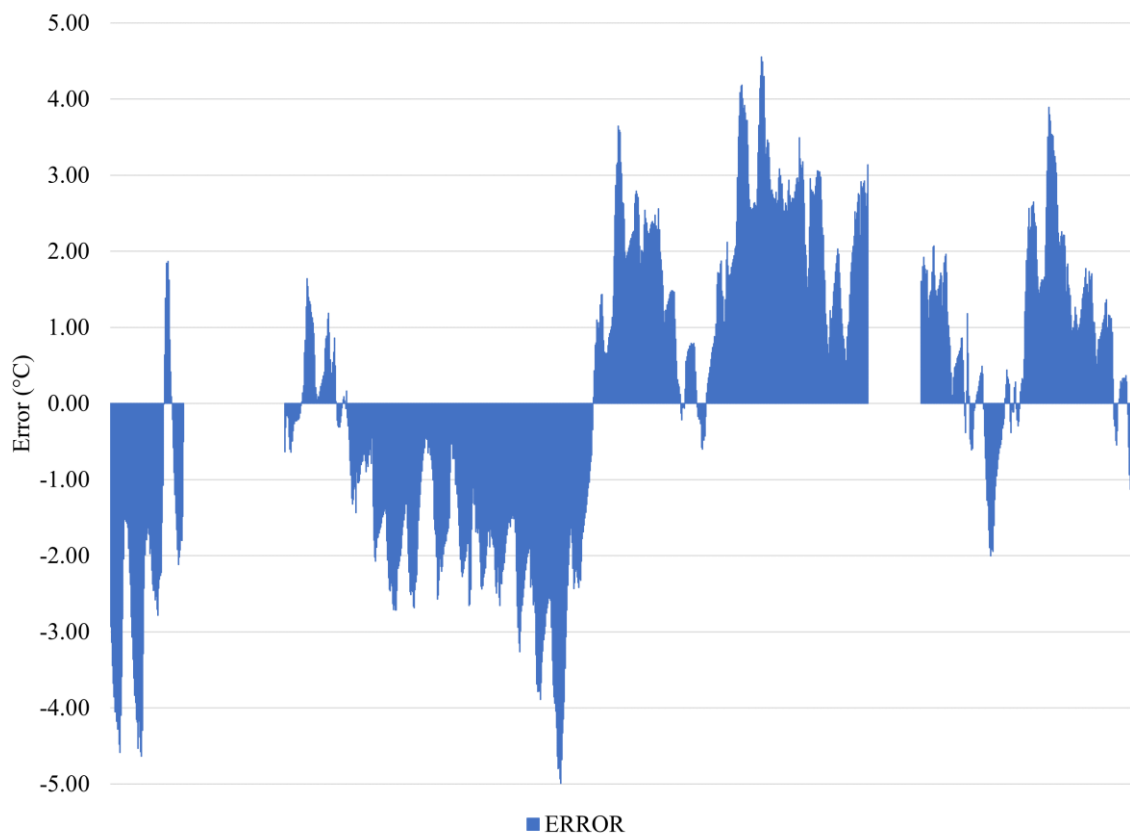
*Figura 23. Validación de datos TBS en P1. Elaboración propia*

11

12 Se prosiguió con el análisis de P2, en que se procesaron 1,017 h de la zona recepción y  
 13 vestíbulo (RV), al comparar los datos monitoreados contra los simulados, se encuentra que el

1 Error Absoluto Máximo positivo fue de +4.55 °C y el negativo de -4.99 °C, lo que representa  
2 una apertura de gráfica de  $\pm 4.77$  °C, que se puede observar en la Figura 24.

3



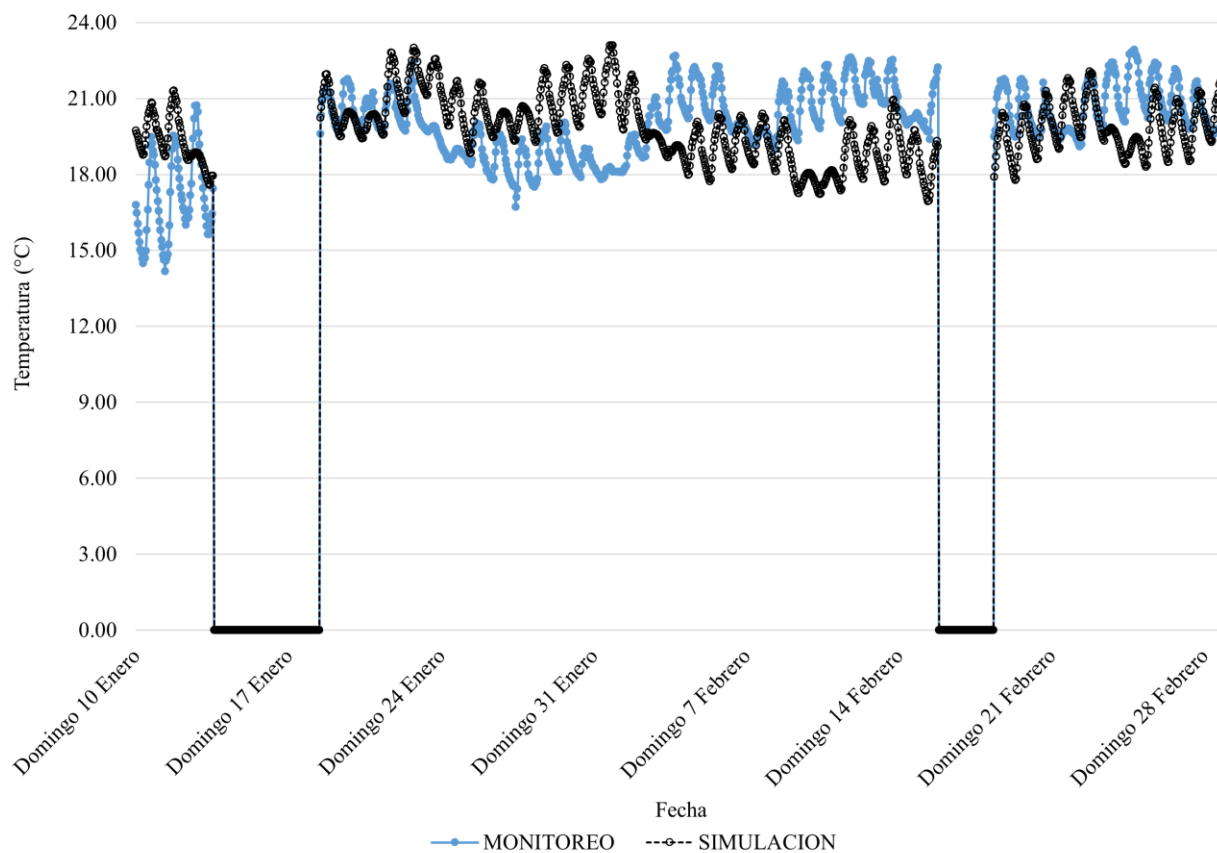
4

5

*Figura 24. Error en validación de TBS en P2. Elaboración propia*

6

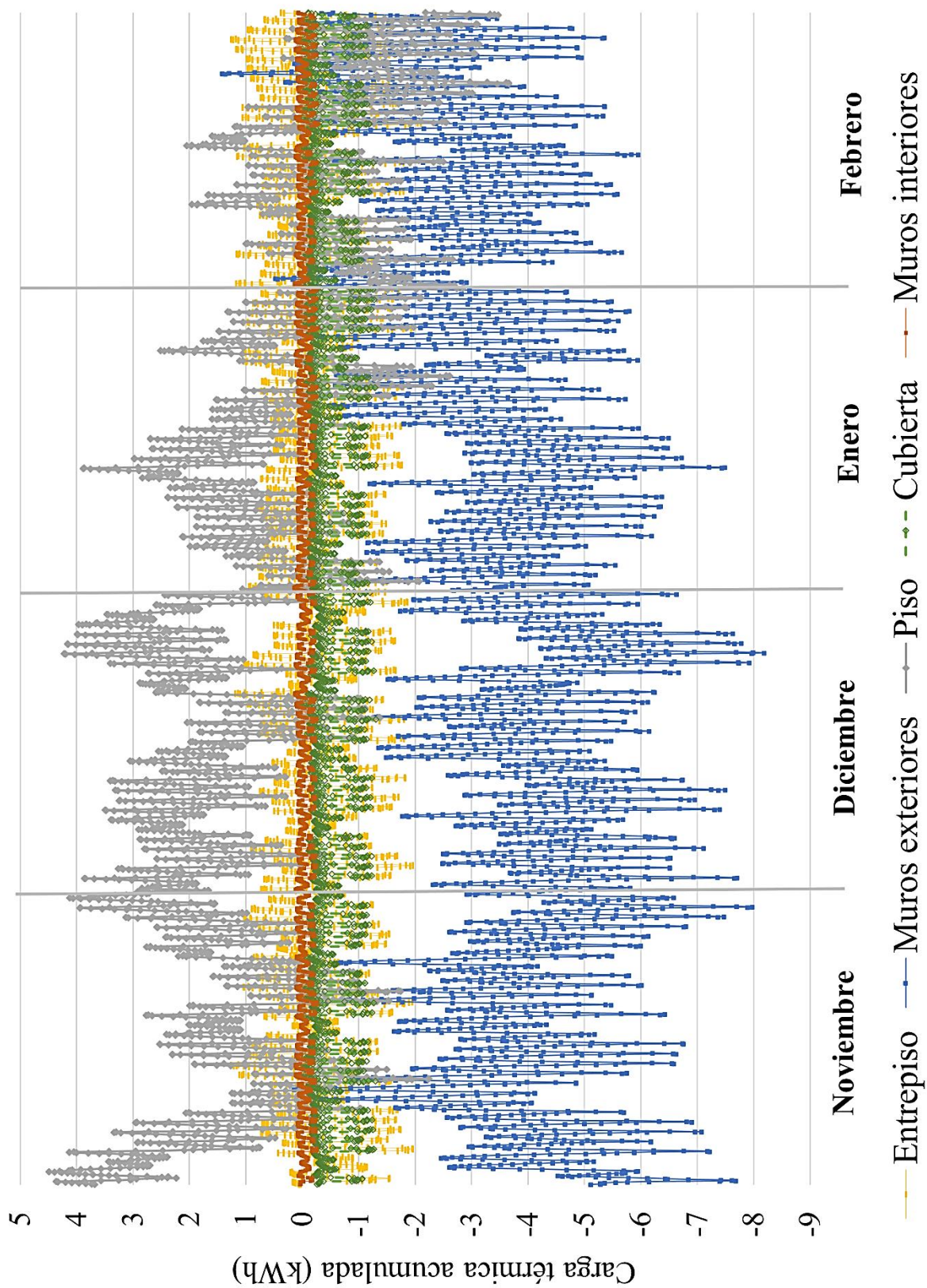
7 Sin embargo, su promedio general fue más cercano, ya que para el monitoreo se obtuvo  
8 19.93 °C y en la simulación se estimó con 19.84 °C, que representa una TBS más fría en el  
9 periodo monitoreado que en la simulación; estos datos se pueden observar gráficamente en la  
10 Figura 25. Finalmente, al usar la hoja de cálculo para validación de datos, se estimó que el  
11 Porcentaje de Error Relativo Absoluto Medio fue de 8.77%, con mejor resultado que en el P1.



1  
2 *Figura 25. Validación de datos TBS en P2. Elaboración propia*

3  
4 Con 2,880 h procesadas desde el 1ero de noviembre al 28 de febrero, se identificó que el  
5 elemento con mayor ganancia de calor es por muros y el elemento con mayor pérdida de calor es  
6 el piso. Esta información se observa en la Figura 26, en la que se aprecia como las ganancias son  
7 mayores en P1 que en P2, al presentar TBS exterior y radiación solar más altas (consultar  
8 sección 2.6.1) sobre climatología del caso de estudio.

9 Cabe resaltar, que se procesó la simulación sin sistema HVAC ya que representa el  
10 comportamiento real del edificio para la temporada de invierno. Es por esto, que las primeras  
11 adecuaciones que se deben realizar a la envolvente es añadir masa térmica a algunos muros y así  
12 retardar la pérdida o ganancia de temperatura.



1  
2

Figura 26. Carga térmica por elementos arquitectónicos del edificio. Elaboración propia

1           Una vez calibrado el modelo del caso de estudio, se procedió a realizar un análisis  
2 completo de la envolvente del edificio, para así determinar el impacto anual sobre el  
3 comportamiento térmico de la envolvente.

4           Así pues, se determinó que aquel elemento que permite un mayor intercambio térmico es  
5 por muros, con pérdidas de calor mayores en noviembre (-2,7794 kWh) y diciembre (-3,203  
6 kWh); además, los meses con más ganancias de calor son julio con 2,952 kWh y agosto con  
7 2,778 kWh.

8           El segundo componente con mayor diferencia térmica es el suelo, ya que la mayor parte  
9 del año permite una pérdida de calor a excepción de enero, agosto, noviembre y diciembre en la  
10 que aporta hasta 774 kWh al espacio.

11

#### 12 ***4.2.2 CONSUMO ENERGÉTICO DE EDIFICACIÓN***

13           Con el propósito de determinar las ganancias de calor y consumo energético del edificio  
14 por climatización artificial, se programaron las cargas internas del edificio en tres partes: La  
15 primera consideró la iluminación general y decorativa de cada espacio, además, contempla el  
16 tipo y número de focos de cada lámpara; la segunda, determinó el uso de equipo eléctrico con  
17 base en modelos específicos y tipo de operación dentro y fuera del horario laboral; y por último,  
18 la programación de ocupación, para determinar la aportación de calor por usuarios y el patrón su  
19 ocupación, descrito en la sección 4.2.1.

20           Los resultados de consumo en una semana de simulación fueron comparados con los  
21 datos reales de cada espacio en planta alta y planta baja para determinar el porcentaje de  
22 diferencia entre conjunto de datos, y obtener así, un modelo energético que cumpla con los  
23 criterios establecidos por ASHRAE, (2019), establecidos en la sección 3.3.2. La Tabla 21

1 presenta el resumen de la calibración entre los datos medidos con los simulados lo que arrojó una  
 2 diferencia de 1.8% más de carga por iluminación, es decir 0.30 kW; 0.2% más carga eléctrica por  
 3 equipamiento (0.21 kW) y 0.6% menos aportación de calor por ocupación (0.1 kW).

4

5 *Tabla 21. Calibración cargas internas mediante la técnica de validación empírica.*

ZONA	POTEN- CIA	Iluminación General			Equipo eléctrico			Ocupación		
		SIM	LEV. FIS.	DIF.	SIM	LEV. FIS.	DIF.	SIM	LEV. FIS.	DIF.
PLANTA BAJA	kW	8.5	8.2	307.8	54.3	54.1	185.3	7.7	7.7	- 64.6
	%	104%	100%	3.8%	100%	100%	0.3%	99%	100%	-0.8%
PLANTA ALTA	kW	2.6	2.6	- 4.0	34.1	34.1	21.0	3.9	3.9	- 12.0
	%	100%	100%	-0.1%	100%	100%	0.1%	100%	100%	-0.3%
TOTAL	kW	11.11	10.81	0.30	88.41	88.20	0.21	11.51	11.59	- 0.08
	%	102%	100%	1.8%	1.00	1.00	0.2%	99%	100%	-0.6%

SIM: Datos por simulación    LEV.FIS: Datos reales por Levantamiento físico    DIF: Diferencia entre datos simulados y reales

Elaboración propia

6

7 Una vez calibrado el modelo del caso de estudio, se procedió a evaluar el  
 8 comportamiento termo-energético mensual de cada planta arquitectónica para determinar el  
 9 consumo por climatización, iluminación y equipos eléctricos, además de determinar la TBS  
 10 promedio del espacio, los resultados se pueden apreciar en la Tabla 22.

11

12 *Tabla 22. Consumo energético mensual y temperatura del aire del edificio.*

MES	Climatización (kWh)	Iluminación (kWh)	Equipos (kWh)	Total (kWh)	TBS interior (°C)	TBS exterior (°C)
ENERO	-	269	2,459	2,727	19.80	14.11
FEBRERO	-	235	2,194	2,429	19.74	15.34
MARZO	-	250	2,388	2,638	21.33	18.66

MES	Climatización (kWh)	Iluminación (kWh)	Equipos (kWh)	Total (kWh)	TBS interior (°C)	TBS exterior (°C)
ABRIL	459	258	2,370	3,087	22.37	20.68
MAYO	1,727	269	2,459	4,454	24.75	26.25
JUNIO	3,423	239	2,300	5,962	26.06	29.90
JULIO	6,593	269	2,459	9,321	26.73	33.96
AGOSTO	7,438	259	2,424	10,120	26.83	33.70
SEPTIEMBRE	6,096	248	2,335	8,680	26.70	30.69
OCTUBRE	-	269	2,459	2,727	28.96	24.35
NOVIEMBRE	-	248	2,335	2,583	24.12	17.60
DICIEMBRE	-	259	2,424	2,683	20.24	13.20
<b>ANUAL</b>	<b>25,736</b>	<b>3,071</b>	<b>28,604</b>	<b>57,412</b>	<b>23.97 °C</b>	<b>23.20 °C</b>
<b>PORCENTAJE</b>	45%	5%	50%			
Elaboración propia						

1

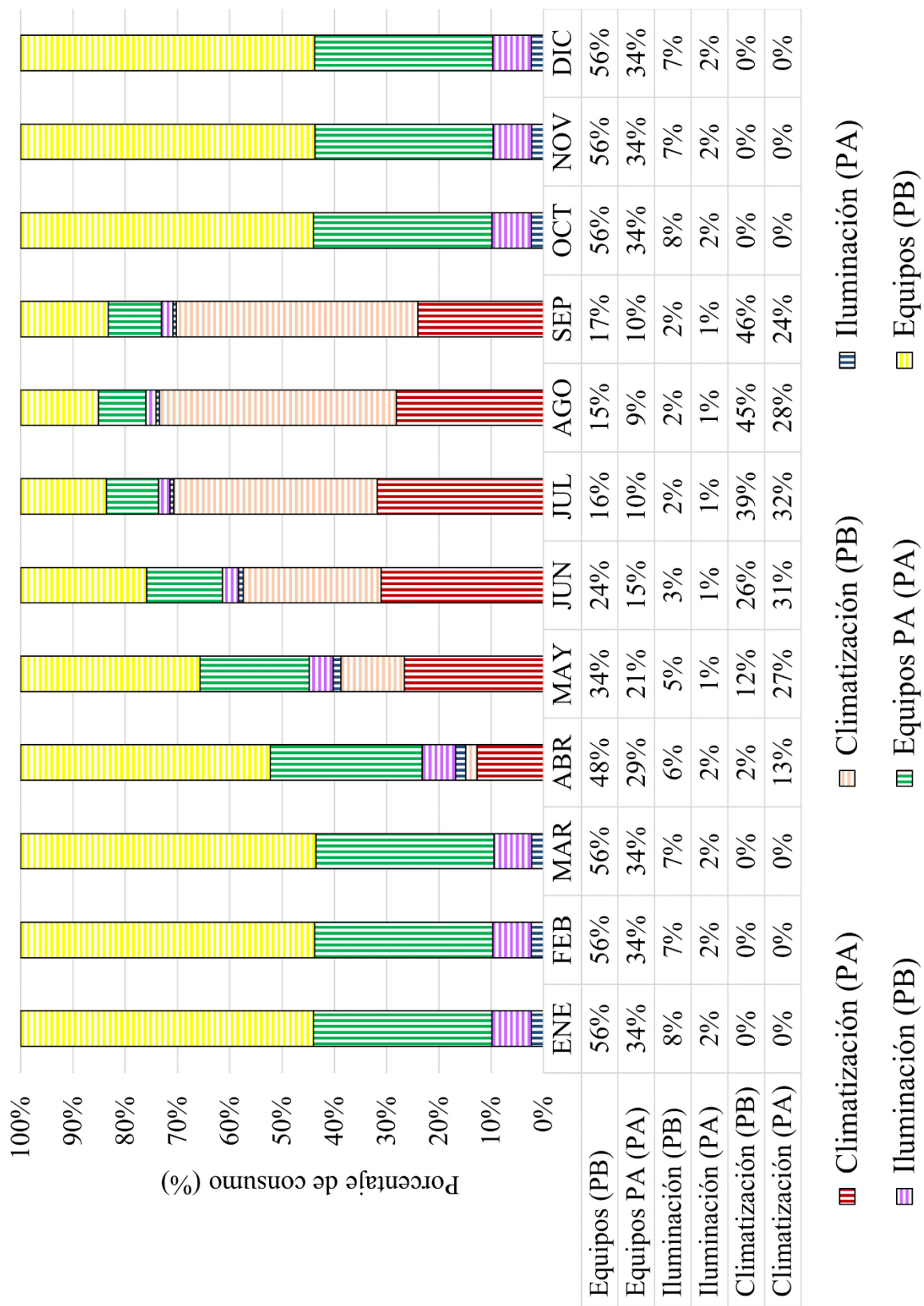
2 En este análisis anual, se estimó que el 45% del total de consumo es por aire  
3 acondicionado, el 50% es debido a equipo eléctrico y el 5% restante, es consumido por  
4 iluminación.

5

#### 6 **4.2.2.1 CONSUMO ENERGÉTICO POR PLANTA.**

7 Para un análisis más específico se evaluó la potencia de consumo por planta, para así  
8 determinar cuál consume más energía. Así pues, se divide en dos periodos de consumo, el  
9 primero de octubre a marzo, tiempo en el que el edificio opera con ventilación natural, y el  
10 segundo, de abril a septiembre en que se utiliza equipo para climatización.

11 El consumo de energía anual es de 57,412 kWh, del cual la planta baja (PB) representa el  
12 60% y la planta alta (PA) representa el 40%. El desglose mensual por planta se puede observar  
13 en la Figura 27 con los consumos de climatización, equipos e iluminación expresados en  
14 porcentaje.



1  
2

Figura 27. Consumo energético mensual por planta arquitectónica

1            Cabe destacar que, para los meses de enero-marzo y octubre-diciembre, solo se  
2 contempla equipo e iluminación ya que el edificio opera con ventilación natural, por lo que es  
3 solo de abril a septiembre en que se añade el consumo por aire acondicionado.

4            El consumo promedio para los meses que no se utiliza climatización artificial es de 2,631  
5 kWh, el consumo se divide en 7% por iluminación en PB, 2% en PA; 56% por equipos en PB y  
6 34% en PA. Por otro lado, el consumo promedio para los meses con climatización es de 6,937  
7 kWh, que representa 62 % más consumo que el periodo de operación con ventilación natural.

8            En cuanto al consumo mensual por sistema de climatización, el primer mes de operación  
9 es de 3,087 kWh de los cuales 13% es consumido por aire acondicionado de PA, 2% de PB, que  
10 indica una mayor carga térmica para el segundo piso; además, 6% del consumo total es por  
11 iluminación en PB, 2% en PA; 48% consumido por equipos de PB y 29% de PA.

12            Es hasta julio en que el equipo de climatización consume más energía en PB con 31% del  
13 consumo total (5,962 kWh); el resto se usa en 26% climatización de PA, 3% iluminación de PB,  
14 1% de PA, 24% por equipos de PB y 1% de PA.

15            El mes crítico de consumo es agosto con 10,120 kWh, en que el 73% es consumido por  
16 climatización (45% del en PB, y el 28% en PA); 15% es consumido por equipos en PB y 9% de  
17 PA, finalmente, iluminación consume 2% en PB y 1% en PA.

18            En septiembre, que es el último mes en que se utiliza climatización, se consume un total  
19 de 8,680 kWh, del que 70% es usado por el sistema de climatización del edificio (43% PB y 25%  
20 PA), el consumo por iluminación es igual a los meses anteriores, pero aumenta el consumo por  
21 equipos 17% en PB y 10% en PA. Los porcentajes y consumo específico por planta se puede  
22 observar en la Figura 28.

23

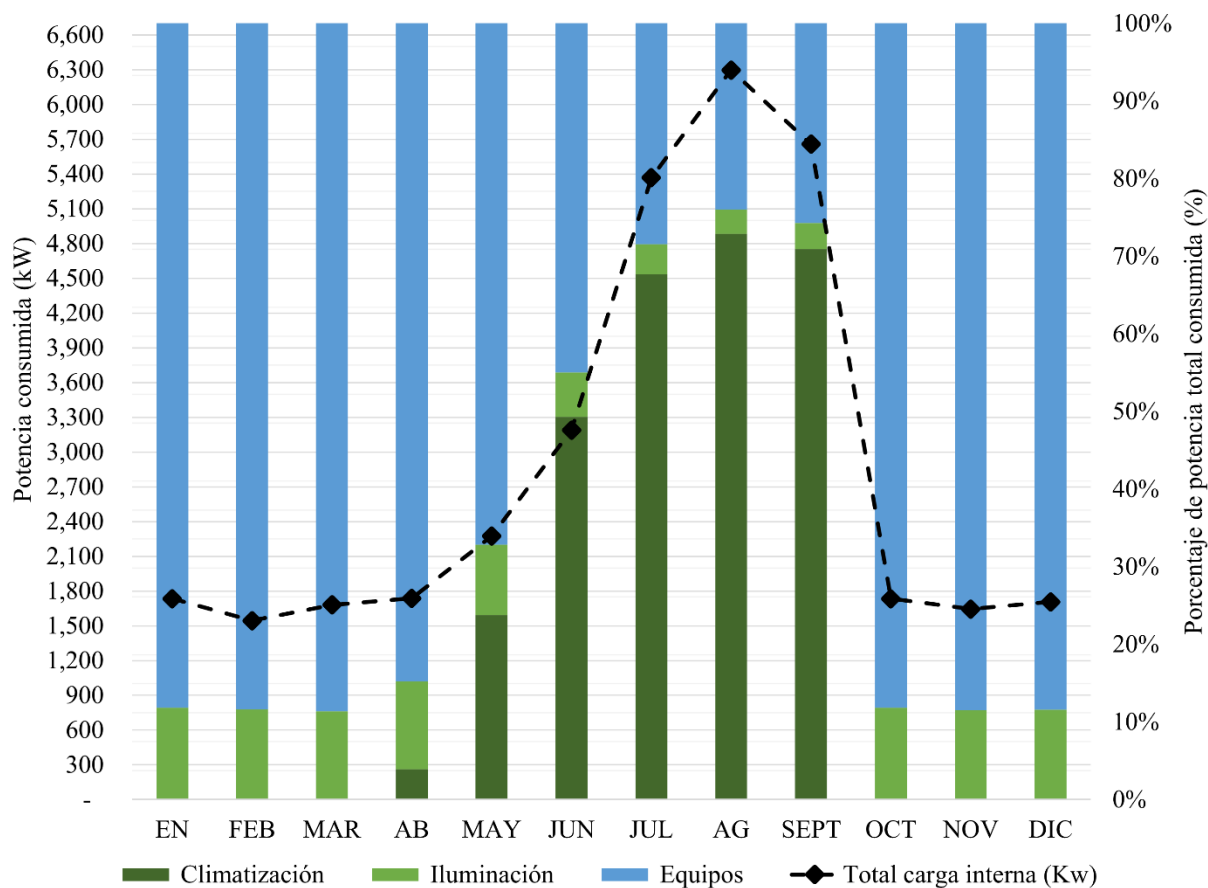


Figura 28. Consumo mensual en planta baja. Elaboración propia

Así pues, como se describe anteriormente, en PA el consumo de agosto tiene 3% menos que en julio a pesar de que el consumo por climatización representa 75% en julio y 74% en agosto; iluminación y equipo eléctrico es el mismo. La Figura 29 muestra el consumo mensual de energía y la influencia de cada una de las cargas térmicas por equipo, iluminación y usuarios.

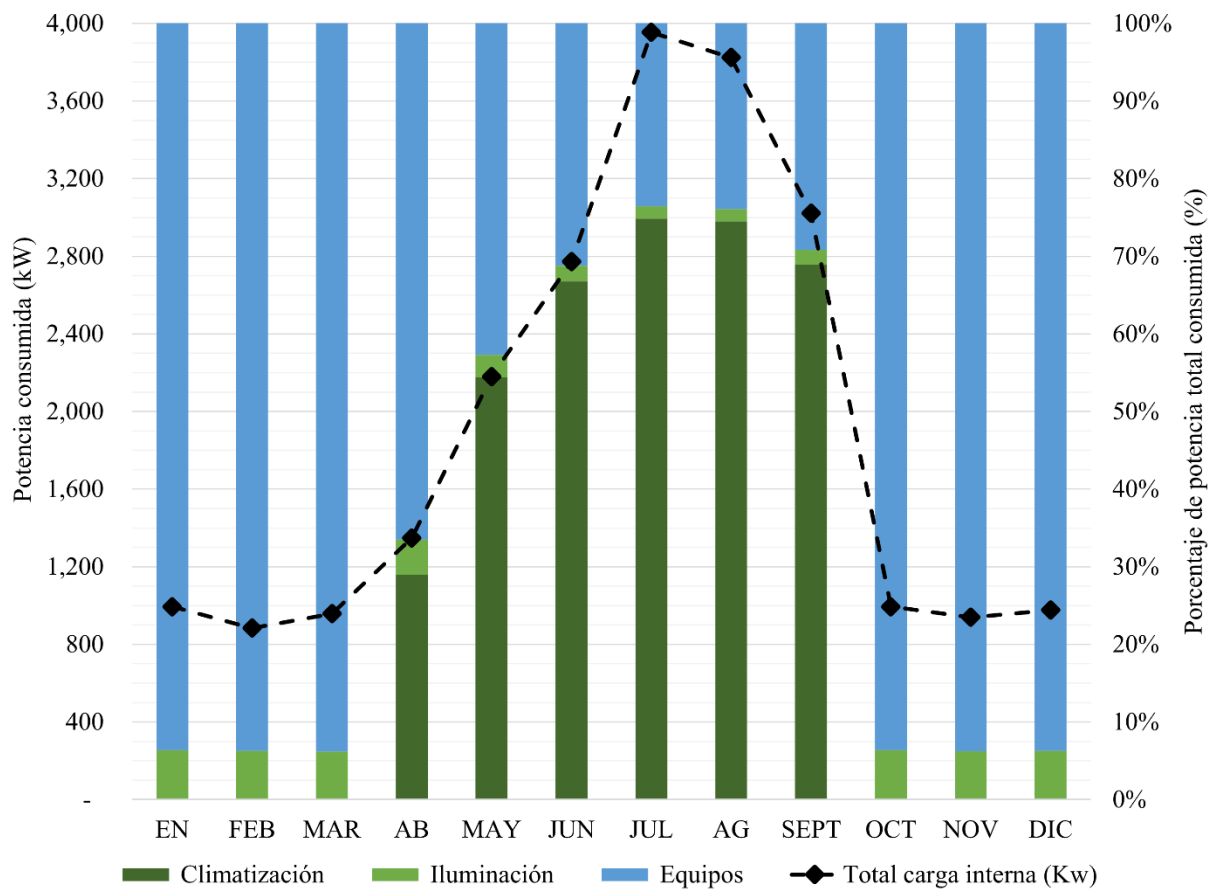


Figura 29. Consumo mensual en planta alta. Elaboración propia

A partir del análisis del consumo energético por área de planta, se determinó que PA consume más energía por climatización, debido a que se debe retirar más calor del espacio al tener el techo expuesto a radiación solar directa con 54% para planta alta y 46% en planta baja.

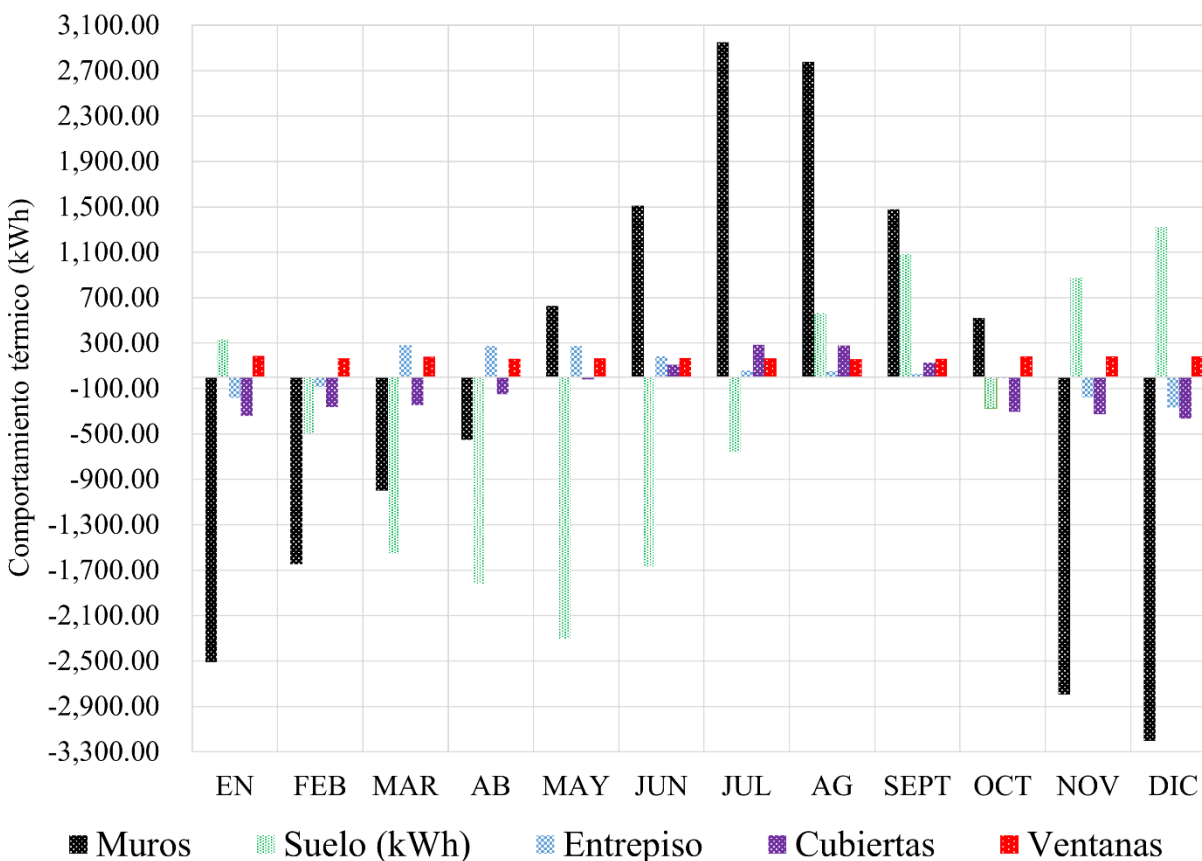
#### 4.2.3 COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LA ENVOLVENTE ARQUITECTÓNICA

La teoría descrita en la sección 2.4 destaca el impacto que el diseño de envolventes tiene para el desempeño ambiental, térmico y energético del edificio. En este apartado se analiza el desempeño termo-energético del edificio, para determinar los requerimientos de sistemas

1 artificiales de climatización por efecto de los componentes de la envolvente y así proponer  
 2 adecuaciones para lograr una calidad de adecuada en la edificación.

3 La climatología de la ciudad, descrita en la sección 2.6.1, se ve reflejada en el  
 4 comportamiento térmico de la envolvente; se agrupan tres temporadas para un análisis con más  
 5 precisión: temporada de invierno entre noviembre y marzo, temporada de verano entre mayo y  
 6 septiembre; y por último, temporada de transición en abril (invierno a verano) y octubre (verano  
 7 a invierno).

8 El análisis general de la envolvente determinó un bajo desempeño térmico en muros, ya  
 9 que se tienen pérdidas considerables de calor en invierno, así como ganancia de calor en verano,  
 10 además, la transición entre temporadas se observa con pérdidas de calor por suelo; debido a las  
 11 bajas temperaturas del mismo, como se muestra en la Figura 30.



12

13

Figura 30. Balance energético de envolvente arquitectónica. Elaboración propia

1           En verano se observan las máximas ganancias térmicas de calor en julio (2,952 kWh),  
2 mientras que, en invierno se observan las máximas pérdidas de calor por muros en diciembre (-  
3 3,204 kWh). Esto indica, que es necesario proponer adecuaciones a los sistemas constructivos de  
4 muros, además del resto de la envolvente arquitectónica para disminuir el intercambio-energético  
5 de la edificación.

6

#### 7           **4.2.3.1 COMPORTAMIENTO TÉRMICO PLANTA BAJA.**

8           Durante el mes de enero, se tiene pérdida de calor por muros de hasta -1,727 kWh, esto  
9 indica, que la TBS exterior es más fría que la edificación debido a que la carga interna hace que  
10 la TBS del edificio se mantenga cálida, sin embargo, se observa en la Figura 31 perdidas de calor  
11 por entrepiso, lo que indica que planta baja es menos cálida que planta alta.

12           De febrero en adelante, la perdida de calor por muros disminuya hasta abril y esto es  
13 debido a que las condiciones climáticas, permiten que el edificio permanece en condiciones de  
14 confort más tiempo, ya que, en el periodo de la tarde y hasta las primeras horas de la mañana se  
15 tienen mañanas y noches frescas y solamente al medio día se cuenta con temperaturas cálidas.

16           Debido a la falta de materiales con alta resistencia térmica en la envolvente y las altas  
17 cargas internas, es necesario operar el aire acondicionado a partir de abril, sin embargo, se tienen  
18 perdidas por muros de -147 kWh, lo que indica que la TBS interior es más cálida que la exterior.  
19 La temporada de mayores ganancias de calor inicia en mayo, al tener un aumento de TBS  
20 exterior sobre el nivel de “bienestar”, en conjunto con una mayor radiación global horizontal se  
21 genera una ganancia de calor por muros de 610 kWh.

22

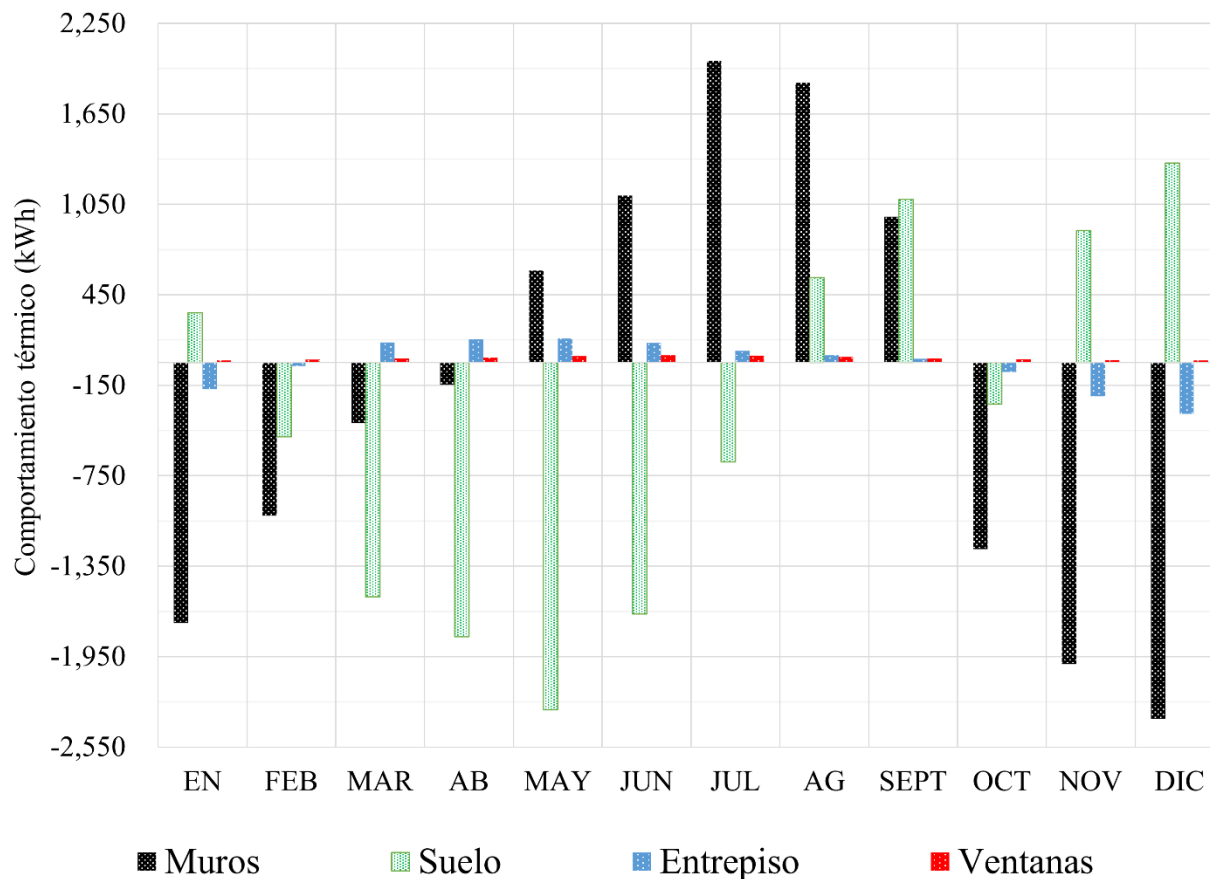


Figura 31. Balance energético planta baja. Elaboración propia

En verano crítico, se tiene la mayor aportación de calor se da en julio, por muros (2,003 kWh) y con pérdidas por suelo de (-659 kWh); en agosto se observa un comportamiento similar en muros con intercambio térmico de 87 kWh menos (total de 1,857 kWh), sin embargo, se tienen ganancias por suelo de 564 kWh.

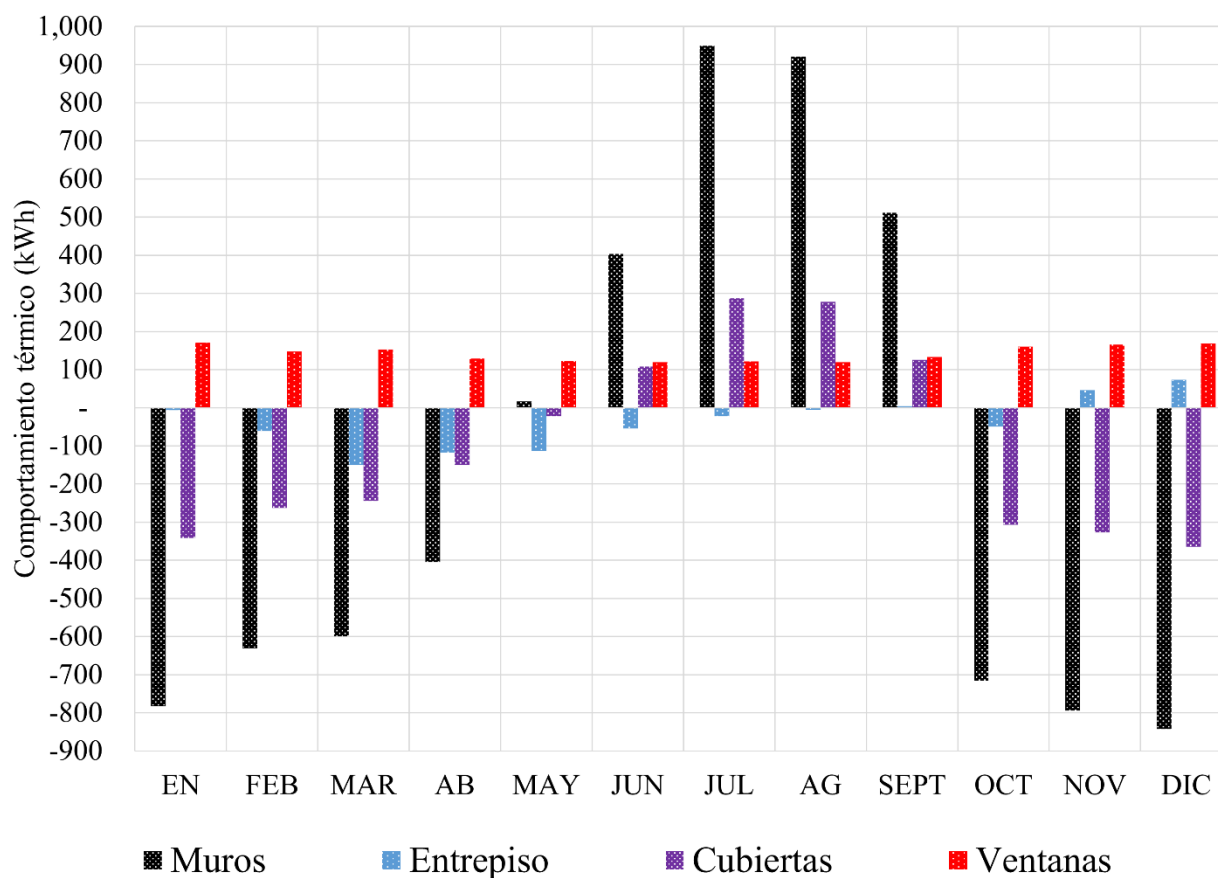
Octubre marca el cambio de clima cálido a frío de la temporada y es el primer mes en que el edificio vuelve a operar con ventilación natural, esto se refleja en una mayor temperatura interior promedio (28.5 °C) lo que ocasiona pérdidas de calor en la envolvente por medio de muros (-1,237 kWh) y suelo (-274 kWh).

1

2 **4.2.3.2 COMPORTAMIENTO TÉRMICO EN PLANTA ALTA.**

3 La sección de planta alta de este caso de estudio es de 68 m<sup>2</sup>, mientras que planta baja  
 4 tiene un área de 131 m<sup>2</sup>, esto representa que la sección de planta alta representa el 52% del área  
 5 de planta baja; más detalles respecto al caso de estudio se contemplan en la sección 3.1.4.

6 Al simular el comportamiento térmico de la envolvente, se encontraron algunas  
 7 similitudes con planta baja, ya que, se inicia el año con grandes pérdidas en muros, que  
 8 representan -783 kWh-de intercambio térmico con el exterior en el mes de enero. Además, que  
 9 en el mismo mes se tiene las mayores pérdidas de calor por cubiertas (-341 kWh), como se puede  
 10 observar en la Figura 32.



11

12

*Figura 32. Balance energético planta alta. Elaboración propia*

1 Las grandes pérdidas de energía por la envolvente indican que el ambiente exterior es  
2 más frío que la TBS interior, lo que provoca que el espacio pierda el calor generado por carga  
3 interna; sin embargo, las ventanas exteriores aportan ganancias durante toda la temporada de  
4 invierno. Las mayores ganancias térmicas, asociadas principalmente a aquellas de la fachada sur,  
5 son debidas a que la inclinación de los rayos solares durante esta temporada permite la ganancia  
6 de radiación solar directa.

7 De enero a abril las pérdidas de calor por muros y cubierta disminuyen paulatinamente, lo  
8 que indica que la TBS exterior va en aumento y la radiación solar incrementa la temperatura de  
9 la cubierta y muros perimetrales; lo que hace que se obtenga más calor al espacio interior. Sin  
10 embargo, de forma contraria, al tener mayores ganancias de calor y una temperatura de suelo por  
11 debajo de la temperatura de consigna de sistema de climatización se tienen pérdida de calor por  
12 entepiso.

13 Al igual que en PB, a partir de abril inicia operación el sistema de aire acondicionado,  
14 pero es hasta agosto en que el entepiso encuentra un balance térmico, que perdura hasta que la  
15 climatización artificial se deja de utilizar (octubre).

16 La temporada de calor en la ciudad, se refleja en el comportamiento térmico del mes de  
17 mayo, ya que, a pesar de existir una mayor temperatura exterior y mayor radiación solar, el  
18 sistema de climatización genera que los muros se enfríen, lo que hace que se tengan mayores  
19 ganancias de calor por muros y cubiertas.

20 A partir de junio, aumentan las ganancias por muros (403 kWh) y cubierta (108 kWh),  
21 pero las ganancias por ventanas disminuyen ligeramente (120 kWh), y es debido a que la altitud  
22 solar es mayor, lo que reduce la incidencia de radiación solar sobre muros y provoca una  
23 reducción de ganancias térmicas.

1 El mes crítico para el comportamiento térmico es igual que en PB, ya que en julio se  
2 estimaron las mayores ganancias de calor por muros (949 kWh) y cubierta (278 kWh); estas  
3 ganancias térmicas disminuyen ligeramente en agosto con ganancias por muros de 921 kWh y  
4 por cubierta de 278 kWh debido a la TBS exterior.

5 Septiembre es el último mes en que se utiliza climatización artificial debido a que la TBS  
6 promedio del ambiente se reduce a valores cercanos de temperatura de confort; en la Figura 32 se  
7 observa que las ganancias de calor en envolventes disminuyen debido a la reducción de  
8 temperatura ambiental y radiación solar.

9 Finalmente, noviembre y diciembre son los meses con mayores pérdidas de calor por  
10 muros (794 kWh en noviembre y 842 kWh en diciembre), estos valores son muy cercanos a las  
11 ganancias de calor durante la época de verano crítico, lo que indica falta de sistemas  
12 constructivos con alta resistencia térmica en la envolvente.

13

#### 14 **4.2.3.3 APORTACIÓN TÉRMICA POR CARGA INTERNA.**

15 Para entender la aportación de calor por iluminación, ocupación y equipos eléctricos, se  
16 analiza el consumo mensual del edificio, esta carga interna se describe en la Tabla 20 de la  
17 sección 4.3.2.

18 Con los datos simulados, se estimó una aportación de calor constante debido a los  
19 patrones de uso por ocupación, iluminación y de equipos que se programaron en ambas plantas;  
20 estos valores varían conforme a los días de cada mes, con un promedio general de consumo de  
21 2,897 kWh, mismos que se pueden observar en la Figura 33.

22

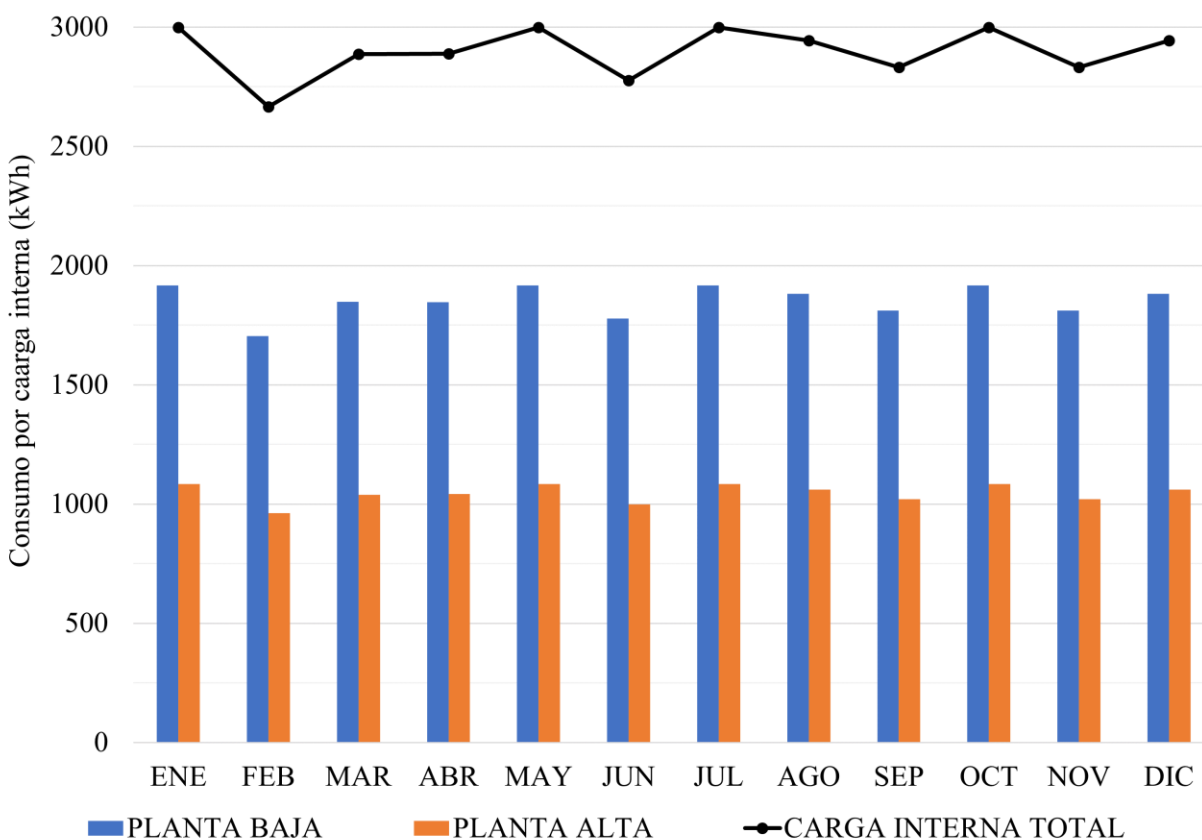
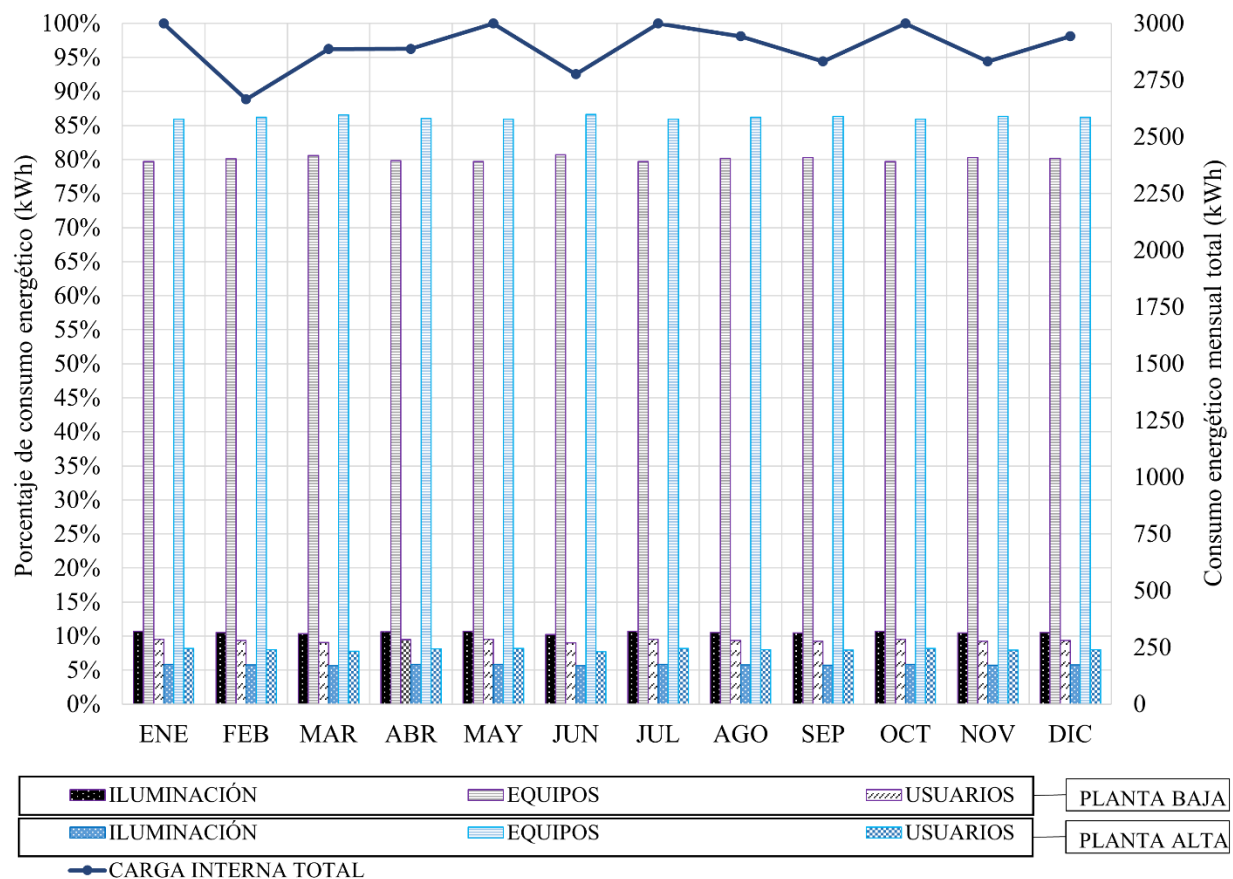


Figura 33. Consumo por cargas internas. Elaboración propia

Del total mensual en planta baja, el 11% es aportado por iluminación, el 80% por equipos y el 9% por usuarios. Para el caso de planta alta, el 6% es aportado por iluminación, el 86% por equipos y el 8% por usuarios.

Es importante recalcar la diferencia de área entre plantas, ya que como se comentó en la sección 4.3.3.2, la sección de PA representa el 52% del área de PB, sin embargo, la única carga acorde a esta proporción es por iluminación, ya que equipo eléctrico aporta más carga en PA que en PB y, la aportación de calor por usuario es solo 1% menos en PA que en PB, lo que indica una mayor aportación de calor por carga interna en planta; estos datos se pueden observar en la Figura 34.



1

2 *Figura 34. Porcentaje de consumo por iluminación, equipos y usuarios. Elaboración propia*

3

4 **4.2.3.4 COMPORTAMIENTO TÉRMICO POR TEMPERATURA.**

5 Un dato importante para determinar el bienestar térmico de la edificación es por medio de

6 la temperatura interior. Así pues, los resultados de simulación para el edificio situado en

7 Mexicali determinaron que es necesario utilizar climatización artificial para disminuir la

8 sensación de calor dentro de la edificación.

9 Por otro lado, se estimaron los promedios mensuales de TBS para el interior de planta

10 baja y planta alta; estos datos, se contrastaron con la TBS exterior del archivo climático referido

11 en la sección 3.3.2. En la Figura 35, se indica a partir de temperaturas promedios, los meses en

12 que el rango de bienestar de entre 22 a 26°C.

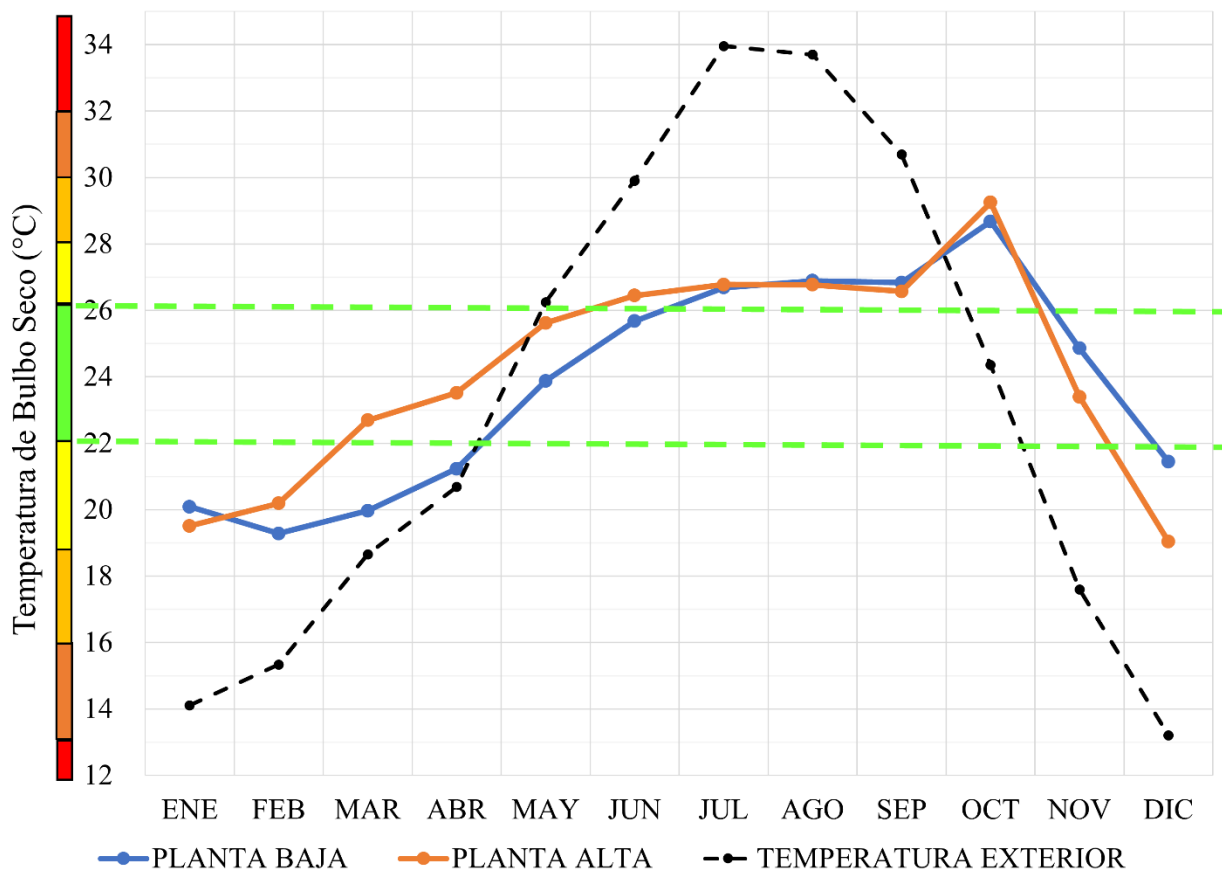


Figura 35. Temperatura de Bulbo Seco del edificio. Elaboración propia

Durante la temporada de invierno se estimaron promedio de TBS exterior por debajo del rango de bienestar de enero-abril y noviembre-diciembre, con tendencia a sensación “fresca” en marzo- abril hasta “muy frío” en diciembre que se considera el mes crítico de invierno, al tener una TBS considerada "muy insalubre" en la matriz de puntuación expuesta en la sección 2.4.1; esto es consistente con el monitoreo ambiental descrito en la sección 4.1.2.

Sin tomar en cuenta el tipo de sistema para climatización, el comportamiento térmico del edificio tiene TBS de "bienestar" en mayo, junio y noviembre con promedio de TBS de 24 °C, 26 °C y 25 °C respectivamente, con tendencia a una mayor temperatura en PA desde febrero

1 hasta octubre ya que tienen mayores ganancias de radiación solar, además de lo descrito en el  
2 análisis por carga interna.

3 Para los meses en que el edificio opera con ventilación natural, el promedio de TBS en  
4 PB es de 22.4 °C y en PA de 22.3 °C, mientras que para la temporada de climatización artificial  
5 es de 25.2 °C en PB y de 25.9 °C en PA.

6 La transición de temperatura entre abril y mayo marca el inicio de la temporada de calor  
7 intenso en la ciudad, debido al cambio de TBS exterior promedio de 20.7 °C (abril) a 26.2 °C  
8 (mayo) que se ve reflejado en un aumento de TBS interior de 2.6 °C en PB y 2.1 °C; es  
9 importante mencionar, que en dichos meses, el sistema de climatización artificial ya está  
10 funcionando, sin embargo, es a partir de mayo, que la TBS promedio exterior supera los 26°C  
11 que el aire acondicionado del edificio consume más energía para mantener niveles de bienestar  
12 térmico.

13 Es pues, que, julio, mes en que se registra el pico de TBS anual exterior con un promedio  
14 de 34°C (temperatura “muy insalubre”), se registra también la TBS interior promedio más alta, a  
15 pesar de que el sistema de climatización artificial esté funcionando con la misma consigna de  
16 temperatura. A pesar de esto, el edificio utiliza climatización artificial, por lo que el promedio de  
17 TBS interior se mantiene con un promedio de 25.6 °C que establece una TBS de “bienestar” a  
18 “aceptable” al interior.

19

#### 20 **4.2.3.5 CALOR A RETIRAR POR CLIMATIZACIÓN.**

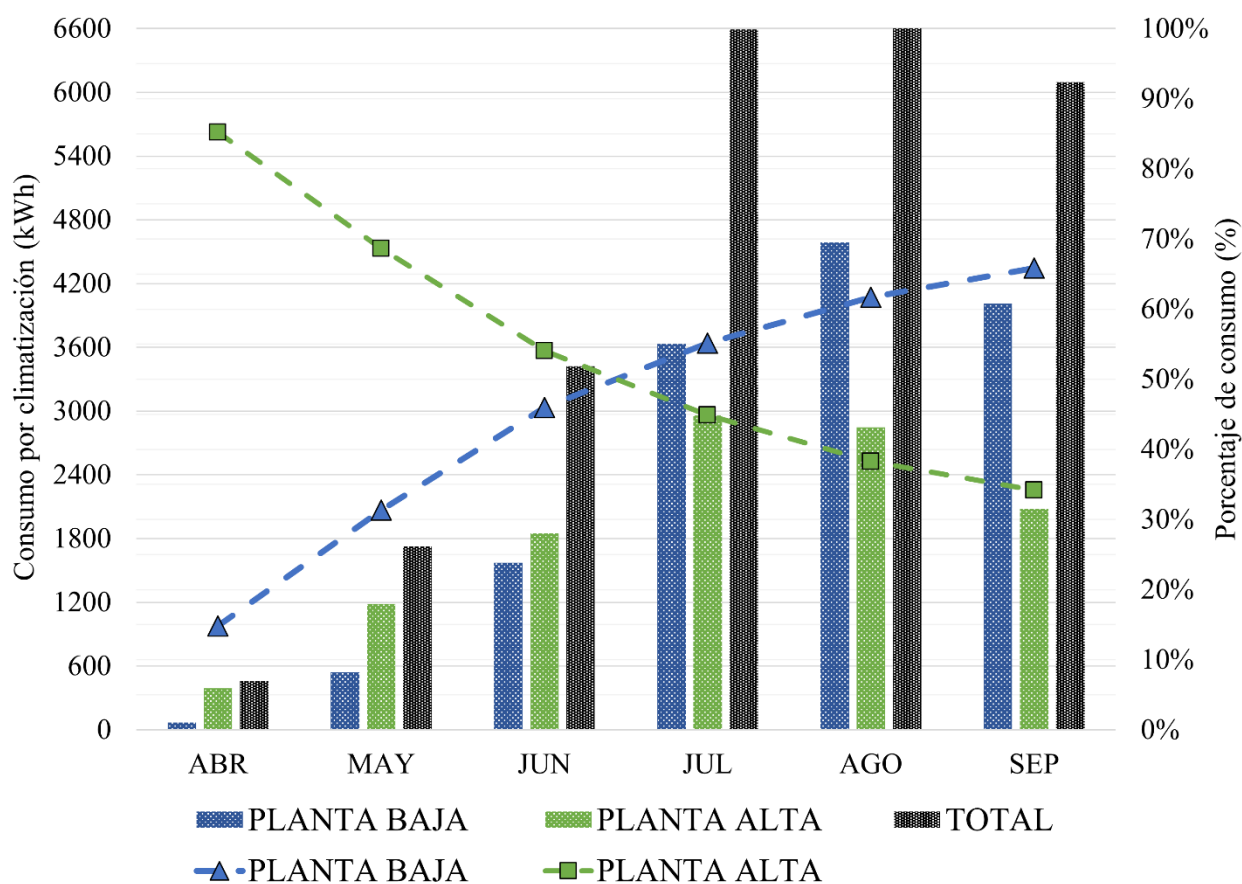
21 La carga externa e interna del edificio durante el periodo de climatización artificial se ve  
22 reflejado en el consumo energético, estos datos se describen en la Tabla 14 y Tabla 20.

1 Los resultados de la simulación termo-energética del edificio se dividieron en consumo  
 2 por planta, estos datos se muestran gráficamente en la Figura 36 para los meses de abril a  
 3 septiembre ya que el resto del año, el edificio opera de manera natural.

4 Durante la transición de invierno a verano intenso, el sistema de aire acondicionado debe  
 5 retirar más calor en planta alta (abril a junio), pero a partir de julio-septiembre, que se retira más  
 6 calor en PB debido al comportamiento térmico y de carga interna ya mencionado.

7 A pesar de esto, al comparar el consumo total de PA y PB durante el periodo con  
 8 climatización artificial, se obtiene que PA consume 54%, que representa 8.4% más carga térmica  
 9 a retirar en planta alta a pesar de que representa el 52% del área de suelo.

10



11

12

Figura 36. Consumo por climatización. Elaboración propia

#### 1 **4.2.4 CALIDAD DE ILUMINACIÓN NATURAL**

2 La iluminación natural en la edificación tiene un efecto positivo a la salud física y mental  
3 del usuario (Canazei et al., 2017; IWB, 2016). Gracias a investigaciones como las de Chen et al.,  
4 2019 y Vieira Dias et al., 2017, se ha concluido que, en el ámbito laboral, estos beneficios  
5 pueden mejorar la productividad del trabajador al disminuir tensión, ansiedad, síntomas de  
6 claustrofobia y mejorar su estado de ánimo; más beneficios sobre iluminación se discuten en la  
7 sección 2.2.3 Y 2.6.4

8 El bienestar por iluminación natural se determinó a partir del FLD, determinado en la  
9 sección 3.3.2, en que se buscó una calidad de iluminación entre los 300 lx y 900 lx en un plano  
10 de trabajo a 0.75 m.

11

##### 12 **4.2.4.1 ESTUDIO POR TIPOS DE ACRISTALAMIENTO.**

13 El análisis de acristalamiento se realizó con 10 sistemas distintos. El caso base,  
14 corresponde a las condiciones reales del edificio: vidrio claro de 6 mm (S-SC) en todos los vanos  
15 acristalados. Se continuó con el análisis de cuatro casos de vidrios sencillos, de los cuales tres  
16 cuentan con un espesor de 6 mm y uno de 9.5mm; por último, se analizaron cinco sistemas con  
17 doble acristalamiento de 25 mm de espesor, cuatro de ellos cuentan con dos vidrios de 6 mm  
18 separados por espacio de aire y uno más, también con dos vidrios de 6 mm, pero separado por  
19 espacio con gas argón.

20 La selección de tinte, recubrimiento, propiedades de transmisividad y valor U de los  
21 sistemas de acristalamiento, se basó en la literatura revisada y fichas técnicas de vidrios  
22 comercializados en la industria mexicana.

23 Entre las muestras de vidrio sencillo se encuentran: vidrio de tinte azul turquesa (S-AZ),  
24 tinte gris medio (S-FS), tinte azul ligero y tenue (S-OB) y vidrio tinte azul cielo brillante (S-SB).

1 De la misma manera, la muestra de sistemas doble acristalamiento se compone de: D-SP con  
 2 doble vidrio ultra claro, D-SBSC con un vidrio S-SB y uno S-SC, D-AZSC que incluye un vidrio  
 3 S-AZ y uno S-SC, D-S7 conformado por dos vidrios Low-E claro con recubrimiento de triple  
 4 plata pulverizado y, por último, D-AC de doble vidrio Low-E claro con bajo contenido en hierro.

5 Las propiedades de cada sistema mostradas en la Tabla 23, se obtuvieron de la ficha  
 6 técnica del fabricante del vidrio, información importante para el simulador como: transmitancia,  
 7 para establecer el porcentaje de radiación incidente transmitida en el material; reflectancia para  
 8 el porcentaje de radiación incidente reflejada; el coeficiente global de transferencia de calor (U),  
 9 para establecer la densidad de transferencia de calor por diferencia de temperatura entre  
 10 ambientes; el coeficiente visible térmico (LSG), que estableció la razón entre la transmitancia  
 11 visible y U del sistema de acristalamiento; y por último, el coeficiente de ganancia de calor solar  
 12 (CGCS), para establecer la ganancia de calor que entra a través de un sistema por radiación solar  
 13 incidente (DOF, 2012).

14

15

*Tabla 23. Propiedades de sistemas de acristalamiento simulados*

CÓDIGO	TIPO	TRANSMITANCIA (%)	REFLECTANCIA (%)	U (W/m <sup>2</sup> K)	CGCS	LSG
S-SC	Vidrio claro 6 mm	85%	8%	5.82	0.82	1.08
S-SB	Vidrio azul cielo brillante 9.5 mm	41%	5%	5.69	0.51	0.8
S-OB	Vidrio tinte azul tenue y neutral 6 mm	64%	6%	5.47	0.74	0.87
S-FS	Vidrio gris medio 6 mm	45%	5%	5.82	0.59	0.76
S-AZ	Vidrio azul turquesa 6 mm	68%	7%	5.82	0.52	1.31
D-SP	Low-E: Vidrio claro 6mm + aire 13 mm + claro 6mm	80%	14%	1.82	0.73	1.1
D-SBSC	Vidrio tinte azul cielo brillante 6mm + aire 13 mm + claro 6mm	50%	9%	0.66	0.49	1.02
D-S7	Low-E con recubrimiento triple plata: Vidrio ultra claro 6mm + argón 13 mm + ultra claro 6mm	64%	13%	1.58	0.27	2.37
D-AZSC	Vidrio tinte azul turquesa 6mm + aire 13 mm + claro 6mm	61%	11%	2.66	0.39	1.56

D-AC	Vidrio bajo contenido en hierro: Claro 6mm + aire 13 mm + claro 6mm	53%	12%	1.34	0.23	2.22
------	---	-----	-----	------	------	------

Fuente: (Vitro Vidrio Arquitectónico, 2020).

Transmitancia y reflectancia, referente a luz visible.

U: Coeficiente global de transferencia de calor.

CGCS: Coeficiente de ganancia de calor solar.

LSG: Coeficiente visible térmico.

1

#### 2 **4.2.4.2 ILUMINACIÓN NATURAL ESTACIONAL.**

3 La iluminación natural en un edificio está condicionada por el diseño de elementos  
4 traslucidos presentes en la envolvente. Cuando la iluminación natural es el principal método de  
5 iluminación interior, se debe prestar especial atención en la ubicación y diseño de ventanas,  
6 aunque el valor óptimo para equilibrar la iluminancia y ganancia de calor solar, se logrará al  
7 analizar el caso específico mediante las propiedades térmicas del material, así como la correcta  
8 selección de elementos de sombreado (ASHRAE, 2013).

9 En términos generales, se encontró que el edificio tiene problemas de iluminación  
10 mayores en fachada sur que en fachada norte ya que al comparar la relación V-S y V-M con la  
11 investigación de Shaeri et al., (2019), se encontró que las zonas O3 y O4 tienen una relación V-S  
12 menor al 10% recomendado, como se puede observar en la Tabla 24; sin embargo, a pesar de que  
13 fachada norte tiene mejor iluminación natural, solo dos zonas están cercanas al 20% de relación  
14 V-M que Shaeri et al., (2019), recomiendan para iluminación óptima.

15 Así pues, se encuentra iluminación óptima en V1 con V-M de 26% y V-S de 24%, y O2  
16 con un V-M de 18% y V-S de 24%, lo que representa que la relación V-M no es el único factor  
17 para obtener condiciones de confort lumínico natural en espacios, sino que, la relación V-S  
18 también es un factor importante al analizar la situación particular de cada zona.

19

20

1 *Tabla 24. relación vano-suelo, vano-muro e iluminación promedio por zona analizada.*

PLANTA	ZONA	ÁREA (m <sup>2</sup> )			RELACIÓN DE ÁREAS (%)		ILUMINACIÓN PROMEDIO (lux 12:00pm)				ÁREA DE SUELO DENTRO DE LÍMITES (%)			
		SUELO	MURO	V <sup>1</sup>	V-S <sup>2</sup>	V-M <sup>3</sup>	21-mar	21-jun	21-dic	Nub <sup>4</sup>	21-mar	21-jun	21-dic	Nub <sup>4</sup>
BAJA	COC	10.5	10.7	1.0	10%	9%	300	458	221	435	17%	41%	5%	25%
	O2	15.0	13.7	1.6	11%	12%	373	475	250	189	26%	41%	12%	2%
	O5	5.5	7.5	1.3	24%	18%	424	577	312	155	99%	100%	49%	0%
ALTA	O7	17.3	10.6	1.0	6%	9%	643	643	824	337	5%	5%	9%	2%
	O8	16.4	11.2	1.0	6%	9%	482	482	765	258	5%	5%	10%	1%
	O10	10.0	14.6	1.7	17%	11%	607	607	472	321	52%	52%	43%	32%
	V1	5.9	5.5	1.4	24%	26%	532	532	415	288	89%	89%	66%	27%
PROMEDIO DE TODAS LAS ZONAS							480	539	465	283	42%	48%	28%	13%

Anotaciones: <sup>(1)</sup> V: Ventana. <sup>(2)</sup> V-S: Ventana-Suelo. <sup>(3)</sup> V-M: Ventana -Muro. <sup>(4)</sup> Nub: Cielo nublado

Elaboración propia

2

3

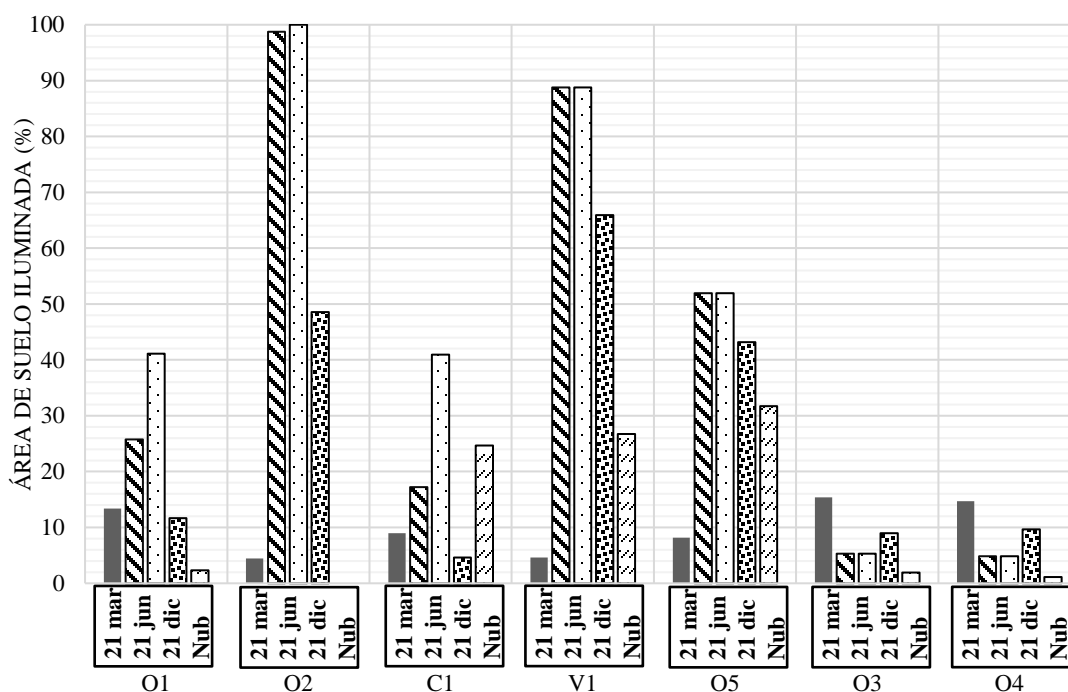
4 En los días analizados, todas las zonas superan los 300 lx a excepción del día nublado,  
5 en el que O2, O5 y O8 no cumplen con la NOM-025, ya que su valores promedio por zona son  
6 menores; sin embargo, superar el límite establecido por la norma mexicana, no representa que  
7 la iluminación natural es óptima para el área de trabajo, ya que para la mayoría de las zonas el  
8 porcentaje de área de suelo iluminada es menor al 55% que establece el estándar internacional  
9 de la USGBC para el diseño de luz natural en espacios interiores.

10 Al comparar la relación V-M y V-S de cada zona, se encontró que la mayor afectación  
11 está en O7 y O8, ya que el porcentaje de área iluminada es menor al 10%, como se aprecia en  
12 la Tabla 24. Sin embargo, se encontraron otras dos zonas con valores cercanos en su relación:  
13 O2, con V-M de 12% y V-S de 11% que permite iluminación óptima entre el 2% y 41% de  
14 suelo en el peor y mejor escenario de cielo; y por último, la zona COC con un V-M de 9% y  
15 V-S de 10% permite el 5% de área iluminada de suelo en el día crítico y 41% para el mejor  
16 caso de cielo, ligeramente más área de suelo iluminada que en O2 a pesar de que los valores

1 de V-M y V-S de COC son menores. Esto indica que además de la proporción de la ventana en  
 2 el espacio, otros factores como orientación y elementos de sombreado son importantes para  
 3 analizar la iluminancia natural en el espacio.

4 Las zonas con mayor iluminación son O5 y COC, que además de tener mayor V-M,  
 5 comparten la característica de un vano centrado al muro. V1 con V-M de 26% logra iluminar  
 6 entre 27% y 89% de área de suelo durante los casos analizados y O5, con una relación V-M de  
 7 18% logró iluminar 49% del área de suelo, en el caso del 21 de diciembre y 99% y 100% para  
 8 los casos de 21 de marzo y 21 de junio.

9 Para el resto de las zonas con V-S mayor a 10%, la iluminación natural se aprovecha,  
 10 pero no es suficiente para cumplir con el estándar internacional. Además, la iluminación es  
 11 peor en aquellas en que el vano está situado a un extremo del muro, como en el caso de O2,  
 12 O7 y O8; en la Figura 37 se observa las variaciones del porcentaje de área iluminada de cada  
 13 zona, según las distintas simulaciones de cielo.



14

15 *Figura 37. Porcentaje de área por zona con iluminación mayor 300 lux. Elaboración propia*

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24

La selección del mejor y peor comportamiento corresponde con el promedio de iluminancia global exterior, pues este se reflejó en la iluminación de las zonas analizadas; tal fue el caso del 21 de junio con 539 lx promedio, después el 21 de marzo con 480 lx promedio, que representa 12% menos que el solsticio de verano, posteriormente el 21 de septiembre con 11% menos iluminación, y en el último lugar de análisis de cielo claro, se encontró el 21 de diciembre con un promedio de 465 lx que representa una pérdida de 16% de iluminación conforme al mejor caso.

Finalmente, el peor escenario de diseño fue del cielo nublado, ya que se encontró con 63% menos iluminación contra la simulación del 21 de junio.

Cabe destacar que el caso del 21 de septiembre quedó fuera del análisis específico ya que la diferencia de resultados por zona fue menor a 1% en comparación al cielo del 21 de marzo. Además, aunque el mejor caso de estudio se encontró el 21 de junio, se eligió como caso promedio para comparar los distintos sistemas de acristalamiento, a aquel más cercano al promedio anual de la iluminancia global otorgada por la estación climática No.747185, que corresponde al 21 de marzo.

A continuación, se discuten los resultados para cada uno de los cielos de diseño para la evaluación del caso de estudio.

Los resultados de simulación de cielo nublado representan las condiciones críticas de iluminación natural en el edificio analizado, ya que solo en el 8% del área total de las zonas superan la calidad de iluminación establecida en la NOM-025-STPS-2008, pero no logran cumplir con el estándar internacional de la USGBC.

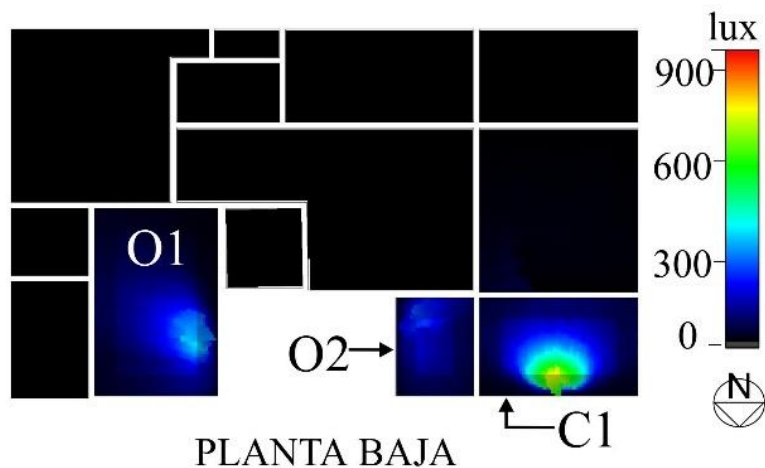
En general, las ventanas con orientación norte permiten mejor iluminación natural, ya que a pesar de tener diferencias en su relación V-M, tienen un V-S igual o mayor al 10% en

1 comparación a aquellas en orientación sur, en donde su relación V-S es de 6%; menor a lo  
2 establecido por Shaeri et al. (2019) como suficiente para aprovechar la iluminación natural.

3 En la fachada principal, las zonas con mejor iluminación son, O10 con 27% de área de  
4 suelo iluminada con un V-M de 17%; V1, 27% de área de suelo iluminada con un V-M de  
5 24%; y COC, 25% de iluminación de suelo con un V-M de 10%; cabe recalcar que la  
6 iluminación es deficiente para áreas de trabajo pues es menor al 55% del estándar  
7 internacional; el porcentaje específico por zona se puede observar en la Figura 37.

8 Las dos últimas zonas ubicadas en fachada principal, O2 y O5 están remetidas en la  
9 edificación, lo que resulta en iluminación deficiente debido a elementos que sombrean los  
10 vanos de cada zona. La que mayor afectación tiene es la O5 al lograr un promedio de  
11 iluminación 155 lx; cabe destacar que su relación V-M es de 18%, ligeramente por debajo del  
12 20% recomendado por Shaeri et al. (2019), sin embargo, el entrepiso es un elemento de  
13 sombreado amplio y no permite una mejor condición de iluminación a pesar de tener un vano  
14 centrado a muro. En la Figura 38, se puede visualizar la distribución de iluminación natural en  
15 las zonas analizadas de planta baja.

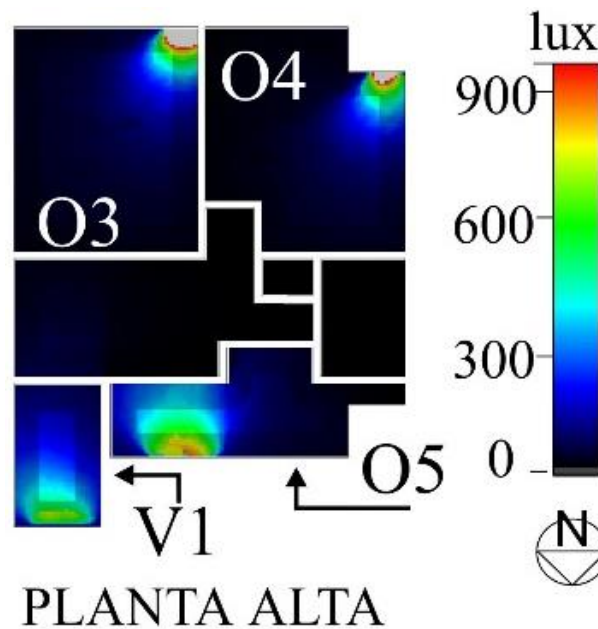
16



17

18 *Figura 38. Distribución de iluminación natural en día nublado. Elaboración propia a partir*  
19 *de datos obtenidos en Design Builder*

1 Finalmente, para la fachada sur, la zona O7 se podría beneficiar de iluminación natural  
 2 en un día nublado si el V-M fuera mayor al 9% que tiene actualmente, pues permitiría un  
 3 mayor porcentaje de suelo iluminado, ya que esta zona generó un promedio de 337 lx, 12%  
 4 arriba de lo que la norma mexicana establece. En la Figura 39 se puede observar la  
 5 distribución de iluminación natural en las diferentes zonas de caso de estudio en planta alta.  
 6



8 *Figura 39. Distribución de iluminación natural para día nublado. Elaboración propia*  
 9

10 A partir del estudio de cielo claro para los solsticios y equinoccios se conocen  
 11 condiciones de iluminación natural bajo diferentes periodos estacionales. A continuación, se  
 12 describen los resultados de iluminación natural para cielo claro en los días 21 de marzo, 21 de  
 13 junio y 21 de diciembre.

14 Los resultados de simulación para el 21 de marzo muestran que las zonas con mayor  
 15 beneficio son aquellas con relación V-M mayor; de las cuales la zona con mejor iluminación  
 16 fue la O5 con un promedio de 424 lx en 99% de área. Cabe destacar que el espacio no recibe

1 radiación solar directa debido al entepiso que sombrea la ventana, pero la forma rectangular  
2 vertical de vano y un V-M de 24%, permitió aprovechar la altura del espacio para distribuir la  
3 iluminación de manera uniforme y alcanza a iluminar a mayores profundidades el espacio.

4 La zona O2 cuenta un promedio de 373 lx, esto es 13% menos iluminación que el  
5 espacio O5 a pesar de compartir características similares respecto a su ubicación en la  
6 distribución del edificio; mientras el vano de O5 se sitúa en el muro este y O2 en el muro  
7 oeste, su diferencia más importante se encuentra en la relación V-S, así como la ubicación y  
8 forma de la ventana, ya que O2 tiene un vano rectangular horizontal situada en un extremo del  
9 muro con 13% menos V-S que O5.

10 La calidad de iluminación en los espacios de la planta alta es mejor debido a que tienen  
11 mayor V-S que en planta baja. Así pues, el 89% del área de suelo iluminada en V1 tiene un  
12 promedio de 532 lx y el 52% del área del suelo de O10, se ilumina con 607 lx. Cabe destacar  
13 que la zona V1 cuenta con el techo del cubo de escaleras que genera un área de sombreado  
14 mayor que evita el deslumbramiento, a diferencia de la ventana en la zona O10, en donde el  
15 volado de cubierta es más corto y la iluminación máxima de este espacio sobrepasa el límite  
16 de iluminación.

17 Finalmente, en los casos O7 y O8 se encuentran los promedios de iluminación más  
18 altos de todas las zonas, sin embargo, con los porcentajes de área de suelo iluminado más  
19 bajos; ya que con 482 lx y 607 lx respectivamente, solo el 5% del área de suelo se ilumina,  
20 esto debido a una baja relación V-M.

21 El mejor escenario para iluminación natural es el 21 de junio al tener mayor  
22 iluminancia global. Los siete espacios reciben un total de 3,773 lx, lo que incrementó la  
23 iluminación natural en un 63% respecto al cielo nublado (caso crítico).

1           En el solsticio de verano todas las zonas superan los 300 lx, con los niveles más altos  
2 en la O7 con 646 lx y, O10 con 607 lx, sin embargo, a pesar de tener los niveles más altos de  
3 iluminación, no genera una condición favorable para la calidad de ambiente lumínico al tener  
4 V-M con valores bajos.

5           En el caso de O8 (fachada sur), la ventana cuenta con un elemento que sombrea al  
6 vano y obstruye el paso directo de los rayos del sol, sin embargo, permite una iluminación de  
7 482 lx en el espacio. Los espacios O2 y COC, tienen iluminación natural dentro del rango  
8 establecido en el 41% del área de suelo de acuerdo.

9           En el solsticio de invierno se disminuye la iluminación natural en los espacios a 28%  
10 del total de área analizado. Se encuentran dos zonas que no cumplen con la norma mexicana:  
11 COC con calidad de iluminación promedio de 221 lx y la zona O2, con 250 lx promedio.

12           Las zonas con mejor iluminación se ubican en planta alta con orientación norte. El  
13 único espacio que logra cumplir con la especificación nacional e internacional fue V1 con  
14 66% del área iluminada por 415 lx promedio. Después se encuentra el espacio O10 que  
15 cumple con la norma nacional al iluminarse con 472 lx, pero no con la recomendación de la  
16 USGBC pues solo el 43% del área de suelo tiene iluminación óptima.

17           Las zonas con peor iluminación se encuentran en O7 y O8 ya que a pesar de tener una  
18 iluminancia promedio por zona de 824 lx, esta solo se presenta en 9% para O7 y 10% para O8,  
19 lo que validaría el estudio de Shaeri et al. (2019) para el solsticio de invierno.

20

#### 21           **4.2.4.3 ACRISTALAMIENTO Y CALIDAD DE ILUMINACIÓN.**

22           La calidad y cantidad de luz natural en ambientes interiores está condicionada por las  
23 características de la envolvente del edificio, pero principalmente por las propiedades ópticas  
24 de la superficie del material de las ventanas. Existen en el mercado una gran cantidad de

1 sistemas de acristalamiento que varían en su espesor y color, e incluso recubren el material por  
2 metales con el fin de aumentar el valor U o disminuir el CGCS.

3 En términos generales, el sistema de acristalamiento S-SC, tiene un total promedio de  
4 481 lx, posicionándolo como el mejor sistema de acristalamiento para iluminación natural en  
5 el caso de cielo claro del 21 de marzo.

6 A partir del análisis por simulación se encontró que al comparar los nueve sistemas de  
7 acristalamientos con el caso base, la iluminación natural disminuye; además, solo seis  
8 permiten buena iluminación natural al sobrepasar los 300 lx en las zonas. Esto establece que la  
9 calidad de iluminación natural en el espacio no se puede mejorar al cambiar las propiedades  
10 físicas del material, sino que es necesario realizar cambios en la envolvente del edificio para  
11 mejorar la relación V-M y V-S de cada espacio.

12 La mejor iluminación en los nueve sistemas de acristalamiento comparados fue con el  
13 vidrio ultra claro S-AZ, ya que permitió un promedio total de 373 lx, lo que representa solo  
14 22% menos que caso base.

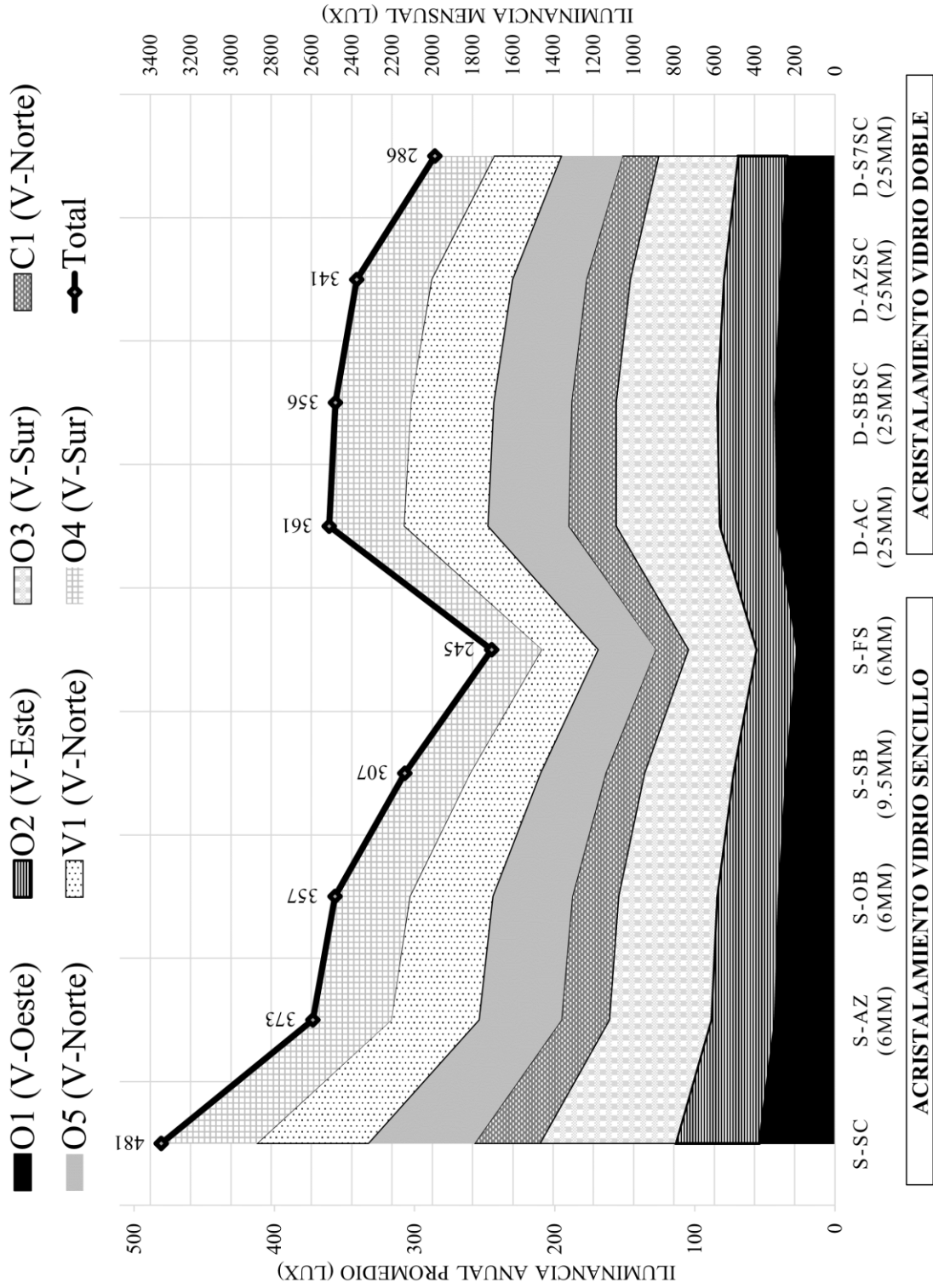
15 En segundo lugar, está al vidrio D-AC al permitir 361 lx promedio, que representa una  
16 pérdida de 25% de iluminación en las zonas; después, el vidrio S-OB y D-SBSC pues ambos  
17 iluminaron en promedio 26% menos que el caso base, al resultar en 357 lx cada uno. Por  
18 último, el sistema de acristalamiento con vidrio de 9 mm de espesor, S-SB permitió un  
19 promedio de 307 lx en las zonas analizadas (40% menos que caso base).

20 Una vez comparados los diferentes sistemas de acristalamiento por zona, se encontró  
21 que el color de vidrio con menos pérdidas de iluminación fue con tinte azul (S-AZ y S-OB).  
22 De esta manera se comprueba que la combinación de propiedades térmicas como  
23 transmitancia solar y mayor CGCS brindarán una mejor iluminación natural al espacio.

1            Además, los sistemas de acristalamiento de vidrio sencillo permiten mejor iluminación  
2    contra los dobles tal como se puede observar en la Figura 40, así pues, los únicos sistemas de  
3    acristalamiento que quedaron con zonas por debajo de los 300 lx establecidos, son D-S7SC  
4    que permitió en O10 un promedio de iluminación de 297 lx (61% menos que el caso base), D-  
5    AZSC con las zonas V1 y O10 con 275 lx y 296 lx cada espacio (60% menos que S-SC), y por  
6    último, S-FS con las zonas V1 en 282 lx (69% menos que S-SC), O8 con 258 lx promedio (71  
7    % menos) y O10 con 285 lx (74% menos).

8            En síntesis, el cambio de sistema de acristalamiento de vidrio doble a vidrio sencillo  
9    ayuda a evitar el deslumbramiento en espacios ya que disminuye las ganancias solares, pero es  
10   importante seleccionar el vidrio adecuado para permitir mejores condiciones de iluminación  
11   en zonas con vanos reducidos.

12



1  
2

Figura 40. Iluminancia por zona, con diferentes tipos de vidrios. Elaboración propia

#### 4.2.4.4 GANANCIAS TÉRMICAS POR TIPO DE ACRISTALAMIENTO.

La relación entre elementos traslucidos y opacos de la envolvente es la característica que más afecta en la eficiencia energética de ventanas. Un valor alto de LSG puede maximizar la iluminancia en el espacio y reducir las ganancias de calor solar; sin embargo, el mejor rendimiento se encontrará en aquel sistema de acristalamiento que reduzca las ganancias de calor por acristalamiento, pero no comprometa la iluminación natural del espacio por debajo de lo estipulado en la NOM-025. Una regla general propuesta por la (ASHRAE, 2013) para el diseño de iluminación natural, es seleccionar acristalamientos con menores ganancias por radiación solar, sin embargo para minimizar las ganancias de calor y aprovechar la luz natural, se recomienda usar aquellos productos con transmitancia al menos 3 veces mayor que el CGCS.

Al analizar las ganancias mensuales por sistemas de acristalamiento para el caso de estudio, se obtiene que el peor comportamiento térmico lo tiene el vidrio base S-SC, ya que anualmente aporta al consumo energético 2,181 kWh.

Tras comparar los resultados por ganancias de los diferentes sistemas de acristalamiento los cuales se pueden observar en la Figura 41, se observó que las propiedades del material que tienen el mejor comportamiento térmico son aquellos con menor CGCS y mayor LSG. Dicho así, los vidrios con mejor comportamiento térmico comparados en el caso base son los vidrios claros Low-E, ya que D-S7SC disminuye ganancias en 84% y D-AC en 79%, después aquellos con tinte azul turquesa, pues D-AZSC disminuye en 64% y S-AZ, 55% menos ganancias de calor. Por último, el tinte azul cielo brillante D-SBSC, reduce a 50% las ganancias térmicas.

Después, aquellos sistemas de acristalamiento sencillo con vidrio tintado, S-FS de tinte gris, reduce 49% de ganancias de calor; S-SB con tinte azul cielo brillante, reducen 40%, D-

SP con vidrio ultra claro, reducen a 18% a pesar de ser un vidrio Low-E; y por último, el vidrio con peor comportamiento, fue el sencillo tinte azul ligero S-OB al reducir solo en 14% la aportación de calor por ventanas.

No obstante, la propiedad U del material fue de apoyo para los sistemas de acristalamiento con menor CGCS, pero no suficiente para contrarrestar un alto LSG; tal fue el caso del sistema de acristalamiento D-SBSC que disminuyó en 50% la aportación de calor a pesar de tener el coeficiente U de valor más bajo (0.66), pero con valores de CGCS de 0.49 y LSG con valor de 1.02 que los posicionan a la media de la lista del resto de los valores.

Así pues, los sistemas de acristalamiento con minerales en su composición tienen mayores beneficios térmicos. Los resultados de la simulación arrojan un beneficio de hasta 6.4 veces menos ganancias térmicas con un vidrio recubrimiento triple plata (S7SC), respecto al caso base con vidrio claro. Otro de los vidrios con ventajas térmicas es el vidrio con bajo contenido de hierro (D-AC), el cual disminuye las ganancias térmicas, respecto al caso base en 4.7 veces.

Cabe recalcar, que las propiedades de transmitancia sobre CGCS de D-S7SC, es 2.4 veces mayor y las de D-AC 2.3 veces mayor, lo que representa que la recomendación de ASHRAE, (2019), sobre propiedades de vidrio que funcionan para este tipo de clima, ya que a mayor transmitancia sobre CGCS, disminuye la ganancia de calor.

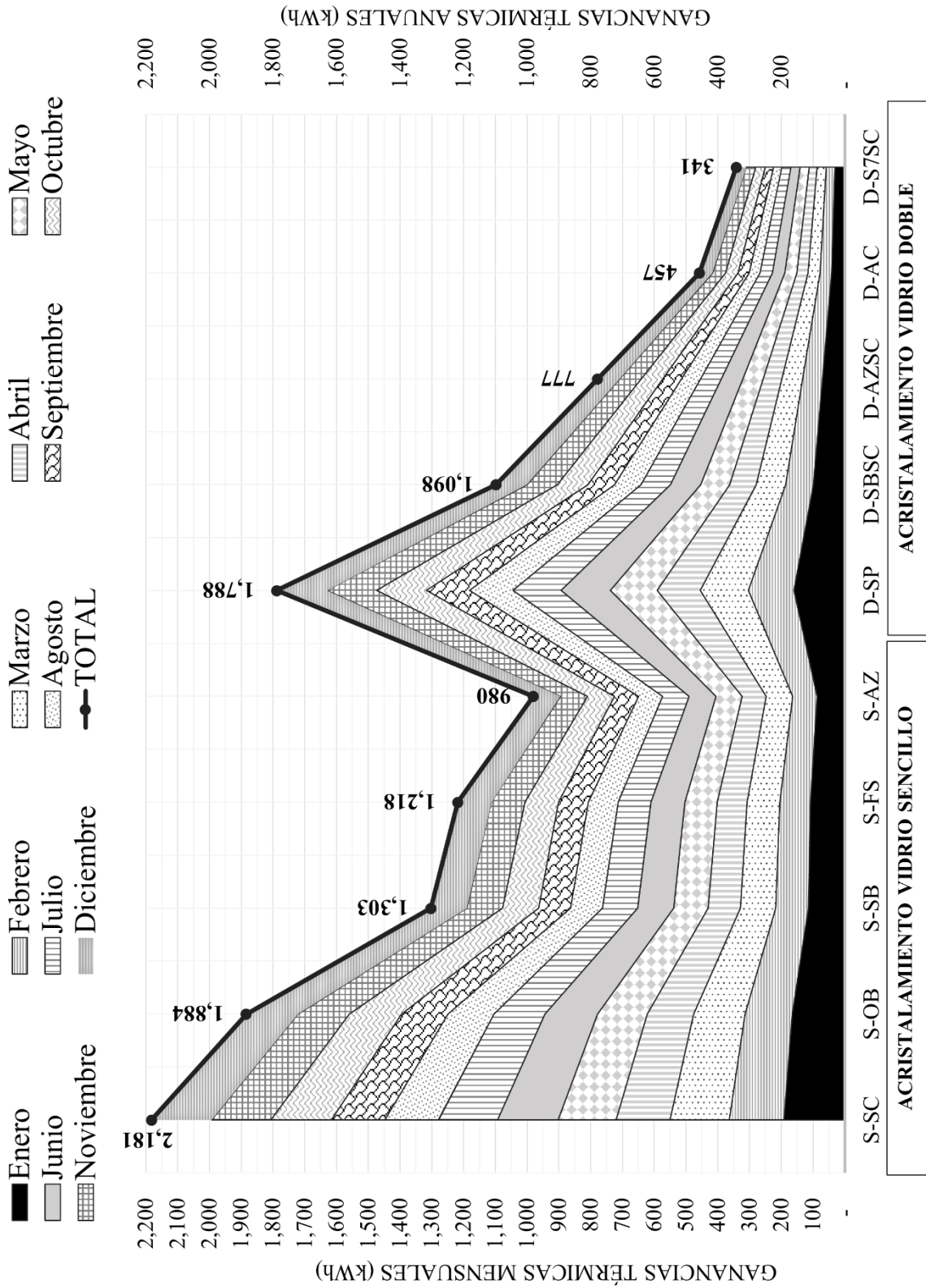


Figura 41. Ganancia térmica mensual con diferentes tipos de vidrio. Elaboración propia

Por último, aquellos sistemas de acristalamiento que permitieron buena calidad de iluminación y menor aportación de calor fueron: S-AZ con 1.3 veces mayor transmitancia solar que CGSC, al aportar 373 lx anual y ganancia total anual de 980 kWh (55% menos que el caso base) y D-AC con 2.3 veces mayor transmitancia solar sobre CGCS, aporta 361 lx y disminuye 79% las aportaciones de calor en el espacio (a 457 kWh anual); los resultados específicos de cada sistema de acristalamiento y su correlación de iluminación natural y consumo energético, se puede observar en la Figura 42.

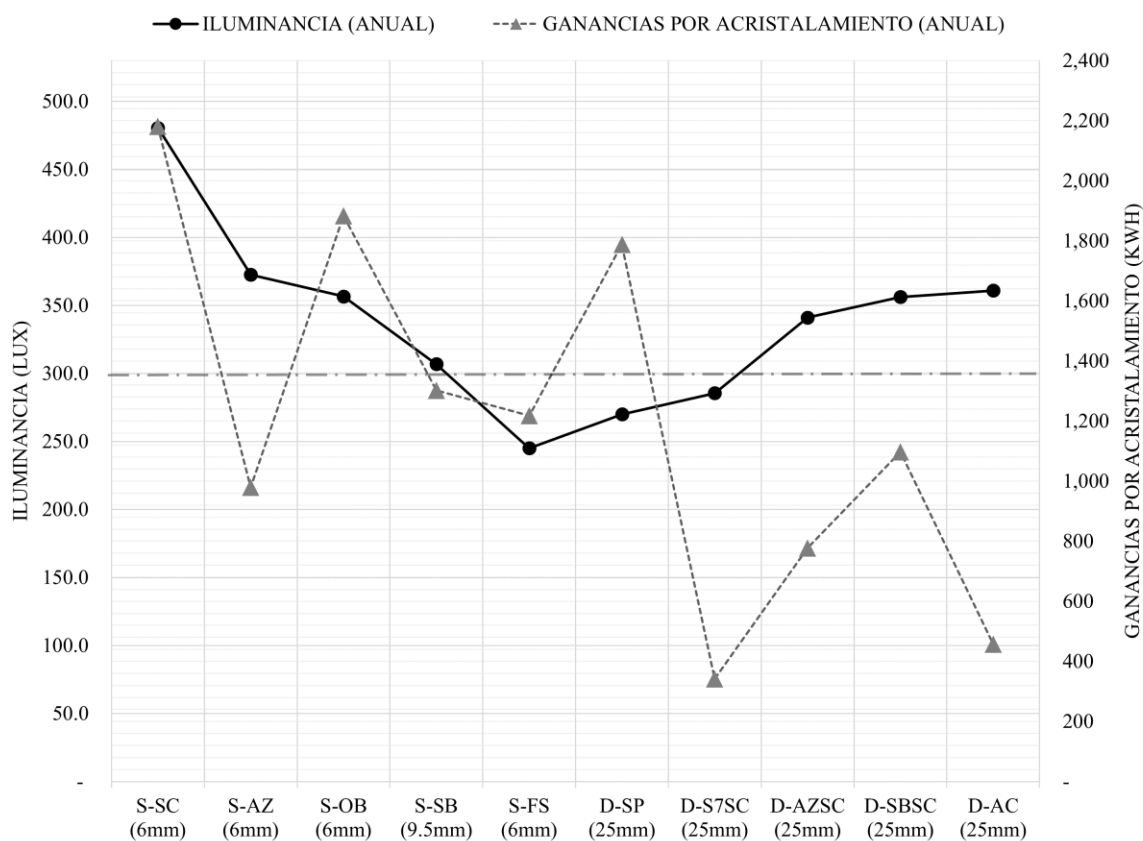


Figura 42. Relación de desempeño lumínico y térmico del edificio. Elaboración propia

### **4.3 DIAGNÓSTICO DE BIENESTAR AMBIENTAL INTERIOR**

Los instrumentos y herramientas para la evaluación ambiental, tales como normativas nacionales e internacionales, certificaciones para edificios verdes, índices de calidad de aire y programas para simulación dinámica avanzada son de apoyo para el diseño ambiental y energético de edificios ya que cada metodología aporta distintas perspectivas para solucionar problemas de envolvente y por consumo energético de la edificación.

La investigación realizada por Mandin et al., (2017), establece que se puede realizar una evaluación del ambiente interior y establecer posibles efectos que cada contaminante podría tener en la salud al basarse en pautas establecidas por la OMS, organizaciones e investigaciones respecto a la calidad de aire interior.

Además, existen diversas teorías sobre estrategias bioclimáticas para adaptar el diseño de edificios referidas en el capítulo 2; estas estrategias han sido aplicadas en diversas investigaciones como las mencionadas en la sección 1.8 y 1.9. Así pues, una vez evaluado los distintos parámetros que generan bienestar ambiental en la edificación presentados en la sección 4.1 y 4.2, se establecen los principales problemas de la edificación:

#### ***4.3.1 CALIDAD DE AIRE.***

ASHRAE, (2019), recomienda cuatro estrategias para mejorar la calidad del aire interior de un edificio: el primero, sobre eliminar o reducir las fuentes de emisión; el segundo, al utilizar un sistema para extracción o limpieza de aire; el tercero, sobre aumentar

la ventilación general para “diluir” la concentración de contaminantes; y por último, limpieza de aire por ventilación general.

Al examinar los resultados del monitoreo de calidad de aire explicados en las secciones 4.2.3, 4.3.4 y 4.2.5, se encuentran dos principales problemas de contaminantes, el primero derivado de COV ya que del periodo monitoreado el 92% del tiempo se presentaron valores fuera del rango de bienestar, y el segundo por CO<sub>2</sub> con un estimado de 52% del tiempo monitoreado con valores fuera del rango óptimo.

La investigación de Campagnolo et al., (2017), identifica el origen de las principales fuentes de COV en oficinas, e identifica que la principal fuente de concentración con 26% del total del conjunto de datos analizados de dicha investigación, es debido a compuestos de origen exterior como benceno, tolueno, etilbenceno, xileno y n-hexano, derivado de la infiltración de aire contaminado por tráfico y fuentes industriales.

Además, el 37% de la concentración, fue por formaldehído, acetaldehído, propanal y hexanal, asociados con materiales como madera, revestimientos en paredes, suelos y pinturas. El resto de los datos, fueron asociados en un 9% con productos de limpieza y otro 9% por estireno, uno de los principales contaminantes de impresoras.

Estas fuentes de COV son consistentes con otras investigaciones similares como la de Edwards et al., (2001); Hänninen et al., (2004); Missia et al., (2010); sin embargo, el monitoreo de la presente investigación incluyó un total de 55 diferentes COV, descritos en la sección 3.3.1, entre los principales productos químicos se incluyen aquellos gases asociados con madera, revestimientos de paredes, suelos y pinturas, disolventes de productos de limpieza, emisiones de impresora, así como de compuestos de origen exterior.

Así pues, a pesar de no tener un registro específico de cada COV, se identifica al mobiliario como una de las principales fuentes de emisión, ya que la mayoría están hechos

en base a madera. Otra fuente importante sería por muros y plafones ya que estos están cubiertos con pintura; sin embargo, se requiere un análisis más preciso de cada compuesto para poder identificar cual químico tiene mayor concentración.

Para mejorar el bienestar del aire del edificio, se deberá cambiar o reducir las fuentes de emisión para reducir la concentración de químicos, además de utilizar una programación de ventilación natural distinta, es pues, que con el objetivo de aumentar el intercambio de aire se recomienda abrir ventanas de las 11:00 a 17:00 h ya que, según el análisis de contaminantes exteriores, en este horario se tienen los niveles de contaminación más bajos.

Otra recomendación es aumentar el número y/o tamaño de ventanas para aumentar la tasa de renovación de aire; en caso de que no sea posible, será necesario un sistema de ventilación mecánico para renovar el aire interior.

Estas medidas beneficiarán también los niveles de concentración de CO<sub>2</sub>, debido a que en el mismo horario en que se tiene una mejor calidad de aire exterior, es cuando la ocupación del edificio tiene sus porcentajes más altos.

Además, se puede optar por plantas que absorban estas emisiones de contaminantes pues diversos estudios como el de (A. Smith et al., 2017) establecen que cierto tipo de plantas pueden disminuir los niveles de CO<sub>2</sub> en el aire y, a su vez, tener un efecto positivo en la salud mental del usuario.

Entre las especies de plantas que se pueden absorber toxinas y que se pueden encontrar en el bioclima del caso de estudio está el bambú (*bambusoideae* por su nombre científico), suculentas como el aloe vera o el arbusto dracaena (*dracaena deremensis*) y la *nephrolepis exaltata*, mejor conocida como Helecho de Boston (Awair, 2016).

#### **4.3.2 CALIDAD HIGROTÉRMICA.**

Un edificio saludable tiene la intención de satisfacer las necesidades higrotérmica de la mayoría de las personas. ASHRAE, (2019), define rangos de comodidad para el usuario respecto a la temperatura de aire, temperatura radiante, velocidad de aire, humedad relativa, entre otros aspectos mencionados en la sección 2.3.4.

Una de las recomendaciones que esta organización internacional hace, es la de establecer sistemas artificiales independientes en cada zona del edificio, para que el usuario pueda elegir su temperatura ideal; es así, que sistemas de certificación para edificios sustentables como LEED y WELL han adoptado esta recomendación como uno de los principales componentes para el bienestar ambiental.

Como se explica en la sección 2.6.1, debido a la situación climatológica de la ciudad, se requiere contar con sistemas de aire acondicionado al menos para la temporada de verano, para mantener el espacio en temperatura de bienestar debido a las altas TBS registradas en el ambiente.

Sin embargo, después de analizar los datos de monitoreo presentados en la sección 4.2.2, así como el comportamiento térmico de la envolvente en la sección 4.3.3, se recomienda la resistencia térmica de los componentes de la envolvente del edificio sobre los muros sur y norte, así como de cubierta; esto permitirá menores pérdidas de calor por la envolvente en invierno y mayores ganancias de calor en verano, lo que permitirá la posibilidad de minimizar el uso de aire acondicionado en los meses de transición entre temporadas (abril a septiembre).

Otra recomendación sería utilizar climatización artificial para aumentar la temperatura en los días críticos de invierno, sobre todo después de las 17:00 h en que la TBS exterior disminuye a una calificación “insalubre”.

### **4.3.3 CALIDAD DE ILUMINACIÓN.**

Los cambios de la posición del sol en los días analizados tienen un efecto positivo mayor sobre la fachada norte, ya que, a mayor altitud solar y radiación solar, la iluminación de los espacios es mayor, sin embargo, una menor altitud beneficia a las ventanas en la fachada sur, además, el análisis para mejorar el diseño de envolvente para mejorar la iluminación natural descrito en la sección 4.2.4, permite referir las siguientes recomendaciones:

Aumentar la iluminación natural en el espacio al aumentar la proporción vano-muro, además de incluir tragaluces en aquellas oficinas que no se puedan iluminar naturalmente por muros, sin embargo, las ventanas pueden afectar significativamente el comportamiento térmico del espacio (Troup et al., 2019), ya que para algunos edificios puede representar el 50% del calor a retirar por sistemas de climatización (Shaeri et al., 2019), es por esto que se debe analizar cada espacio para determinar la mejor posición, configuración y tamaño de la ventana.

Posterior a que se determine la proporción ideal para ventanas y tragaluces, se puede agregar elementos de sombreado para evitar el deslumbramiento y seleccionar el tipo de vidrio y tinte para evitar ganancias de calor que afecten el comportamiento térmico de la envolvente.

Por último, se propone agregar lámparas tipo LED en aquellos espacios en que la iluminación es deficiente, ya que, debido al horario laboral, esto podrá ocasionar problemas de vista al usuario que trabaja después de las 17:00 h.

## CAPITULO 5: CONCLUSIONES

El presente apartado incluye conclusiones generales y específicas de la investigación, que hacen referencia al cumplimiento de la hipótesis y objetivos planteados, así como a aquellas obtenidas de la evaluación sistémica de la investigación.

El monitoreo ambiental permitió analizar la calidad higrotérmica del edificio y junto con la observación cuantitativa, el registro de actividades y la simulación dinámica avanzada, se evaluó el desempeño térmico de la envolvente y consumo energético del edificio con lo que se concluye lo siguiente:

El 45% del consumo de energía anual es por aire acondicionado, el 50% por equipo eléctrico y el 5% por iluminación, en total se consume 57,412 kWh, sin embargo, el edificio opera con ventilación natural de octubre a marzo, en esta temporada, el consumo por equipo representa el 90% (el resto se consume por iluminación); así pues, de abril a septiembre se consume en promedio el 62% de la energía total por aire acondicionado.

Los meses críticos para el equipo de aire acondicionado son julio y agosto, al tener el consumo el consumo más alto por climatización (72% del total de energía para esos meses), debido al bajo desempeño en muros, con pico en agosto de 7,438 kWh. Por lo que se recomienda incrementar la resistencia térmica en muros sur y norte, así como aumentar la resistencia térmica en cubierta. Finalmente, añadir elementos de sombreado que disminuyan las ganancias de radiación solar por ventanas posicionadas en fachada sur.

Además, al comparar el consumo de energía en ambas plantas por metro cuadrado construido, se obtiene que PA tiene 25% más consumo energético por ganancias de calor debido a que la cubierta está expuesto a radiación solar, además que su carga interna por metro cuadrado es mayor; por lo que se recomienda reubicar equipo eléctrico y espacios de

trabajo para disminuir el calor a retirar por carga interna y por ende, disminuir el consumo eléctrico derivado de un mayor uso de aire acondicionado.

Es necesario, en la continuación de esta investigación, evaluar por simulación térmica dinámica, la mejor propuesta para aislante de muros y techos, dimensión y material para elementos de sombreado, así como redistribución del espacio para mejorar el desempeño térmico del edificio.

El procesamiento de las 1,915 horas registradas por monitoreo permitió identificar los principales problemas de calidad de aire, y mediante estudios e investigaciones analizadas, se puede determinar posibles efectos a la salud del usuario dependiendo del tiempo de exposición mostrados en las secciones 4.2.3.3, 4.2.4.2 y 4.2.5.1. Además, mediante observación y registro de actividades se identificaron patrones de ocupación que dan partida a las siguientes conclusiones:

La menor concentración de contaminantes es por MP pues en promedio del total de horas analizadas, el 80% del tiempo se encuentra con niveles de concentración dentro del rango de bienestar; según ASHRAE, (2017), los espacios que tienen 80% del monitoreo por encima del rango de bienestar, son espacios de menor riesgo a la salud del ocupante.

El primer contaminante a considerar es CO<sub>2</sub>, ya que el 44% del tiempo se encuentran valores dentro del rango de bienestar (P1 con 45% y P2 con 42%); es pues, que se requiere aumentar la renovación de aire en los momentos del día en que la ocupación es mayor (12:00-15:00 horas) para diluir el CO<sub>2</sub> y evitar concentraciones insalubres en las tardes.

Se establece que el principal contaminante del aire es debido a COV, pues en promedio el 92% del tiempo los niveles están fuera del rango (95% en O5 y 89% en RV)

que representa una calidad “moderada” la cual puede generar al usuario problemas a la salud por vías respiratorias principalmente a aquellos expuestos entre las 09:00-17:00 h.

Se atribuye esta alta concentración de COV por mobiliario (carpintería) así como otros gases derivados de los equipos de oficina, sin embargo, es necesario monitorear COV por separado para identificar la principal fuente de emisión para proponer una solución puntual. Se recomienda como medida inmediata incluir plantas que puedan absorber toxinas como el bambú, aloe vera o el arbusto dracaena y/o, Helecho de Boston.

En cuanto a la calidad ambiental exterior, se observan en el monitoreo de las estaciones de SMN y EMA-Mexicali, que la menor concentración de contaminantes en el aire es entre las 11:00-17:00 horas, por lo que se recomienda este horario para renovar el aire mediante un sistema mecánico que pueda diluir contaminantes en todos los espacios (incluso aquellos sin ventanas).

Finalmente, en lo que respecta a calidad de aire, es importante, para la continuación de esta investigación, monitorear en el periodo de verano para poder comparar la concentración de contaminantes con el sistema de aire acondicionado funcionando, para así establecer un panorama completo que permita proponer un sistema de ventilación híbrido acorde a las necesidades de cada espacio.

En cuanto a la evaluación por iluminación, se concluye que las zonas más afectadas se encuentran situadas en la fachada sur, ya que son los espacios con menor relación de V-M y V-S, pues estos vanos, solo iluminan entre el 5-10% de área de suelo para las tres posiciones solares analizadas; lo que concuerda que para esta orientación el estudio de Shaeri et al. (2019) se puede aplicar en esta ubicación geográfica.

Las zonas más afectadas se encuentran situadas en la fachada sur, ya que son los espacios con menor relación de V-M y V-S, estos solo iluminan entre el 5% y 10% de área de suelo para las 3 posiciones solares analizadas; lo que concuerda que para esta orientación el estudio de Shaeri et al. (2019) se puede aplicar en esta ubicación geográfica.

Las zonas ubicadas en fachada norte tienen mayores beneficios principalmente por la radiación solar indirecta, sin embargo, la relación de V-M de las zonas mejor iluminada es complementada por la relación V-S de dichos espacios, esto representa que el 20% de V-M establecido por Shaeri et al. (2019), es solo un factor que proporciona iluminación óptima, y que la forma y posición de la ventana tiene un efecto directo para que la relación V-S, sea otro factor que influye al analizar el espacio.

La zona V1 es la mejor iluminada al cumplir con la norma mexicana y los estándares internacionales durante los días de cielo claro, su relación V-M y V-S es mayor al 20%, lo que establece una relación con el estudio de Shaeri, et al. (2019), sin embargo, hay otras zonas con iluminación óptima que tienen su vano posicionado al centro del muro sin importar la relación V-M.

Las zonas O2, O3, O4, O5 cumplen con la norma mexicana, al tener un promedio entre el rango de 300 lx a 900 lx, sin embargo, su relación V-M y V-S no permiten que cumpla con los estándares internacionales en todos los casos.

La forma rectangular vertical es mejor para aquellas zonas en las que el área de suelo tiene más profundidad, aquellas con rectangular horizontal son mejores para espacios más anchos que profundos, sin embargo, para vanos con dimensiones pequeñas (con relación V-M menor) la posición centrada a muro permite una iluminación del espacio más uniforme, independientemente de la forma del vano.

Los elementos de sombreado juegan un papel importante para el deslumbramiento en los espacios, ya que, si la proporción es adecuada al tamaño de la ventana, evita que la zona evaluada tenga un exceso de ganancias de calor.

El vidrio con mayor iluminación es el S-SC con transmitancia de 85%, ya que se obtienen 550 lx en el mejor escenario analizado del 21 de junio y de 498 lx en el caso promedio de 21 de marzo.

El vidrio con transmitancia de 41% S-FS (tinte gris), proporciona menor iluminación natural, ya que solo permite 255 lx para el caso del 21 de marzo.

El vidrio S-SB de espesor de vidrio sencillo de 9.5 mm y transmitancia de 41%, tiene un tinte azul cielo brillante y comparado con el mejor y peor escenario de iluminación, disminuye la iluminación natural a 318 lx 80% más que el peor caso.

El vidrio base S-SC con CGCS 0.82, tiene las mayores ganancias de calor y se requiere de un consumo energético anual de 2,181 kWh, mientras que el vidrio D-AC con CGCS de 0.23, disminuye las ganancias de calor por acristalamiento en 79%, ya que el consumo de energía se reduce a 457 kWh anuales.

El mejor sistema de acristalamiento para iluminación natural es el vidrio S-AC (vidrio sencillo tinte azul turquesa), ya que mantiene la iluminación 22% debajo del caso base y disminuye en 55% las ganancias de calor por acristalamiento.

El mejor sistema de acristalamiento para disminuir ganancias de calor es el vidrio D-S7SC (vidrio Low-E ultra claro), ya que disminuye estas ganancias en 84%, pero disminuye la iluminación natural en 41%, esto es un promedio de 286 lx, ligeramente por debajo de la norma mexicana.

Aquel sistema de acristalamiento sencillo que permite una mejor condición termo-energética es el S-AZ (tinte azul turquesa) ya que disminuye las ganancias de calor en 55% y permite cumplir con la norma mexicana con un promedio de 373 lx.

El sistema de acristalamiento doble con mejor condición termo-energética es el D-AC (vidrio con bajo contenido en hierro), ya que mantiene una iluminación promedio de 361 lx y disminuye en 79% las ganancias de calor.

Se requiere continuar el estudio al modificar la relación V-S, V-M y forma del vano para establecer si realmente el vidrio tintado azul turquesa es permite mejor iluminación que los sistemas de acristalamiento doble. Asimismo, si el espesor del vidrio tiene un efecto significativo para reducir las ganancias de calor en vidrios sencillos.

Además, es preciso analizar el tamaño óptimo de los elementos de sombreado para evitar deslumbramiento en los espacios.

Los resultados analizados cuantitativamente permiten concluir que la hipótesis es válida, debido a que fue posible determinar problemas del edificio para establecer condiciones de mejora al desempeño ambiental y eficiencia energética del caso de estudio.

Además, mediante simulación dinámica avanzada, se propone un sistema de acristalamiento que mejora las condiciones térmicas de la envolvente para generar mejores condiciones ambientales y energéticas.

En relación con el objetivo específico 1, se logró distinguir los principales factores que afectan la calidad ambiental de edificios de oficina en Mexicali, Baja California, con lo que permitió acotar la evaluación ambiental a: calidad de iluminación, calidad de aire y calidad higrotérmica, así como establecer rangos de bienestar para cada uno. Esta distinción

de parámetros permitió también, caracterizar la afectación a la salud del usuario que cada parámetro tiene dependiendo del tiempo de exposición.

El objetivo específico 2, se logró mediante las técnicas de monitoreo ambiental y simulación térmica dinámica, ya que ambas se complementaron para determinar rangos de concentración, horario, cargas internas y externas, así como elementos críticos en el comportamiento del edificio.

La matriz de puntuación permitió analizar por medio estadística y de manera gráfica, el cumplimiento del objetivo específico 3, ya que, una vez terminado el monitoreo ambiental, se procedió al análisis de cada factor que genera calidad ambiental para establecer la afectación que la contaminación por aire, iluminación y temperatura tienen a la salud del usuario.

Así pues, al determinar problemas ambientales y energéticos del edificio, se estableció mediante teoría las afectaciones al usuario en cuanto a calidad de aire e iluminación; y mediante práctica por medio de simulación avanzada, posibles soluciones a para iluminación natural y ganancias térmicas del edificio, con lo que se logró el objetivo específico final.

Así pues, la simulación dinámica avanzada de distintos sistemas de acristalamiento demuestra que es posible disminuir las ganancias de calor y sin perjudicar la iluminación natural del espacio.

En cuanto a la validación de la simulación dinámica avanzada, que se realizó a partir del método empírico con la comparación con datos de monitoreo térmico, indica que se pueden estimar datos del desempeño térmico del edificio con un mínimo error entre simulación y realidad, ya que el Error Relativo Absoluto medio de 8.67%, que se considera

adecuado con base a ASHRAE, (2017) para validación empírica de edificios por simulación.

Como conclusión final, este estudio permitió entender que es posible lograr iluminación natural óptima para climas cálido seco extremosos, y reducir las ganancias de calor en el espacio si se usa el sistema de acristalamiento ideal al espacio; además, que es posible determinar la afectación al usuario al conocer la calidad de aire interior, que en teoría permitirán un mejor desempeño a la productividad laboral del usuario; y por último, mas no menos importante, que la simulación dinámica avanzada y el monitoreo ambiental, permiten determinar problemas en el edificio, mismos que pueden resolverse mediante modelado térmico-energético y así poder presentar una respuesta puntual y eficiente al problema.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdul, A., Abdul, M., y Ismail, M. (2017). Relationship between Indoor Environmental Quality (IEQ), Occupant's Satisfaction and Productivity in GBI Rated Office Building using SEM-PLS. *Pertanika Journal of Social Sciences & Humanities*, 25 S, 319.
- Agencia de Protección Ambiental [EPA]. (2017). *Monóxido de carbono*. Calidad de aire. <https://espanol.epa.gov/cai/monoxido-de-carbono>
- Al, Y., Arif, M., Kaushik, A., Mazroei, A., Katafygiotou, M., y Elsarrag, E. (2016). Occupant productivity and office indoor environment quality: A review of the literature. *Building and Environment*, 105, 369–389. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.06.001>
- Alfie, M., y Salinas, O. (2016). Ruido en la ciudad. Contaminación auditiva y ciudad caminable / Noise in the city. Acoustic pollution and the walkable city. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 32(1), 65. <https://doi.org/10.24201/edu.v32i1.1613>
- Alkabashi, A., y Dökmeci, P. (2019). Evaluating Indoor Environmental Quality of a Wellness Center Through Objective, Subjective and Architectural Criteria. *Bir Sağlıklı Yaşam Merkezinin İç Mekan Fiziksel Çevre Kalitesinin Nesnel, Öznel ve Mimari Kriterler Çerçevesinde İncelenmesi.*, 14(4), 483–494. <https://doi.org/10.14744/MEGARON.2019.47113>
- Al-Saadi, S. N. J., Ramaswamy, M., Al-Rashdi, H., Al-Mamari, M., y Al-Abri, M. (2017). Energy Management Strategies for a Governmental Building in Oman. *Energy Procedia*, 141, 206–210. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.039>
- Amable, I., Méndez, J., Delgado, L., Acebo, F., Armas, J., y Rivero, M. (2017). Contaminación ambiental por ruido. *Revista Médica Electrónica*, 39(3), 640–649.

- Amodio, M., Dambruoso, P., Gennaro, G., Gennaro, L., Loiotile, A., Marzocca, A., Stasi, F., Trizio, L., y Tutino, M. (2014). Indoor air quality (IAQ) assessment in a multistorey shopping mall by high-spatial-resolution monitoring of volatile organic compounds (VOC). *Environmental Science & Pollution Research*, 21(23), 13186–13195. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-2544-1>
- Arias, S., y Ávila, D. (2004). *La iluminación natural en la arquitectura: En climas semitemplados*. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño: Centro de Investigaciones en Ergonomía.
- Arroyo, J. A., y Ojeda, E. (2019). Implementación de mejora para incrementar la productividad en el proceso de reparación mecánica de equipos de aire acondicionado en un edificio administrativo de una empresa financiera, Lima, 2016 y 2017. *Universidad Privada del Norte*.  
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/21277>
- Ascione, F., De Masi, R. F., Mastellone, M., y Vanoli, G. P. (2021). The design of safe classrooms of educational buildings for facing contagions and transmission of diseases: A novel approach combining audits, calibrated energy models, building performance (BPS) and computational fluid dynamic (CFD) simulations. *Energy and Buildings*, 230, 110533. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110533>
- Assimakopoulos, M. N., Barmpareos, N., Pantazaras, A., Karlessi, T., y Lee, S. E. (2017). On the comparison of occupancy in relation to energy consumption and indoor environmental quality: A case study. *Energy Procedia*, 134, 875–884.  
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.548>
- Atkinson, J., y OMS (Eds.). (2009). Understanding natural ventilation. En *Natural ventilation for infection control in health-care settings* (Geneva: World Health

Organization, Vol. 4). World Health Organization.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK143285/>

Awair. (2016). *Top 10 Air Purifying House Plants*. Health and Wellness.

<https://blog.getawair.com/top-10-air-purifying-house-plants>

Azari, R., Garshasbi, S., Amini, P., Rashed-Ali, H., y Mohammadi, Y. (2016). Multi-objective optimization of building envelope design for life cycle environmental performance. *Energy and Buildings*, 126, 524–534.

<https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2016.05.054>

Baglivo, C., Bonomolo, M., Beccali, M., y Congedo, P. [Maria. (2017). Sizing analysis of interior lighting using tubular daylighting devices. *Energy Procedia*, 126, 179–186.

<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.08.138>

Bennet, I. E., y O'Brien, W. (2017). Office building plug and light loads: Comparison of a multi-tenant office tower to conventional assumptions. *Energy and Buildings*, 153,

461–475. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.050>

Bernabeu, C. B., Ruiz, S. M. V., y Pedrosa, N. B. (2020). Estadísticos de orden y razonamiento proporcional. *Unión - revista iberoamericana de educación matemática*, 16(60), 233–244.

Bhagat, R. K., Wykes, M. S. D., Dalziel, S. B., y Linden, P. F. (2020). *Effects of ventilation on the indoor spread of COVID-19*. Journal of Fluid Mechanics; Cambridge

University Press. <https://doi.org/10.1017/jfm.2020.720>

Bhamare, K., Banerjee, J., y Rathod, M. (2019). Passive cooling techniques for building and their applicability in different climatic zones—The state of art. *Energy and*

*Buildings*, 198, 467–490. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.06.023>

- Bin, S. Y., Heo, J. Y., Song, M.-S., Lee, J., Kim, E.-H., Park, S.-J., Kwon, H., Kim, S. mi, Kim, Y., Si, Y.-J., Lee, I.-W., Baek, Y. H., Choi, W.-S., Min, J., Jeong, H. W., y Choi, Y. K. (2016). Environmental Contamination and Viral Shedding in MERS Patients During MERS-CoV Outbreak in South Korea. *Clinical Infectious Diseases*, 62(6), 755–760. <https://doi.org/10.1093/cid/civ1020>
- Brebbia, C. A., y Galiano-Garrigos, A. (2016). *Ecology and the enviroment* (The Sustainable City XI, Vol. 204). WIT Press.  
<https://books.google.com.mx/books?id=jCMbDQAAQBAJ>
- Briller, D. (2013). Adapting to a New Reality—Strategies for Building Energy Design in a Changing Climate. *Strategic Planning for Energy and the Environment*, 33, 7–65. <https://doi.org/10.1080/10485236.2013.10750245>
- Bustillos, D. A. (2018). Calidad del ambiente interior de las edificaciones residenciales urbanas de la ciudad de cuenca: Determinación de estándares de confort. *Universidad de Cuenca*.  
<http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1135736>
- Campagnolo, D., Saraga, D. E., Cattaneo, A., Spinazzè, A., Mandin, C., Mabilia, R., Perreca, E., Sakellaris, I., Canha, N., Mihucz, V. G., Szigeti, T., Ventura, G., Madureira, J., de Oliveira Fernandes, E., de Kluizenaar, Y., Cornelissen, E., Hänninen, O., Carrer, P., Wolkoff, P., ... Bartzis, J. G. (2017). VOCs and aldehydes source identification in European office buildings—The OFFICAIR study. *Building and Environment*, 115, 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.01.009>
- Canazei, M., Pohl, W., Bliem, H. R., Martini, M., y Weiss, E. M. (2017). Artificial skylight effects in a windowless office environment. *Building and Environment*, 124, 69–77. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.045>

- Candelaria, B., Ruiz, O., Gallardo, F., Pérez, P., Martínez, A., y Vargas, L. (2011).  
Aplicación de modelos de simulación en el estudio y planificación de la agricultura,  
una revisión. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(3), 999–1010.
- Carro, R., y González, D. A. (2012). *Productividad y competitividad* (Recurso de  
aprendizaje). Universidad Nacional de Mar del Plata. <http://nulan.mdp.edu.ar/1607/>
- Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción. (2012). *Manual de Diseño  
Pasivo y Eficiencia Energética de Edificios Públicos* (1a ed.). Universidad de Chile.  
[https://www.academia.edu/17347717/Manual\\_de\\_Diseño\\_Pasivo\\_y\\_Eficiencia\\_En  
ergética\\_de\\_Edificios\\_Públicos](https://www.academia.edu/17347717/Manual_de_Diseño_Pasivo_y_Eficiencia_En_ergética_de_Edificios_Públicos)  
[http://www.arquitecturamop.cl/centrodocumental/Documents/Manual-de-diseno-  
pasivo-y-eficiencia-energetica-en-edif Publicos\\_Parte1.pdf](http://www.arquitecturamop.cl/centrodocumental/Documents/Manual-de-diseno-pasivo-y-eficiencia-energetica-en-edif-Publicos_Parte1.pdf)
- Chaudhuri, S., Basu, S., Kabi, P., Unni, V. R., y Saha, A. (2020). Modeling ambient  
temperature and relative humidity sensitivity of respiratory droplets and their role in  
Covid-19 outbreaks. *Physics of Fluids*, 32(6), 063309.  
<https://doi.org/10.1063/5.0015984>
- Chavez-Del-Valle, F. J. (2002). Capítulo 3. Modelos Existentes de Confort Térmico. En  
UPC (Ed.), *Zona Variable de Confort térmico*. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Chen, X., Zhang, X., y Du, J. (2019). Glazing type (colour and transmittance), daylighting,  
and human performances at a workspace: A full-scale experiment in Beijing.  
*Building and Environment*, 153, 168–185.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.02.034>
- Chong, K. L., Ng, C. S., Hori, N., Yang, R., Verzicco, R., y Lohse, D. (2021). Extended  
lifetime of respiratory droplets in a turbulent vapour puff and its implications on

airborne disease transmission. *Physical Review Letters*, 126(3), 034502.

<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.126.034502>

Coakley, D., Raftery, P., y Keane, M. (2014). A review of methods to match building energy simulation models to measured data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 123–141. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.007>

Comisión Nacional para el Uso de Eficiencia de la Energía [CONUEE]. (2018). *Informe Nacional de Monitoreo de la Edificiencia Energética de México 2018*. Comisión Nacional para el Uso de Eficiencia de la Energía.

[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/43612/1/S1800496\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/43612/1/S1800496_es.pdf)

Comisión para la Cooperación Ambiental [CCA]. (2008). *Informe del secretariado al consejo conforme al artículo 13 del acuerdo de cooperación ambiental de américa del norte oportunidades y retos comisión para la cooperación ambiental* (pp. 4, 23.). Comisión para la Cooperación Ambiental. [www.cec.org](http://www.cec.org)

Consejo de la Construcción Ecológica de Estados Unidos [GBCI]. (2019). *LEED v4 for interior design and construction* (p. 95). US Green Building Council.

[https://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED\\_v4\\_IDC\\_07.25.19\\_current.pdf](https://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED_v4_IDC_07.25.19_current.pdf)

Consejo de la Construcción Ecológica de Estados Unidos [GBCI]. (2020). *Green Building 101*. <https://www.usgbc.org/articles/green-building-101-what-indoor-environmental-quality>

Consejo para la Defensa de los Recursos Naturales. (2021). *Waiting to Exhale*. NRDC.

<https://www.nrdc.org/onearth/waiting-exhale>

Cruz, I. C. (2016). Emisiones de CO<sub>2</sub> en hogares urbanos. El caso del Distrito Federal. *Estudios demográficos y urbanos*, 31(1), 115–142.

- Del Castillo, R., y Salazar, R. (2018). *Fundamentos Básicos de Estadística-Libro* (Primera edición). Del Castillo Galarza, Raúl Santiago. <http://up-rid2.up.ac.pa:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1570/Fundamentos%20B%20a%20sicos%20de%20Estad%20c3%20adstica-Libro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Delikhoon, M., Guzman, M. I., Nabizadeh, R., y Norouzian Baghani, A. (2021). Modes of Transmission of Severe Acute Respiratory Syndrome-Coronavirus-2 (SARS-CoV-2) and Factors Influencing on the Airborne Transmission: A Review. *International journal of environmental research and public health*, 18(2).  
<https://doi.org/10.3390/ijerph18020395>
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2001). *NOM-008-ENER-2001*. gob.mx.  
<http://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/normas-oficiales-mexicanas-en-eficiencia-energetica-vigentes>
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2005). *Reglamento de Edificación para el Municipio de Mexicali*.  
<http://www.mexicali.gob.mx/transparencia/normatividad/reglamentos/pdf/edificaciones.pdf>
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2009). *NOM-116-STPS-2009*.  
<http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/3926/stps3/stps3.htm>
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2010). *NOM-028-ENER-2010*.  
<http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4226/SENER/SENER.htm>
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2012). *NOM-024-ENER-2012*.  
[http://dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5273553](http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5273553)
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2013). *NMX-AA-164-SCFI-2013*.  
[https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5312875&fecha=04/09/2013](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5312875&fecha=04/09/2013)

Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2014a). *NOM-007-ENER-2014*.

[http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5355593&fecha=07/08/2014](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355593&fecha=07/08/2014)

Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2014b). *NOM-025-SSAI-2014*.

[http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5357042&fecha=20/08/2014](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5357042&fecha=20/08/2014)

Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2015). *NOM-025-STPS-2008*.

[http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5404572&fecha=20/08/2015](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5404572&fecha=20/08/2015)

Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2016). *NOM-030-ENER-2016*.

[http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/6353/sener11\\_C/sener11\\_C.html](http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/6353/sener11_C/sener11_C.html)

Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2017). *NOM-058-SCFI-2017*.

[http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5493847&fecha=15/08/2017](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5493847&fecha=15/08/2017)

Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2018a). *NOM-035-STPS-2018*.

[https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5541828&fecha=23/10/2018](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5541828&fecha=23/10/2018)

Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2018b). *PROY-NOM-064-SCFI-2017*.

[http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5526290&fecha=13/06/2018](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5526290&fecha=13/06/2018)

Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2019). *NOM-172-SEMARNAT-2019*.

[https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5579387&fecha=20/11/2019](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5579387&fecha=20/11/2019)

Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2020). *Reglamento de Construcción de Baja*

*California*. <http://www.smie.org.mx/layout/reglamentos-construccion/baja-california-reglamento-construccion-estatal-1976.pdf>

Díaz-Torres, Y., Valdivia-Noda, Y., Monteagudo-Yanes, J. P., y Miranda-Torres, Y.

(2017). Application of building energy simulation in the validating of operational strategies of HVAC systems on a tropical hotel. *Ingeniería Mecánica*, 20(1), 31–38.

- Doherty, B., y Trenbath, K. (2019). Device-level plug load disaggregation in a zero energy office building and opportunities for energy savings. *Energy and Buildings*, 204, 109480. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109480>
- Dovjak, M., y Kukec, A. (2019). *Creating Healthy and Sustainable Buildings: An Assessment of Health Risk Factors*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-19412-3>
- Dyskin, A., Basarir, H., Doherty, J., Elchalakani, M., Joldes, G., Karrech, A., Lehane, B., Miller, K., Pasternak, E., Shufrin, I., y Wittek, A. (2018). Computational monitoring in real time: Review of methods and applications. *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources*, 4(3), 235–271. <https://doi.org/10.1007/s40948-018-0086-6>
- Dzyan, F. (2014). Cómo reducir el ausentismo desde el área de recursos humanos. *Bienestar y Salud Laboral*. <https://www.uhmasalud.com/blog/como-reducir-el-ausentismo-desde-el-area-de-recursos-humanos>
- Edwards, R. D., Jurvelin, J., Koistinen, K., Saarela, K., y Jantunen, M. (2001). VOC source identification from personal and residential indoor, outdoor and workplace microenvironment samples in EXPOLIS-Helsinki, Finland. *Atmospheric Environment*, 35(28), 4829–4841. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(01\)00271-0](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00271-0)
- Escuela Abierta de Desarrollo en Ingeniería y Construcción. (2009). *Tema 3. Arquitectura bioclimática* (pp. 3, 26, 28, 30, 31, 37, 38). Escuela Abierta de Desarrollo en Ingeniería y Construcción. <http://eadic.com/wp-content/uploads/2013/09/Tema-3-Confort-Ambiental.pdf>
- Fang, Z., Tang, T., Zheng, Z., Zhou, X., Liu, W., y Zhang, Y. (2021). Thermal responses of workers during summer: An outdoor investigation of construction sites in South

China. *Sustainable Cities and Society*, 66, 102705.

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102705>

Fasi, M. A., y Budaiwi, I. M. (2015). Energy performance of windows in office buildings considering daylight integration and visual comfort in hot climates. *Energy and Buildings*, 108, 307–316. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.024>

Fernandez-Lopez, J. A., Fernandez-Fidalgo, M., y Cieza, A. (2010). Los conceptos de calidad de vida, salud y bienestar analizados desde la perspectiva de la Clasificación Internacional del Funcionamiento. *Revista Española de Salud Pública*, 84, 169–184.

García, A. (2014). *Manual de ayuda DesignBuilder en español*. DesignBuilder.

<https://www.designbuilder-lat.com/soporte/manual-de-ayuda>

Garrosa, E., y Carmona, I. (2011). Salud laboral y bienestar: Incorporación de modelos positivos a la comprensión y prevención de los riesgos psicosociales del trabajo. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 57, 224–238. <https://doi.org/10.4321/S0465-546X2011000500014>

Ghiaus, C., Allard, F., Santamouris, M., Georgakis, C., Roulet, C.-A., Germano, M., Tillenkamp, F., Heijmans, N., Nicol, F., Maldonado, E., Almeida, M., Guarracino, G., y Roche, L. (2005). *Natural ventilation of urban buildings—Summary of URBVENT project*.

Giniotis, V., y Hope, A. (2014). *Measurement and Monitoring*. Momentum Press; eBook Academic Collection (EBSCOhost).

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=778569&lang=es&site=eds-live>

Godoy, A., y Cuchí, A. (2015). *Validación y calibración de la simulación energética de edificios*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

<https://is.upc.edu/ca/intranet/prs-pts-q1-curs-2014-15/documents/PTGodoyMuozAlfonso.pdf>

- Granados, P. M. (2019). *Iluminancia en el área de envasado de la cervecería BACKUS-JOHNSTON Trujillo y su impacto en el bienestar de los trabajadores* [Universidad Nacional de Trujillo]. <http://www.dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/14357>
- Gruber M., Trüschel A., y Dalenbäck J. (2014). Model-based controllers for indoor climate control in office buildings – Complexity and performance evaluation. *Energy and Buildings*, 68, 213–222. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.09.019>
- Han, H. J., Mehmood, M. U., Ahmed, R., Kim, Y., Dutton, S., Lim, S. H., y Chun, W. (2019). An advanced lighting system combining solar and an artificial light source for constant illumination and energy saving in buildings. *Energy and Buildings*, 203, 109404. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109404>
- Hänninen, O. O., Alm, S., Katsouyanni, K., Künzli, N., Maroni, M., Nieuwenhuijsen, M. J., Saarela, K., Srám, R. J., Zmirou, D., y Jantunen, M. J. (2004). The EXPOLIS study: Implications for exposure research and environmental policy in Europe. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 14(6), 440–456. <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500342>
- Hashimoto, K. (2019). Global Temperature and Atmospheric Carbon Dioxide Concentration. En K. Hashimoto (Ed.), *Global Carbon Dioxide Recycling: For Global Sustainable Development by Renewable Energy* (pp. 5–17). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-8584-1\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-13-8584-1_3)
- Haynes, B. P. (2008). The impact of office comfort on productivity. *Journal of Facilities Management*, 6(3), 189–201. <https://doi.org/10.1108/14725960810847459>

- Hernández, F. F., López, J. M., Suárez, J. M., Muriano, M. C., y Rueda, S. C. (2017). Effects of louvers shading devices on visual comfort and energy demand of an office building. A case of study. *Energy Procedia*, 140, 207–216.  
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.136>
- Hernández, R., Fernandez, C., y Baptista, M. (2014a). *Metodología de la investigación. Recurso en línea: Vol. Serie de recursos en línea*. McGraw-hill / interamericana editores, s.a. De c.v.  
[http://highered.mheducation.com/sites/1456223968/student\\_view0/capitulos\\_1\\_a\\_1\\_3.html](http://highered.mheducation.com/sites/1456223968/student_view0/capitulos_1_a_1_3.html)
- Hernández, R., Fernandez, C., y Baptista, M. (2014b). *Metodología de la investigación. Sexta edición (6ta Edificación)*. McGraw-hill / interamericana editores, s.a. De c.v.  
[https://drive.google.com/file/d/1mLhHKXSia\\_JZonoWOxs2FwHyQrhQ7L3m/view?usp=sharing\\_eil&ts=5d688290&usp=embed\\_facebook](https://drive.google.com/file/d/1mLhHKXSia_JZonoWOxs2FwHyQrhQ7L3m/view?usp=sharing_eil&ts=5d688290&usp=embed_facebook)
- Hernández, S. (2020). Requerimientos de diseño ambiental al interior de los edificios en México. *Contexto*, 14(21). <https://doi.org/10.29105/contexto14.21-8>
- Hernández, Y., López, D., y Moya, F. (2019). *Monitoreo ambiental como herramienta para el seguimiento continuo previsto en la evaluación de impacto ambiental*. 40, 17.
- Iniciativa Factor Verde. (2019). *Glosario: Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)*.  
<https://www.greenfacts.org/es/glosario/def/dioxido-carbono.htm>
- Instituto Mexicano del Seguro Social [IMSS]. (2019, agosto 20). *Creación de empleos de enero a mayo de 2019 es superior al promedio de administraciones anteriores: Zoé Robledo | Sitio Web “Acercando el IMSS al Ciudadano”*.  
<http://www.imss.gob.mx/prensa/archivo/201906/171>

Instituto Mexicano para la Competitividad A.C. (2016). *Índices del IMCO*.

<https://imco.org.mx/indices/el-estado-los-estados-y-la-gente/capitulos/el-estado-los-estados-y-la-gente/eficiencia-energetica>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2010). *Población. Rural y urbana*.

[http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur\\_urb.aspx?tema=P](http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx?tema=P)

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2015). *Clima. Baja California*.

<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/bc/territorio/clima.aspx?tema=me&e=02>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2019). *Encuesta nacional de ocupación y empleo (enoe) 1 trimestre 2019*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Instituto Nacional Estadounidense de Estándares [ANSI]. (2021). *Introduction to ANSI*.

[https://www.ansi.org/about\\_ansi/introduction/introduction?menuid=1](https://www.ansi.org/about_ansi/introduction/introduction?menuid=1)

Instituto Well del Bienestar [IWB]. (2016). Architects and the International WELL

Building Institute™ Form Partnership to Elevate Health and Wellness in Design. *Business Wire (English)*.

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bwh&AN=bizwire.c67950483&lang=es&site=ehost-live>

Instituto Well del Bienestar [IWB]. (2019). *WELL Building Standard v2*. Well Building

Institute. <https://doi.org/10.1192/bjp.111.479.1009-a>

Jaimes, L., Luzardo, M., y Rojas, M. D. (2018). Factores Determinantes de la

Productividad Laboral en Pequeñas y Medianas Empresas de Confecciones del Área Metropolitana de Bucaramanga, Colombia. *Determinant Factors of Labor*

*Productivity in Clothing Small and Medium Size Enterprises of the Metropolitan Area of Bucaramanga, Colombia.*, 29(5), 175–186. Fuente Académica.

Jiménez, D. D., y Proaño, X. A. (2020). Design of a LED Lighting System through Photovoltaic Energy to Provide Levels of Lighting Quality in the Parking Lot N° 1 of the Technical University of Cotopaxi. *Diseño de un Sistema de Alumbrado LED a través de Energía Fotovoltaica para Brindar Niveles de Calidad de Iluminación en el Parqueadero N° 1 de la Universidad Técnica de Cotopaxi.*, 16(2), 158–167.

Jiménez, V., Gómez, A., Luna-León, A., y Benni, S. (2018). *Potencial de desempeño higrotérmico de estrategias bioclimáticas aplicadas a cavas de vino artesanal del valle de guadalupe, Baja California.* Universidad de Colima.

Juricic, S., Goffart, J., Rouchier, S., Fouquier, A., Cellier, N., y Fraisse, G. (2021). Influence of natural weather variability on the thermal characterisation of a building envelope. *Applied Energy*, 288, 116582.  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116582>

Kaushik, D. A., Mohammed, P. A., Tumula, D. P., y Ebohon, P. J. (2020). Effect of thermal comfort on occupant productivity in office buildings: Response surface analysis. *Building and Environment*, 107021.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107021>

Khatami, N., y Hashemi, A. (2017). Improving Thermal Comfort and Indoor Air Quality through Minimal Interventions in Office Buildings. *Energy Procedia*, 111, 171–180. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.019>

Kong, D., Liu, H., Wu, Y., Li, B., Wei, S., y Yuan, M. (2019). Effects of indoor humidity on building occupants' thermal comfort and evidence in terms of climate

adaptation. *Building and Environment*, 155, 298–307.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.02.039>

Lan, L., Wargocki, P., Wyon, D. P., y Lian, Z. (2011). Effects of thermal discomfort in an office on perceived air quality, SBS symptoms, physiological responses, and human performance. *Indoor Air*, 21(5), 376–390. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2011.00714.x>

Landsberg, Shonder, Barker, Hall, y Reindl. (2014). Measurement of Energy, Demand , and Water Savings. En *ASHRAE Guideline 14-2014*. ASHRAE.

Larsen, T. S., Rohde, L., Jonsson, K. T., Rasmussen, B., Jensen, R. L., Knudsen, H. N., Witterseh, T., y Bekö, G. (2020). IEQ-Compass – A tool for holistic evaluation of potential indoor environmental quality. *Building and Environment*, 172, 106707. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106707>

Lawrence, T., Darwich, A., y Means, J. (2018). *ASHRAE GreenGuide: Design, Construction, and Operation of Sustainable Buildings* (Vol. 5). [http://eds.a.ebscohost.com/eds/ebookviewer/ebook/bmxlYmtfXzE4MjEzMzZfX0FOO?nobk=y&sid=cb86cdd8-95d3-49d1-99b1-8482d06c5f94@sessionmgr4007&vid=8&format=EB&lpid=lp\\_vii&rid=0](http://eds.a.ebscohost.com/eds/ebookviewer/ebook/bmxlYmtfXzE4MjEzMzZfX0FOO?nobk=y&sid=cb86cdd8-95d3-49d1-99b1-8482d06c5f94@sessionmgr4007&vid=8&format=EB&lpid=lp_vii&rid=0)

Liu, Y., Ning, Z., Chen, Y., Guo, M., Liu, Y., Gali, N. K., Sun, L., Duan, Y., Cai, J., Westerdahl, D., Liu, X., Ho, K., Kan, H., Fu, Q., y Lan, K. (2020). *Aerodynamic Characteristics and RNA Concentration of SARS-CoV-2 Aerosol in Wuhan Hospitals during COVID-19 Outbreak* [Preprint]. Microbiology. <https://doi.org/10.1101/2020.03.08.982637>

- Lomas, K. J., y Eppel, H. (1992). Sensitivity analysis techniques for building thermal simulation programs. *Energy and Buildings*, 19(1), 21–44.  
[https://doi.org/10.1016/0378-7788\(92\)90033-D](https://doi.org/10.1016/0378-7788(92)90033-D)
- Luna-León, A. (2020). *Hoja de cálculo para cargas internas*.
- Mandin, C., Trantallidi, M., Cattaneo, A., Canha, N., Mihucz, V. G., Szigeti, T., Mabilia, R., Perreca, E., Spinazzè, A., Fossati, S., De Kluizenaar, Y., Cornelissen, E., Sakellaris, I., Saraga, D., Hänninen, O., De Oliveira Fernandes, E., Ventura, G., Wolkoff, P., Carrer, P., y Bartzis, J. (2017). Assessment of indoor air quality in office buildings across Europe – The OFFICAIR study. *Science of The Total Environment*, 579, 169–178. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.238>
- Martín, S., y Rojas, G. A. (2014). Exposición a ruido en la fábrica de Materiales Higiénico Sanitarios de Sancti Spíritus. *Gaceta Médica Espirituana*, 16(1), 20–29.
- Mateo-Cecilia, C., Navarro-Escudero, M., Escrig-Meliá, T., y Estreder, Y. (2018). *Diseño de oficinas en el Mediterráneo. La importancia del bienestar, la salud y el rendimiento de los usuarios*. <https://doi.org/10.3989/id.55050>
- Matesanz, Á. (2013). *5ª Seminario RE-HAB: Bienestar Higrotérmico*. RE-HAB.  
<http://www2.aq.upm.es/Departamentos/Urbanismo/blogs/re-hab/5a-seminario-re-hab-bienestar-higrotermico/>
- McArthur, J. j., y Powell, C. (2020). Health and wellness in commercial buildings: Systematic review of sustainable building rating systems and alignment with contemporary research. *Building and Environment*, 171.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106635>
- México Competitivo. (2018, noviembre 7). *Índice de Competitividad Global del Foro Económico Mundial*. gob.mx.

<http://www.gob.mx/se/mexicocompetitivo/articulos/indice-de-competitividad-global-del-foro-economico-mundial-181433?state=published>

- Microsoft. (2021). *Hojas de cálculo*. <https://www.microsoft.com/es-mx/microsoft-365/excel>
- Missia, D. A., Demetriou, E., Michael, N., Tolis, E. I., y Bartzis, J. G. (2010). Indoor exposure from building materials: A field study. *Atmospheric Environment*, 44(35), 4388–4395. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.07.049>
- Miyara, F. (2016). *Niveles sonoros* (Laboratorio de acústica y electroacústica). Universidad Nacional del Rosario. <https://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/niveles.htm>
- Molina, M., Sarukhán, J., Carabias, J., Méndez, G. G., y Calderón, W. G. (2017). *El cambio climático: Causas, efectos y soluciones*. Fondo de Cultura Económica. <https://books.google.com.mx/books?id=YF8yDwAAQBAJ>
- Morales, I. M., Blanco, V., y García, A. (2010). *Calidad del Aire Interior en edificios de uso público* (p. 18). Dirección General de Ordenación e Inspección. [https://higieneambiental.com/sites/default/files/images/pdf/PDF\\_baja\\_aire\\_impresion\\_Dir\\_Gral\\_1\\_julio\\_2011.pdf](https://higieneambiental.com/sites/default/files/images/pdf/PDF_baja_aire_impresion_Dir_Gral_1_julio_2011.pdf)
- Moran-C, L., Yabar-T, G., y Krupuskaya. (2017). Calidad del aire interior en el síndrome del edificio enfermo, ciudad de trujillo. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, 17(4), Article 4. <http://168.121.49.88/index.php/RFMH/article/view/1209>
- Morawska, L., y Milton, D. K. (2020). It Is Time to Address Airborne Transmission of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *Clinical Infectious Diseases*, 71(9), 2311–2313. <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa939>

- Naci, H., y Ioannidis, J. P. A. (2015). Evaluation of Wellness Determinants and Interventions by Citizen Scientists. *JAMA*, 314(2), 121–122.  
<https://doi.org/10.1001/jama.2015.6160>
- Navarro, C. (2017). *Sistematización y análisis de metodologías cualitativas para evaluar percepción social sobre adaptación al cambio climático: Informe final* (p. 5). INECC-CONACYT.  
[http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/50/736\\_2017\\_Sistematizacion\\_analisis\\_metodologias\\_adaptacion\\_CC.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/50/736_2017_Sistematizacion_analisis_metodologias_adaptacion_CC.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ng, C. S., Chong, K. L., Yang, R., Li, M., Verzicco, R., y Lohse, D. (2020). Growth of respiratory droplets in cold and humid air. *arXiv:2011.01515 [physics]*.  
<http://arxiv.org/abs/2011.01515>
- Nishiura, H., Oshitani, H., Kobayashi, T., Saito, T., Sunagawa, T., Matsui, T., Wakita, T., y Suzuki, M. (2020). Closed environments facilitate secondary transmission of coronavirus disease 2019 (COVID-19). *medRxiv*, 2020.02.28.20029272.  
<https://doi.org/10.1101/2020.02.28.20029272>
- ISO 9000-2005, Pub. L. No. 2008 (2008).  
[http://www.umc.edu.ve/pdf/calidad/normasISO/Norma\\_ISO\\_9000\\_2005.pdf](http://www.umc.edu.ve/pdf/calidad/normasISO/Norma_ISO_9000_2005.pdf)
- Organización Meteorológica Mundial [OMM]. (2020). *Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2019*. OMM.
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2014). *Infection prevention and control of epidemic- and pandemic-prone acute respiratory infections in health care: WHO guidelines*.  
[http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/112656/1/9789241507134\\_eng.pdf?ua=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/112656/1/9789241507134_eng.pdf?ua=1)

- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. (2018, junio 8). *La nueva Estrategia de empleo de la OCDE*. <https://www.oecd.org/mexico/jobs-strategy-MEXICO-ES.pdf>
- Pachauri, R. K., y Meyer, L. (2019). *Cambio climático 2014 Equipo principal de redacción Equipo principal de redacción Unidad de apoyo técnico para el Informe de síntesis* (P. I. sobre C. Climático, Ed.; 2014a ed.). <http://www.ipcc.ch>.
- Pang, J., Le, X., Pang, K., Dong, H., Zhang, Q., Xu, Z., Gao, C., Fu, Y., y Xie, J. (2021). Highly precision carbon dioxide acoustic wave sensor with minimized humidity interference. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 129824. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2021.129824>
- Park, S., y Seo, J. (2018a). Analysis of Air-Side Economizers in Terms of Cooling-Energy Performance in a Data Center Considering Exhaust Air Recirculation. *Energies* (19961073), 11(2), 444. <https://doi.org/10.3390/en11020444>
- Park, S., y Seo, J. (2018b). Bake-Out Strategy Considering Energy Consumption for Improvement of Indoor Air Quality in Floor Heating Environments. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 15(12). <https://doi.org/10.3390/ijerph15122720>
- Pereira, Matheus. (2018). *Ventilación cruzada, efecto chimenea y otros conceptos de ventilación natural*.
- Pistore, L., Cappelletti, F., Romagnoni, P., y Zonta, A. (2015). Assessment of the IEQ in Two High Schools by Means of Monitoring, Surveys and Dynamic Simulation. *Energy Procedia*, 82, 519–525. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.864>

- Pitts, J. F. (2018). Sustainability Without Compromise: A closer look at the HVAC, insulation, lighting, and glass solutions that enable designers to balance the demands of sustainable design. *Architectural Record*, 206(10), 140–146.
- Plagiarism Detector. (2021). *Comprobador de plagio* [Herramienta de detector de plagio]. Plagiarismdetector.net. <https://plagiarismdetector.net/es>
- Ponce, Y. Y., y Cantú, P. C. (2015). Cambio Climático: Bases Científicas y Escepticismo. *Cultura Científica y Tecnológica; Núm. 46 (9): Enero – Abril, 2012. Año 9, N° 46*. <http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/174/168>
- Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos [ONU-HABITAT]. (2015a). *Crecimiento económico—Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/economic-growth/>
- Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos [ONU-HABITAT]. (2015b). *Energía—Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>
- Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos [ONU-HABITAT]. (2015c). *Objetivo 11: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- Qian, K., Ma, X., Dai, X., Fang, F., y Zhou, B. (2016). Gaussian process based IAQ distribution mapping using an interactive service robot. *Journal of Ambient Intelligence & Smart Environments*, 8(3), 359–373.
- Quijano-Parra, A., y Quijano-Vargas, M. (2018). Evaluación del aire en el ambiente interior del laboratorio de Cromatografía de la Universidad de Pamplona-Norte de Santander, Colombia. *Acta Académica*, 63, 107.

- Rabania, Madessaa, y Nordb. (2017). A state-of-art review of retrofit interventions in buildings towards nearly zero energy level. *Energy Procedia*, 134, 317–326.  
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.534>
- Rackes, A., y Waring, M. S. (2014). Using multiobjective optimizations to discover dynamic building ventilation strategies that can improve indoor air quality and reduce energy use. *Energy and Buildings*, 75, 272–280.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.024>
- Ram, D. N. (2019). Indoor Air Quality (IAQ) and Energy Efficiency. *ASHRAE Transactions*, 125(Part 1), 231–237.
- Ramos, G., y Fernández, C. (2017). Analysis of uncertainty indices used for building envelope calibration. *Applied Energy*, 185, 82–94.  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.10.054>
- Real Academia Española [RAE]. (2019). *Imported from <https://dle.rae.es/?id=UH8mXZv>*.  
<https://dle.rae.es/?id=UH8mXZv>
- Resende, C., Artur, H., y Pinto, A. (2020). Analysis of the influence of soil in the thermal performance of subterranean rooms in a ground-level building in São Paulo, Brazil, via EnergyPlus. *Análisis de la influencia del suelo en el desempeño térmico de las habitaciones subterráneas en una edificación de una planta unifamiliar de São Paulo, Brasil, vía EnergyPlus.*, 28(1), 164–177.
- Reuben, U., Ismail, A. F., Ahmad, A. L., Maina, H. M., y Daud, A. (2019). Indoor Air Quality and Sick Building Syndrome Among Nigerian Laboratory University Workers. *Journal of Physical Science*, 30(1), 179–195.

- Rieder, W. G. (2003). Simulation and Modeling. En R. A. Meyers (Ed.), *Encyclopedia of Physical Science and Technology (Third Edition)* (pp. 815–835). Academic Press.  
<https://doi.org/10.1016/B0-12-227410-5/00692-X>
- Rodríguez, G., y Francisco, Á. (2018). *Proceso de estudio de iluminación natural para garantizar el confort lumínico en espacios interiores en la ciudad de Quito*.  
<http://repositorio.puce.edu.ec:80/xmlui/handle/22000/15359>
- Romero, C. A., Castañeda, D. F., y Acosta, G. S. (2016). Determinación de la calidad bacteriológica del aire en un laboratorio de microbiología en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en Bogotá, Colombia. *Nova*, 14(26), 101.  
<https://doi.org/10.22490/24629448.1756>
- Sáez Cifre, E. (2017). Análisis de la calidad del aire interior en función de la tipología de vivienda [UPV]. En *Dirección General de Ordenación e Inspección. Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid*. (Vol. 2, Número Ii). <https://doi.org/M-48.739-2010>
- Sánchez, M., y Márquez, M. (2018). Impacto Del Factor Iluminacion Y Psicosocial En El Desempeno Laboral Del Personal De Apoyo Y Asistencia A La Educacion. Caso: UPIICSA. *European Scientific Journal*, 4, 223.  
<https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n4p223>
- Sánchez, S. A. (2014). *11 normas y certificaciones de edificación sustentable en México*.  
<https://obrasweb.mx/construccion/2014/08/28/11-normas-y-certificaciones-de-edificacion-sustentable-en-mexico>
- Santamouris, M., y Wouters, P. (2006). *Building Ventilation: The State of the Art*.  
Routledge.

- Secretaría del Medio Ambiente [SEDEMA]. (2012). *Programa de certificación de edificaciones sustentables* (pp. 3, 8, 29–30). Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. <http://martha.org.mx/una-politica-con-causa/wp-content/uploads/2013/09/15-Certificacion-Edificaciones-Sustentables.pdf>
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2007). *Instituto Nacional de Ecología, informe de actividades 2007* (p. 44). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2019a). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, edición 2018*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.  
[https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15\\_completo.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf)
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2019b). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, edición 2018: Capítulo 5* (pp. 282–291). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.  
[https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/pdf/Cap5\\_atmosfera.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/pdf/Cap5_atmosfera.pdf)
- Sekhar, S. C., Gong, N., Tham, K. W., Cheong, K. W., Melikov, A. K., Wyon, D. P., y Fanger, P. O. (2005). Findings of Personalized Ventilation Studies in a Hot and Humid Climate. *HVAC&R Research*, *11*(4), 603–620.
- Shaeri, J., Habibi, A., Yaghoubi, M., y Chokhachian, A. (2019). The Optimum Window-to-Wall Ratio in Office Buildings for Hot–Humid, Hot–Dry, and Cold Climates in Iran. *Environments*, *6*(4), 45. <https://doi.org/10.3390/environments6040045>
- Smith, A., Fsadni, A., y Holt, G. (2017). Indoor living plants’ effects on an office environment. *Facilities*. <https://doi.org/10.1108/F-09-2016-0088>

- Smith, R. D. (2003). Simulation. En *Encyclopedia of Computer Science* (pp. 1578–1587). John Wiley and Sons Ltd.
- Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción Refrigeración y Aire Acondicionado [ASHRAE]. (2013). *ASHRAE Handbook*.  
<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpASHRAEC1/2013-ashrae-handbook>
- Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción Refrigeración y Aire Acondicionado [ASHRAE]. (2019). *ASHRAE handbook: Heating, ventilating, and air-conditioning applications*.  
[http://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpASHRAEVC/viewerType:toc/root\\_slug:ashrae-handbook-heating](http://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpASHRAEVC/viewerType:toc/root_slug:ashrae-handbook-heating)
- Soler, P. (2018, febrero 22). Humedad ideal: Salud y confort térmico. *S&P Sistemas de Ventilación*. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/humedad-ideal-confort-termico/>
- Subils, J. B., y Domínguez, F. M. B. (2000). *NTP 549: El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior*.
- Subils, J., y Domínguez, F. (2000). *NTP 549: El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior*. [NTP]. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. [https://www.insst.es/documents/94886/327064/ntp\\_549.pdf/e9364a82-6f1b-4590-90e0-1d08b22e1074](https://www.insst.es/documents/94886/327064/ntp_549.pdf/e9364a82-6f1b-4590-90e0-1d08b22e1074)
- Szczurek, A., Maciejewska, M., Wyłomańska, A., Zimroz, R., Żak, G., y Dolega, A. (2016). Detection of occupancy profile based on carbon dioxide concentration pattern matching. *Measurement*, 93, 265–271.  
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.07.036>

- Tham, K. W. (2016). Indoor air quality and its effects on humans—A review of challenges and developments in the last 30 years. *Energy and Buildings*, 130, 637–650.  
<https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2016.08.071>
- Thébault, S., y Bouchié, R. (2015). Estimating Infiltration Losses for In-situ Measurements of the Building Envelope Thermal Performance. *Energy Procedia*, 78, 1756–1761.  
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.294>
- Torresin, S., Pernigotto, G., Cappelletti, F., y Gasparella, A. (2018). Combined effects of environmental factors on human perception and objective performance: A review of experimental laboratory works. *Indoor Air*, 28(4), 525–538.  
<https://doi.org/10.1111/ina.12457>
- Tovar, M. (2018). *Metodología para evaluar la calidad del aire interior en diseño de VIS de clima frío*. [Universidad Nacional de Colombia].  
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/69085/MauricioTovarNeira.2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Triantafyllidou, E. F., y Michael, A. G. (2020). The impact of installing a concave curved profile blind to a glass window for visual comfort in office buildings. *Procedia Manufacturing*, 44, 269–276. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.231>
- Troup, L., Phillips, R., Eckelman, M. J., y Fannon, D. (2019). Effect of window-to-wall ratio on measured energy consumption in US office buildings. *Energy and Buildings*, 203, 109434. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109434>
- Tudela, F. (1982). *Bioclima y confort térmico*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/26450>

- Tüysüz, F., y Sözer, H. (2020). Calibrating the building energy model with the short term monitored data: A case study of a large-scale residential building. *Energy and Buildings*, 224, 110207. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110207>
- US EPA, O. (1999). *Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>)*, ¿Por Qué y Cómo Se Controlan?
- Van, W., y Van, G. (2004). Lighting for work: A review of visual and biological effects. *Lighting Research & Technology*, 36(4), 255–266.  
<https://doi.org/10.1191/1365782804li122oa>
- Vieira Dias, M., Motamed, A., Sergio Scarazzato, P., y Scartezzini, J.-L. (2017). Toward proper evaluation of light dose in indoor office environment by frontal lux meter. *Energy Procedia*, 122, 835–840. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.418>
- Vitro Vidrio Arquitectónico. (2020). *Fichas Técnicas*.  
<https://www.vitroglazings.com/es/informacion-tecnica/fichas-tecnicas/>
- Wang, W., Xu, X., Wei, H.-H., Ren, B., y Chen, J. (2018). Modeling occupancy distribution in large building spaces for HVAC energy efficiency. *Energy Procedia*, 152, 1230–1235. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.09.174>
- Wargocki, P., y Wyon, D. P. (2017). Ten questions concerning thermal and indoor air quality effects on the performance of office work and schoolwork. *Building and Environment*, 112, 359–366. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.020>
- Wong, L.-T., Mui, K.-W., y Tsang, T.-W. (2016). Evaluation of Indoor Air Quality Screening Strategies: A Step-Wise Approach for IAQ Screening. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 13(12).  
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=27983667&lang=es&site=ehost-live>

- Yang, Z., y Becerik-Gerber, B. (2016). How Does Building Occupancy Influence Energy Efficiency of HVAC Systems? *Energy Procedia*, 88, 775–780.  
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.06.111>
- Yao, M., Zhang, L., Ma, J., y Zhou, L. (2020). On airborne transmission and control of SARS-Cov-2. *Science of The Total Environment*, 731, 139178.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139178>
- Zhang, R., Li, Y., Zhang, A. L., Wang, Y., y Molina, M. J. (2020). Identifying airborne transmission as the dominant route for the spread of COVID-19. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(26), 14857–14863.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.2009637117>
- Zhao, L., Liu, J., y Ren, J. (2018). Impact of various ventilation modes on IAQ and energy consumption in Chinese dwellings: First long-term monitoring study in Tianjin, China. *Building and Environment*, 143, 99–106.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.06.057>
- Zhou, Y., Zheng, S., y Zhang, G. (2019). Study on the energy performance enhancement of a new PCMs integrated hybrid system with the active cooling and hybrid ventilations. *Energy*, 179, 111–128.

## ANEXOS

A continuación, se presenta el análisis del presente documento con una herramienta para detección de plagio, para comprobar que la redacción de este documento es auténtica.

*Tabla 25. Reporte anti-plagio del presente documento*

<b>CAPITULO- SECCIÓN</b>	<b>PALABRAS ANALIZADAS</b>	<b>AUTENTICIDAD</b>	<b>COMENTARIO</b>
RESUMEN-ÍNDICE	741	100%	
FIGURAS-1	816	100%	
1.1 Y 1.2	757	100%	
1.3-1.6	416	100%	
1.7	774	100%	
1.8-1.8.1	563	100%	
1.8.2-1.8.3	610	100%	
1.9	697	100%	
2.0-2.1.2	950	88%	identifica plagio en citas con referencia
2.2-2.2.6	847	100%	
2.2.7-2.2.8	611	100%	
2.3-2.3.1	724	100%	
2.3.2	175	100%	
2.3.3-2.3.3.3	958	92%	identifica plagio en citas con referencia
2.3.3.4-2.3.3.6	459	100%	
2.3.3.7	671	100%	
2.3.4	725	100%	
2.4-2.4.1	602	100%	
2.4.2	366	100%	
2.5-2.5.1	533	100%	
2.5.2=2.6.1	748	100%	
2.6.2-2.6.3	794	100%	
2.6.4-3.1.1.1	891	100%	
3.1.2-3.1.3	670	100%	
3.2-3.3.1	823	100%	

<b>CAPITULO- SECCIÓN</b>	<b>PALABRAS ANALIZADAS</b>	<b>AUTENTICIDAD</b>	<b>COMENTARIO</b>
3.3.1-3.4	763	100%	
3.4.1-3.4.2	595	100%	
4-4.1	782	100%	
4.1.2.2-4.1.3	857	100%	
4.1.2-4.1.2.1	787	100%	
4.1.3.1-4.1.3.2	938	100%	
4.1.3.2-4.1.4	931	100%	
4.1.4-4.1.4.2	879	100%	
4.1.5-4.1.5.1	905	100%	
4.1.7-4.2.1	873	100%	
4.2.1	646	100%	
4.2.2.1-4.2.3	458	100%	
4.2.2.2 y 4.2.3	850	100%	
4.2.2-4.2.2.1	1629	100%	
4.2.3.0-4.2.3.1	603	100%	
4.2.3.1	560	100%	
4.2.3.2-4.2.3.3	830	100%	
4.2.3.4-4.2.4	679	100%	
4.2.4.1-4.2.4.2	871	100%	
4.2.4.1-4.2.4.2	769	100%	
4.2.4.2	960	100%	
4.2.4.2	823	100%	
4.2.4.3-4.2.4.4	961	100%	
4.2.4.4-4.3.1	940	100%	
5	943	100%	
5	763	100%	
<b>TOTAL</b>	<b>38516</b>	<b>100%</b>	
Elaboración a partir de resultados de Plagiarism Detector, 2021			