

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Carrera de Arquitectura

Estudio del confort térmico en aulas de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca mediante simulaciones en DesignBuilder y propuesta de mejoramiento térmico

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Arquitecto

Autor:

Jessica Dayana Paltán Cuenca

Director:

Esteban Felipe Zalamea León

ORCID:  0000-0001-5551-5026

Cuenca, Ecuador

2023-07-31

Universidad de Cuenca
Facultad de Arquitectura y Urbanismo

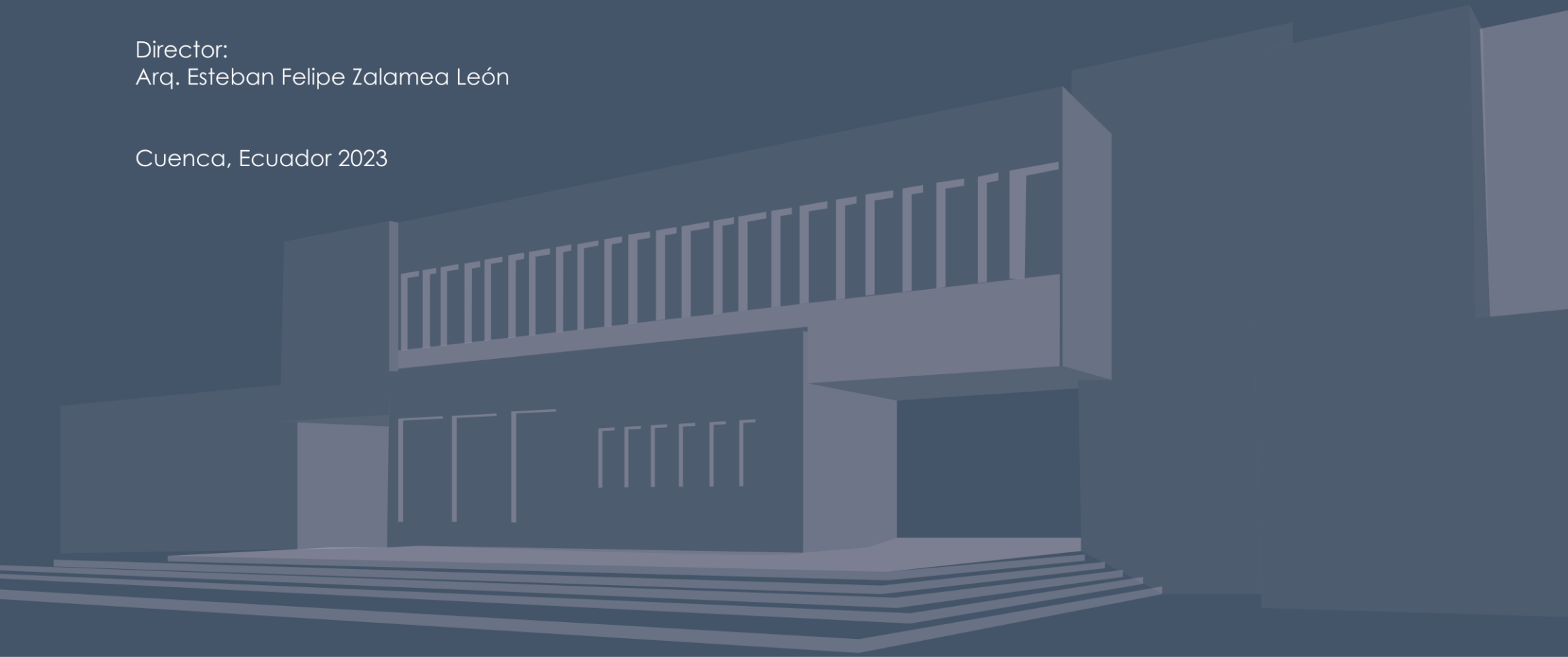
Estudio del confort térmico en aulas de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca mediante simulaciones en DesignBuilder y propuesta de mejoramiento térmico

Trabajo de integración curricular previo al
título de Arquitecto

Autora:
Jessica Dayana Paltán Cuenca

Director:
Arq. Esteban Felipe Zalamea León

Cuenca, Ecuador 2023



Resumen

El presente trabajo de titulación se enfoca en el estudio el confort térmico en las aulas de la facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca. Se utilizó una metodología cuantitativa experimental mediante el uso del software de simulación ambiental DesignBuilder para conocer las variabilidades térmicas existentes. Debido a la extensión del estudio, se llevó a cabo una selección estratégica de tres aulas representativas, una perteneciente a cada edificio. Se identificó que el problema de mayor relevancia se debe a la deficiente calidad en las juntas entre vanos y ventanas, así como entre las carpinterías y vidrios de las mismas, causantes de infiltraciones de aire significativas. Los resultados de las simulaciones térmicas revelaron que las tres aulas analizadas se encuentran en disconfort principalmente en las primeras horas de la mañana, de acuerdo a los rangos recomendados por las normas y estándares nacionales e internacionales analizadas. Por lo tanto, se propuso tres estrategias de mejora térmica que no comprometen la configuración formal actual de las aulas, estas propuestas se enfocaron en el control de infiltraciones de aire y mejoramiento de hermeticidad en ventanas con el uso de vidrio simple, vidrio de doble cámara y vidrio de triple cámara. Se concluyó que la mejor estrategia en relación mejora térmica - economía es la instalación de ventanas con vidrio simple, soportado de elementos que garanticen un buen sellado contra el ingreso del aire, con lo cual se logró mejoras significativas para alcanzar el confort térmico.

Palabras clave: confort térmico, simulación térmica, DesignBuilder.



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

The present thesis focuses on the study of thermal comfort in the classrooms of the Faculty of Architecture and Urbanism at the University of Cuenca. A quantitative experimental methodology was employed, utilizing the DesignBuilder environmental simulation software to assess existing thermal variabilities. Due to the scope of the study, a strategic selection was carried out, choosing three representative classrooms, one from each building. The most significant issue identified was attributed to the poor quality of the joints between openings and windows, as well as between the carpentry and glass, leading to significant air infiltrations. The results of the thermal simulations revealed that the three analyzed classrooms experience discomfort primarily during the early morning hours, according to the ranges recommended by the national and international standards examined. Therefore, three thermal improvement strategies were proposed, which do not compromise the current formal configuration of the classrooms. These proposals focused on controlling air infiltrations and enhancing window airtightness using single-pane glass, double-glazed glass, and triple-glazed glass. It was concluded that the most effective strategy in terms of thermal improvement and economy is the installation of windows with single-pane glass, supported by elements that ensure proper sealing against air ingress, resulting in significant enhancements in achieving thermal comfort.

Keywords: thermal comfort, thermal simulation, DesignBuilder.



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenidos

Capítulo 1.....	1
1.1 Introducción	3
1.2 Preguntas de investigación.....	4
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
Capítulo 2.....	5
2. Marco conceptual.....	7
2.1 Antecedentes del confort térmico.....	7
2.2 Estudios previos: Condiciones de confort en espacios educativos.....	8
2.2.1 Caso de estudio sudamericano.....	8
2.2.2 Caso de estudio ecuatoriano.....	8
2.3 Conceptos teóricos del confort térmico.....	8
2.4 Factores de valoración del confort térmico	9
2.5 Factores del ambiente para el confort térmico	9
2.6 Modelos del confort térmico	10
2.7 Normativas y estándares del confort térmico y lumínico	10
2.7.1 Norma INEN ISO 7730 (ISO 7730, 2005)	10
2.7.2 Norma ASHRAE (ASHRAE 55, 2010)	11
2.7.3 Norma Ecuatoriana de la Construcción (MIDUVI, 2018)	11
2.7.4 Estándares de confort en ambientes interiores en Cuenca	11
2.7.5 Norma para confort lumínico INEN 2969 (Ministerio de Industrias y Productividad, 2015)	11
2.8 Calor y confort.....	12



Fuente: Ortega, Vintimilla. 2022

2.9 Infiltraciones de aire	12
2.9.1 Hermeticidad del aire	12
2.10 Software “DesignBuilder”	13
2.10.1 DesignBuilder para simulación ambiental	13
2.11 Desarrollo de estrategias de diseño bioclimático	14
2.11.1 Estrategias pasivas	14
Capítulo 3.....	15
3.1 Estudio previo: Modelado y mediciones de las condiciones ambientales interiores en edificaciones FAUC	17
3.2 Metodología.....	17
3.3 Caso de estudio	18
3.3.1 Parámetros climáticos de Cuenca.....	18
3.3.2 Parámetros climáticos de la FAUC	19
3.4 Descripción del caso de estudio: Facultad de Arquitectura y Urbanismo	20
3.4.1 Análisis de preexistencias	20
3.4.2 Aulas y fecha de estudio	23
3.4.3 Descripción de aulas de estudio	24
3.4.4 Materialidad de las aulas.....	26
3.5 Modelado de la facultad en DesignBuilder.....	27
3.5.1 Fichero climático y jerarquía del modelo.....	27
3.5.2 Parámetros de actividades.....	28
3.5.3 Parámetros de materialidad	30
3.5.4 Hermeticidad al aire	34
Capítulo 4.....	36
4. Resultados.....	38
4.1 Resultados de simulación térmica.....	38



Fuente: Ortega, Vintimilla. 2022

UCUENCA

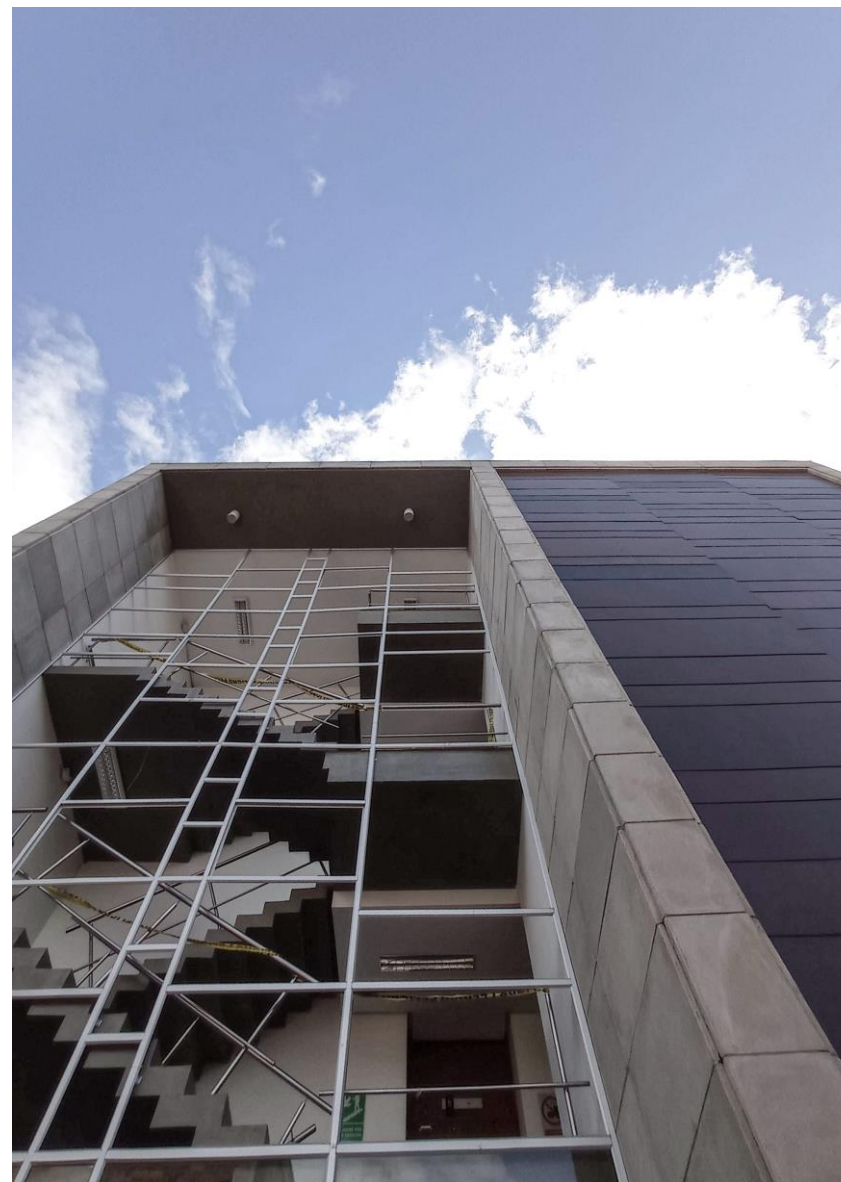
4.2	Comparación de resultados con mediciones en sitio	40
4.3	Comparación de resultados con normativas y estándares de confort térmico	42
4.4	Resultados de confort lumínico	43
Capítulo 5		45
		46
5.1	Propuestas	47
5.1.1	Elementos de control de infiltraciones	47
5.1.2	Propuesta 1: Ventanas eficientes con vidrio simple y mejor hermeticidad	47
5.1.3	Propuesta 2: Ventanas eficientes con doble vidrio hermético	48
5.1.4	Propuesta 3: Ventanas eficientes con triple vidrio hermético	48
5.2	Resultados de simulación de propuestas	49
5.2.1	Resultados para propuesta 1: ventanas eficientes con vidrio simple y mejor hermeticidad	49
5.2.2	Resultados para propuesta 2: ventanas eficientes con doble vidrio hermético	51
5.2.3	Resultados para propuesta 3: ventanas eficientes con triple vidrio hermético	53
5.3	Comparación de resultados	55
Capítulo 6		60
6.1	Conclusiones	62
6.2	Recomendaciones	63
6.3	Referencias	64
6.4	Anexos	66



Fuente: Ortega, Vintimilla. 2022

Índice de figuras

Figura 1 Infiltraciones de aire en las edificaciones	12
Figura 2 Vías de ocurrencia de infiltraciones en una edificación.....	13
Figura 3 Diagrama de metodología.....	17
Figura 4 Velocidad y dirección del viento en Cuenca	18
Figura 5 Estación climatológica FAUC.....	19
Figura 6 Datos climáticos de temperatura y viento de la FAUC	19
Figura 7 Rosa de los vientos FAUC.....	20
Figura 8 Emplazamiento y orientación solar de la FAUC	21
Figura 9 Posición solar y sombras equinoccio 21 de marzo 9:00 a.m. ..	21
Figura 10 Posición solar y sombras equinoccio 21 de marzo 15:00 p.m.	21
Figura 11 Posición solar y sombras solsticio 21 de junio 9:00 a.m.	22
Figura 12 Posición solar y sombras solsticio 21 de junio 15:00 p.m.	22
Figura 13 Vista axonométrica Fauc	22
Figura 14 Elevación Bloque E1	22
Figura 15 Elevación Bloque E2.....	23
Figura 16 Elevación Bloque E3.....	23
Figura 17 Aula E1 -102 seleccionada para análisis térmico	23
Figura 18 Aula E2 203 seleccionada para análisis térmico	24
Figura 19 Aula E3 201 seleccionada para análisis térmico	24
Figura 20 Planta y características aula E1 -102	24
Figura 21 Planta y características aula E2 203.....	25
Figura 22 Planta y características aula E3 201.....	25
Figura 23 Materialidad aula E1 -102	26
Figura 24 Materialidad aula E2 203	26
Figura 25 Materialidad aula E3 201	26
Figura 26 Modelado de la Fauc en DesignBuilder	27
Figura 27 Uso de estructura jerárquica de niveles	27
Figura 28 Planta nivel 4 bloque E3 modelado en DesignBuilder	28
Figura 29 Aula E1 -102 modelada en DesignBuilder y parámetros de actividades	29
Figura 30 Aula E2 203 modelada en DesignBuilder y parámetros de actividades	29
Figura 31 Aula E3 201 modelada en DesignBuilder y parámetros de actividades	29



Fuente: Propia

Figura 32 Horario de ocupación 6 de julio del 2022, E1 -102 Elaboración: Propia.	30
Figura 33 Horario de ocupación 6 de julio del 2022, E2 203 Elaboración: Propia.	30
Figura 34 Horario de ocupación 6 de julio del 2022, E3 201	30
Figura 36 Ventana tipo aula E1 -102	34
Figura 35 Ventana tipo aula E3 201.....	34
Figura 37 Encuentros de envolvente con ventanas y puertas, E1 -102 .	35
Figura 38 Encuentro de envolvente con puertas, E2 203.....	35
Figura 39 Encuentros de envolvente con ventanas y puertas, E3 201 ..	35
Figura 40 Descripción cualitativa según el tipo de infiltración	35
Figura 41 Resultado de simulación térmica para el día 6 de julio del 2022, aula E1 -102.....	38
Figura 42 Resultado de simulación térmica para el día 6 de julio del 2022, aula E2 203.....	39
Figura 43 Resultado de simulación térmica para el día 6 de julio del 2022, aula E3 201	40
Figura 44 Comparación de temperatura del aula E1 -102.....	41
Figura 45 Comparación de temperatura del aula E2 203	41
Figura 46 Comparación de temperatura del aula E3 201	42
Figura 47 Ventanas en aulas de la facultad.....	43
Figura 48 Niveles de iluminación y planta aula E1 -102	43
Figura 49 Niveles de iluminación y planta aula E2 203	44
Figura 50 Niveles de iluminación y planta aula E3 201	44
Figura 51 Carpintería existente vs carpintería eficiente.....	47
Figura 52 Propuesta de ventana batiente	48
Figura 53 Propuesta de ventana con doble vidrio hermético.....	48
Figura 54 Propuesta de ventana con triple vidrio hermético.....	49
Figura 55 Descripción cualitativa de infiltración para propuestas.....	49
Figura 56 Resultado de simulación térmica para el aula E1 -102, propuesta 1	50
Figura 57 Resultado de simulación térmica para el aula E2 203, propuesta 1	50
Figura 58 Resultado de simulación térmica para el aula E3 201, propuesta 1	51



Fuente: Propia

Figura 59 Resultado de simulación térmica para el aula E1 -102, propuesta 2	52
Figura 60 Resultado de simulación térmica para el aula E2 203, propuesta 2	52
Figura 61 Resultado de simulación térmica para el aula E3 201, propuesta 2	53
Figura 62 Resultado de simulación térmica para el aula E1 -102, propuesta 3	54
Figura 63 Resultado de simulación térmica para el aula E2 203, propuesta 3	54
Figura 64 Resultado de simulación térmica para el aula E3 201, propuesta 3	55
Figura 65 Comparación entre estado actual y propuestas aula E1 -102	56
Figura 66 Comparación entre estado actual y propuestas aula E2 203.	57
Figura 67 Comparación entre estado actual y propuestas aula E3 201.	58
Figura 68 Estado actual vs propuestas aula E1 -102	58
Figura 69 Estado actual vs propuestas aula E2 203	58
Figura 70 Estado actual vs propuestas aula E3 201	59



Fuente: Propia

UCUENCA

Índice de tablas

Tabla 1 Categorías del ambiente térmico según el PPD	10
Tabla 2 Ejemplos de criterios de diseño para espacios en varios tipos de edificios	11
Tabla 3 Clasificación de sistemas constructivos según sus propiedades de permeabilidad al aire.....	13
Tabla 4 Zonas climáticas del Ecuador.....	18
Tabla 5 Vestimenta (Valores de Clo).....	29
Tabla 6 Propiedades físicas y térmicas contrapiso E1 -102	31
Tabla 7 Propiedades físicas y térmicas entrepiso E1 -102, E2 203.....	31
Tabla 8 Propiedades físicas y térmicas paredes E1 -102	31
Tabla 9 Propiedades físicas y térmicas pared 45 cm E2 203	32
Tabla 10 Propiedades físicas y térmicas pared 15 cm E2 203	32
Tabla 11 Propiedades físicas y térmicas entrepiso E3 201	32
Tabla 12 Propiedades físicas y térmicas pared tipo 1 E3 201	33
Tabla 13 Propiedades físicas y térmicas pared tipo 2 E3 201	33
Tabla 14 Propiedades físicas y térmicas pared tipo 3 E3 201	33
Tabla 15 Propiedades físicas y térmicas vidrio de ventanas	33
Tabla 16 Determinación de infiltración de aire en E1 -102 y E2 203	34
Tabla 17 Determinación de infiltración de aire en E3 201.....	34
Tabla 18 Comparativa entre temperatura de las aulas y normativas vigentes	42
Tabla 19 Comparativa entre resultados propuestos y normativas vigentes	57



Fuente: Propia

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios, quien me ha brindado fortaleza y sabiduría durante todo este proceso.

A, Arq. Esteban Zalamea, por su guía, apoyo, tiempo y valiosos consejos a lo largo de este trabajo.

A, Arq. Hernán Sánchez y Ing. Cristian Guamán, por sus revisiones y valiosas recomendaciones, las cuales han enriquecido significativamente mi trabajo.

A, Ing. Mateo Astudillo y Freddy Ortega, por su colaboración en el desarrollo de esta investigación.

Estoy verdaderamente agradecida por el apoyo recibido de cada una de estas personas, quienes han contribuido de manera significativa a la culminación exitosa de mi trabajo de titulación.

Dedicatoria

Dedico este trabajo con profundo amor y gratitud.

Primero y principal, a Dios, por la vida y sus bendiciones a lo largo de esta travesía académica.

A mis amados padres, Ángel y Georgina. Su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios incansables han sido pilares fundamentales en mi formación académica. Gracias por su ejemplo inspirador y por creer en mí en cada paso del camino.

A mis queridas hermanas, Pali y Andrea, les agradezco por su inquebrantable apoyo emocional y motivación constante. Vuestra presencia en mi vida ha sido un estímulo invaluable para alcanzar mis metas.

A mis dos adorables mascotas, por su compañía leal y cariño incondicional. Siempre estarán en mi corazón y su memoria me impulsa a seguir adelante.



CAPÍTULO 1

1.1 Introducción

El confort térmico es una condición esencial para el bienestar y comodidad de los usuarios en un ambiente determinado. De acuerdo con normativas internacionales se define al confort térmico como “la condición de la mente en la que se expresa satisfacción con respecto al ambiente térmico” (ASHRAE 55, 2010; ISO 7730, 2005). Esto se refiere a la sensación de comodidad física y psicológica de las personas con respecto a las condiciones favorables de temperatura, movimiento del aire y humedad al momento de realizar sus actividades cotidianas sin sentir calor o frío. En otras palabras, el confort térmico es la sensación subjetiva que se experimenta en un ambiente determinado en términos de condiciones térmicas ideales.

A continuación, se aborda el confort térmico en el contexto académico. Estudios previos han evidenciado que la temperatura en los espacios educativos tiene una influencia determinante en cómo los estudiantes y docentes aprenden y enseñan (Shamsuddin et al., 2012). Un ambiente académico con temperatura inadecuada genera incomodidad e irritación, lo que a su vez afecta negativamente el rendimiento y la productividad de los estudiantes y docentes (Del Campo & Mendivil, 2006). Además, una temperatura inadecuada causa problemas de salud en los usuarios del espacio académico. Por lo tanto, es crucial mantener condiciones térmicas óptimas para evitar impactos negativos en los ocupantes.

El presente trabajo de integración curricular propone conocer, mediante datos cuantitativos, el nivel de confort térmico y lumínico en las aulas de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca en horarios y periodos académicos específicos. Se consideraron los largos periodos de temperaturas bajas característicos de la ciudad de Cuenca, que van de junio a septiembre (Cordero et al., 2013), así como los factores que afectan el confort térmico en relación al usuario y al ambiente. Los resultados del análisis fueron discutidos bajo estándares y normativas nacionales e internacionales, los cuales sirvieron como punto de partida para proponer estrategias de mejora que aborden problemas identificados en este caso de estudio.

En la actualidad, es común el uso de sistemas mecánicos y eléctricos para mejorar las condiciones de confort interior en los edificios. Sin embargo, estos sistemas requieren energía para funcionar, incluso cuando se utiliza energía renovable existe un problema general relacionado con su producción ya que implica un grado de impacto ambiental, lo que a su vez aumenta la emisión de CO₂ a la atmósfera. Por lo tanto, las propuestas planteadas se basan en estrategias bioclimáticas pasivas que no comprometen la configuración y estructura actual de los edificios de la facultad. Estas estrategias contribuyen a mejorar las condiciones actuales de confort y aseguran un ambiente adecuado para el aprendizaje y la productividad de estudiantes y profesores.

Gracias a los avances en tecnología, se dispone actualmente de programas de simulación ambiental. Razón por la cual, se empleó el software especializado en análisis energéticos y ambientales denominado DesignBuilder (DesignBuilder Software Ltd., 2019), con el objeto de obtener información precisa acerca del confort térmico y lumínico en tres aulas seleccionadas de cada uno de los bloques de la facultad.



Fuente: Ortega, Vintimilla. 2022

1.2 Preguntas de investigación

¿En qué condiciones de confort térmico se encuentran las aulas de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca?

¿Qué estrategias bioclimáticas contribuyen a mejorar el confort térmico dentro de las aulas de la facultad de estudio?

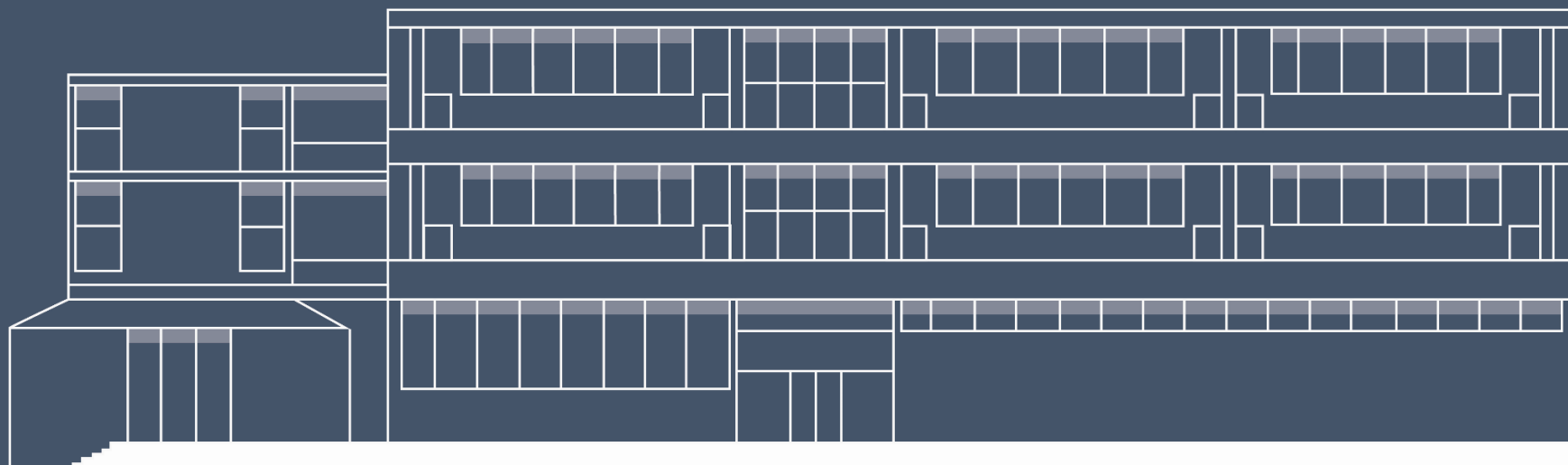
1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el confort térmico en las aulas de los tres bloques de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca mediante la simulación en el programa computacional DesignBuilder.

1.3.2 Objetivos específicos

- Discutir los resultados bajo estándares y normativas nacionales e internacionales.
- Detectar problemáticas en los resultados de la simulación para de esta manera proponer estrategias que permitan alcanzar mejores condiciones de confort.
- Evaluar el confort térmico de las estrategias propuestas mediante el simulador virtual.



CAPÍTULO 2

2. Marco conceptual

El entorno físico en el ámbito académico tiene un impacto significativo en el éxito de los objetivos educativos y en el bienestar general de estudiantes y docentes. Se han llevado a cabo investigaciones experimentales a nivel mundial que han evidenciado que los estudiantes que asisten a aulas con control de temperatura obtienen mejores resultados académicos en comparación con aquellos que estudian en aulas sin ningún tipo de control térmico.

Por tal motivo, se sostiene que el progreso educativo de los alumnos se vincula estrechamente con las condiciones térmicas en las que realizan sus tareas.

2.1 Antecedentes del confort térmico

A lo largo de la historia de las civilizaciones, se ha observado la constante búsqueda de confort. Desde sus inicios, los seres humanos hemos buscado de manera instintiva refugio ante las condiciones climáticas adversas que no siempre se alinean con nuestras necesidades fisiológicas y sociales (Allen, 1997).

A medida que la humanidad se estableció y se desarrollaron las primeras formas de vivienda, surgió la construcción vernácula como respuesta a la necesidad de satisfacer las necesidades funcionales aprovechando los recursos naturales de cada región, lo que permitió alcanzar condiciones de confort.

Por ejemplo, en lugares con climas extremadamente fríos se construyeron iglús a base de nieve prensada para lograr protección y acondicionamiento. De manera similar, en regiones con climas secos y cálidos, se construyeron viviendas con recursos locales, creando espacios protegidos por adobe con el fin de aclimatarse a temperaturas de hasta 40°C, lo que permitió lograr

sostenibilidad y eficiencia energética gracias a la inercia térmica del suelo. Además, en lugares con climas tropicales húmedos, se desarrollaron viviendas aisladas entre las sombras de la naturaleza con cubiertas parabólicas pronunciadas para potenciar la ventilación (Olgyay, 2019).

En el caso de Ecuador, en las regiones de la Costa y Amazonía, se desarrollaron construcciones con cierta elevación en relación a la topografía natural con el fin de evitar las constantes inundaciones y beneficiarse de las corrientes de aire. En la región de la Sierra, se aprovechó la inercia térmica de la tierra y la piedra, así como la gran capacidad aislante de la paja para alcanzar el confort.

Olgyay fue uno de los primeros en valorar la arquitectura vernácula y desarrollar la arquitectura bioclimática como ciencia. Propuso utilizar los elementos de la naturaleza y aprovechar sus capacidades para crear condiciones adecuadas de vida. A partir de sus investigaciones, que vinculaban el clima, la biología, la arquitectura y la tecnología, publicó el primer gráfico bioclimático. Dicho gráfico identificaba las variables climáticas del lugar y proponía estrategias para lograr confort.

Posteriormente, Givoni (1970) expandió las tácticas propuestas por Olgyay al emplear un gráfico psicrométrico para determinar estrategias bioclimáticas de acuerdo a las condiciones higrotérmicas. Tanto Olgyay como Givoni sentaron las bases del bioclimatismo y todavía se utilizan con frecuencia sus representaciones gráficas en la planificación de proyectos sostenibles. Sin embargo, se reconoce que cada estrategia dependerá de las particularidades de cada ubicación.

Resulta fundamental tomar en cuenta todos los aspectos físicos y factores humanos involucrados en cada tipo de edificación, debido a que el bienestar y la comodidad del ser humano para llevar a cabo sus actividades cotidianas dependen de ello (Bustillos, 2017).

Es esencial considerar las particularidades climáticas, culturales y sociales al diseñar o renovar edificaciones. Las variaciones en temperatura, humedad, viento, lluvia, cultura, materiales disponibles y costumbres locales hacen que un diseño exitoso en un lugar no sea apropiado para otro. Por lo tanto, se debe tener en cuenta las particularidades del entorno

y de la comunidad en la que se inserta el proyecto, a fin de lograr edificaciones eficientes y sostenibles mediante estrategias bioclimáticas que generen un ambiente térmicamente confortable y mejoren la calidad de vida de las personas.

2.2 Estudios previos: Condiciones de confort en espacios educativos

Revisando investigaciones realizadas en los últimos cinco años en relación al estudio de confort en espacios educativos con el uso del software DesignBuilder (DesignBuilder Software Ltd., 2019) se obtuvieron resultados que son de interés para el presente trabajo.

2.2.1 Caso de estudio sudamericano

En Perú, Chumbiray (2021), señala mediante su trabajo de titulación denominado “Análisis del confort térmico en escuela modelo de la sierra peruana y evaluación de mejoramiento térmico mediante el uso de principios bioclimáticos” que durante las horas de clase los ocupantes de las aulas experimentaban un disconfort debido a que la temperatura se encontraba bajo el límite mínimo permitido detectado gracias al programa DesignBuilder que resultó ser confiable al contar con herramientas de cálculo para obtener la simulación térmica.

2.2.2 Caso de estudio ecuatoriano

En el caso de Ecuador, Morales y Zambrano (2019), desarrollaron el trabajo de titulación “Mejoramiento de las condiciones térmicas del colegio Ismael Pérez Pazmiño mediante la aplicación de parámetros bioclimáticos y de eficiencia energética” en el que identificaron una serie de problemáticas dentro del colegio que provocaban el aumento de temperatura en el interior generando un perjuicio en el confort de los usuarios, para lo cual se planteó la implementación de elementos arquitectónicos con el fin de mejorar los ambientes afectados.

Mediante el programa DesignBuilder se obtuvieron datos de la temperatura del aire y humedad relativa los cuales fueron comparados con mediciones reales tomados con higrómetro y se constató que los datos entre las dos herramientas no concordaban obteniendo una diferencia de hasta 10°C. Esto debido a que el modelo virtual no contaba con el modelado del entorno natural y entorno construido, por lo que es necesario modelar todo el contexto inmediato del espacio a analizar ya sea vegetación o construcción para obtener datos completamente reales (Morales & Zambrano, 2019).

2.3 Conceptos teóricos del confort térmico

En esta sección, se aborda la fundamentación teórica del confort térmico, haciendo hincapié en su definición. Según normativas reconocidas de nivel mundial el confort térmico se define como "la condición mental de satisfacción con el ambiente térmico" (ASHRAE 55, 2010; ISO 7730, 2005), lo que indica que es un concepto subjetivo que varía según las diferentes percepciones y estados mentales de los individuos. Además, el confort térmico no solo se refiere a la temperatura del aire, sino también a otros factores como la humedad, la velocidad del aire y la temperatura radiante, que pueden afectar la percepción del confort térmico de una persona.

Es necesario tener en cuenta que la percepción del confort térmico también puede variar según la actividad que se realiza en un espacio determinado, la ropa que se usa y la duración de la exposición al ambiente en cuestión. Por lo tanto, el diseño de edificios y sistemas de climatización debe tener en cuenta estas variables y debe buscar proporcionar un ambiente térmicamente confortable para la mayoría de las personas que lo ocupen, con el fin de mejorar su calidad de vida y su productividad.

En escenarios idénticos y con características físicas y fisiológicas similares, la sensación individual del confort difiere de manera única. Por lo tanto, el confort se aborda desde una perspectiva objetiva, mientras que la sensación térmica se aborda como una cuestión subjetiva (Hensen, 1991). En consecuencia, se han llevado a cabo estudios para identificar las variables que influyen en la percepción térmica de las personas.

2.4 Factores de valoración del confort térmico

Los factores de confort que brindan comodidad a los usuarios son aquellos que están relacionados con su estado biofisiológico y las interacciones sociológicas y psicológicas e influyen en cómo se percibe el entorno. Por tanto, la percepción de un mismo entorno varía de persona a persona dependiendo de las circunstancias individuales de cada usuario.

Los parámetros que determinan el grado de confort ambiental se definen a partir de la energía presente en un espacio habitable como resultado de las características físicas y ambientales del sitio. Esta energía se manifiesta en factores como la temperatura, la iluminación y el ruido, los cuales son medibles y cuantificables, y se vinculan directamente con la percepción sensorial del individuo (Serra & Roura, 2005).

La interacción entre el ser humano y su entorno implica un constante intercambio de energía, debido a que el cuerpo humano posee la capacidad de mantener estables ciertas condiciones internas, a pesar de los constantes cambios energéticos que se produce en el ambiente circundante (Toledo, 2011).

La sensación de confort térmico se logra gracias al mecanismo de generación de calor que contrarresta las pérdidas térmicas hacia el exterior y mantiene estable la temperatura en el ambiente. Este proceso involucra diversos aspectos que se pueden clasificar en dos factores (Serra & Roura, 2005):

- a) Factores del usuario: Metabolismo, temperatura de la piel, vestimenta, actividad, peso, edad, género, hábitos.
- b) Factores del ambiente: Temperatura del aire, temperatura de radiación, humedad relativa, velocidad del viento.

Conocer los factores del usuario y los factores ambientales que influyen en la percepción del confort térmico permite establecer estrategias de diseño que generen un ambiente adecuado y confortable para los usuarios.

2.5 Factores del ambiente para el confort térmico

Las variables físicas que se enumeran a continuación tienen un impacto directo en el nivel de bienestar de los usuarios de un espacio determinado.

Según el INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2017):

a) Temperatura

Magnitud física que describe la velocidad media del movimiento aleatorio de las moléculas de un cuerpo físico. Mientras que, temperatura del aire es el término que se utiliza para hacer referencia a la evaluación del estado térmico del aire, en relación a su capacidad de transmitir calor a su entorno.

b) Humedad relativa

Es una medida que resulta de dividir la cantidad de vapor de agua presente en el aire por la cantidad máxima que éste podría contener a una temperatura específica. Esta medida puede variar desde un 0%, que indica un ambiente seco, hasta un 100%, que señala un aire saturado de humedad.

c) Velocidad del viento

El movimiento del aire en relación con la superficie terrestre se conoce como viento. Para indicar la dirección del viento se utiliza la referencia de su origen o procedencia. La relación entre la distancia que el aire ha recorrido y el tiempo que ha tardado en hacerlo se conoce como velocidad del viento.

d) Temperatura de radiación

La temperatura media radiante es una medida que refleja la percepción humana a la radiación. Esta temperatura se calcula considerando el intercambio neto de energía radiante entre objetos, que está en función de su diferencia de temperatura y su capacidad para emitir y absorber calor (Plataforma Europea de Adaptación Climática Climate ADAPT, s. f.).

2.6 Modelos del confort térmico

Los conceptos presentados a continuación permiten comprender términos importantes respecto a la determinación de índices adecuados de confort térmico.

PMV: voto medio estimado

Se plantea que el equilibrio térmico se alcanza cuando el calor generado internamente por el cuerpo es igual al calor perdido hacia el ambiente. Sin embargo, para lograr esta condición en un ambiente específico durante una actividad determinada, es necesario que exista una diferencia entre la cantidad de calor que el cuerpo humano genera y la cantidad de calor necesaria para mantener un nivel de confort óptimo. Es decir, se requiere de una adecuada regulación térmica para mantener el de las personas (Lin & Deng, 2008).

El PMV es una herramienta que determina si un entorno térmico cumple con los requisitos de confort y proporciona bienestar a los usuarios. Para lograr una sensación térmica equilibrada, se debe alcanzar un valor de PMV igual a cero, en el que se considere los factores de usuario y del ambiente.

PPD: porcentaje estimado de insatisfechos

En un conjunto numeroso de individuos, siempre existirán casos aislados que difieren en cuanto a su nivel de PMV y que probablemente sientan disconfort ya sea por calor o frío (Fanger, 1982).

2.7 Normativas y estándares del confort térmico y lumínico

El marco normativo del confort térmico establece los criterios y estándares que se deben cumplir para garantizar condiciones de confort en los espacios. Estas normativas están basadas en investigaciones y establecen los niveles adecuados de confort térmico.

2.7.1 Norma INEN ISO 7730 (ISO 7730, 2005)

En la tercera edición del año 2005 de esta normativa se agrega un anexo que sintetiza los requisitos de confort térmico. Se establecen tres categorías

para el ambiente térmico deseado, cada una con un porcentaje máximo de insatisfechos, como se detalla en la tabla 1.

Tabla 1

Categorías del ambiente térmico según el PPD

Categoría	Estado térmico del cuerpo en su conjunto	
	PPD %	PMV
A	<6	- 0.2 < PMV < 0.2
B	<10	- 0.5 < PMV < 0.5
C	<15	- 0.7 < PMV < 0.7

Fuente: Adaptado de International Organization for Standardization (ISO7730, 2005)

Cada una de las tres categorías presenta distintos rangos permitidos para una misma temperatura operativa. La normativa enfatiza en la importancia de mantener las fluctuaciones de temperatura siempre dentro del rango establecido. Las temperaturas operativas se basan en el nivel de actividad típico de cada espacio con un factor de vestimenta de 0,5 clo y 1,0 clo durante verano e invierno, respectivamente.

En conformidad con esta norma, se establece que el confort óptimo se alcanza cuando el 95% de los usuarios que ocupan un espacio están satisfechos con las condiciones ambientales del lugar. Por otro lado, cuando al menos el 25% de las personas están insatisfechas se considera que existe un nivel de disconfort. Estos parámetros son importantes para determinar si las condiciones de confort en un espacio son adecuadas o si se requieren ajustes para mejorar la experiencia de los usuarios.

En relación a esta norma, se ha determinado que el objeto de estudio del presente trabajo pertenece a la categoría B, es decir, para que los estudiantes sientan confort la temperatura operativa óptima para verano e invierno debería situarse entre los 24,5 °C y 22 °C, respectivamente, con rangos de $\pm 1,5$ y $\pm 2,0$ grados, según se aprecia en la tabla 2. Esta normativa establece rangos para garantizar el confort térmico a nivel mundial, sin embargo, hay que tener en cuenta que esta investigación tiene enfoque en el modelo adaptativo de acuerdo al comportamiento de las

personas en un ambiente, se realizó a través de miles de muestras con información climática de distintas zonas a nivel mundial, a pesar de incluir temperaturas del ambiente exterior e interior, niveles de metabolismo y vestimenta, resulta tener un alcance muy amplio. Por lo tanto, al momento de discutir los resultados obtenidos se tiene como prioridad comparar los valores obtenidos con las normativas y estándares ecuatorianos ya que dichos rangos son definidos de acuerdo a factores específicos de cada lugar.

Tabla 2

Ejemplos de criterios de diseño para espacios en varios tipos de edificios

Tipo de edificio o espacio	Actividad W/m ²	Categoría	Temperatura operativa °C		Máxima velocidad media del aire (m/s)	
			Verano (época de refrigeración)	Invierno (época de calefacción)	Verano (época de refrigeración)	Invierno (época de calefacción)
Despacho individual - Oficina diáfana - Sala de conferencias - Auditorio - Cafetería -Aulas	70	A	24.5 ± 1.0	22.0 ± 1.0	0.12	0.10
		B	24.5 ± 1.5	22.0 ± 2.0	0.19	0.16
		C	24.5 ± 2.5	22.0 ± 3.0	0.24	0.21*

Fuente: Adaptado de International Organization for Standardization (ISO7730, 2005)

2.7.2 Norma ASHRAE (ASHRAE 55, 2010)

La finalidad principal de esta regulación es detallar las combinaciones de factores ambientales térmicos interiores y factores de usuarios que originan situaciones térmicas satisfactorias para la mayoría de usuarios dentro del entorno. Se recomienda un límite de ± 0.5 de PMV para predecir un 10% de PPD, se puede apreciar que es similar a la categoría B presentada en la Tabla 1.

2.7.3 Norma Ecuatoriana de la Construcción (MIDUVI, 2018)

Esta norma ecuatoriana menciona que para que exista confort térmico dentro de las edificaciones la temperatura del aire y la temperatura radiante media debe oscilar dentro del rango de 18 °C a 26 °C dependiendo de la ubicación geográfica y condiciones climáticas, en el caso de la Sierra existe una tendencia hacia los 18 °C. Por otro lado, la velocidad del aire debe situarse entre 0,05 m/s y 0,15 m/s y la humedad relativa debe estar dentro del 40% al 65%.

El cumplimiento de estas normas no solo garantiza la comodidad de los ocupantes de un espacio, sino que también puede tener efectos positivos en su salud, bienestar y en su desempeño. Además, el cumplimiento de las normas contribuye a reducir el consumo de energía y a mejorar la eficiencia energética de los edificios.

2.7.4 Estándares de confort en ambientes interiores en Cuenca

La investigación realizada por Quesada y Bustillos (2018) determinó los niveles de confort térmico aceptados en términos de temperatura por parte de la población de la ciudad de Cuenca obteniendo con una aceptación del 90% y 10% de PPD un rango de 17.62°C a 22.62°C, y con una aceptación del 80% y 20% de PPD un rango de 16.62°C a 23.62°C. Estos valores son referidos a ambientes interiores de las viviendas urbanas de la ciudad de Cuenca y permiten comprender que la tendencia para que los habitantes se sientan en confort es a temperaturas más bajas que las establecidas por las normativas. Los datos obtenidos son de gran interés para establecer comparativas con las temperaturas registradas en las aulas, ya que son datos reales que reflejan el criterio de la población cuencana joven.

2.7.5 Norma para confort lumínico INEN 2969 (Ministerio de Industrias y Productividad, 2015)

El confort lumínico dentro de los ambientes educativos promueve el incremento de la productividad y desempeño de los estudiantes al evitar la fatiga visual y el discomfort ergonómico. Según la normativa INEN 2969 los

niveles mínimos de iluminación (lux) para aulas teóricas debería ser 300 lux, mientras que para aulas de dibujo técnico 750 lux.

Es importante tener en cuenta cómo la luz refleja en las superficies internas de las aulas para evitar deslumbramiento. La NEC menciona que el porcentaje más alto del índice de reflexión son las superficies de techos y paredes presentando un 80% de reflectancia el color blanco cal.

Esta normativa es necesaria para conocer si la iluminación natural de la facultad es la correcta de acuerdo a la simulación lumínica realizada.

2.8 Calor y confort

A continuación, se presentan algunos parámetros directamente relacionados con la capacidad que tienen los materiales para transferir el calor.

a) Conductividad térmica (W/m. K):

Simbolizada por el término λ , es una propiedad de un material que mide su capacidad para conducir calor a través de él. Corresponde a la cantidad de calor transferida por unidad de tiempo a través de un material con un espesor de un metro, una superficie transversal al flujo de 1 metro cuadrado y sujeto a una diferencia de temperatura de 1 kelvin (Encalada, 2013).

b) Resistencia térmica:

Medida que indica la capacidad que tiene un material para resistir el flujo de calor a través de él.

$$R = e / \lambda \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W):}$$

Donde:

e = espesor del material (m)

λ = conductividad térmica del material (W/m. K).

c) Transmitancia térmica:

Expresada como valor u , es una medida que indica la capacidad de un elemento constructivo incluyendo todas sus capas y cámaras de aire para aislar térmicamente una superficie en relación al porcentaje de energía que fluye a través de ella. Cuando el valor de u es bajo indica un buen aislamiento térmico, mientras que un valor alto de u indica un aislamiento deficiente (Franco, 2018).

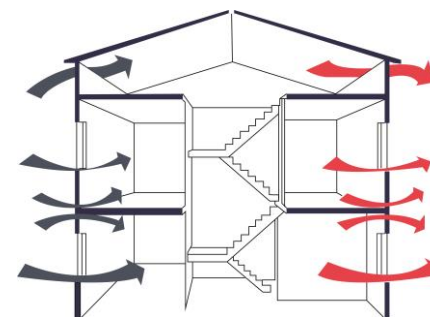
$$U = 1/R \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$$

2.9 Infiltraciones de aire

Las infiltraciones de aire ocurren cuando el aire fluye a través de aberturas o grietas no previstas en la envolvente del edificio (Fig. 1), esto genera cargas térmicas que afectan el rendimiento energético del edificio. Generalmente se produce cuando la presión del viento empuja el aire sobre la fachada, la cantidad de aire que ingresa depende de la velocidad y exposición al viento (Universidad del Bío-Bío, 2014).

Figura 1

Infiltraciones de aire en las edificaciones



Fuente: Adaptado de Manual de hermeticidad del aire de edificaciones. Universidad del Bío-Bío, 2014.

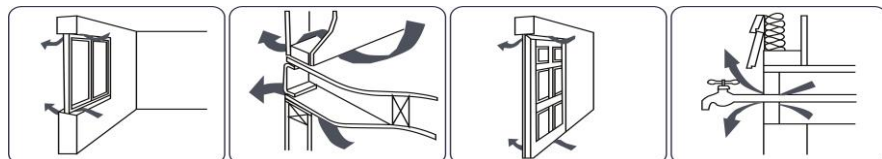
2.9.1 Hermeticidad del aire

La hermeticidad al aire de una edificación es la capacidad que tiene la envolvente para resistir el ingreso del aire. Los encuentros entre muro – techumbre, muro – fundación, muro – puertas y ventanas, conductos para

instalaciones eléctricas y sanitarias, son puntos fuertes de infiltración por lo que hay que procurar que sus tolerancias sean la menor posible (Fig. 2).

Figura 2

Vías de ocurrencia de infiltraciones en una edificación



Fuente: Adaptado de Manual de hermeticidad del aire de edificaciones. Universidad del Bío-Bío, 2014.

Las zonas críticas que permiten el paso involuntario de aire dependen del sistema constructivo, materialidad y diseño de la edificación. En la tabla 3 se observa la tipología de construcciones que existen en función a su materialidad con los valores respectivos de cambios de aire por hora (Universidad del Bío-Bío, 2014).

Tabla 3

Clasificación de sistemas constructivos según sus propiedades de permeabilidad al aire

Tipología/ Material predominante de muros	Cambios de aire / Hora
Sistema pesado, envolvente de: Hormigón, albañilería de ladrillos o bloque, etc.	9 - 11,8
Sistema mixto, envolvente de: Sistema pesado + sistema liviano	15
Sistema liviano, envolvente de: Madera, acero galvanizado, paneles prefabricados en base a madera, etc.	10,2 - 24,6

Fuente: Adaptado de Manual de hermeticidad del aire de edificaciones. Universidad del Bío-Bío, 2014.

El nivel de infiltración en una edificación genera que los valores de temperaturas aumenten o disminuyan de acuerdo a la cantidad de cambios de aire por hora existentes. En el subcapítulo 3.5.4 se analiza el nivel de infiltración de la facultad de Arquitectura, valor indispensable para el estudio del confort térmico dentro del programa DesignBuilder.

2.10 Software “DesignBuilder”

Se utilizó el software DesignBuilder como herramienta de simulación mediante el modelado virtual de los tres bloques de la facultad, el mismo que permitió analizar parámetros de confort en respuesta al clima, forma y materialidad.

Se ha comprobado que las simulaciones realizadas en motores de cálculo ambientales no difieren de la realidad. Las simulaciones realizadas con EnergyPlus a través de DesignBuilder muestran a detalle cómo funcionan los edificios en términos de energía y ambiente en tiempo real, empleando información climática específica propia del lugar de estudio. Los resultados obtenidos se analizan en diferentes periodos de tiempo: anual, mensual, diario, horas y fracciones de hora (DesignBuilder Software Ltd., 2019).

2.10.1 DesignBuilder para simulación ambiental

Este programa fue desarrollado para realizar el análisis energético y medioambiental de cualquier tipo de proyecto arquitectónico. Cuenta con nueve módulos cada uno de los cuales genera un análisis específico. El módulo que se empleará es el de simulación, el cual sirve para:

- Cargar archivos de información climática horaria para la realización de simulaciones dinámicas en tiempo real y obtener el desempeño de los edificios en términos ambientales y energéticos.
- Analizar el nivel de la iluminación natural y artificial en el edificio.
- Las simulaciones permiten obtener cuantiosa información sobre las condiciones térmicas interiores, consumos energéticos y emisiones de carbono. Los resultados se los puede obtener en diversos intervalos de tiempo ya sea anual, mensual, diario, u horario.

Además, permite el modelado de estrategias tanto activas como pasivas entre ellas: dispositivos especiales para el ahorro energético, fachadas ventiladas, cubiertas verdes, materiales de cambio de fase, vidrios dinámicos y pozos canadienses, entre otros (DesignBuilder Software Ltd., 2019).

2.11 Desarrollo de estrategias de diseño bioclimático

Se han desarrollado dos grupos de estrategias para el diseño bioclimático. Las estrategias pasivas que consisten en el aprovechamiento de fenómenos físicos y características de la edificación desde las condiciones ambientales del lugar y las estrategias activas que se basan en sistemas artificiales para alcanzar el confort.

A continuación, se describen dos tipos de estrategias pasivas debido a que estas no requieren de energía importada para su funcionamiento o pueden funcionar en conjunto con las estrategias activas maximizando la eficiencia energética del edificio, por ende, al momento de establecer una propuesta de mejoramiento térmico para las aulas de la facultad de estudio se desarrolla un tipo de estrategia pasiva.

2.11.1 Estrategias pasivas

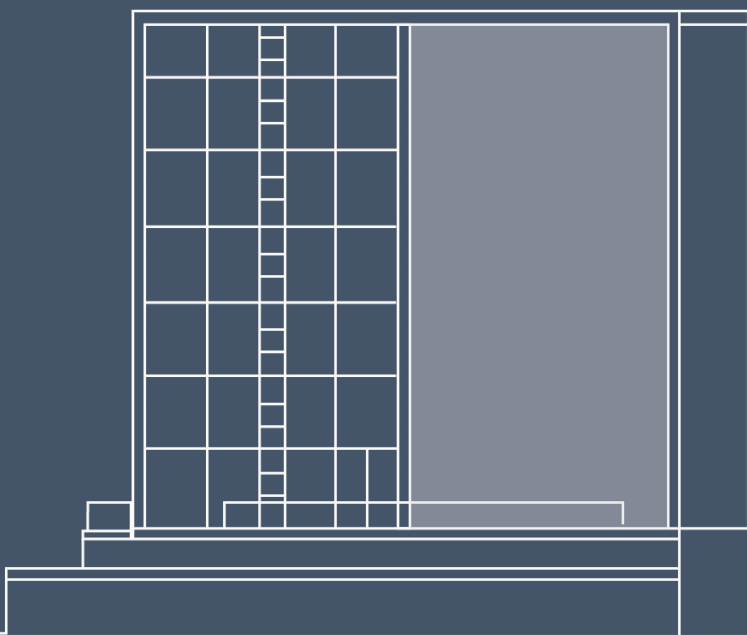
Los edificios de la FAUC tienen una envolvente con elevada inercia térmica por lo que es evidente que los déficits están en las carpinterías de aluminio y vidrio simple, siendo los principales causantes del discomfort. Por lo tanto, las estrategias planteadas se basan en soluciones que mejoren estas condiciones y que se pueden desarrollar en edificios ya construidos, que no comprometen la configuración y estructura actual de los mismos.

a) Ventanas de doble vidrio

Este tipo de ventanas cuenta con aire o gas argón atrapado entre los paneles de vidrio el cual actúa como aislante para reducir la transferencia de calor a través de la ventana, en algunos casos se ha incorporado una delgada película entre los paneles de vidrio para dividir en dos partes el espacio entre ellos, esto ayuda a reducir aún más la transferencia de calor.

b) Control de infiltraciones en puertas y ventanas

El diseño apropiado y la selección adecuada de materiales y sellado de juntas en puertas y ventanas evita infiltraciones de aire elevadas (Universidad del Bío-Bío, 2014). Estas estrategias propuestas se abordan a más profundidad en el capítulo 5.



CAPÍTULO 3



El presente trabajo forma parte del proyecto de investigación “Modelado y mediciones de condiciones ambientales interiores e integración de energía solar, para alcanzar el Estándar Net-Zero en Edificaciones FAUC”, y es la continuación del trabajo de titulación “Modelado y mediciones de las condiciones ambientales interiores en edificaciones FAUC” desarrollado por Ortega y Vintimilla.

3.1 Estudio previo: Modelado y mediciones de las condiciones ambientales interiores en edificaciones FAUC

En base al modelado y posterior análisis del confort térmico de las aulas de la Fauc se manifiesta que los datos obtenidos de las simulaciones para las aulas del bloque E1, E2 y E3 presentan ciertos niveles de desfases de temperatura en comparación con la normativa vigente y estudios realizados sobre el confort en la Ciudad de Cuenca, estos desfases suceden especialmente en la mañana en un horario de 7:00 am a 9:00 am considerándolas en discomfort. En la tarde, en los horarios vespertinos estas aulas mejoran su situación respecto a los niveles de confort.

El modelado de la facultad se lo realizó en el software BIM ArchiCAD el mismo que está relacionado con el software Ecodesigner Star verificando así la eficiencia de estos programas computacionales para la simulación energética obteniendo resultados coherentes y permitiendo conocer las condiciones ambientales dentro de la FAUC (Ortega & Vintimilla, 2023).

3.2 Metodología

La metodología que se desarrolla a lo largo del trabajo de titulación es cuantitativa experimental ya que tiene el objetivo de obtener mediciones de variables que permitan comprobar o descartar el nivel de confort en las aulas de la facultad de arquitectura. Esta metodología consiste en el análisis de datos numéricos en relación a la temperatura medida en grados centígrados, se obtienen resultados precisos mediante el programa DesignBuilder y verificables en relación con las mediciones reales en sitio.

La metodología se lleva a cabo siguiendo una serie de fases claramente definidas las cuales se presentan en la figura 3.

Figura 3

Diagrama de metodología



Elaboración: Propia

Esta propuesta metodológica se presenta como una estrategia precisa para para abordar la evaluación del confort térmico, desarrollada para cumplir con los objetivos planteados, este enfoque garantiza una investigación fundamentada y efectiva para respaldar la toma de decisiones y la implementación de mejoras. Además, este trabajo es de gran aporte para la facultad ya que gracias a la información levantada en sitio se construye el modelo climático de la FAUC en un software de simulación ambiental.

3.3 Caso de estudio

3.3.1 Parámetros climáticos de Cuenca

Cuenca está ubicado en un valle interandino de la Sierra Austral ecuatoriana. Esta ciudad es la capital de la provincia del Azuay y se encuentra a 2560m sobre el nivel del mar. Según la tabla 4 la ciudad de Cuenca se encuentra en la zona climática 3, continental lluviosa (MIDUVI, 2018).

Tabla 4
Zonas climáticas del Ecuador

Zona climática	Nombre	Localidades de referencia	Rango de temperatura (°C)
Z1	Húmeda muy calurosa	Machala, Guayaquil, Esmeraldas, Babahoyo, Portoviejo, Santa Elena, Nueva Loja, Francisco de Orellana	5000 m < CDD 10°C
Z2	Húmeda calurosa	Santo Domingo, Tena, Puyo, Macas, Zamora, Galápagos	3500 m < CCD 10°C < 5000 m
Z3	Continental lluviosa	Quito, Loja, Cuenca	CDD 10°C < 2500 m y HHD 18°C < 2000 m
Z4	Continental templada	Ibarra, Ambato, Guaranda, Azogues	2000 m < HDD 18°C < 3000 m
Z5	Fría	Latacunga, Riobamba, Tulcán	3000 m < msnm < 5000 m
Z6	Muy fría	Páramos	5000 m < altura

Fuente: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2018.

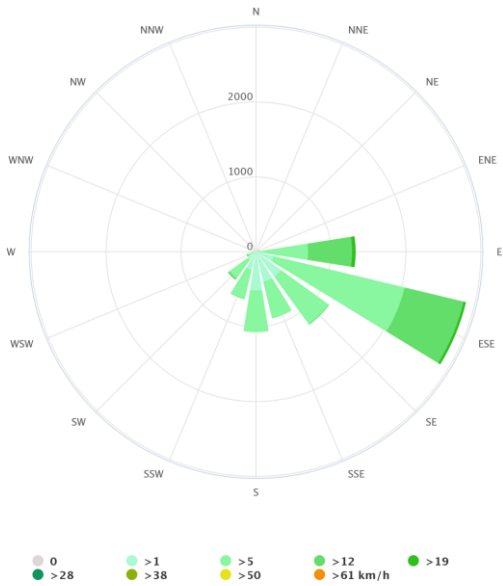
Las características climáticas específicas de Cuenca se tomaron del servicio meteorológico Meteoblue y se obtuvo lo siguiente (Meteoblue, 2023):

- a) El rango de temperatura promedio suele variar entre los 16°C a 18°C, la temporada templada va de enero a mayo siendo marzo el

mes más cálido con una temperatura máxima promedio de 22 °C y mínima de 10 °C, la temporada más fría comprende los meses de junio a septiembre destacado julio como el mes más frío con una temperatura mínima promedio de 7 °C y máxima de 20 °C.

- b) La humedad relativa anual varía entre 52.5% y 66.8%, junio y septiembre son los meses que registran el valor más alto y bajo respectivamente.
- c) La precipitación promedio anual es de 69.98 mm/m2, los meses de marzo y abril son los que presentan los valores más altos 163.5mm/mes, y junio, julio, agosto y septiembre los más bajos 24.3mm/mes.
- d) La velocidad promedio del viento varía de 5 - 12 km/h, es decir 1.4 – 3.33 m/s con predominio desde el este-sudeste (Fig. 4).

Figura 4
Velocidad y dirección del viento en Cuenca



Fuente: Datos climáticos y meteorológicos históricos simulados para Cuenca, Meteoblue, 2023.

3.3.2 Parámetros climáticos de la FAUC

Los datos climáticos a nivel de ciudad son importantes, pero es necesario tener en cuenta que, dependiendo de varios factores como el tipo de vegetación, altura de árboles, la sombra que generan las construcciones existentes, pendientes, calles, etc., se generan microclimas causantes de condiciones de entorno diferentes al clima general de la zona. Es por ello que gracias a la estación climatológica ubicada en la cubierta del edificio de posgrados de la FAUC (Fig. 5) se obtienen datos más reales en relación a la zona de estudio, estos datos son los siguientes:

- El rango de temperatura en los meses más fríos (junio - septiembre) oscila entre los 7-18°C y en los meses más cálidos (enero - mayo) entre los 8 - 22 °C.
- El promedio anual de la velocidad del viento es 1.8 m/s, la media de la dirección del viento está entre 250 y 315 deg (grados sexagesimales) es decir, existe un predominio desde la dirección este-sudeste y sur (Fig. 6).
- La humedad relativa anual es de 70.33% registrando un valor mayor el mes de enero con 97% y el menor valor el mes de septiembre con 58%.

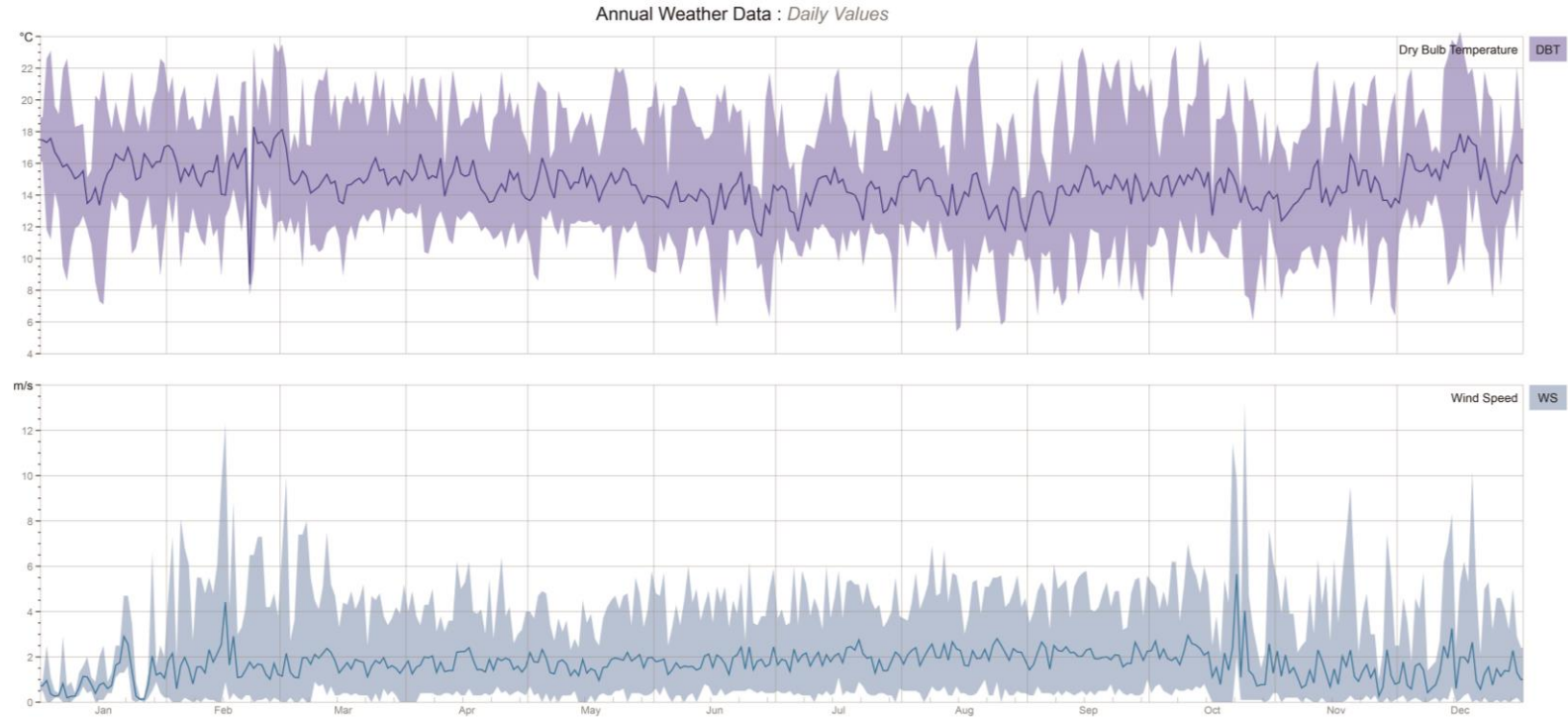
Figura 5

Estación climatológica FAUC



Figura 6

Datos climáticos de temperatura y viento de la FAUC



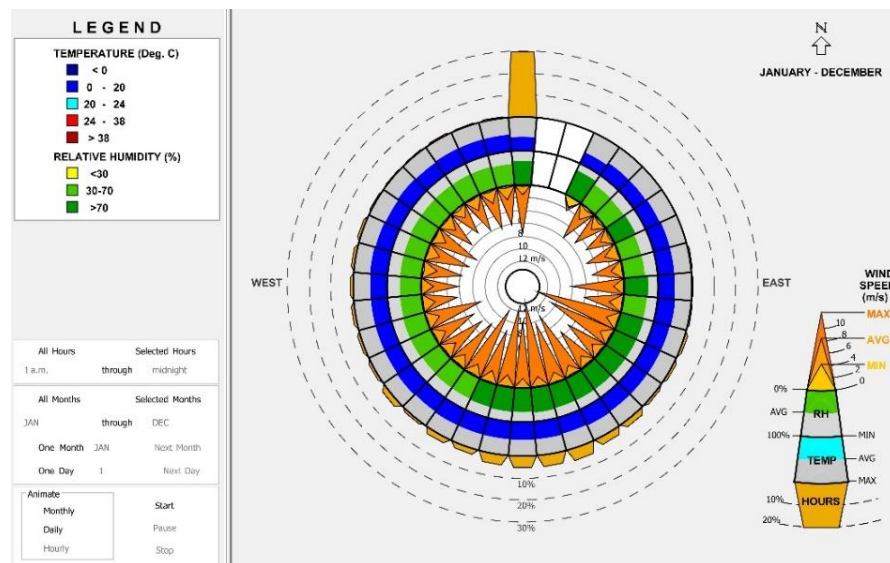
Fuente: Ortega y Vintimilla, 2023.

Fuente: Datos climáticos y meteorológicos anuales simulados para la Facultad de Arquitectura, Andrew Marsh, 2023.

- d) El promedio de precipitaciones anuales oscila entre 15 mm y 25mm siendo los meses de abril a mayo los meses que presentan valores más altos y los meses de junio a septiembre los meses con valores menores.

Los datos presentados son resultado de la simulación del fichero climático de la facultad utilizando el simulador web AndrewMarsh (Marsh, 2023), estos datos han sido validados mediante la simulación del mismo fichero en Climate Consult (Climate Consultant, 2021). Como resultado adicional se obtuvo el diagrama de la rosa de los vientos que indica la velocidad y dirección predominante de los vientos (Fig. 7).

Figura 7
Rosa de los vientos FAUC



Fuente: Climate Consult, 2021.
Elaboración: Propia.

3.4 Descripción del caso de estudio: Facultad de Arquitectura y Urbanismo

A continuación, se presenta una descripción de la facultad destacando puntos importantes tales como: análisis de preexistencias, tipología de aulas, sistemas constructivos y materialidad.

3.4.1 Análisis de preexistencias

Este análisis permite comprender la relación que tiene la facultad con su entorno natural y construido. Los edificios construidos tienen un impacto significativo en el microclima local, generan sombras, bloqueos y canalización de vientos, de igual manera, la orientación de los edificios, su altura, forma y materiales afectan la captación de calor solar, ventilación natural e intercambio de energía con el entorno.

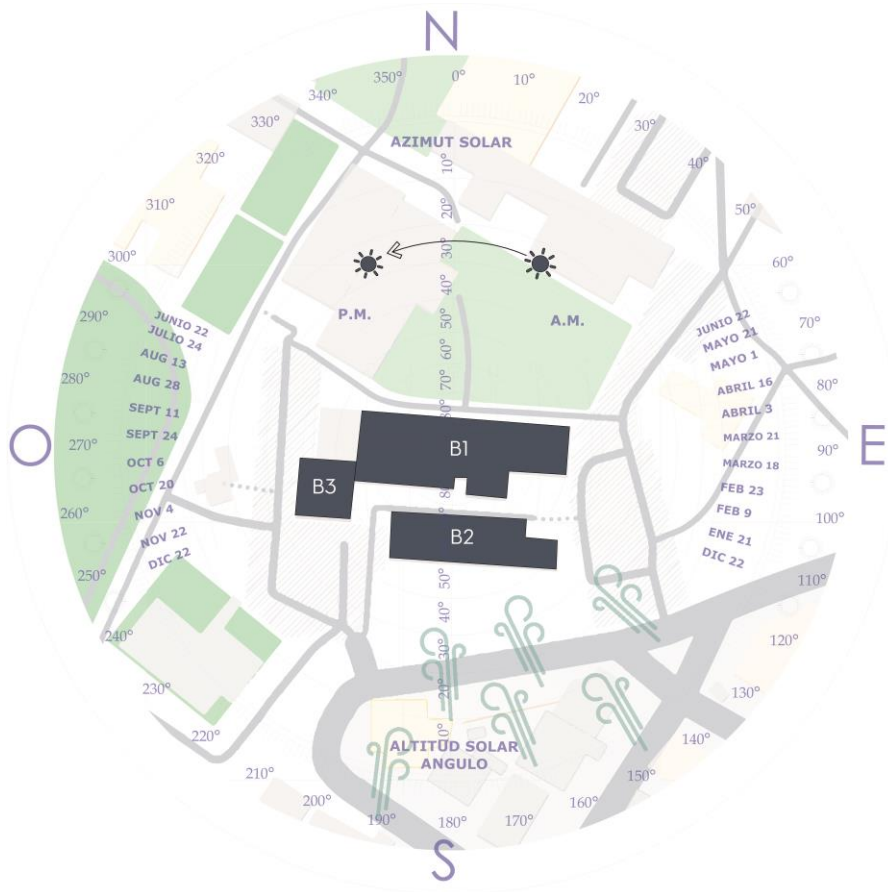
a. Emplazamiento y orientación

La facultad se encuentra emplazada de tal manera que las caras laterales más largas de los bloques dan hacia el norte y sur, mientras que las caras más cortas hacia el este y oeste. Los ventanales de las aulas están situados en las caras más largas de los bloques, a favor de la dirección predominante de los vientos, lo que permite que el viento incida fácilmente hacia el interior, así también, las aulas reciben los rayos de luz de manera indirecta (Fig. 8), lo cual es apropiado desde el aspecto lumínico. El emplazamiento de la facultad es el resultado de una estrategia bioclimática al momento de diseñar el proyecto.

b. Estudio solar y sombras

Este estudio identifica las áreas de incidencia de radiación solar y de sombreado presentes entre los bloques de la facultad, como se mencionó anteriormente la orientación, junto con la presencia de balcones y el juego entre llenos y vacíos, contribuye a que las aulas no reciban radiación solar directa.

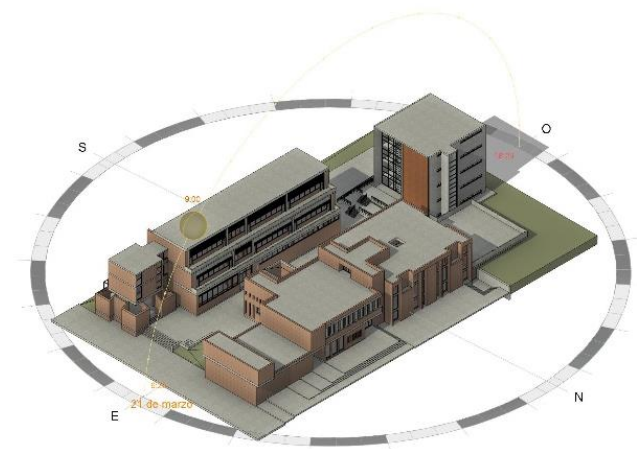
Figura 8
Emplazamiento y orientación solar de la FAUC



Elaboración: Propia.

Las figuras 9-12 muestran las sombras generadas durante en el equinoccio del 21 de marzo y el solsticio del 21 de junio. Se puede observar que a las 9:00 a.m., la zona externa oeste se beneficia de sombra, mientras que a las 15:00 p.m., la zona de circulación entre el bloque B1 y B2 recibe sombra.

Figura 9
Posición solar y sombras equinoccio 21 de marzo 9:00 a.m.



Fuente: Revit, 2022.
Elaboración: Propia.

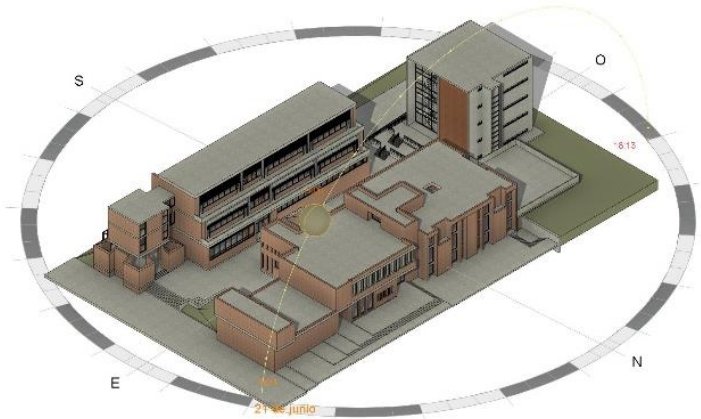
Figura 10
Posición solar y sombras equinoccio 21 de marzo 15:00 p.m.



Fuente: Revit, 2022.
Elaboración: Propia.

Figura 11

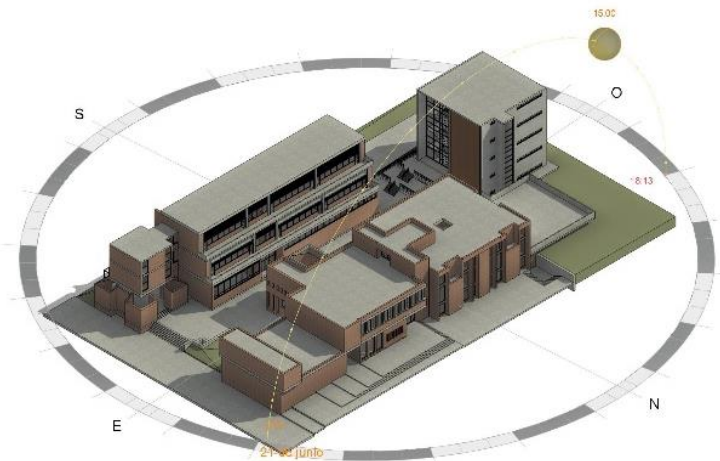
Posición solar y sombras solsticio 21 de junio 9:00 a.m.



Fuente: Revit, 2022.
Elaboración: Propia.

Figura 12

Posición solar y sombras solsticio 21 de junio 15:00 p.m.



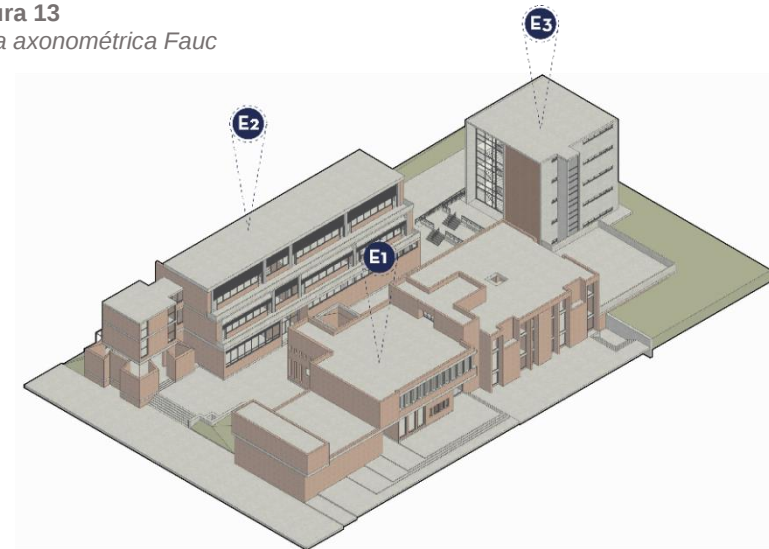
Fuente: Revit, 2022.
Elaboración: Propia.

c) Entorno construido

La facultad de Arquitectura y Urbanismo se constituye de tres bloques denominados E1, E2 y E3 (Fig. 13).

Figura 13

Vista axonométrica Fauc



Elaboración: Propia.

El bloque E1 consta de tres niveles, los cuales albergan diversas áreas como la zona administrativa, el auditorio, oficinas y aulas. La altura máxima de este bloque es de 11.25m y su envoltura se caracteriza principalmente por el uso de ladrillo, mientras que su estructura está compuesta principalmente de hormigón armado (Fig. 14).

Figura 14

Elevación Bloque E1



Elaboración: Propia.

El bloque E2 se compone de 4 niveles, entre los cuales se distribuyen espacios como sala de exposiciones, oficinas y aulas. La altura de este bloque es de 14.05m, al igual que el bloque E1 la materialidad predominante en su envoltente es el ladrillo y su estructura se compone principalmente de hormigón armado (Fig. 15).

Figura 15
Elevación Bloque E2



Elaboración: Propia.

El bloque E3 es el edificio más alto de la facultad alcanzando una altura de 16.38m, cuenta con cinco niveles que alberga diversas áreas funcionales entre las que se encuentran laboratorios computacionales, oficinas y aulas. Su fachada se compone de paneles de hormigón y placas metálicas sujetas a la mampostería mediante perfiles metálicos, por otro lado, la estructura del bloque está construida en hormigón armado (Fig. 16).

Figura 16
Elevación Bloque E3



Elaboración: Propia.

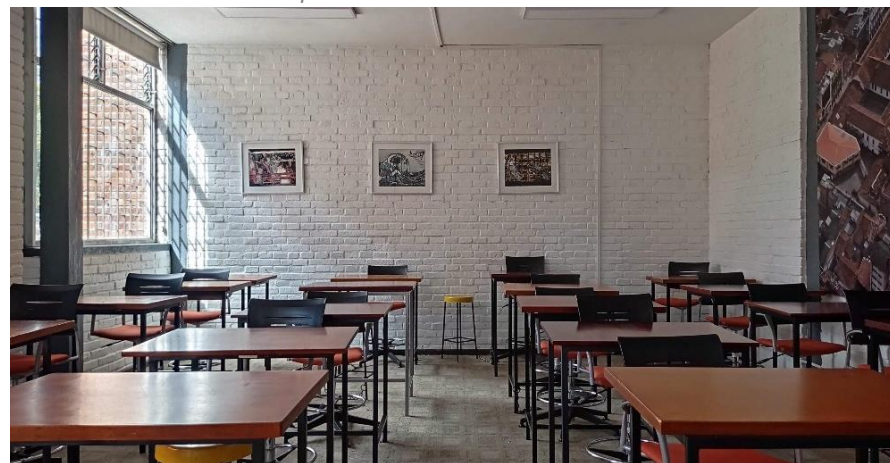
3.4.2 Aulas y fecha de estudio

Es más probable experimentar desconfort en temperaturas bajas, las cuales no son adecuadas para espacios educativos (Del Campo & Mendivil, 2006). Por esta razón, y debido a la extensión del estudio, se llevó a cabo una selección estratégica de tres aulas representativas, una perteneciente a cada edificio, que presentan las temperaturas promedio más bajas en base a las condiciones internas tomadas en sitio.

En el bloque E1, se ha seleccionado el aula E1 -102 (Fig. 17) ubicada en el subsuelo, registra una temperatura promedio de 17.98°C, del bloque E2, el aula E2 203 (Fig.18) perteneciente al último nivel con una temperatura promedio de 16.24°C y del bloque E3, el aula E3 201 (Fig. 19) ubicada en el cuarto nivel con una temperatura promedio de 16.45°C. Todos estos datos obtenidos durante el periodo académico marzo – agosto 2022.

La simulación térmica se llevará a cabo en la fecha correspondiente al día más frío de la ciudad de Cuenca en el año 2022, 6 de julio (Marsh, 2023). En esta fecha se simularán todas las aulas de estudio.

Figura 17
Aula E1 -102 seleccionada para análisis térmico



Elaboración: Propia.

Figura 18

Aula E2 203 seleccionada para análisis térmico



Elaboración: Ortega-Vintimilla. Universidad de Cuenca, 2022.

Figura 19

Aula E3 201 seleccionada para análisis térmico



Elaboración: Propia.

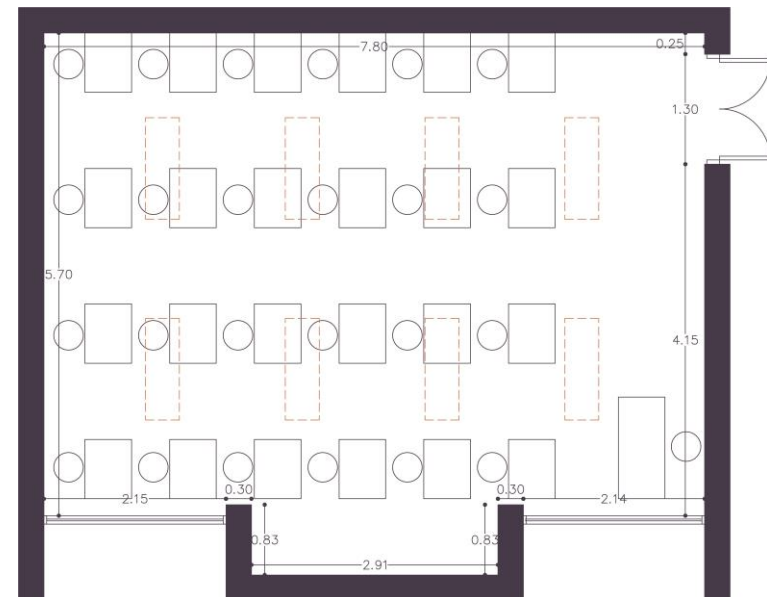
3.4.3 Descripción de aulas de estudio

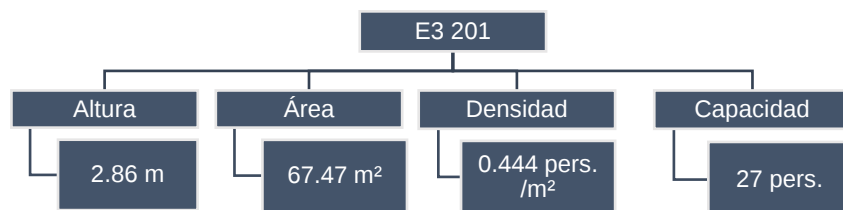
Para el análisis de las aulas seleccionadas es necesario tener conocimiento de las principales características que definen estos espacios destinados al aprendizaje dentro de la facultad con la finalidad de proporcionar una visión clara y completa de las mismas. A continuación, se presentan los planos que detallan las medidas internas, así como la disposición y tipo de mobiliario presente en cada una de las aulas, estos planos proporcionan una comprensión precisa de su distribución espacial.

El aula E1 -102 presenta una altura de piso a techo de 3.15 m, cuenta con un área de 46.56 m² y un volumen de 146.66 m³. Esta aula tiene una capacidad máxima permitida de 24 personas, cuenta con ocho luminarias LED de 40W de potencia y una densidad de ocupación de 0.493 pers. /m² (Fig. 20).

Figura 20

Planta y características aula E1 -102





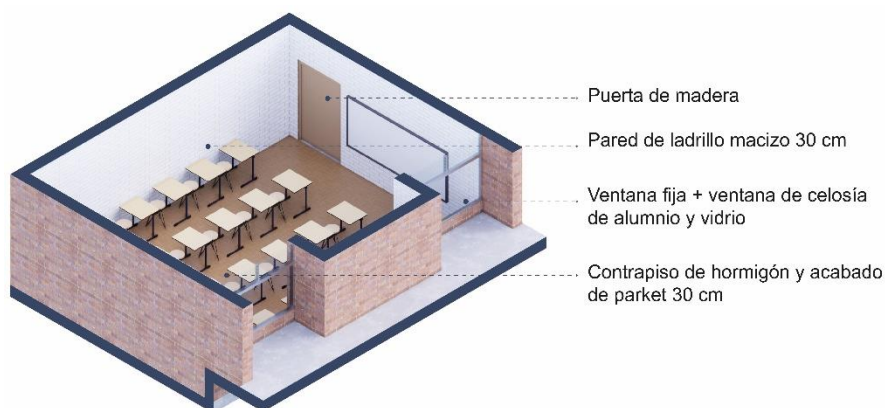
Elaboración: Propia.

3.4.4 Materialidad de las aulas

En esta sección se presentan las principales características de los materiales utilizados en pisos y paredes de las aulas seleccionadas.

El aula E1 -102 presenta paredes de ladrillo de 30cm de espesor, contrapiso de hormigón y acabado de parket (Fig. 23).

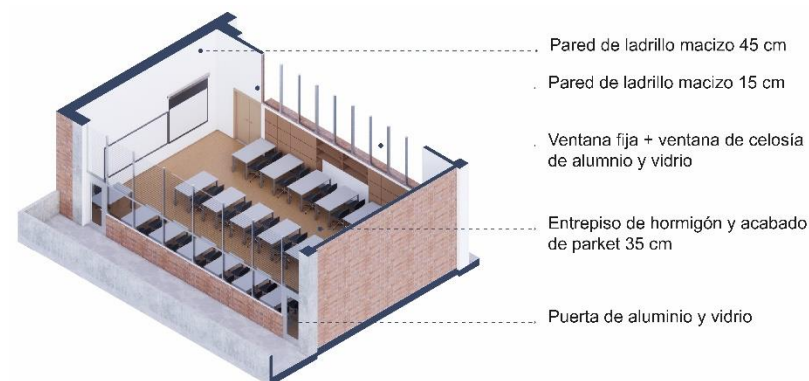
Figura 23
Materialidad aula E1 -102



Elaboración: Propia.

Paredes de ladrillo macizo de 15 y 45 cm, entrepiso de hormigón y acabado de parket es la materialidad principal del aula E2 203 (Fig.24).

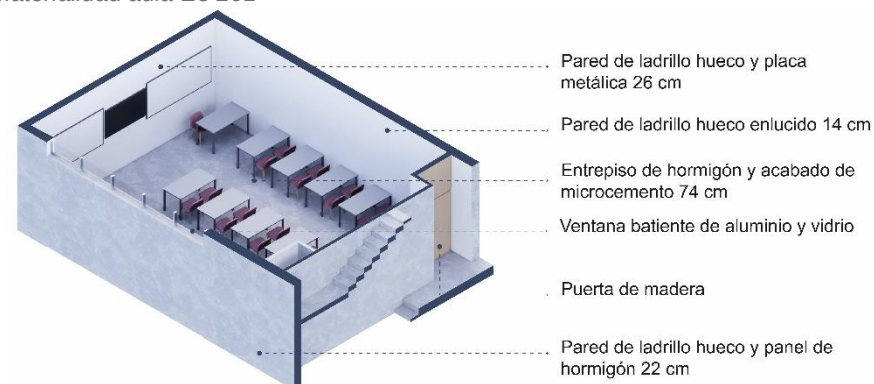
Figura 24
Materialidad aula E2 203



Elaboración: Propia.

El aula E3 201 se caracteriza por sus paredes externas de ladrillo hueco soportantes de paneles de hormigón y placas metálicas, mientras que su entrepiso de hormigón presenta un acabado de microcemento (Fig. 25).

Figura 25
Materialidad aula E3 201



Elaboración: Propia.

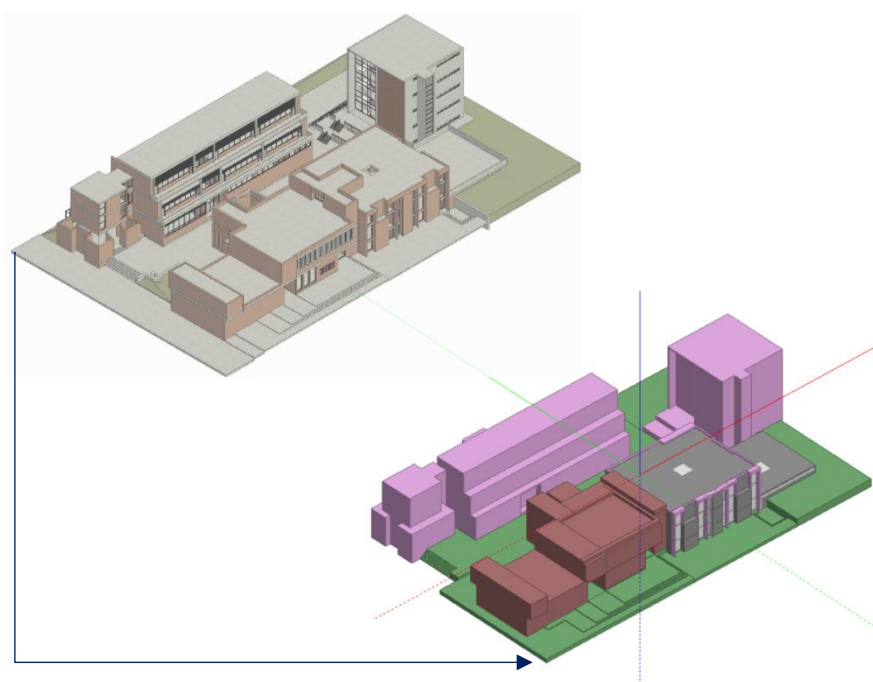
Las propiedades físicas y térmicas de los sistemas constructivos de cada aula serán detallados más adelante.

3.5 Modelado de la facultad en DesignBuilder

El proceso de redibujo de la facultad en el software Revit permitió comprender la información recopilada en cuanto a áreas y volúmenes de los tres edificios constituyentes. Posterior a ello, se utilizó el modelo 3D de Revit como base la construcción virtual de la facultad en el programa DesignBuilder (Fig. 26), generando tres archivos sbd, en cada archivo se detalla un edificio de la facultad con sus respectivas propiedades, mientras que los dos edificios faltantes se modelan como componente generando archivos de fácil manipulación (Ver Anexo A).

Figura 26

Modelado de la Facu en DesignBuilder



Elaboración: Propia.

3.5.1 Fichero climático y jerarquía del modelo

Mediante la estación climatológica ubicada en la cubierta del bloque E3 se obtuvo los datos climáticos reales de la zona de estudio, lo que permitió generar un archivo con información climática denominado fichero climático apto para el simulador ambiental DesignBuilder, este archivo fue otorgado por parte del grupo de investigación Virtual Tec. El fichero dota al simulador de todos los datos climatológicos necesarios para realizar las simulaciones requeridas.

Hay que tener en cuenta que al momento de modelar el 3D es necesario seguir la estructura jerárquica de niveles planteado por el software DesignBuilder, es por ello que el modelado se lo creó teniendo en cuenta el esquema representado en la figura 27. Cada nivel representa una parte específica del modelo lo que permite el correcto funcionamiento y la correcta interpretación de los datos.

Figura 27

Uso de estructura jerárquica de niveles



Elaboración: Propia.

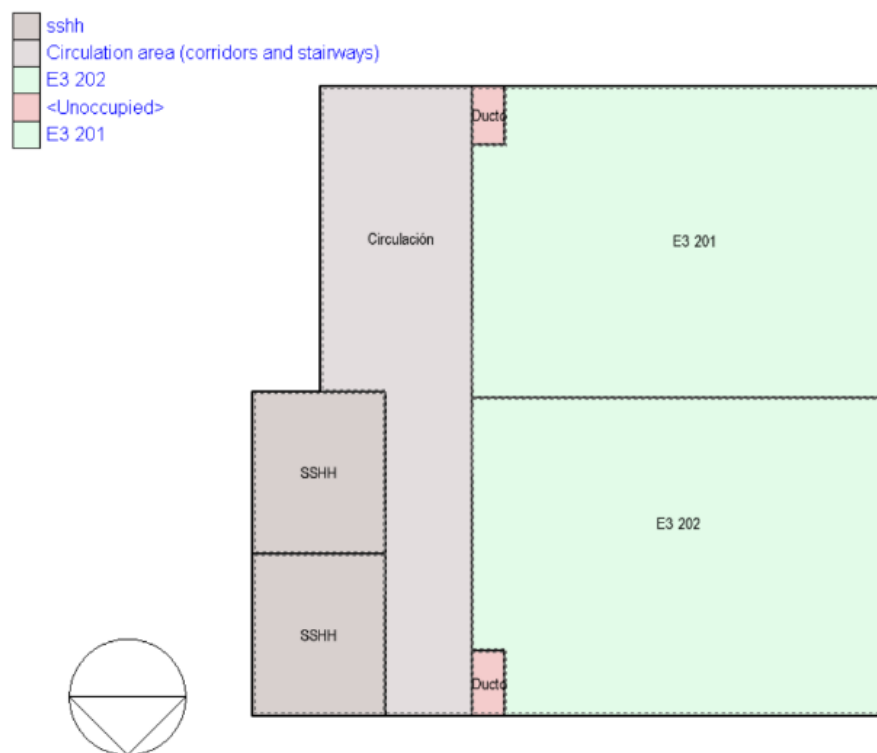
Esta estructura jerárquica implementada permite cargar información específica de actividades, ocupaciones, materialidades, infiltraciones, iluminación y aberturas según cada zona en particular.

Es esencial modelar de manera precisa todos los espacios, incluyendo sus divisiones internas correspondientes (Fig. 28), y establecer los parámetros necesarios en todas las áreas internas para garantizar la precisión de los resultados de las simulaciones.

Esto asegura que los datos utilizados sean representativos de la realidad y contribuye a la exactitud de los análisis realizados.

Figura 28

Planta nivel 4 bloque E3 modelado en DesignBuilder



Elaboración: Propia.

3.5.2 Parámetros de actividades

Conocer la actividad que se desarrolla dentro de cada espacio permite evaluar que tan confortable es el ambiente, comprender cómo se utilizan los espacios y las tareas que se realizan en ellos es fundamental para determinar la carga térmica asociada.

a) Actividades generales

Las aulas de estudio son espacios destinados a actividades teóricas, donde la principal actividad consiste en la participación de los estudiantes sentados, escribiendo y dialogando.

La densidad de ocupación se obtiene de la división de la cantidad de personas admisibles entre los metros cuadrados del espacio, mientras que la ganancia calórica resulta de la división de los metros cuadrados entre el número de personas que son permitidas en dicho espacio.

El factor metabólico promedio es 0.90 teniendo en cuenta que a las aulas asisten tanto hombres como mujeres. El DHW se activa cuando dentro del espacio se emplean sistemas de ACS, dado que no es el caso este valor se mantiene en cero.

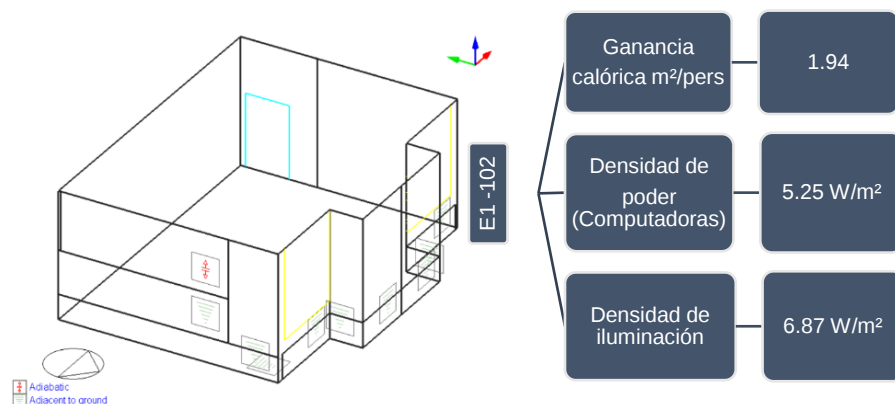
El uso de computadoras atribuye ganancias de calor mayores, una computadora emite entre 200 a 300 W en promedio (Potenciacer, 2021), la relación de este valor entre los metros cuadrados del lugar determina la densidad de poder. Para determinar la cantidad de computadoras útiles en cada aula se realizó un promedio de acuerdo al tipo de materias impartidas y a la cantidad de alumnos en cada clase.

El tipo y la cantidad de luminarias son otros factores que generan incremento de ganancias de calor, en la facultad se utiliza luminarias led de 40x120 cm con una potencia de 40W, la relación de este valor entre los metros cuadrados del lugar determina la densidad de iluminación.

Los datos de ganancias calóricas, densidad de poder de computadoras y densidad de iluminación específicas de cada aula se muestran en las figuras 29, 30 y 31.

Figura 29

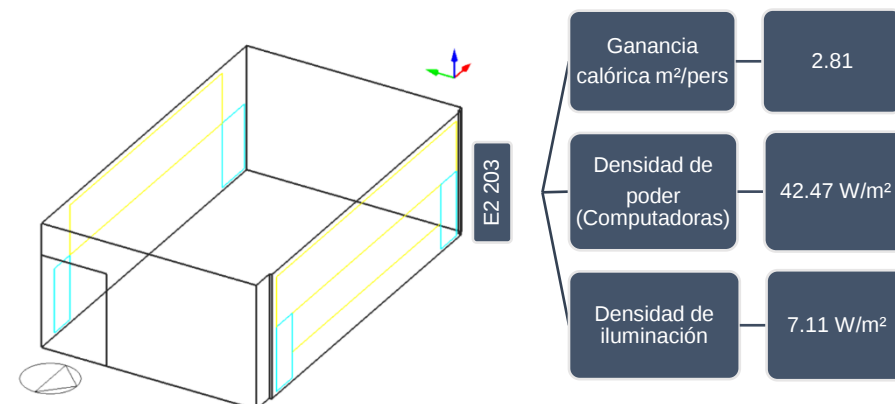
Aula E1 -102 modelada en DesignBuilder y parámetros de actividades



Elaboración: Propia.

Figura 30

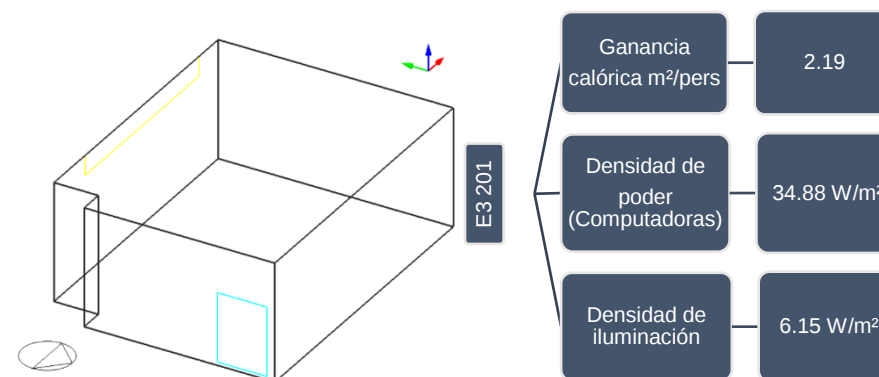
Aula E2 203 modelada en DesignBuilder y parámetros de actividades



Elaboración: Propia.

Figura 31

Aula E3 201 modelada en DesignBuilder y parámetros de actividades



Elaboración: Propia.

b) Vestimenta

Los valores de vestimenta (clo) que se tomaron son de 0.85 para días fríos y de 0.80 para días cálidos (ISO 7730, 2005). Estos valores dependen de las prendas que se usen, la tabla 5 muestra las prendas que usan generalmente los estudiantes y profesores con sus respectivos valores.

Tabla 5

Vestimenta (Valores de Clo)

Vestimenta	Valor Clo días fríos	Valor Clo días cálidos
Ropa interior	0.06	0.06
Pantalón	0.26	0.26
Camiseta	0.18	0.14
Suéter	0.30	0.29
Calcetines	0.05	0.05
TOTAL	0.85	0.80

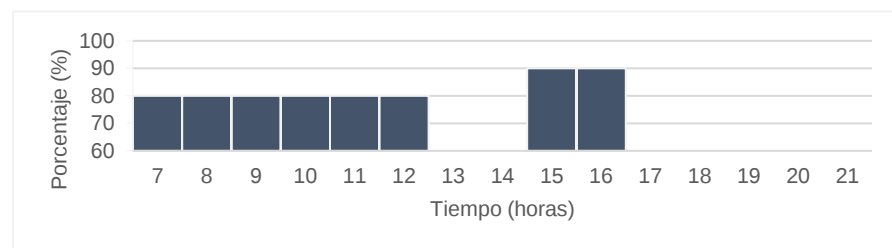
Fuente: Adaptado de International Organization for Standardization (ISO7730, 2005)

c) Ocupación

Los datos de ocupación para cada aula fueron tomados de los horarios de clases respectivos. En las siguientes figuras, el eje “x” representa el horario en el que la facultad se encuentra abierta, mientras que el eje “y” muestra el porcentaje de ocupación según el tipo de asignatura y la capacidad máxima permitida en cada aula para el día 6 de julio del 2022, fecha en la cual se realiza la simulación térmica. El aula E1 -102 tiene una ocupación del 80% en el horario de 7:00 a 13:00 horas y del 90% entre las 15:00 y 17:00 horas (Fig. 32). De igual manera, el aula E2 203, tiene una ocupación del 75% entre las 7:00 y 11:00 horas (Fig. 33). Por otro lado, el aula E3 201 cuenta con un porcentaje del 90% de ocupación entre las 7:00 y 9:00 horas, del 75% entre las 9:00 y 13:00 horas, y por la tarde un 90% de 15:00 a 17:00 horas (Fig. 34). Se ingresó la ocupación de todos los espacios para el periodo de marzo a agosto.

Figura 32

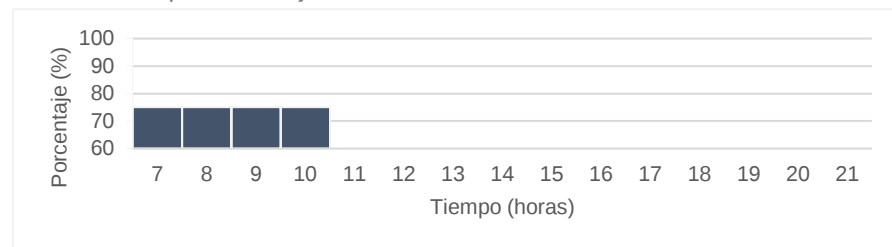
Horario de ocupación 6 de julio del 2022, E1 -102



Elaboración: Propia.

Figura 33

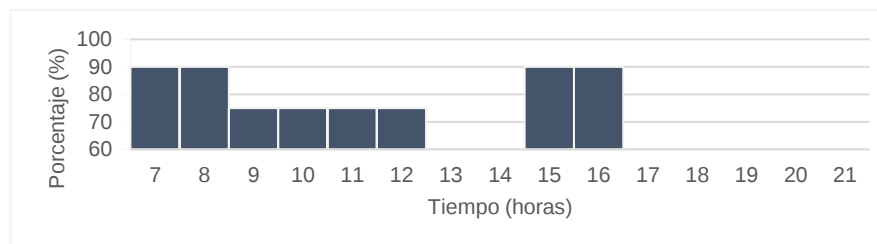
Horario de ocupación 6 de julio del 2022, E2 203



Elaboración: Propia.

Figura 34

Horario de ocupación 6 de julio del 2022, E3 201



Elaboración: Propia.

3.5.3 Parámetros de materialidad

Las propiedades físicas y térmicas de los materiales y paquetes constructivos tienen un gran impacto en el comportamiento térmico de un edificio.

Por tal motivo, se presentan los datos de las propiedades físicas como la conductividad térmica y calor específico, así también, se incluyen las propiedades térmicas como la densidad y transmitancia térmica del conjunto de materiales que conforman las paredes y pisos de cada aula, estos valores nos permiten conocer cómo la envolvente de los edificios afecta a la temperatura interna y pérdidas energéticas. Lo ideal sería obtener los datos reales de las propiedades de los materiales de la facultad, sin embargo, esto requiere un estudio extensivo más allá de este trabajo, por lo cual el valor de las propiedades se ha tomado de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (MIDUVI, 2018).

Los paquetes constructivos que se describen del aula E1 -102 es el siguiente:

- Contrapiso de hormigón y acabado de parket. Tabla 6.
- Entrepiso de hormigón y acabado de parket. Tabla 7.
- Paredes de ladrillo macizo de 30 cm. Tabla 8.
- Vidrio de ventanas. Tabla 15.

Tabla 6

Propiedades físicas y térmicas contrapiso E1 -102

Contrapiso de hormigón y acabado de parket

Material	Piedra natural	Hormigón armado	Parket
Espesor (m)	0.215	0.07	0.018
Conductividad térmica K (W / m k)	1.83	1.63	0.17
Calor Específico (J / Kg K)	712	1050	1300
Densidad ρ (kg/ m 3)	2200	2400	900
Transmitancia Térmica W/m ² K (U)	2.136		

Fuente: Adaptado de Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador. MIDUVI, 2018.

Tabla 7

Propiedades físicas y térmicas entrepiso E1 -102, E2 203

Entrepiso de hormigón y acabado de parket

Material	H. armado	H. simple	Parket
Espesor (m)	0.30	0.032	0.018
Conductividad térmica K (W / m k)	1.63	1.15	0.17
Calor Específico (J / Kg K)	1050	1000	1300
Densidad ρ (kg/ m 3)	2400	1800	900
Transmitancia Térmica W/m ² K (U)	1.895		

Fuente: Adaptado de Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador. MIDUVI, 2018.

Tabla 8

Propiedades físicas y térmicas paredes E1 -102

Ladrillo macizo

Material	Ladrillo
Espesor (m)	0.30
Conductividad térmica K (W / m k)	0.84
Calor Específico (J / Kg K)	800
Densidad ρ (kg/ m 3)	830
Transmitancia Térmica W/m ² K (U)	1.897

Fuente: Adaptado de Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador. MIDUVI, 2018.

La transmitancia térmica, también conocida como valor “u” representa un mayor aislamiento térmico cuando este valor es bajo, mientras que un valor más alto indica un menor aislamiento térmico.

Los elementos constructivos que ofrecen un mejor aislamiento dentro de la aula E1 -102 es el entrepiso de hormigón con acabado de parket y las paredes de ladrillo macizo, con valores de 1.895 W/m² K y 1.897 W/m² K respectivamente. Por otro lado, el contrapiso de hormigón proporciona un menor aislamiento al estar en contacto directo con el suelo.

Del aula E2 203 se describen las propiedades físicas y térmicas de lo siguiente:

- Entrepiso de hormigón y acabado de parket. Tabla 7.
- Paredes de ladrillo macizo enlucido de 45 cm. Tabla 9.
- Paredes de ladrillo macizo de 15 cm. Tabla 10.
- Vidrio de ventanas. Tabla 15.

Tabla 9

Propiedades físicas y térmicas pared 45 cm E2 203

Ladrillo macizo enlucido		
Material	Ladrillo	Mortero
Espesor (m)	0.43	0.02
Conductividad térmica K (W / m k)	0.84	0.5
Calor Específico (J / Kg K)	800	1000
Densidad ρ (kg/ m 3)	830	1300
Transmitancia Térmica W/m ² K (U)	1.385	

Fuente: Adaptado de Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador. MIDUVI, 2018.

Tabla 10

Propiedades físicas y térmicas pared 15 cm E2 203

Ladrillo macizo	
Material	Ladrillo
Espesor (m)	0.15
Conductividad térmica K (W / m k)	0.84
Calor Específico (J / Kg K)	800
Densidad ρ (kg/ m 3)	830
Transmitancia Térmica W/m ² K (U)	2.869

Fuente: Adaptado de Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador. MIDUVI, 2018.

El paquete constructivo que proporciona un mejor aislamiento dentro del aula E2 203 es el ladrillo macizo enlucido de 45 cm con un valor de 1.385 W/m² K. Por el contrario, el material que proporciona un peor aislamiento térmico son las paredes con ladrillo macizo de 15 cm debido a su delgado espesor en relación al espesor del elemento anterior.

Los elementos constructivos del aula E3 201 que se describen son los siguientes:

- Entrepiso de hormigón y acabado de microcemento. Tabla 11.
- Paredes de ladrillo hueco con placa metálica. Tabla 12.
- Paredes de ladrillo hueco enlucida. Tabla 13.
- Paredes de ladrillo hueco con panel de hormigón. Tabla 14.
- Vidrio de ventanas. Tabla 15.

Tabla 11

Propiedades físicas y térmicas entrepiso E3 201

Entrepiso de hormigón y acabado de microcemento					
Material	Microcemento	H. armado	Bloque	C. de aire	T. yeso
Espesor (m)	0.015	0.05	0.20	0.465	0.01
Conductividad térmica K (W / m k)	0.46	1.63	0.163	0.15	0.25
Calor Específico (J / Kg K)	1050	1050	1000	1008	1000
Densidad ρ (kg/ m 3)	1700	2400	2000	1.2	900
Transmitancia Térmica W/m ² K (U)	0.214				

Fuente: Adaptado de Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador. MIDUVI, 2018.

Tabla 12*Propiedades físicas y térmicas pared tipo 1 E3 201*

Pared de ladrillo hueco con placa metálica

Material	Acero corten	C. de aire	Ladrillo	Mortero
Espesor (m)	0.0025	0.12	0.12	0.02
Conductividad térmica K (W / m k)	50.2	0.15	0.49	0.50
Calor Específico (J / Kg K)	480	1008	800	1000
Densidad ρ (kg/ m 3)	7830	1.2	1200	1300
Transmitancia Térmica W/m ² K (U)	0.797			

Fuente: Adaptado de Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador. MIDUVI, 2018.

Tabla 13*Propiedades físicas y térmicas pared tipo 2 E3 201*

Pared de ladrillo hueco enlucida

Material	Mortero	Ladrillo	Mortero
Espesor (m)	0.015	0.11	0.015
Conductividad térmica K (W / m k)	0.50	0.49	0.50
Calor Específico (J / Kg K)	1000	800	1000
Densidad ρ (kg/ m 3)	1300	1200	1300
Transmitancia Térmica W/m ² K (U)	2.20		

Fuente: Adaptado de Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador. MIDUVI, 2018.

Tabla 14*Propiedades físicas y térmicas pared tipo 3 E3 201*

Pared de ladrillo hueco con panel de hormigón

Material	P. hormigón	C. de aire	Ladrillo	Mortero
Espesor (m)	0.06	0.03	0.115	0.015
Conductividad térmica K (W / m k)	1.15	0.15	0.49	0.50
Calor Específico (J / Kg K)	1000	1008	800	1000
Densidad ρ (kg/ m 3)	1800	1.2	1200	1300
Transmitancia Térmica W/m ² K (U)	1.45			

Fuente: Adaptado de Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador. MIDUVI, 2018.

Tabla 15*Propiedades físicas y térmicas vidrio de ventanas*

Vidrio de ventanas

Material	Vidrio
Espesor (m)	0.004
Conductividad térmica K (W / m k)	1.00
Transmitancia Térmica W/m ² K (U)	5.871

Fuente: Adaptado de Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador. MIDUVI, 2018.

A diferencia de las aulas de los bloques E1 y E2, el aula E3 201 cuenta con un mejor aislamiento en todas sus paredes y pisos, destaca el entrepiso de hormigón y acabado de microcemento con un valor de 0.214 W/m² K gracias a la presencia de una cámara de aire entre el cielo raso y la estructura.

3.5.4 Hermeticidad al aire

a) Infiltraciones de aire

En base al Manual de hermeticidad al aire en edificaciones desarrollado por la Universidad del Bío-Bío en 2014, se ha determinado el valor de infiltración en las aulas según la materialidad predominante de la edificación y a las singularidades de los elementos constructivos. De acuerdo a la tabla 16 se obtuvo un valor de 15 ac/h para las aulas E1 -102 y E2 203 considerando que sus materialidades y elementos constructivos son similares, mientras que para el aula E3 201 se obtuvo un valor de 12 ac/h.

Tabla 16

Determinación de infiltración de aire en E1 -102 y E2 203

E1 -102 y E2 203	Nivel de infiltración de aire (m³/h m²)
Materialidad predominante	
Albañilería de ladrillo	11.8
Elementos constructivos y singularidades	
Topes estancos de goma en ventana aluminio	10.36
Ventana fija de aluminio	8
Puerta de madera sólida	29
Nivel de infiltración promedio	14.79
	15

Tabla 17

Determinación de infiltración de aire en E3 201

E3 201	Nivel de infiltración de aire (m³/h m²)
Materialidad predominante	
Hormigón	9
Elementos constructivos y singularidades	
Topes estancos de goma en ventana aluminio	10.36
Ventana proyectante móvil de aluminio	1
Puerta de madera sólida	29
Nivel de infiltración promedio	12.34
	12

Fuente: Adaptado de Manual de hermeticidad del aire de edificaciones. Universidad del Bío-Bío, 2014.

b) Tipología de ventanas

Las ventanas del aula E1 -102 se caracterizan por ser fijas en la parte baja con una altura de 1.20 m y en la parte superior ventanas tipo celosías con una altura de 0.75 m, se puede observar que este tipo de ventanas presenta un problema evidente de hermeticidad (Fig. 35), estas dos ventanas forman un área de 10.35 m². De igual manera, el aula E2 203 está conformada por la misma tipología de ventanas en dos de sus muros, con la variación de que las ventanas tipo celosías presentan una altura de 1.20 m generando un área de 37.25 m².

El aula E3 201 cuenta con una tipología diferente de ventanas, todo el bloque está diseñado con modulaciones de cinco ventanas batientes por nivel de 0.60 x 1.20 m, originando un área de 3.60 m² (Fig. 36).

Figura 36

Ventana tipo aula E1 -102



Figura 35

Ventana tipo aula E3 201



Elaboración: Propia.

c) Infiltraciones de aire en puertas y ventanas existentes

Tal y como se mencionó en el capítulo 2, las infiltraciones de aire son mayores cuando la cantidad de grietas y aberturas son mayores. La hermeticidad de la facultad es bastante deficiente debido a que los encuentros entre la envolvente con puertas y ventanas se encuentran deteriorados y sin mantenimiento (Fig. 37, 38 y 39), así también, los vidrios

se topan unos con otros sin ningún tipo de sello. En el caso de los encuentros entre puertas y pisos, existe un espaciamiento de hasta 3 cm, mientras que, en el caso de las ventanas y paredes, estas no cuentan con ningún tipo de sellante que controle las infiltraciones de aire, a diferencia del bloque E3 que cuenta con silicona en las juntas, sin embargo, esta silicona se ha visto deteriorada con el pasar de los años.

Figura 37

Encuentros de envoltente con ventanas y puertas, E1 -102



Elaboración: Propia.

Figura 38

Encuentro de envoltente con puertas, E2 203



Elaboración: Propia.

Figura 39

Encuentros de envoltente con ventanas y puertas, E3 201



Elaboración: Propia.

Dentro del software DesignBuilder es importante seleccionar el tipo de infiltración y calificarla de manera cuantitativa según se muestra en la figura 40. En base a las imágenes presentadas anteriormente, se concluye que la infiltración dentro de las aulas E1 -102 y E2 203 es considerada muy mala, mientras que en el caso del aula E3 201 es considerada mala.

Figura 40

Descripción cualitativa según el tipo de infiltración



Fuente: Adaptado de DesignBuilder, 2019.



CAPÍTULO 4

4. Resultados

4.1 Resultados de simulación térmica

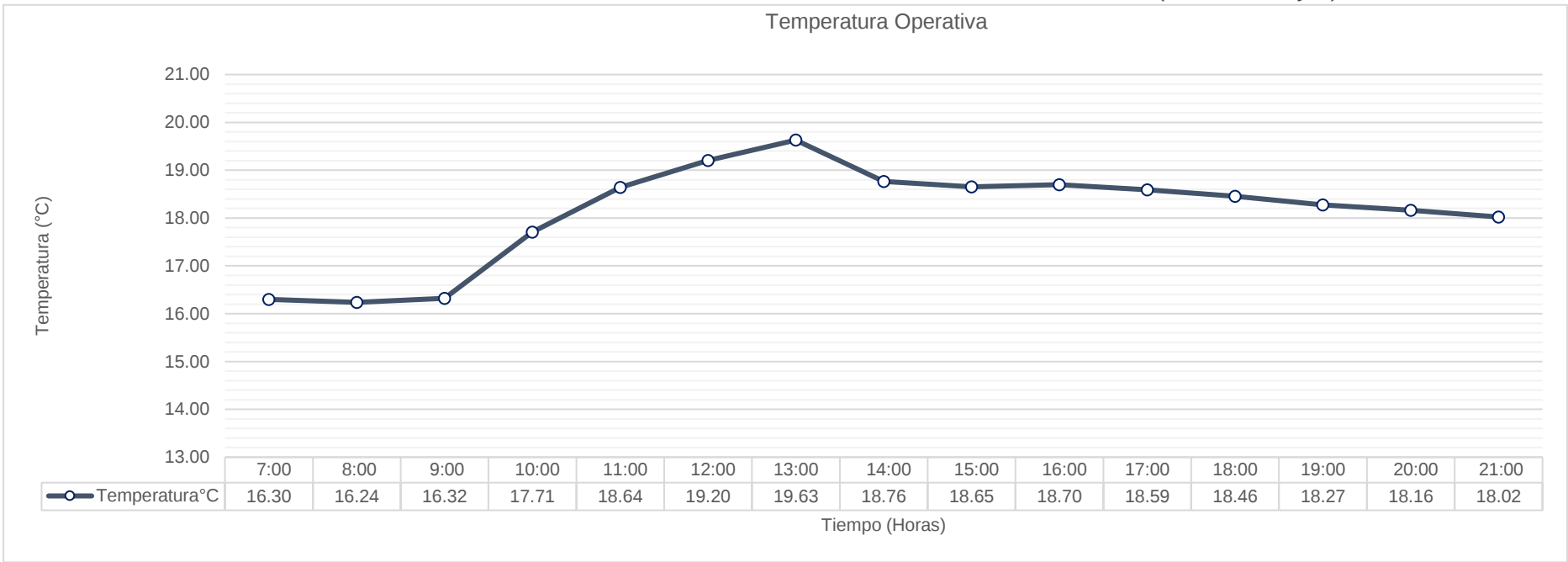
La simulación térmica nos proporcionó información acerca de la temperatura operativa en grados centígrados (°C) y porcentaje de humedad relativa (%) de las aulas en intervalos mensuales, diario, horario y sub-horario.

A continuación, se exponen los resultados obtenidos a partir de la interpretación de los datos contenidos en los siguientes gráficos de líneas, con la finalidad de observar la oscilación de temperatura horaria en el transcurso del día 6 de julio del 2022.

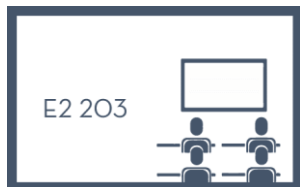


Como resultado de la simulación térmica en el software DesignBuilder, con enfoque en la temperatura operativa del aula E1 -102, se registró una temperatura promedio de 17.73 °C. Durante el transcurso del día, se registraron dos puntos de interés destacables, a las 13:00 horas, se alcanzó una temperatura máxima de 19.63°C, mientras que a las 8:00 horas se registró una temperatura mínima de 16.24°C (Fig. 41). Por otro lado, se obtuvo un resultado de 59.24% de humedad relativa. (Ver Anexo B y C).

Figura 41
Resultado de simulación térmica para el día 6 de julio del 2022, aula E1 -102



Fuente: Adaptado del módulo simulación térmica. DesignBuilder, 2019.

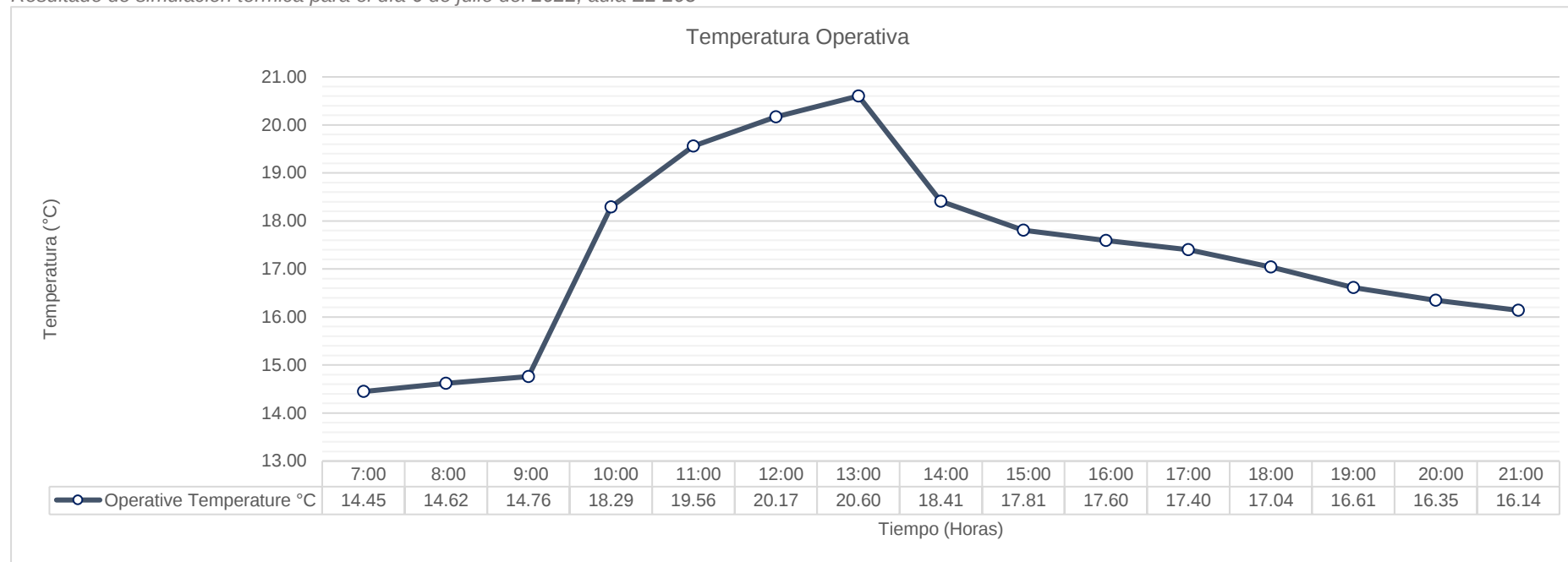


Referente al análisis en el aula E2 203, se determinó una temperatura promedio de 16.52°C. A las 13:00 horas alcanzó una temperatura máxima de 20.60°C, mientras que a las 7:00 horas se registró una temperatura mínima de 14.45° (Fig. 42).

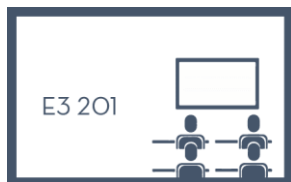
Además, se obtuvo un nivel de humedad relativa de 64.03%, el rango recomendado según la Norma Ecuatoriana de la Construcción se sitúa entre el 40% y 65%, por lo que este valor se encuentra dentro de lo establecido. (Ver Anexo B y C).

Figura 42

Resultado de simulación térmica para el día 6 de julio del 2022, aula E2 203



Fuente: Adaptado del módulo simulación térmica. DesignBuilder, 2019.

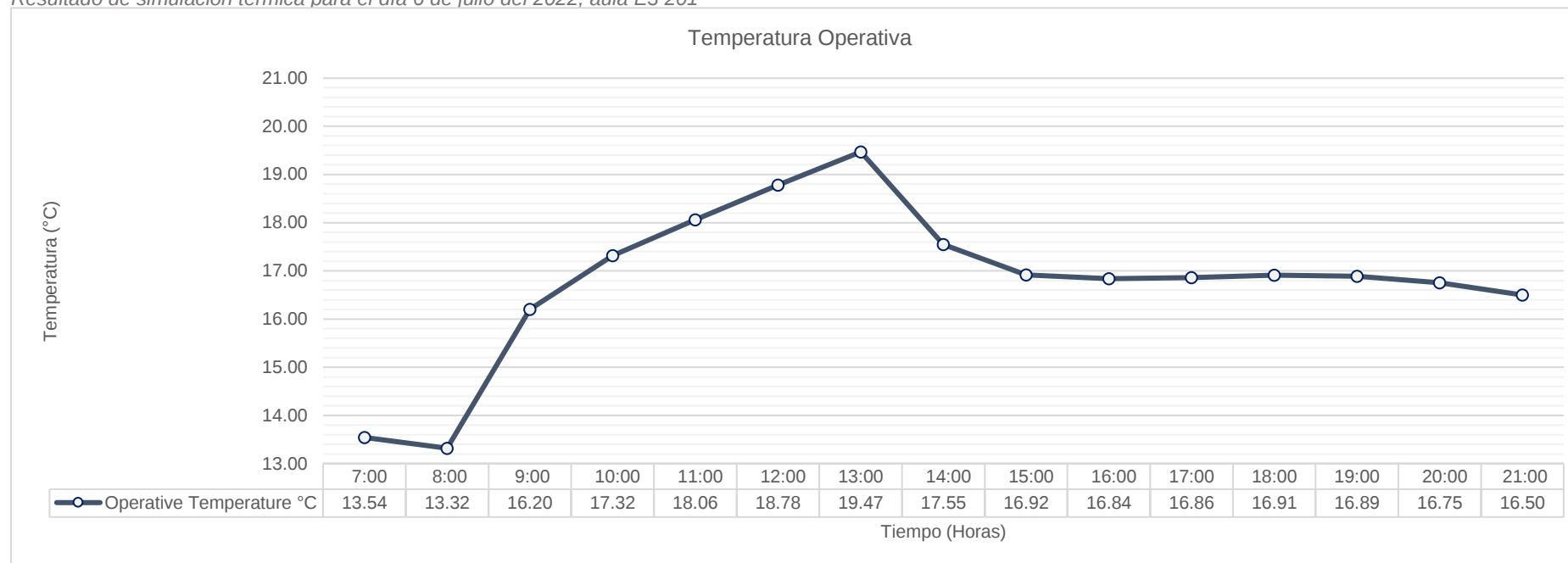


La simulación térmica en el aula E3 201 arrojó los siguientes resultados: temperatura promedio de 16.11°C, temperatura máxima de 19.46°C registrada a las 13:00 horas y temperatura mínima de 13.31°C a las 8:00 horas (Fig. 43).

El nivel de humedad relativa es de 65.07%, este valor se encuentra ligeramente por fuera del rango recomendado por la Norma Ecuatoriana de construcción. (Ver Anexo B y C).

Figura 43

Resultado de simulación térmica para el día 6 de julio del 2022, aula E3 201



Fuente: Adaptado del módulo simulación térmica. DesignBuilder, 2019.

4.2 Comparación de resultados con mediciones en sitio

Se realiza una comparación entre los datos de temperatura interna medidos en sitio y los obtenidos en la simulación con el objetivo de evaluar la precisión del software DesignBuilder. Para que los datos obtenidos del simulador sean aceptados el error respecto a las mediciones en sitio, el margen de error debe estar entre el 3% y el 10%.

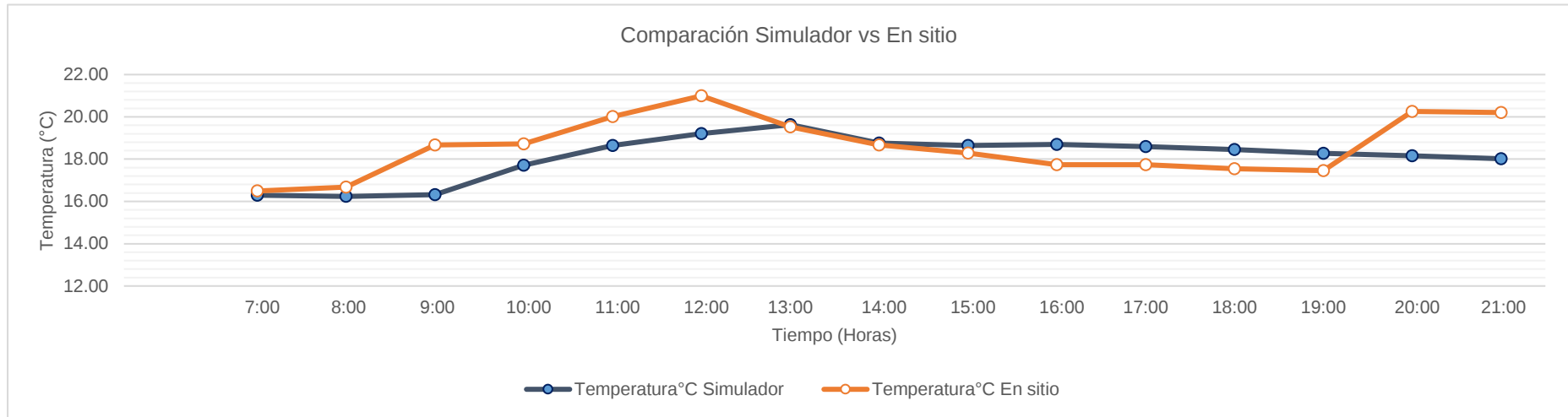
El aula E1 -102 de acuerdo a las mediciones en sitio presenta una temperatura promedio de 17.004 °C, obteniendo un error del 4.27%.

Para el aula E2 203 se registró una temperatura promedio de 16.24 °C, lo cual genera un margen de error de 1.72%. Y para el aula E3 201, la temperatura promedio tomada en sitio es de 16.81 °C, proporcionando un margen de error de 4.16%.

En las figuras 44, 45 y 46 se observa la semejanza entre estas curvas de los dos resultados con tendencias de incremento y disminución de temperaturas similares.

Figura 44

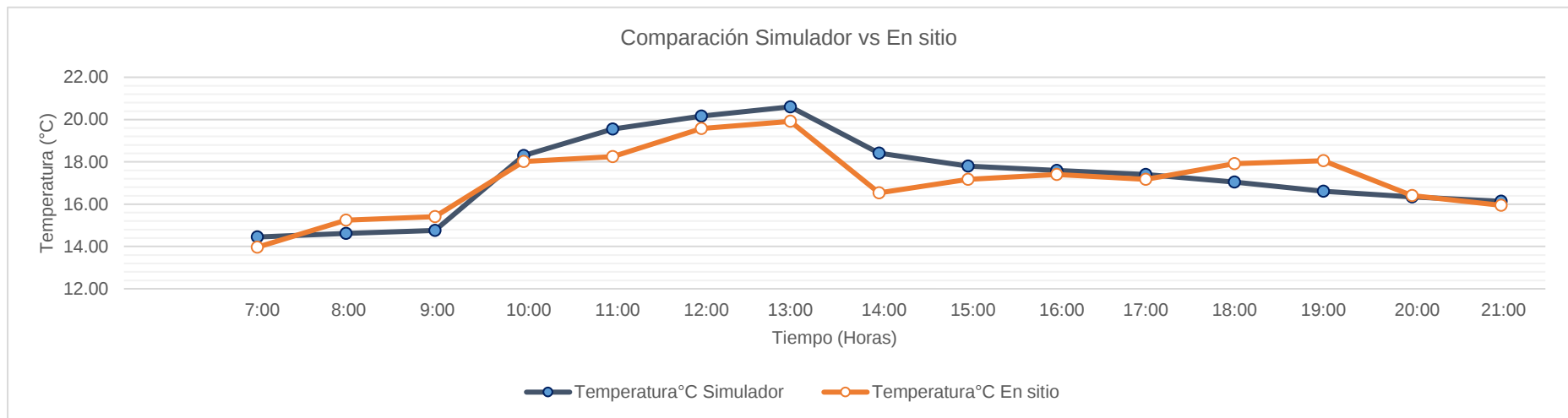
Comparación de temperatura del aula E1 -102



Elaboración: Propia.

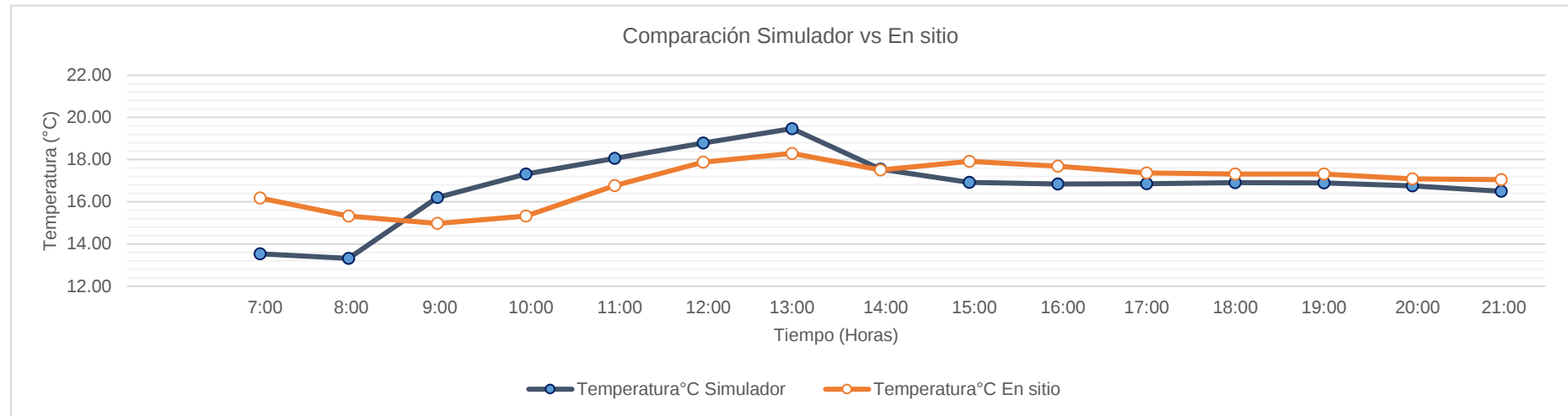
Figura 45

Comparación de temperatura del aula E2 203



Elaboración: Propia.

Figura 46
Comparación de temperatura del aula E3 201



Elaboración: Propia.

4.3 Comparación de resultados con normativas y estándares de confort térmico

Los datos presentados nos permiten examinar la variabilidad térmica que experimentan las aulas a lo largo del día. Estos valores indican que ninguna de las temperaturas promedio se encuentra dentro del rango de confort térmico recomendado por la normativa ISO 7730, NEC – 2018 y los estándares de confort térmico en Cuenca. Tabla 18.

A pesar de que el aula E1 -102 cumpla con el estándar de confort térmico es pertinente establecer estrategias para todas las aulas analizadas con el objetivo de alcanzar una mejor sensación térmica en el interior de las mismas.

Tabla 18
Comparativa entre temperatura de las aulas y normativas vigentes

Aulas	Temperatura °C	Norma ISO 7730	NEC – 2018	Estándares de confort térmico en Cuenca
		22 °C y 24 °C con rangos de $\pm 2,0$ y $\pm 1,5$	18°C a 26°C	17.62 °C – 22.62 °C
E1 –102	17.73	No cumple	No cumple	Si cumple
E2 203	16.52	No cumple	No cumple	No cumple
E3 201	16.11	No cumple	No cumple	No cumple

Elaboración: Propia.

4.4 Resultados de confort lumínico

El confort lumínico contribuye al bienestar y confort de los estudiantes dentro de las aulas, una adecuada iluminación reduce la fatiga visual y mejora el rendimiento académico de los estudiantes. Debido a esto, en esta sección se lleva a cabo un análisis de los niveles de iluminación natural en cada aula de estudio para conocer si se encuentran dentro de los parámetros óptimos de confort lumínico establecidos por la Norma Ecuatoriana de Construcción. Para aulas teóricas 300 lux y para aulas de dibujo técnico 750 lux (Ministerio de Industrias y Productividad, 2015).

El mayor porcentaje de las aulas de la facultad cuenta con grandes ventanas que permiten el ingreso de la luz natural hacia su interior (Fig. 47).

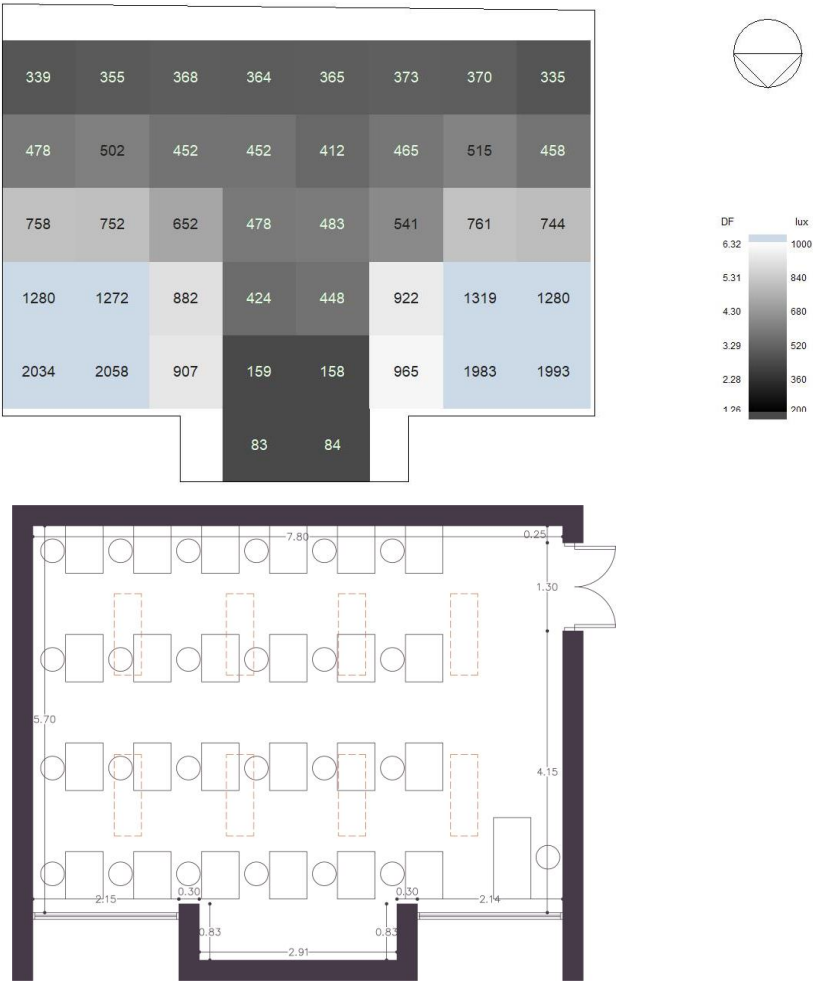
Figura 47
Ventanas en aulas de la facultad



Elaboración: Propia.

Las simulaciones se realizaron teniendo en cuenta el promedio de las horas diurnas en todas las aulas. El aula E1 -102 es utilizada para impartir clases teóricas y prácticas, la figura 48 señala los niveles de iluminación que presenta, se observa que la zona cercana a las ventanas presenta una iluminación de hasta 2058 lux, valor bastante mayor respecto a la zona contraria la cual presenta valores mayores a 335 lux. De acuerdo a los datos, para un mayor porcentaje de estudiantes esta aula proporciona confort lumínico.

Figura 48
Niveles de iluminación y planta aula E1 -102

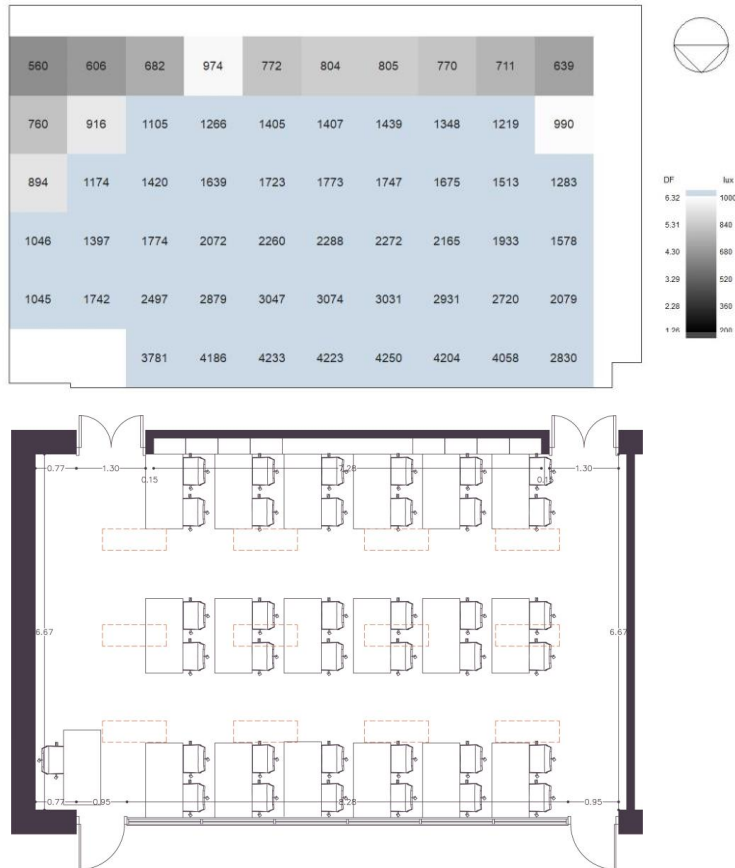


Fuente: Simulación lumínica en DesignBuilder, 2019.
Elaboración: Propia.

UCUENCA

El aula E2 203 también es utilizada tanto para clases teóricas como prácticas, en la figura 49 se observa que la zona junto a los ventanales presenta una iluminación de hasta 4250 lux provocando encandilamiento en ciertas horas de la mañana, mientras que las zonas restantes están dentro de los parámetros óptimos recomendados.

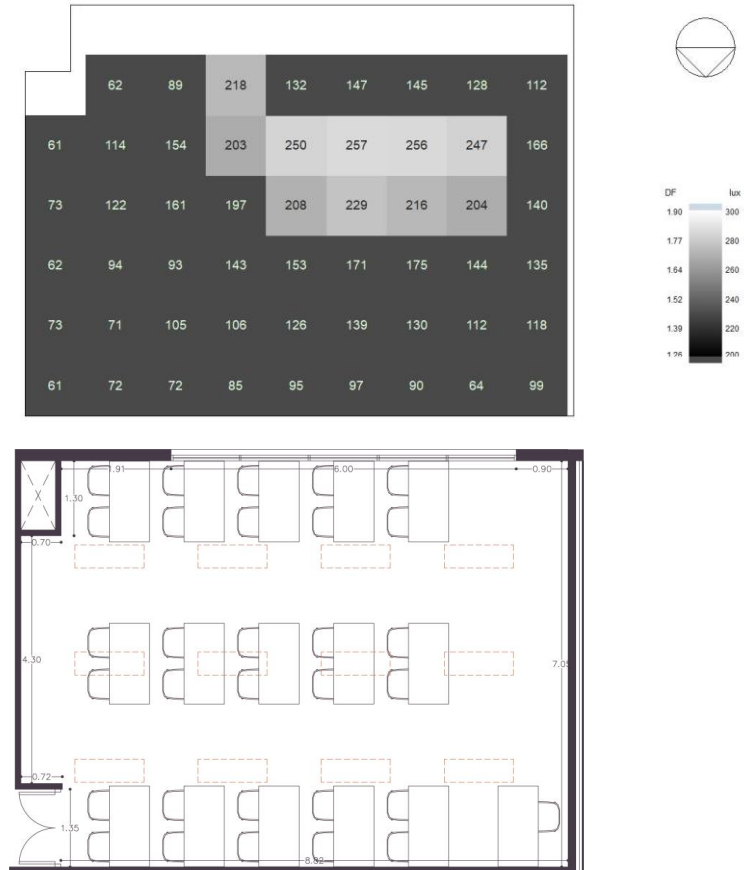
Figura 49
Niveles de iluminación y planta aula E2 203



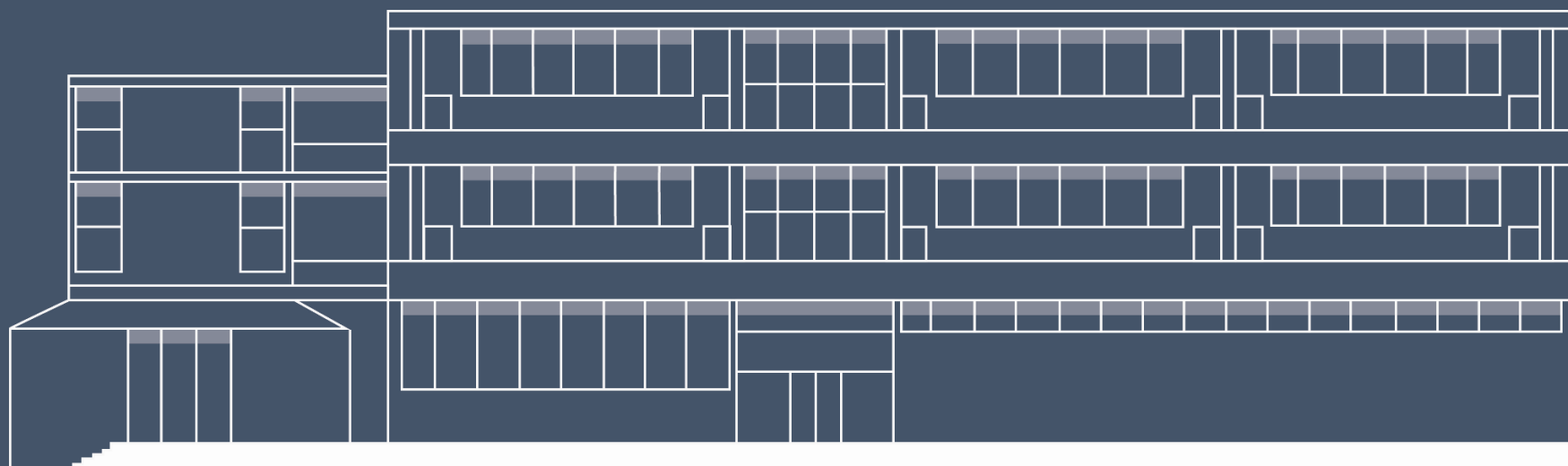
Fuente: Simulación lumínica en DesignBuilder, 2019.
Elaboración: Propia.

Finalmente, el aula E3 201 es destinada netamente para clases teóricas, esta aula cuenta con una modulación de ventanas pequeñas en relación a su perímetro, alcanzando valores menores e iguales a 257 lux, por lo que no cumple con la normativa (Fig. 50).

Figura 50
Niveles de iluminación y planta aula E3 201



Fuente: Simulación lumínica en DesignBuilder, 2019.
Elaboración: Propia.



CAPÍTULO 5

Las estrategias que se proponen tienen la finalidad de alcanzar un comportamiento térmico óptimo dentro de las aulas, en cumplimiento con los rangos de confort recomendados.

5.1 Propuestas

Las ventanas desempeñan un papel fundamental en las pérdidas y ganancias térmicas de un espacio, siendo responsables de un porcentaje significativo de las mismas. Para lograr un adecuado aislamiento térmico dentro de una zona es necesario que las aberturas sean herméticas, es decir, que tengan la capacidad de cerrar de manera precisa y garantizar un buen sellado contra el paso del aire, el nivel de hermeticidad depende de la calidad del marco, vidrio y herrajes (Universidad del Bío-Bío, 2014).

5.1.1 Elementos de control de infiltraciones

Las infiltraciones de aire que admite una ventana o puerta dependen del grado de industrialización y el proceso con el que fue fabricado, sin embargo, se puede incorporar en ellas elementos que apoyen el cierre hermético, se propone el uso de estos elementos para disminuir el porcentaje de infiltración dentro de todas las propuestas mencionadas en el subcapítulo 5.1.2.

- Burletes: Son elementos que sirven para asentar el vidrio sobre el perfil de la hoja de la ventana, el uso de burletes de PVC es recomendable para ventanas exteriores ya que tiene una baja reacción frente a la radiación UV, además es un excelente aislante térmico.
- Felpas o burletes de cepillo: Ideales para colocar en puertas de cualquier materialidad, están fabricadas de monofilamento de propileno, efectivo en aislamiento térmico y acústico limitando el ingreso de aire, adecuado para puertas exteriores.
- Siliconas: Sirve para sellar juntas de ventanas y puertas con la envoltura de hasta 7 mm, ofrece buen aislamiento y tiene durabilidad de una década. Para juntas entre vanos de albañilería y perfiles de madera se recomienda el uso de silicona neutra o

sellador acrílico y para juntas entre vanos de albañilería y perfiles de aluminio se recomienda sellador neutro.

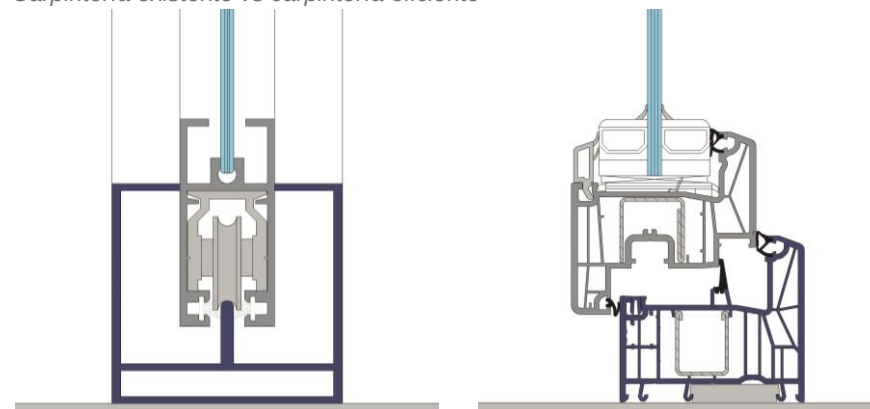
- Caucho: Óptimo para juntas de entre 2 mm y 5 mm con una duración de hasta 8 años.
- Doble rollo: Elemento tubulares que se colocan por debajo de la puerta generando una barrera que impide el ingreso de aire (Universidad del Bío-Bío, 2014).

5.1.2 Propuesta 1: Ventanas eficientes con vidrio simple y mejor hermeticidad

Se propone la instalación de nuevas ventanas con una carpintería fabricada de perfiles con rotura de puente térmico con 7 cámaras en el marco y 6 en la hoja para disminuir las pérdidas de calor (Fig. 51). En esta estrategia se plantea el uso de una sola capa de vidrio simple de 6mm de espesor con una transmitancia térmica de $5.871 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ (MIDUVI, 2018) y mejoramiento de hermeticidad mediante el control de infiltraciones. La forma de apertura de las ventanas es determinante en términos de hermeticidad, por lo que se propone ventanas batientes en lugar de las ventanas tipo persianas (Fig. 52), ya que gracias al uso de burletes poseen una hermeticidad más elevada (Ecovenplus, 2020).

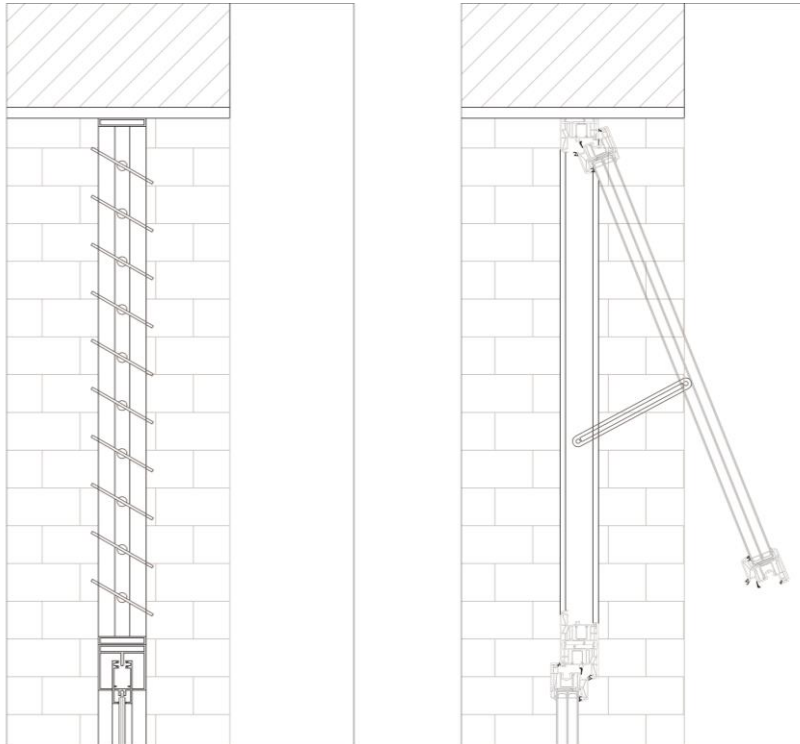
Figura 51

Carpintería existente vs carpintería eficiente



Fuente: Adaptado de Sistema Synego. Rehau, 2020.

Figura 52
Propuesta de ventana batiente



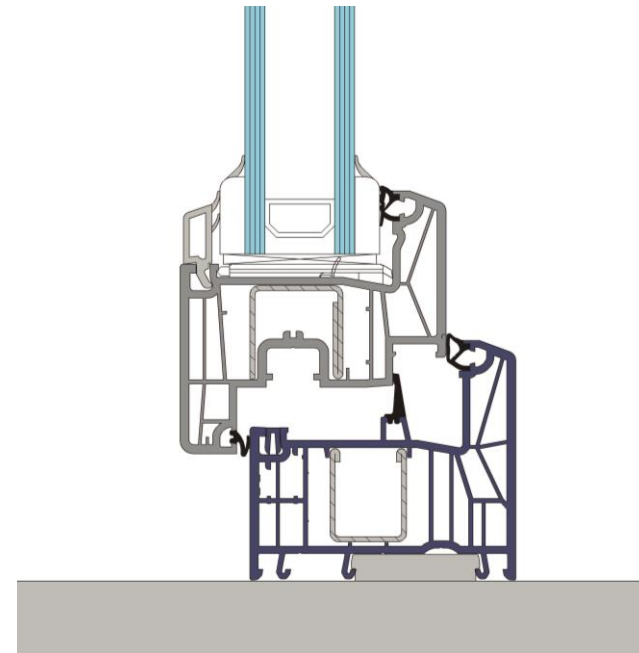
Elaboración: Propia

5.1.3 Propuesta 2: Ventanas eficientes con doble vidrio hermético

Con la finalidad de mejorar aún más la temperatura de las aulas, se plantea la aplicación de ventanas con doble vidrio hermético ya que estas destacan como uno de los tipos de acristalamiento más eficiente en la reducción significativa de las pérdidas de energía. Esta propuesta consiste en mantener la carpintería eficiente mencionada en la anterior propuesta, controlar infiltraciones e integrar dos vidrios de 6 mm separados por una cámara de aire de 12 mm sellada herméticamente (Fig. 53). Esta tipología

de ventana tiene una transmitancia térmica o valor u de $2.9 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ (MIDUVI, 2018).

Figura 53
Propuesta de ventana con doble vidrio hermético



Fuente: Adaptado de Sistema Synego. Rehau, 2020.

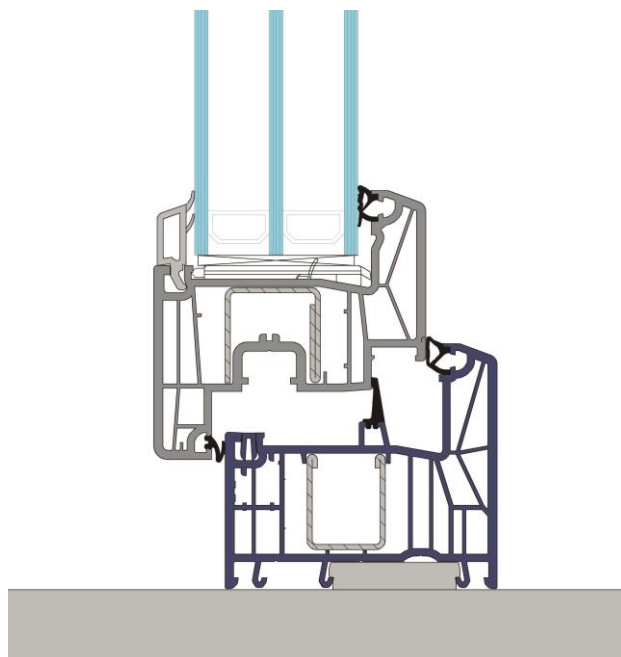
5.1.4 Propuesta 3: Ventanas eficientes con triple vidrio hermético

Generalmente son utilizadas en lugares que requieren aislamientos mayores a los habituales, sin embargo, se lo propone para comparar las variaciones de temperatura resultantes en relación a las dos propuestas anteriores. La incorporación de ventanas con triple vidrio hermético (Fig. 54), es una tipología que ofrece un extraordinario aislamiento térmico.

De igual modo, se plantea el uso de carpintería eficiente y control de infiltraciones. Los tres vidrios de 4 mm forman dos cámaras de aire selladas de 12 mm con un valor u de $0.80 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ (Rehau, 2020).

Figura 54

Propuesta de ventana con triple vidrio hermético



Fuente: Adaptado de Sistema Synego. Rehau, 2020.

Al aplicar estas propuestas de mejoramiento térmico las infiltraciones de aire se reducen en un 50% y el tipo de infiltración que se establece para las tres aulas dentro del software DesignBuilder es considerada como buena (Fig. 55).

Figura 55

Descripción cualitativa de infiltración para propuestas



Descripción cualitativa según el tipo de infiltración

Fuente: Adaptado de DesignBuilder, 2019.

5.2 Resultados de simulación de propuestas

5.2.1 Resultados para propuesta 1: ventanas eficientes con vidrio simple y mejor hermeticidad



La temperatura aumenta en un promedio de $1.07 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Fig. 56).

Temperatura promedio actual: $17.73 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Temperatura promedio de propuesta: $18.80 \text{ }^{\circ}\text{C}$.



La temperatura aumenta en un promedio de $1.50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Fig. 57).

Temperatura promedio actual: $16.52 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Temperatura promedio de propuesta: $18.02 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

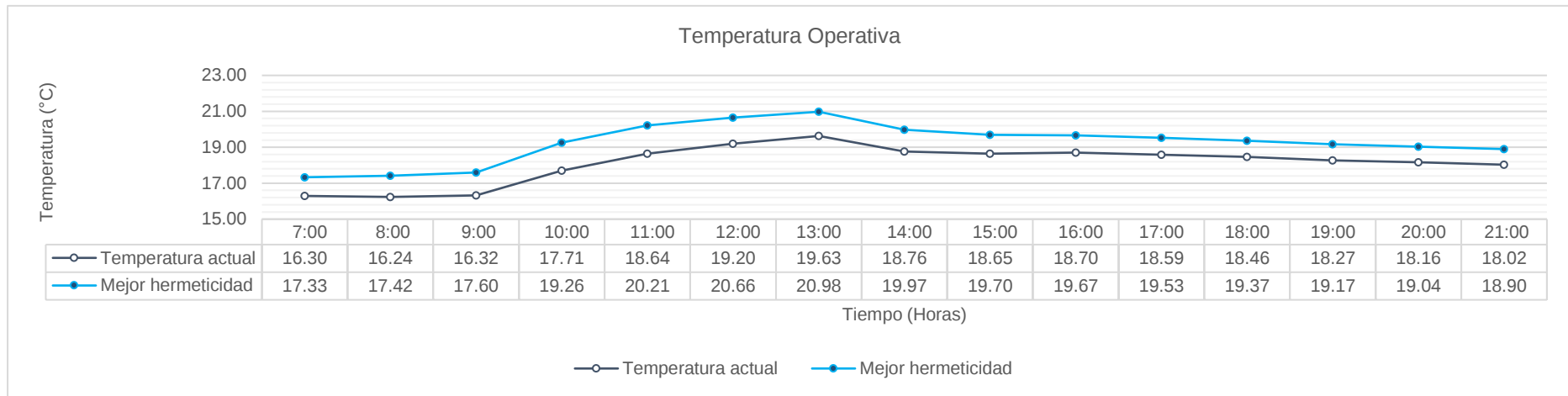


La temperatura aumenta en un promedio de $1.61 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Fig. 58).

Temperatura promedio actual: $16.11 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

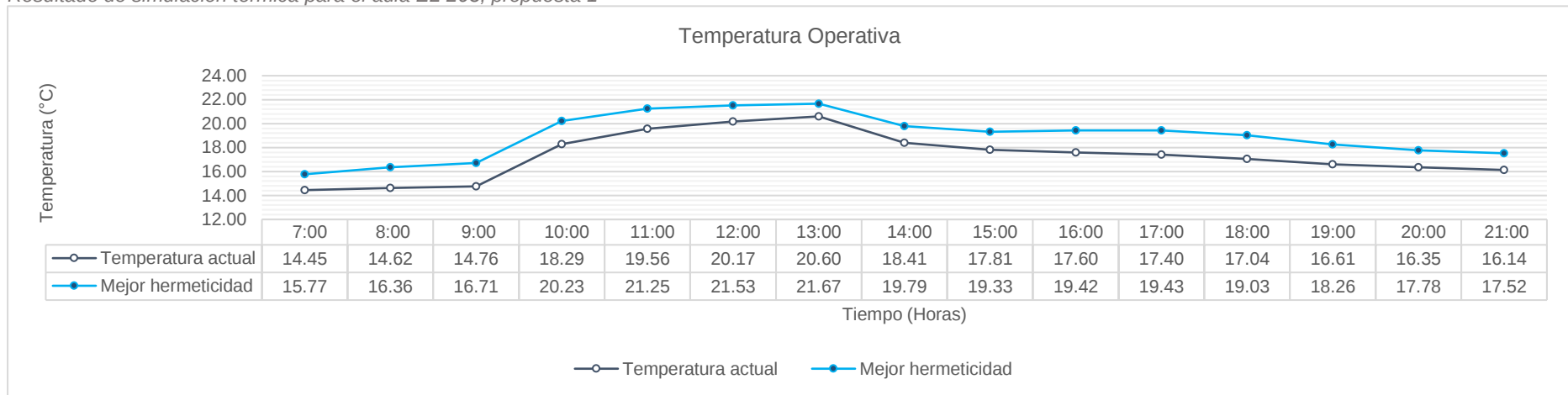
Temperatura promedio de propuesta: $17.72 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Figura 56
Resultado de simulación térmica para el aula E1 -102, propuesta 1



Fuente: Adaptado del módulo simulación térmica. DesignBuilder, 2019.

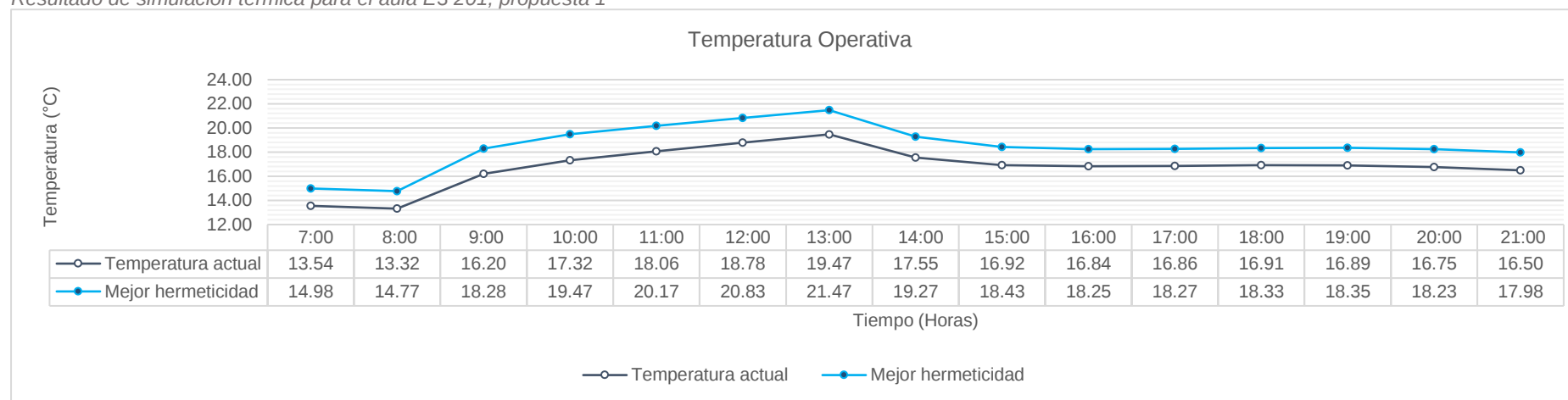
Figura 57
Resultado de simulación térmica para el aula E2 203, propuesta 1



Fuente: Adaptado del módulo simulación térmica. DesignBuilder, 2019.

Figura 58

Resultado de simulación térmica para el aula E3 201, propuesta 1



Fuente: Adaptado del módulo simulación térmica. DesignBuilder, 2019.

5.2.2 Resultados para propuesta 2: ventanas eficientes con doble vidrio hermético



La temperatura aumenta en un promedio de 1.18 °C (Fig. 59).

Temperatura promedio actual: 17.73 °C.

Temperatura promedio de propuesta: 18.91 °C.



La temperatura aumenta en un promedio de 1.66 °C (Fig. 61).

Temperatura promedio actual: 16.11 °C.

Temperatura promedio de propuesta: 17.77 °C.



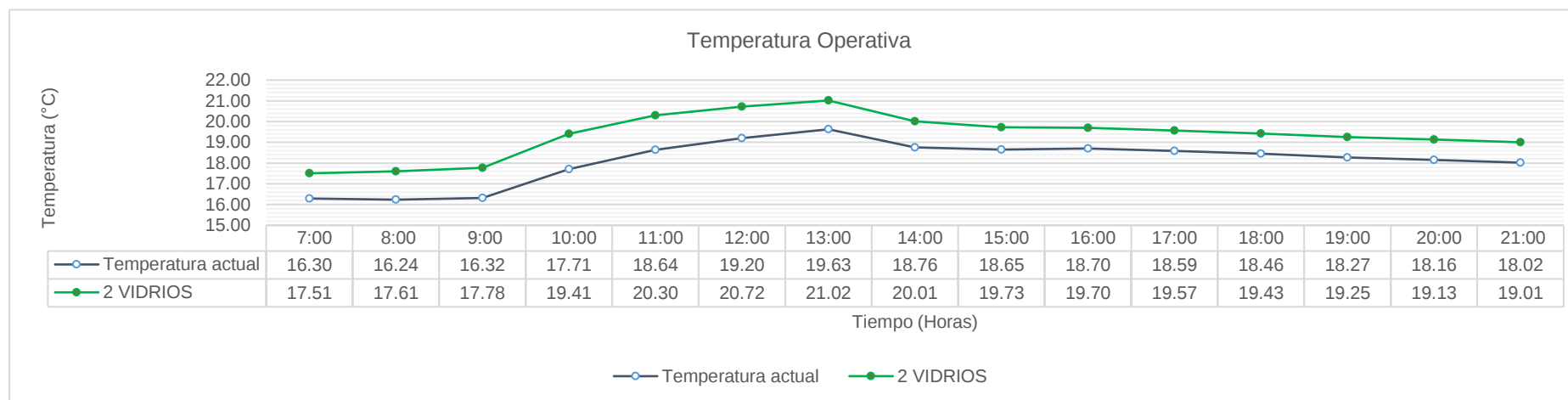
La temperatura aumenta en un promedio de 1.74 °C (Fig. 60).

Temperatura promedio actual: 16.52 °C.

Temperatura promedio de propuesta: 18.26 °C.

Figura 59

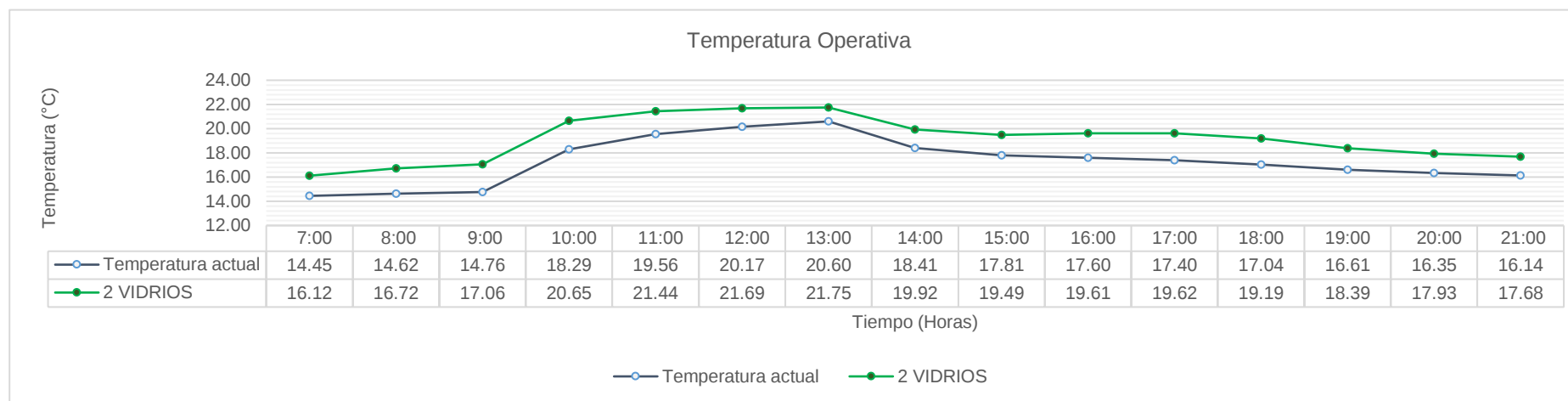
Resultado de simulación térmica para el aula E1 -102, propuesta 2



Fuente: Adaptado del módulo simulación térmica. DesignBuilder, 2019.

Figura 60

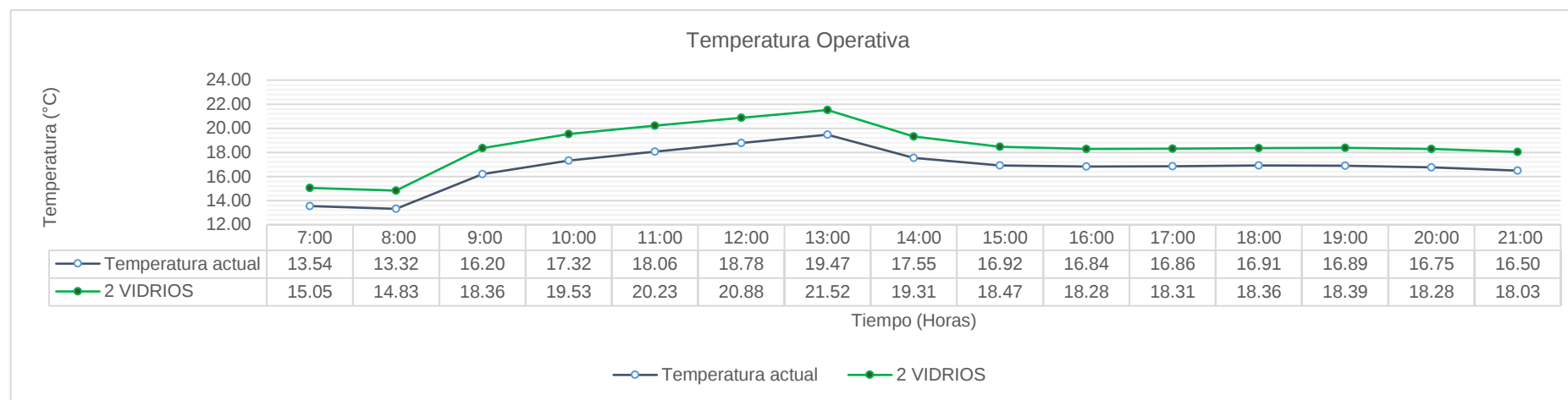
Resultado de simulación térmica para el aula E2 203, propuesta 2



Fuente: Adaptado del módulo simulación térmica. DesignBuilder, 2019.

Figura 61

Resultado de simulación térmica para el aula E3 201, propuesta 2



Fuente: Adaptado del módulo simulación térmica. DesignBuilder, 2019.

5.2.3 Resultados para propuesta 3: ventanas eficientes con triple vidrio hermético



La temperatura aumenta en un promedio de 1.37 °C (Fig. 62).

Temperatura promedio actual: 17.73 °C.

Temperatura promedio de propuesta: 19.10 °C.



La temperatura aumenta en un promedio de 1.73 °C (Fig. 64).

Temperatura promedio actual: 16.11 °C.

Temperatura promedio de propuesta: 17.84 °C.

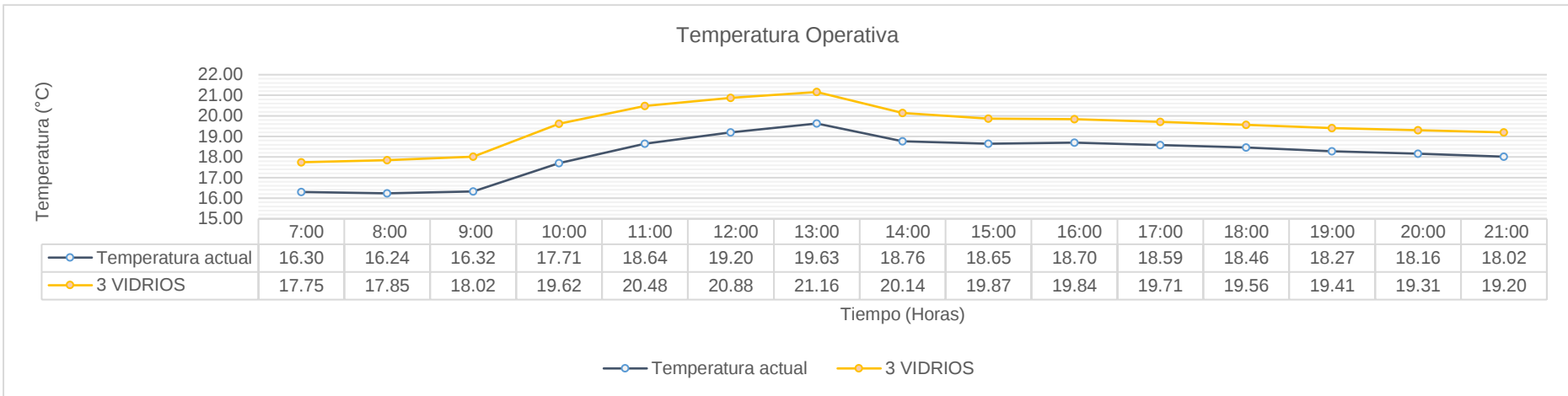


La temperatura aumenta en un promedio de 2.19 °C (Fig. 63).

Temperatura promedio actual: 16.52 °C.

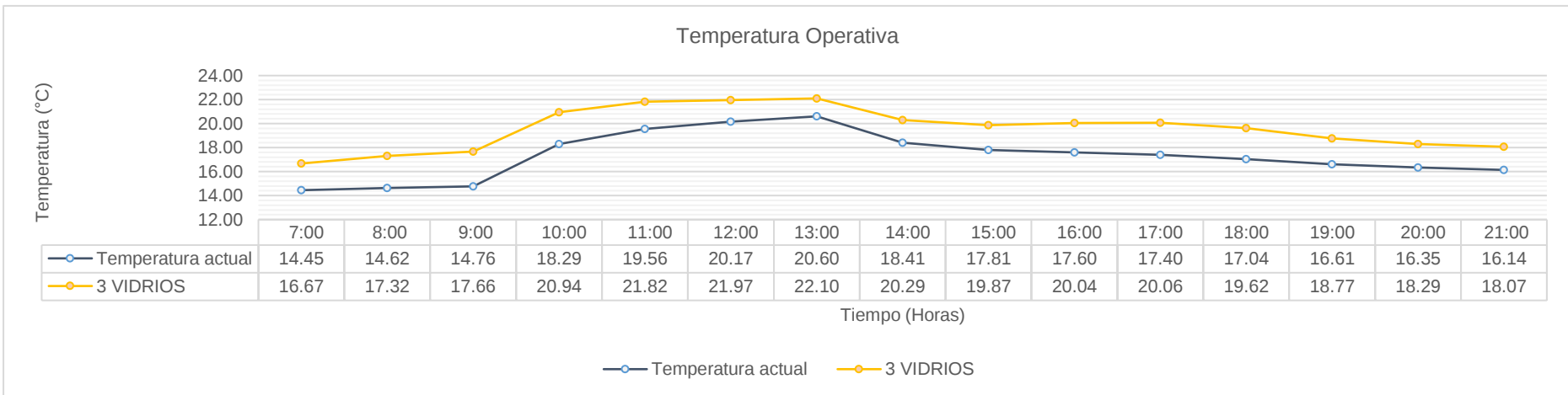
Temperatura promedio de propuesta: 18.71 °C.

Figura 62
Resultado de simulación térmica para el aula E1 -102, propuesta 3



Fuente: Adaptado del módulo simulación térmica. DesignBuilder, 2019.

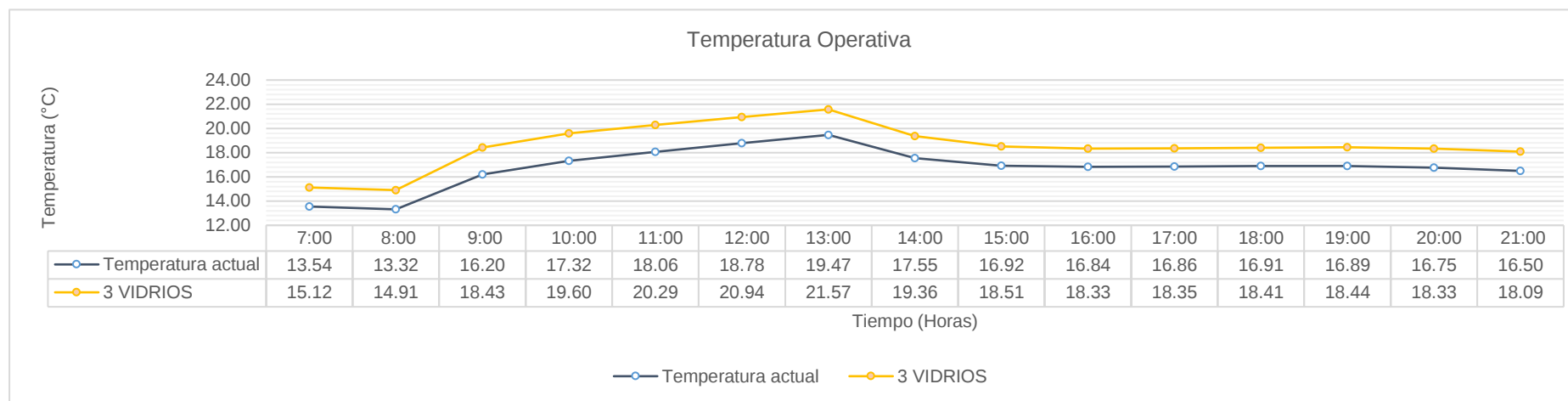
Figura 63
Resultado de simulación térmica para el aula E2 203, propuesta 3



Fuente: Adaptado del módulo simulación térmica. DesignBuilder, 2019.

Figura 64

Resultado de simulación térmica para el aula E3 201, propuesta 3



Fuente: Adaptado del módulo simulación térmica. DesignBuilder, 2019

5.3 Comparación de resultados

En los gráficos presentados se puede observar que las propuestas planteadas mejoran las condiciones térmicas de las aulas analizadas (Fig. 65, 66 y 67), la mejora promedio en las aulas es de aproximadamente 1%. En la tabla 19 se realiza la comparación entre las temperaturas resultantes de las propuestas y los valores recomendados por la normativa y los estándares vigentes, con el objetivo de determinar si estas propuestas permiten alcanzar los rangos de confort recomendados.

Las tres propuestas planteadas no cumplen los rangos recomendados por la normativa internacional ISO 7730 (para verano e invierno 24,5 °C y 22 °C, respectivamente, con rangos de $\pm 1,5$ y $\pm 2,0$ grados), sin embargo, hay que tener en cuenta que estas temperaturas sugeridas son en base a un análisis con miles de muestras a nivel mundial, enfocadas en el modelo adaptativo y no estudia factores específicos de cada lugar. Por lo tanto, al analizar los resultados se tiene como prioridad comparar estos valores con las normativas y estándares ecuatorianos.

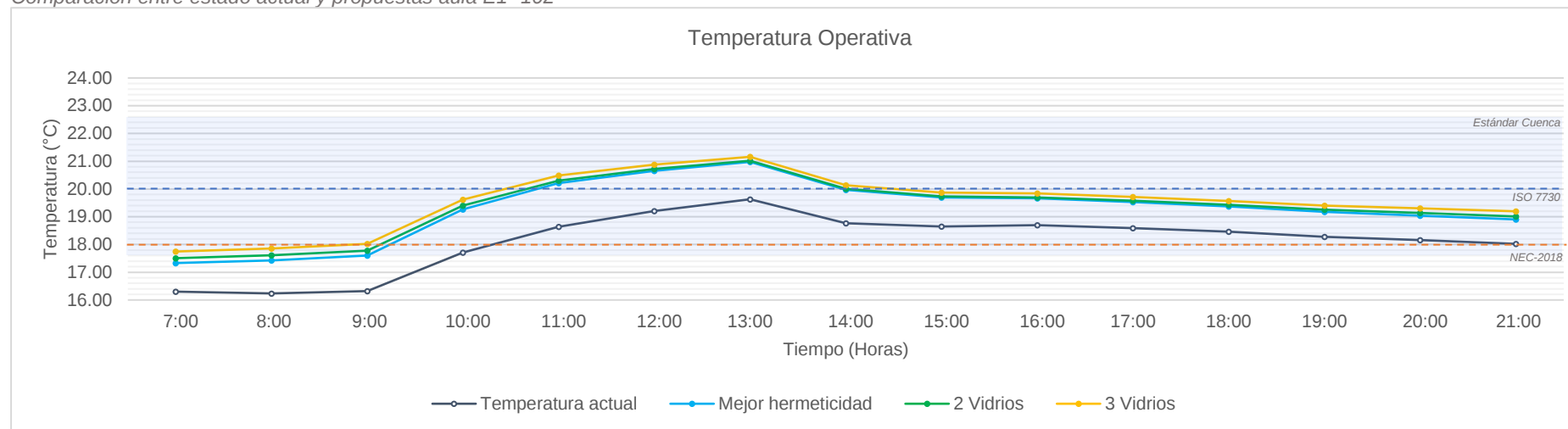
Las tres propuestas garantizan el cumplimiento de los estándares de confort térmico aceptados en la ciudad de Cuenca que varían de 17.62°C a 22.62°C. La normativa NEC – 2018 establece un rango de 18°C a 26°C, esto también se cumple en las aulas E1 -102 y E2 203.

Sin embargo, el aula E3 201 no cumple con la normativa NEC – 2018, se asume que esto se debe a que el control de infiltraciones de aire en ventanas planteado no provoca cambios relevantes ya que actualmente estas infiltraciones no son muy elevadas, las bajas temperaturas de esta aula se deben principalmente a los sistemas constructivos de sus envolventes y entrepisos.

No obstante, la diferencia de mejora entre las tres propuestas no es significativa, lo que lleva a concluir que el problema radica principalmente en la baja hermeticidad que presentan las ventanas. Un adecuado control de estas infiltraciones de aire permitiría que las temperaturas de las aulas mejoren considerablemente contribuyendo al confort térmico de estudiantes y profesores.

Figura 65

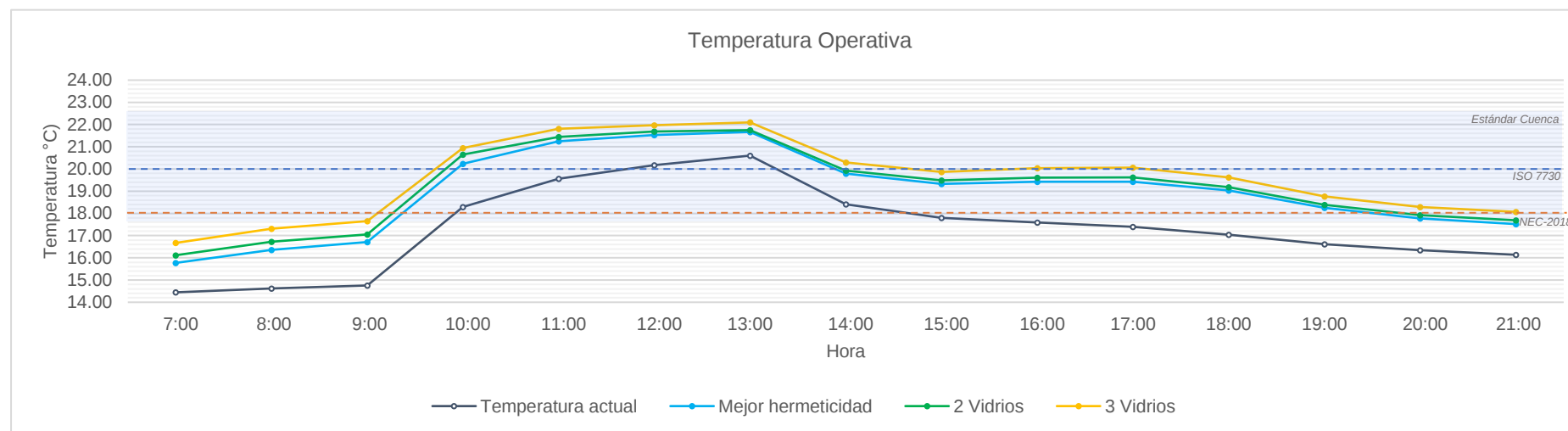
Comparación entre estado actual y propuestas aula E1 -102



Elaboración: Propia.

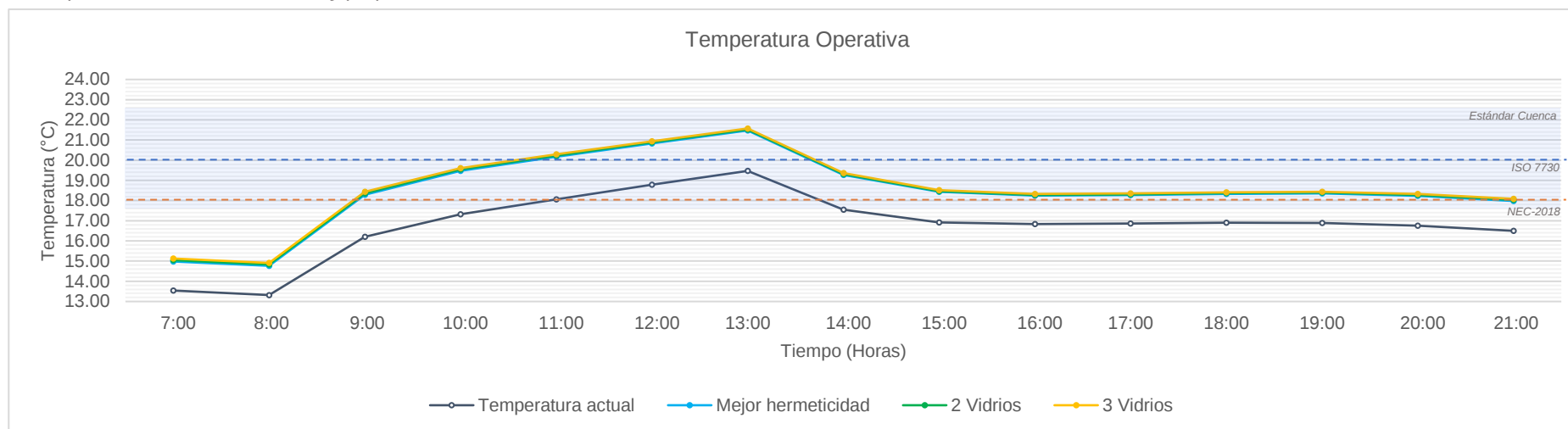
Figura 66

Comparación entre estado actual y propuestas aula E2 203



Elaboración: Propia.

Figura 67
Comparación entre estado actual y propuestas aula E3 201



Elaboración: Propia.

Tabla 19

Comparativa entre resultados propuestos y normativas vigentes

Propuestas	Aulas	Temperatura °C	Norma ISO 7730	NEC – 2018	Estándares de confort térmico
1	E1 -102	18.80	No cumple	Si cumple	Si cumple
	E2 203	18.02	No cumple	Si cumple	Si cumple
	E3 201	17.72	No cumple	No cumple	Si cumple
2	E1 -102	18.91	No cumple	Si cumple	Si cumple
	E2 203	18.26	No cumple	Si cumple	Si cumple
	E3 201	17.77	No cumple	No cumple	Si cumple
3	E1 -102	19.10	No cumple	Si cumple	Si cumple
	E2 203	18.71	No cumple	Si cumple	Si cumple
	E3 201	17.84	No cumple	No cumple	Si cumple

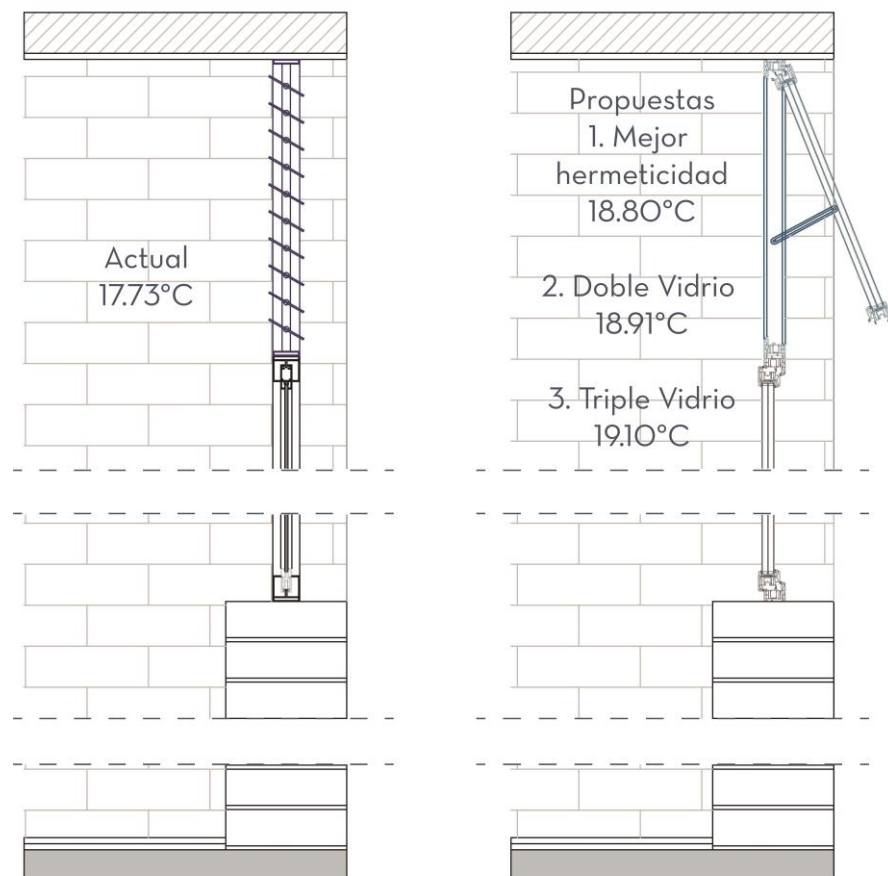
Elaboración: Propia

En las gráficas presentadas anteriormente se puede observar los límites inferiores recomendados por las normativas ISO 7730 Y NEC – 2018, así también se observa el área del rango obtenido de los estándares de confort térmico aceptados por la población cuencana.

A continuación, se muestran secciones de las tres aulas donde se diagrama el cambio de ventanas existentes por ventanas batientes y carpinterías eficientes, estas ventanas permiten que exista una abertura controlada para la ventilación natural y a su vez aseguran una mayor hermeticidad al cerrarla impidiendo niveles altos de infiltración de aire (Fig. 68, 69 y 70).

Figura 68

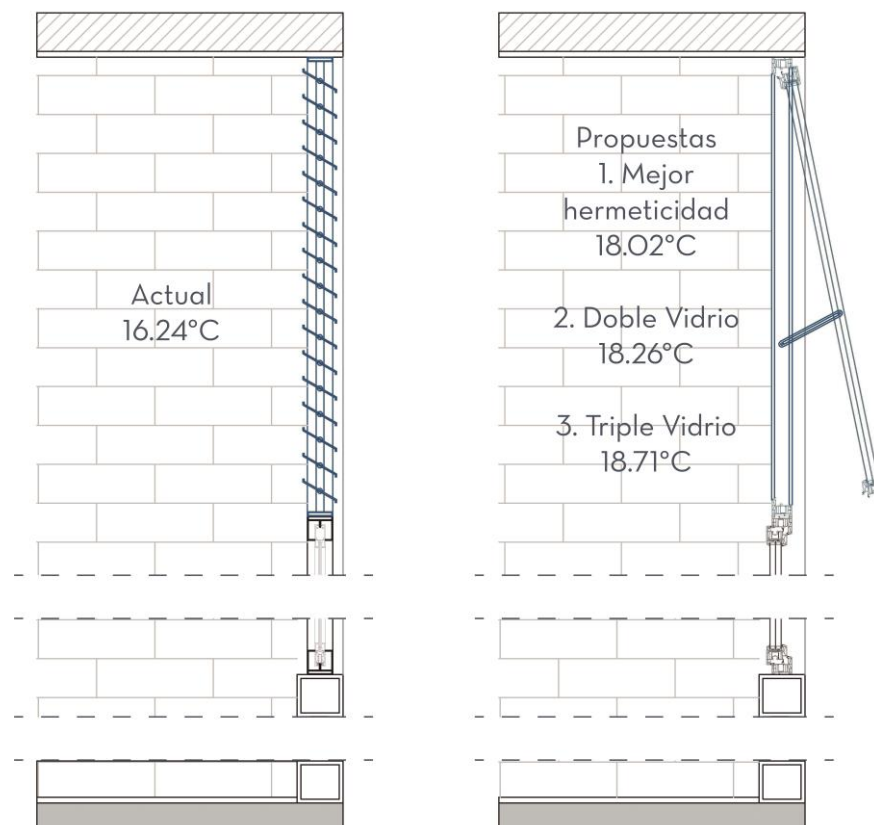
Estado actual vs propuestas aula E1 -102



Elaboración: Propia.

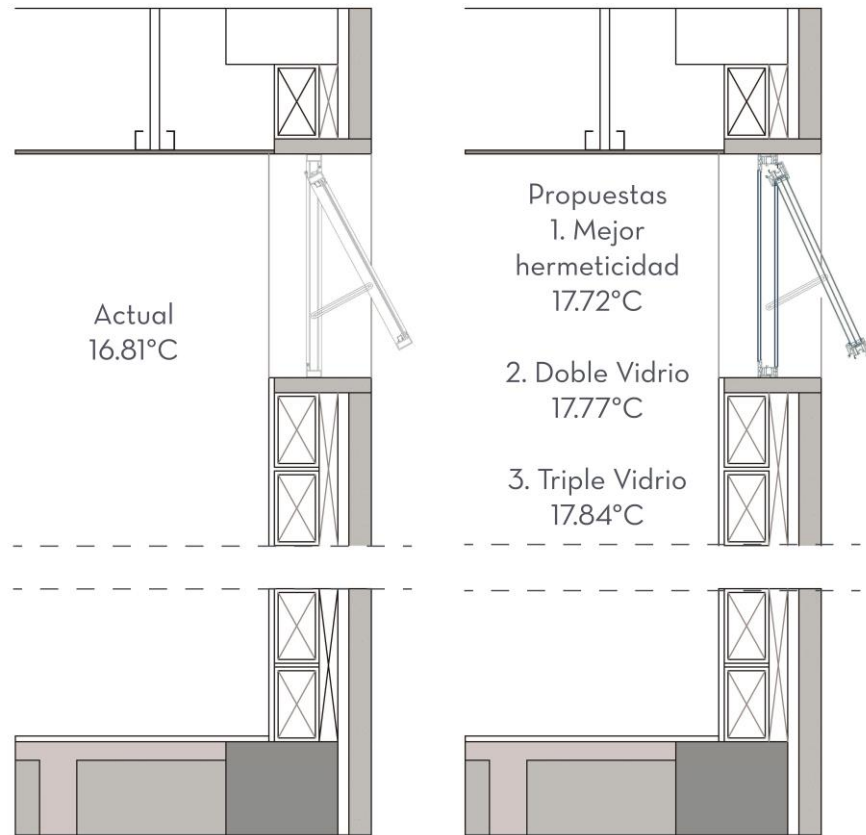
Figura 69

Estado actual vs propuestas aula E2 203

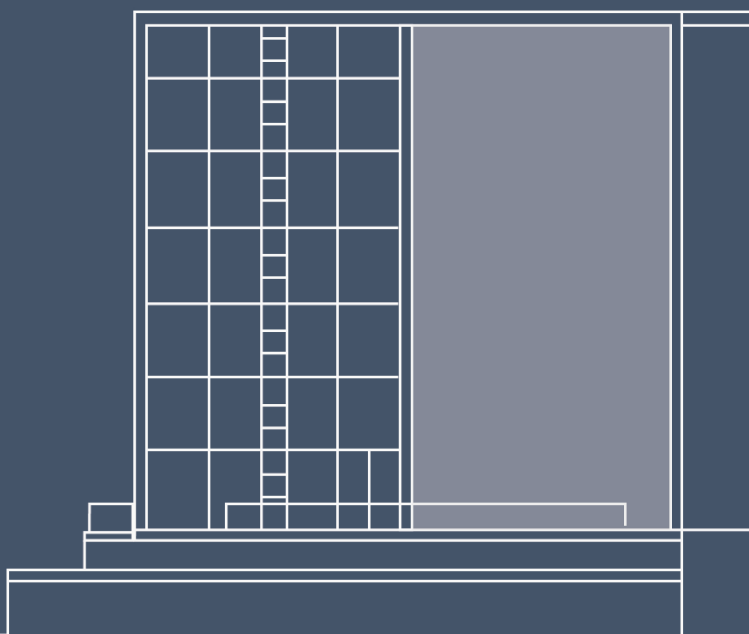


Elaboración: Propia.

Figura 70
Estado actual vs propuestas aula E3 201



Elaboración: Propia.



CAPÍTULO 6

6.1 Conclusiones

Una vez finalizado el estudio del confort térmico en las aulas de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca mediante simulaciones en DesignBuilder y establecer propuestas de mejoramiento térmico se concluye que:

1. El marco conceptual desarrollado permitió conocer los factores de valoración que se consideran para alcanzar el confort térmico, así también, posibilitó adquirir conocimiento sobre los rangos de confort térmico y lumínico recomendados por las normativas nacionales e internacionales.
2. Fue posible comprobar la fiabilidad y precisión del software DesignBuilder al obtener resultados con un margen de error entre el 3% y 10% en comparación con mediciones tomadas en sitio. Esta fiabilidad se logra gracias al modelado virtual preciso en cuanto a áreas de zonas y aberturas, parámetros de actividades, ocupaciones y propiedades físicas y térmicas de sistemas constructivos de envolventes, pisos, puertas y ventanas.
3. La simulación térmica permitió detectar que las aulas se encuentran en disconfort en las primeras horas del horario académico, es decir, entre las 7:00 a.m. y 9:00 a.m. Mientras que la temperatura máxima se alcanza a la 01:00 p.m.
4. Mediante las gráficas de líneas se observó que los estudiantes empiezan a sentir confort térmico a partir de 10:00 am.
5. La discusión de resultados bajo estándares y normativas nacionales e internacionales dio como resultado que la temperatura promedio dentro de todas las aulas analizadas se incumple respecto niveles de confort sugeridos, esto significa que los ambientes académicos analizados están afectando

negativamente en el rendimiento y productividad de los estudiantes.

6. Una vez detectadas las problemáticas en los resultados de las simulaciones se propuso estrategias para alcanzar mejores condiciones de confort sin afectar la configuración formal y estructuración actual de los bloques de la facultad. Estas propuestas se basaron netamente en el control de infiltraciones mediante ajustes en la hermeticidad de las ventanas para evitar pérdidas térmicas dentro de las aulas.
7. El problema principal de las bajas temperaturas de las aulas se debe al pésimo mantenimiento que existe en las juntas entre vanos y ventanas, así como la deficiente calidad de la carpintería y vidrio de las mismas provocando infiltraciones de aire significativas.
8. La simulación térmica de las estrategias propuestas determinó que las variaciones de resultados entre las propuestas planteadas tienen una diferencia de aproximadamente 0.10°C para el aula E1 -102, 0,34°C para el aula E2 203 y de 0.06°C para el aula E3 201, estos valores muestran que no existe un incremento elevado de temperatura al aumentar las capas de vidrio y cámaras de aire, por lo que la mejor estrategia que se debería implementar en las aulas en relación aumento térmico – economía es la instalación de ventanas con vidrio simple soportado con carpintería eficiente y elementos que garanticen un buen sellado contra el ingreso del aire.
9. Con la aplicación de la propuesta 1: ventanas con vidrio simple y mejoramiento de hermeticidad se mejora la temperatura promedio las aulas en 1.05 °C, 1.50 °C y 1.61 °C, respectivamente.

Aula E1-102

Actual: 17.73 ° C. Propuesta 1: 18.80 ° C.

Aula E2 203

Actual: 16.52 °C. Propuesta 1: 18.02 °C.

Aula E3 201

Actual: 16.11 °C Propuesta 1: 17.72 °C.

10. Teniendo en cuenta que el discomfort se experimenta a temperaturas más bajas, la propuesta 1 genera un incremento de estas temperaturas mínimas que se dan entre las 7:00 a.m. y 9:00 a.m., aumentando 1.18 °C, 1.32 °C, y 1.46 °C, respectivamente (Ver Anexo D).

Aula E1-102

Actual: 16.24 ° C. Propuesta 1: 17.42 °C.

Aula E2 203

Actual: 14.45 °C. Propuesta 1: 15.77 °C.

Aula E3 201

Actual: 13.31 °C. Propuesta 1: 14.77 °C.

11. Se compararon las temperaturas obtenidas de las propuestas con lo establecido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2018 (18 °C – 26 °C) y estándares de confort térmico aceptados por la población cuencana (17.62 °C – 22.62 °C) comprobando su cumplimiento.
12. Las propuestas planteadas no cumplieron con la normativa internacional ISO 7730 (para verano e invierno 24,5 °C y 22 °C, respectivamente, con rangos de $\pm 1,5$ y $\pm 2,0$ grados), esta norma se basa en un análisis a nivel mundial, enfocado en el modelo adaptativo y no estudia factores específicos de cada lugar. Por lo tanto, se priorizó comparar con las normativas y estándares ecuatorianos.

13. Llevar a cabo las propuestas mencionadas contribuirían significativamente a asegurar un ambiente adecuado para el aprendizaje y productividad de los estudiantes.

6.2 Recomendaciones

Una vez concluido el trabajo de integración curricular se presentan a continuación una serie de recomendaciones que buscan contribuir al mejoramiento y desarrollo de simulaciones térmicas dentro de un software computacional. Estas recomendaciones se fundamentan en lo experimentado a lo largo del trabajo.

1. Al momento de modelar en DesignBuilder se debe respetar la estructura jerárquica de los niveles, así como el tipo de bloque a utilizar, para modelar todos los elementos existentes que no contengan zonas térmicas se debe utilizar bloque de componente.
2. Para obtener datos certeros al momento de realizar una simulación térmica es necesario analizar la capacidad máxima permitida en determinado espacio para cargar adecuadamente los valores de ganancias calóricas y densidad de ocupación. Sumado a ello, hay que tener en cuenta la cantidad de computadoras y equipos presentes en cada espacio y horario, esto para especificar la cantidad de vatios que emite. Tener claro la cantidad de luminarias que existen y la cantidad de vatios que consume permite identificar la densidad de iluminación presente.
3. Se debe considerar que, a pesar de que se analice un solo espacio de un edificio los parámetros de actividades y ocupación se registran en cada uno de los espacios que forman dicho edificio.
4. Para definir el valor de transmitancia térmica de un sistema constructivo es necesario conocer la conductividad térmica, el calor específico y la densidad de cada material que lo conforma. Esto representó una limitación ya que no existen estudios locales en cuanto a valores reales de conductividad térmica de los materiales de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo por lo cual en este

trabajo se utilizó los valores establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

5. La inexistencia de estudios acerca de los niveles reales de infiltración de aire presentes en las aulas de la facultad significó otra limitación al momento de obtener resultados cercanos a la realidad.
6. Antes de simular es necesario revisar que el fichero climático contenga toda la información climatológica necesaria ya que la ausencia de un valor impide que se realice la simulación.
7. Se recomienda que mediante un nuevo estudio se analice si la propuesta de controlar las infiltraciones de aire implica problemas en la renovación de aire y estancamiento de CO₂ en las aulas durante los días de mayor ocupación.

6.3 Referencias

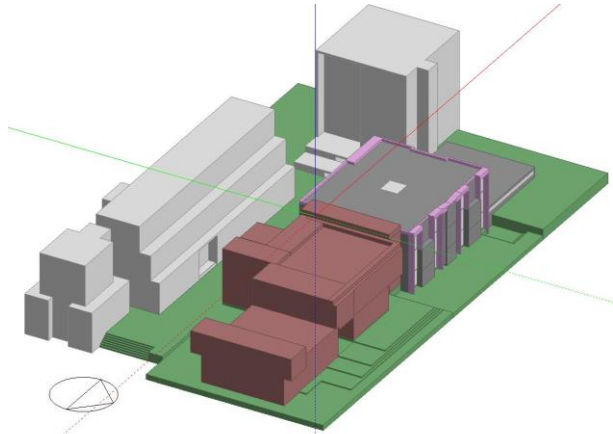
- Allen, E. (1997). El concepto del refugio. En *Cómo funciona un edificio. Principios elementales* (pp. 33-37). Gustavo Gili.
- ASHRAE 55. (2010). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. En *ASHRAE STANDARD*. CRC Press.
- Bustillos, D. (2017). *Calidad del Ambiente Interior de las Edificaciones Residenciales Urbanas de la Ciudad de Cuenca: Determinación de Estándares de Confort*. [Tesis de maestría]. Universidad de Cuenca.
- Chumbiray, I. (2021). *Análisis del confort térmico en escuela modelo de la sierra peruana y evaluación de mejoramiento térmico mediante el uso de principios bioclimáticos* [Tesis de pregrado]. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Climate Consultant. (2021). *Climate Consultant* (Versión 6.0).
- Cordero, X., Guillén, V., & Universidad de Cuenca. (2013). Diseño y validación de vivienda bioclimática para la ciudad de Cuenca. *Estoa*, 002(002), 61-75. <https://doi.org/10.18537/est.v002.n002.07>
- Del Campo, V., & Mendivil, A. (2006). Calidad del ambiente interior en los centros de educación infantil. *Universidad del País Vasco*.
- DesignBuilder Software Ltd. (2019). *DesignBuilder* (Versión 6.1).
- Ecovenplus. (2020). Tipos de ventanas. Guía para elegir la mejor. *Ecovenplus*. <https://ecovenplus.com/guia-tipos-de-ventanas-para-casa/>
- Encalada, P. (2013). *Estudio de desempeño y eficiencia energética en los edificios de la Universidad de Cuenca* [Tesis de maestría]. Universidad de Cuenca.
- Fanger, P. (1982). *Thermal Comfort*.
- Franco, J. (2018). *¿Cómo calcular la transmitancia térmica (Valor U) en la envolvente material de un edificio?* ArchDaily en Español. <https://www.archdaily.cl/cl/898485/como-calcular-la-transmitancia-termica-valor-u-en-la-envolvente-material-de-un-edificio>
- Hensen, J. L. M. (1991). *On the thermal interaction of building structure and heating and ventilating system* [Tesis de doctorado]. Technische Universiteit Eindhoven.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2017). *Anuario meteorológico*.
- ISO 7730. (2005). Ergonomía del ambiente térmico. En *Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local*.

- Lin, Z., & Deng, S. (2008). A study on the thermal comfort in sleeping environments in the subtropics—Developing a thermal comfort model for sleeping environments. *Building and Environment*, 43(1), 70-81. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.11.026>
- Marsh, A. (2023). *PD: 2D Data View*. <https://drajmarsh.bitbucket.io/data-view2d.html>
- Meteoblue. (2023). *Datos climáticos y meteorológicos históricos simulados para Cuenca*. meteoblue. https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climate_modelled/cuenca_ecuador_3658666
- MIDUVI. (2018). *NEC. Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador*.
- Ministerio de Industrias y Productividad. (2015). *INEN 2969-1. Iluminación de los lugares de trabajo parte 1: Lugares de trabajo en interiores*.
- Morales, M., & Zambrano, L. (2019). *Mejoramiento de las condiciones térmicas del colegio Ismael Pérez Pazmiño mediante la aplicación de parámetros bioclimáticos y de eficiencia energética* [Tesis de pregrado]. Universidad de Guayaquil.
- Olgyay, V. (2019). *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Gustavo Gili.
- Ortega, F., & Vintimilla, L. (2023). *Modelado y mediciones de las condiciones ambientales interiores en edificaciones FAUC* [Tesis de pregrado]. Universidad de Cuenca.
- Plataforma Europea de Adaptación Climática Climate ADAPT. (s. f.). *Índices de coma térmico—Temperatura radiante media, 1979-2020*. Recuperado 19 de junio de 2023, de <https://climate-adapt.eea.europa.eu/es/metadata/indicators/thermal-comfort-indices-mean-radiant-temperature-1979-2019>
- Potenciadero. (2021). *Consumo de Potencia en Watts de una Computadora*. <https://potenciadero.com/potencia-electrica/computadoras>
- Quesada, F., & Bustillos, D. (2018). Indoor Environmental Quality of Urban Residential Buildings in Cuenca—Ecuador: Comfort Standard. *Buildings*, 8(7), 90. <https://doi.org/10.3390/buildings8070090>
- Rehau. (2020). *Sistema Synego*. Rehau. <https://www.rehau.com/es-es/profesionales/carpinteria-y-cerramientos-de-pvc/perfiles-pvc-para-ventanas/ventanas-synego>
- Serra, R., & Roura, H. (2005). *Arquitectura y energía natural* (1. ed). Edicions UPC.
- Shamsuddin, S., Bahaiddin, H., & Aziz, N. Abd. (2012). Relationship between the Outdoor Physical Environment and Student's Social Behaviour in Urban Secondary School. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 50, 148-160. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.08.023>
- Toledo, J. (2011). *Análisis del confort térmico en el proceso de diseño arquitectónico. Alicación software Ecotec*. [Tesis de pregrado]. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Universidad del Bío-Bío. (2014). *Manual de hermeticidad al aire de edificaciones*. MAUREEN TREBILCOCK.

6.4 Anexos

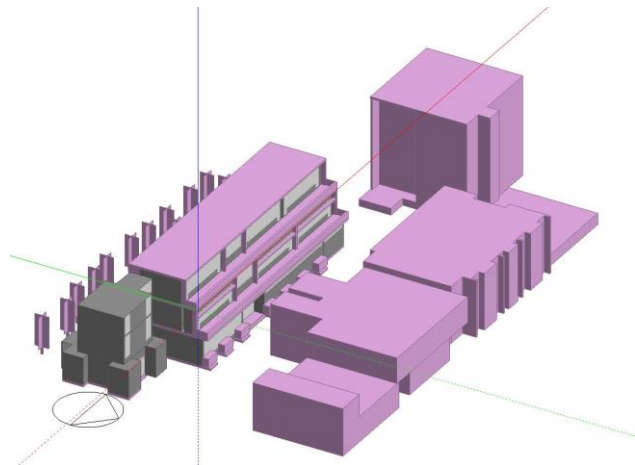
Anexo A.

Modelado de la FAUC en DesignBuilder. Prioridad Bloque E1.



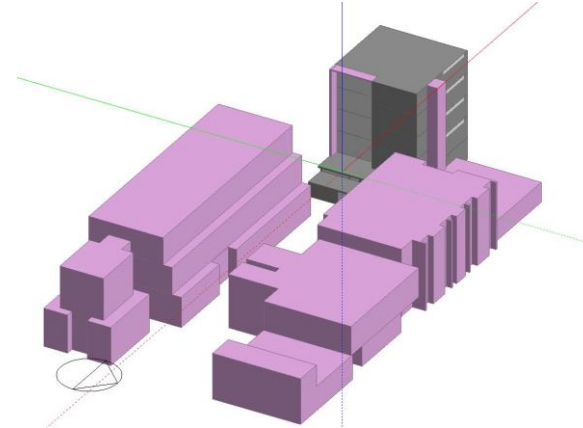
Fuente: DesignBuilder, 2019

Modelado de la FAUC en DesignBuilder. Prioridad Bloque E2.



Fuente: DesignBuilder, 2019

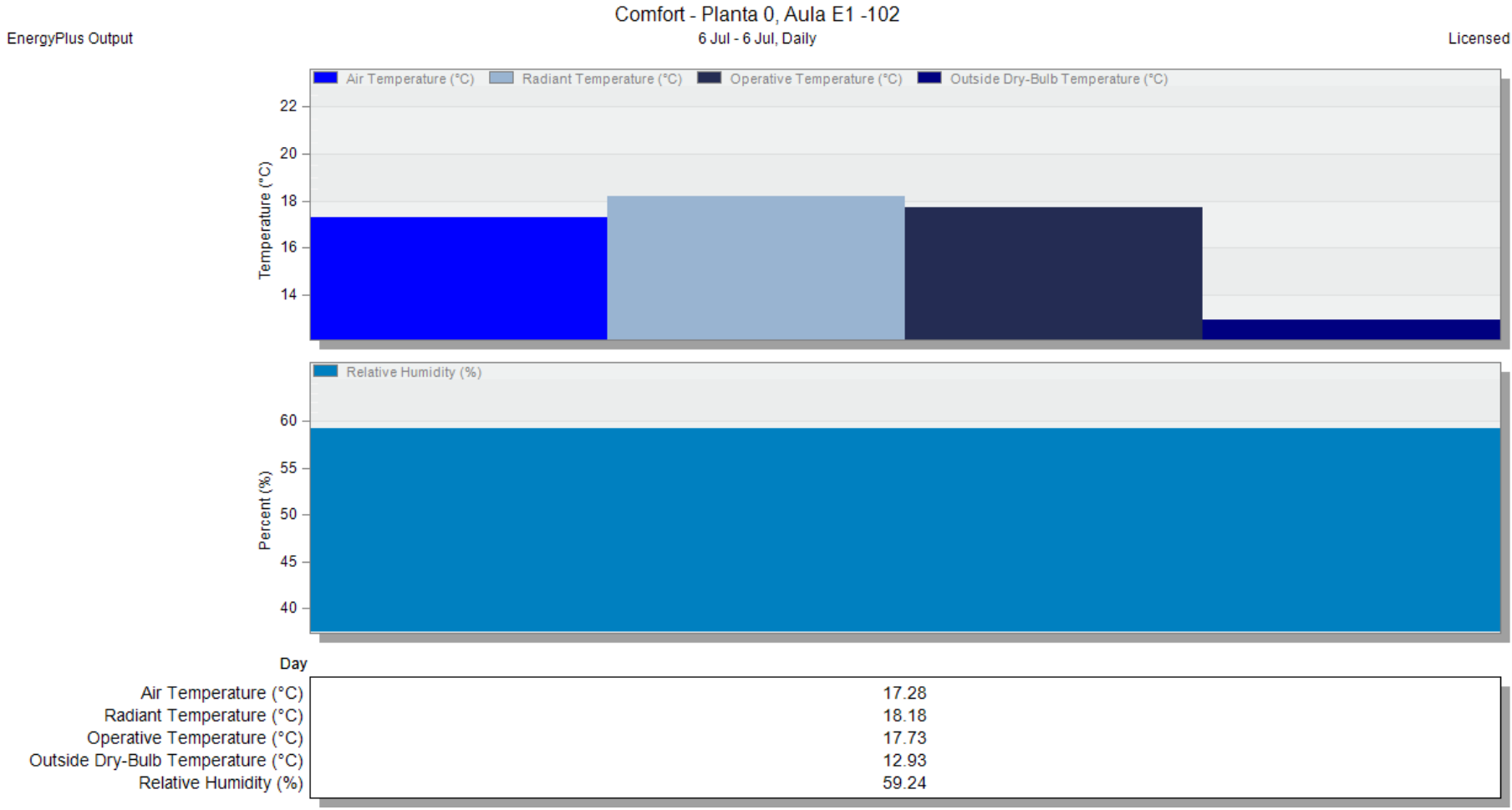
Modelado de la FAUC en DesignBuilder. Prioridad Bloque E3.



Fuente: DesignBuilder, 2019

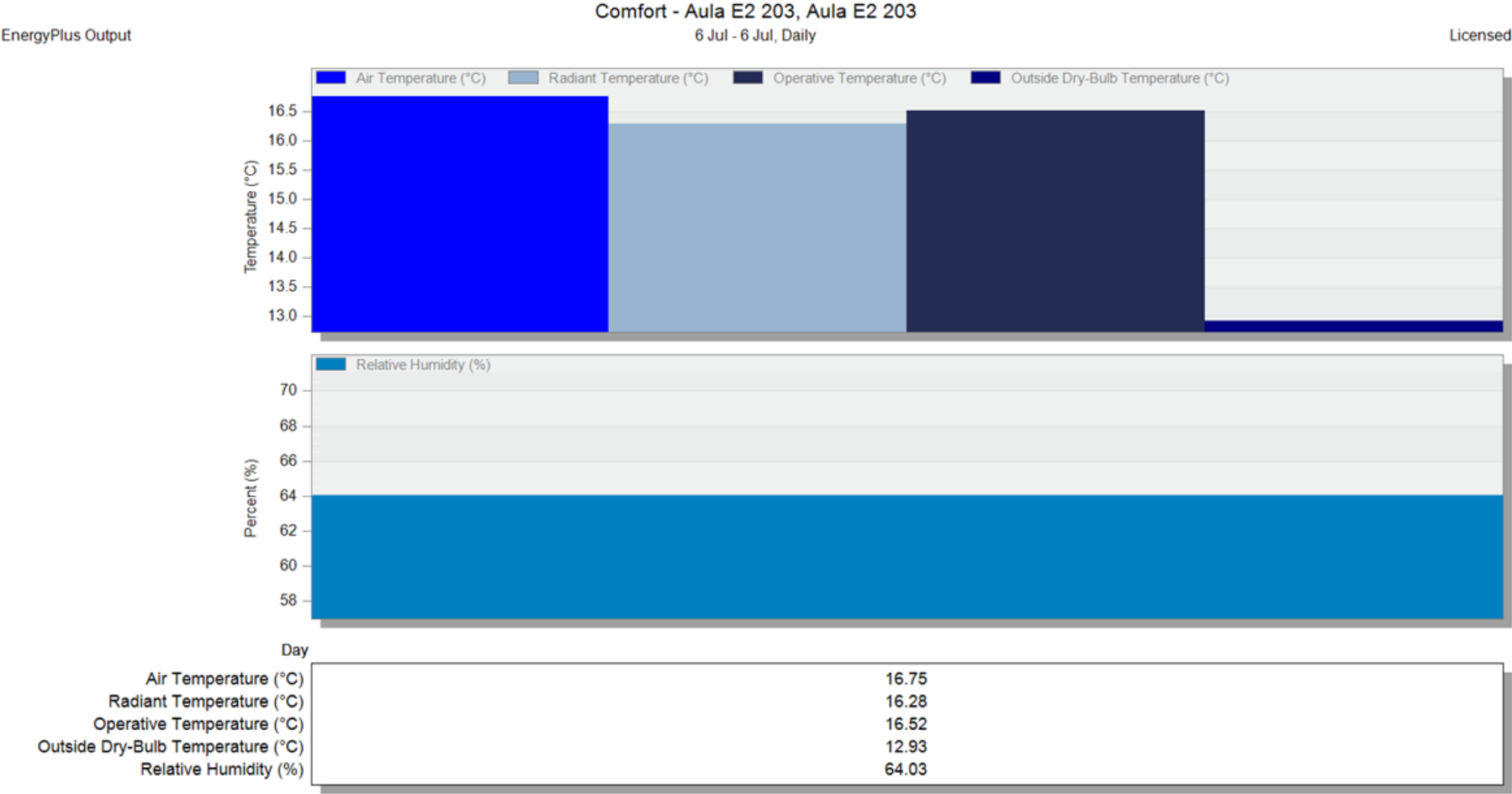
Anexo B.

Resultados de simulación térmica promedio para el 6 de julio del 2022, aula E1 -102. Obtenidos de DesignBuilder.



Fuente: Módulo simulación térmica. DesignBuilder, 2019

Resultados de simulación térmica promedio para el 6 de julio del 2022, aula E2 203. Obtenidos de DesignBuilder.



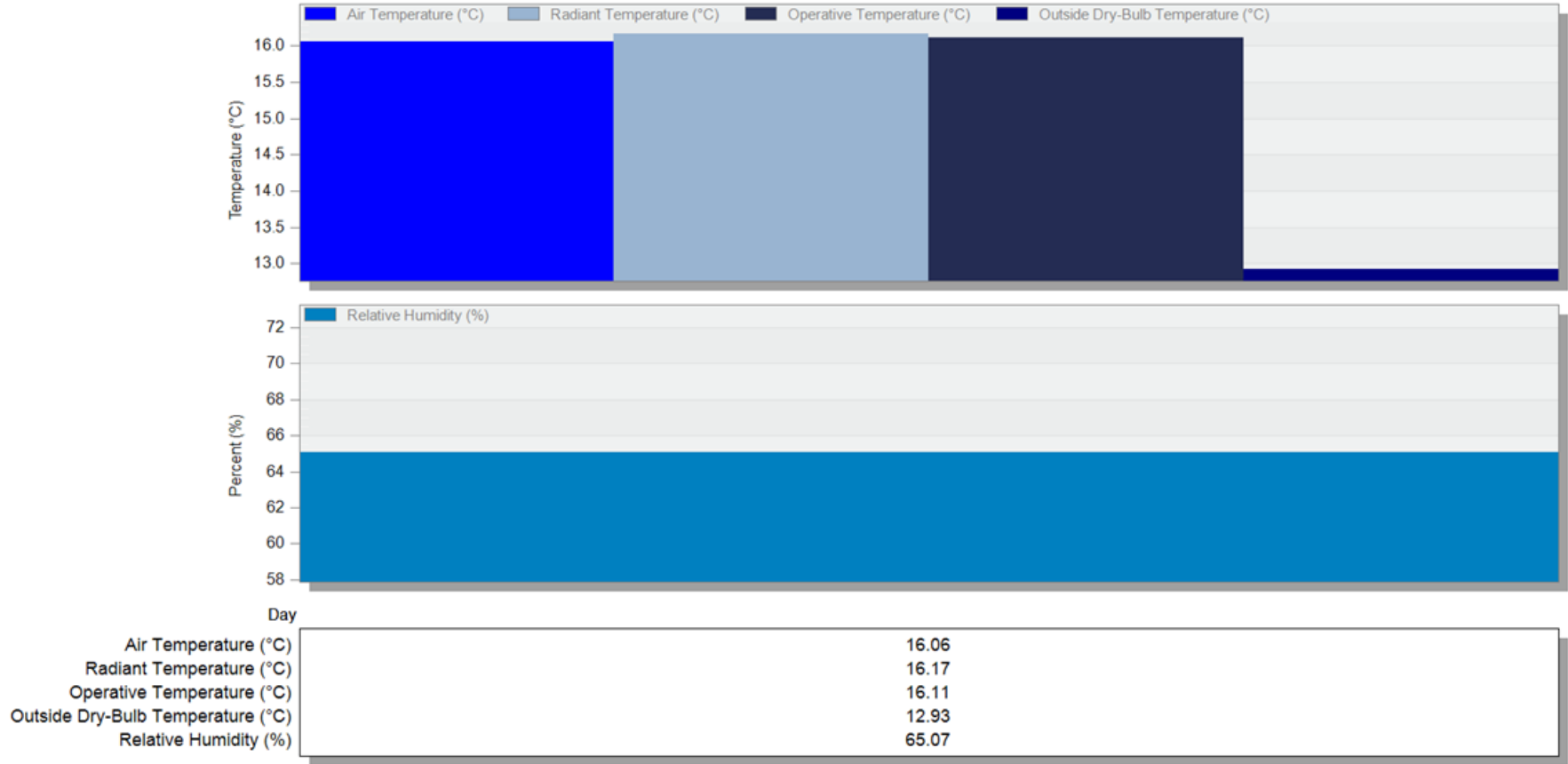
Fuente: Módulo simulación térmica. DesignBuilder, 2019

Resultados de simulación térmica promedio para el 6 de julio del 2022, aula E3 201. Obtenidos de DesignBuilder.

EnergyPlus Output

Comfort - Nivel 3, E3 201
6 Jul - 6 Jul, Daily

Licensed



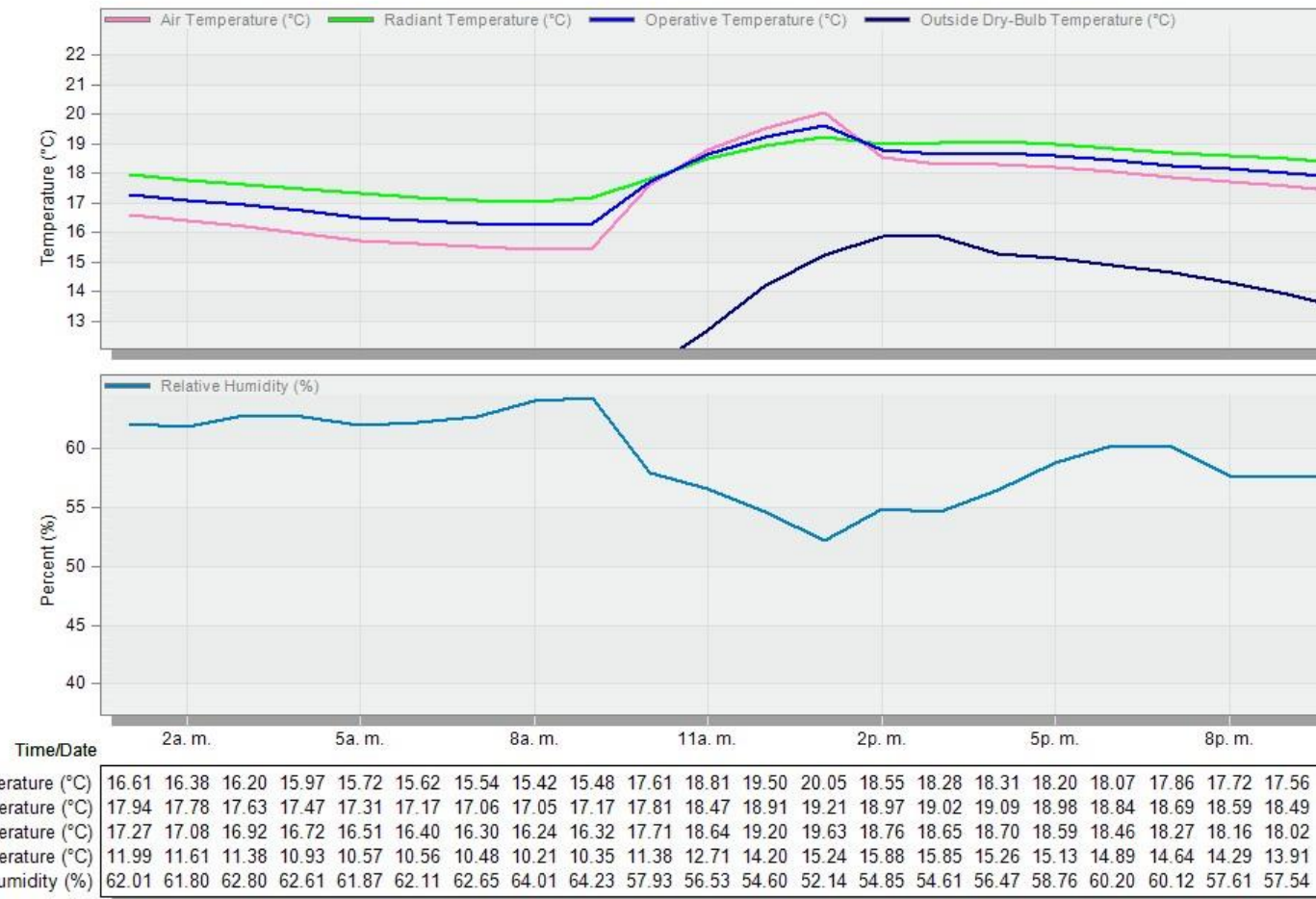
Fuente: Módulo simulación térmica. DesignBuilder, 2019

Anexo C.

Resultados de simulación térmica horaria para el 6 de julio del 2022, aula E1 -102. Obtenidos de DesignBuilder.

EnergyPlus Output

Comfort - Planta 0, Aula E1 -102
6 Jul - 6 Jul, Hourly

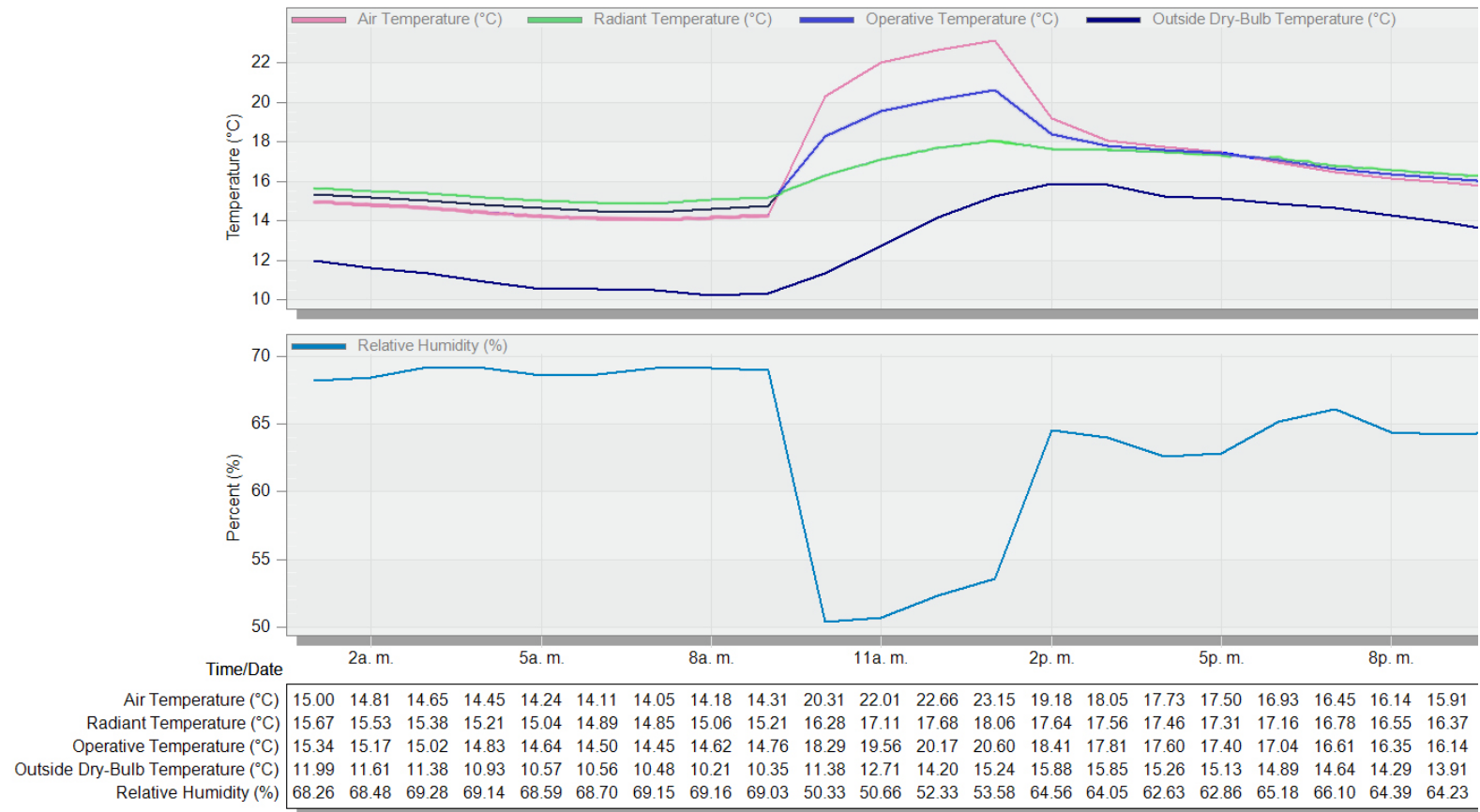


Fuente: Módulo simulación térmica. DesignBuilder, 2019

Resultados de simulación térmica horaria para el 6 de julio del 2022, aula E2 203. Obtenidos de DesignBuilder.

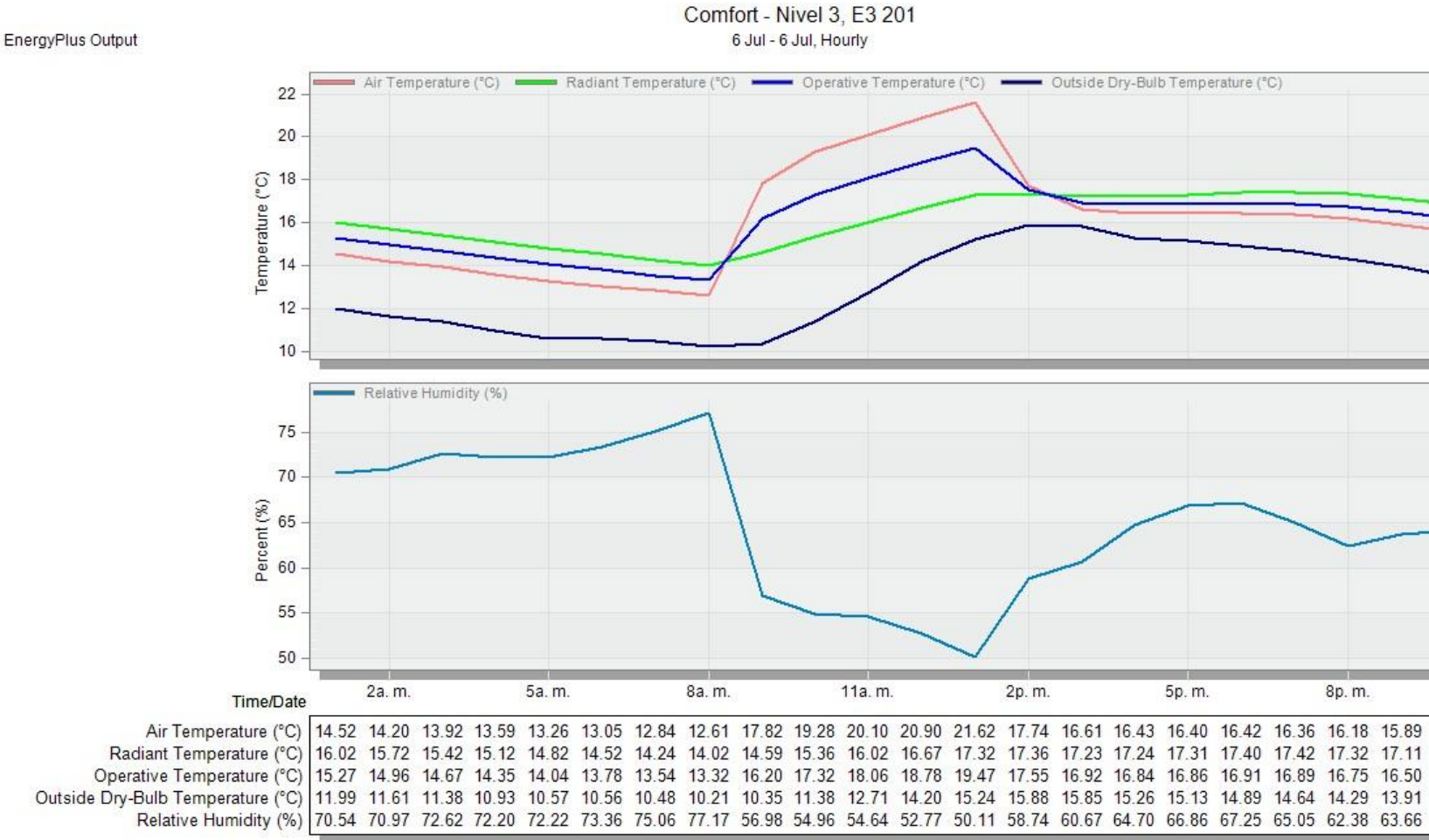
EnergyPlus Output

Comfort - Aula E2 203, Aula E2 203
6 Jul - 6 Jul, Hourly



Fuente: Módulo simulación térmica. DesignBuilder, 2019

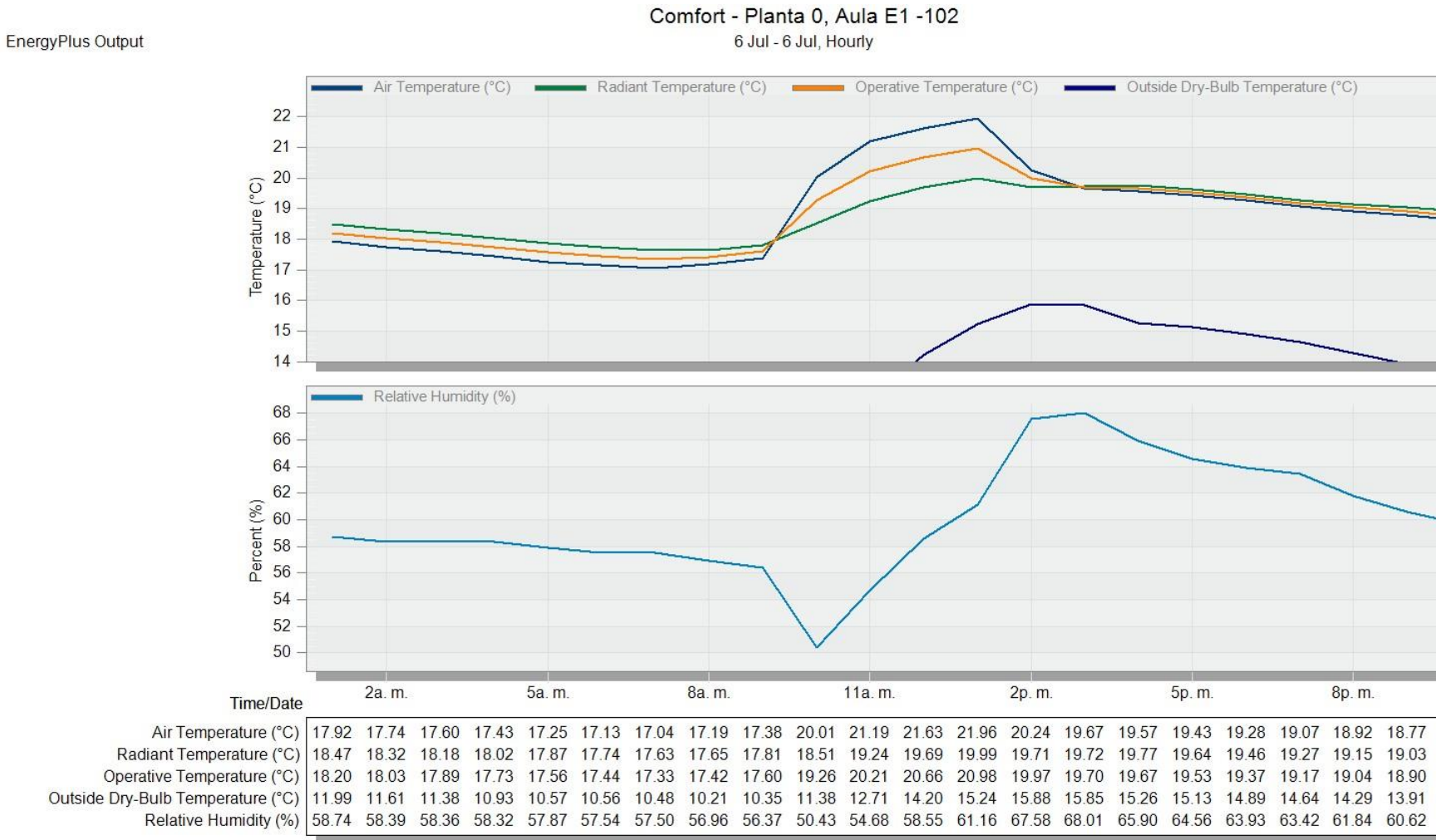
Resultados de simulación térmica horaria para el 6 de julio del 2022, aula E3 201. Obtenidos de DesignBuilder.



Fuente: Módulo simulación térmica. DesignBuilder, 2019

Anexos D.

Resultados de simulación térmica horaria para el 6 de julio del 2022.
Propuesta 1, aula E1 -102. Obtenidos de DesignBuilder.

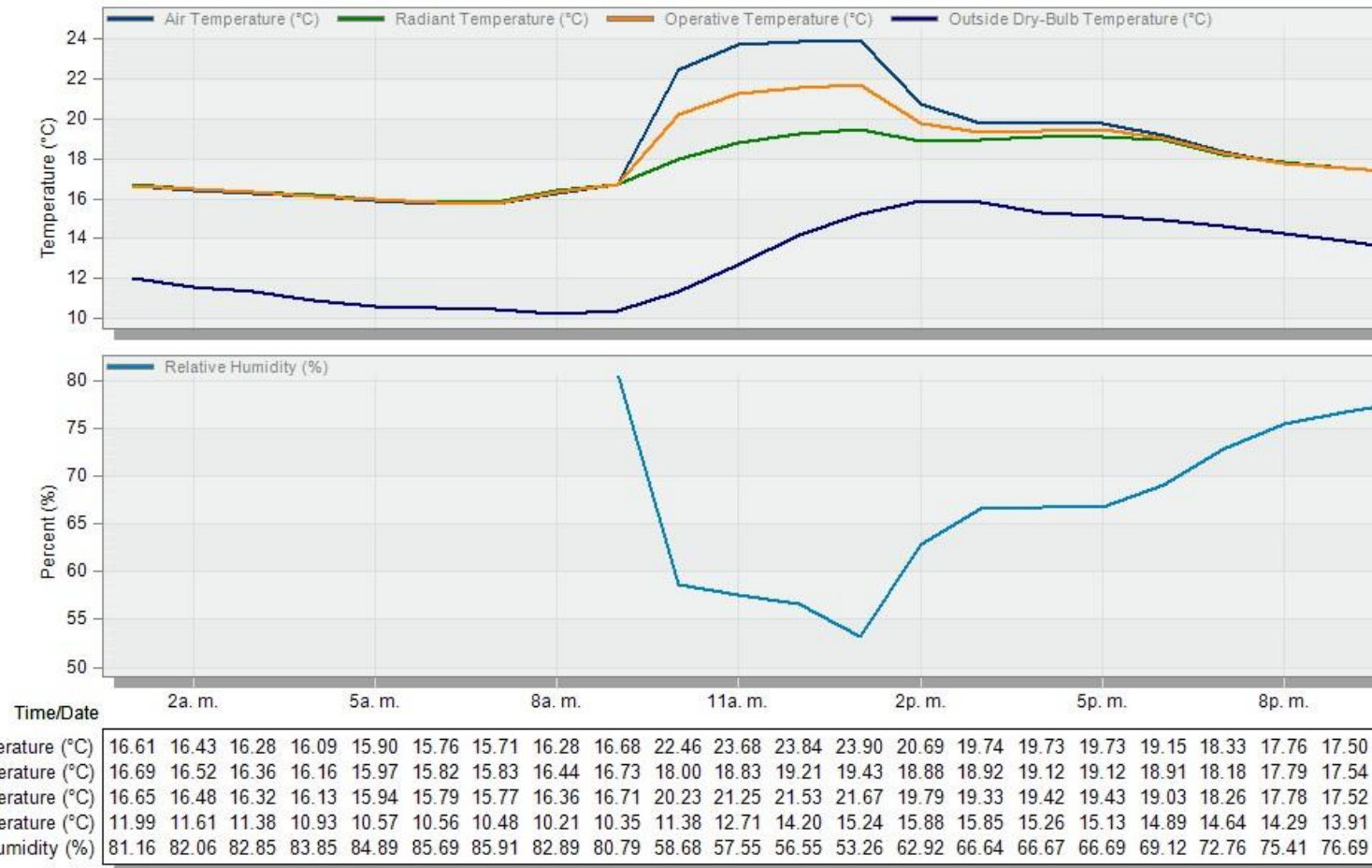


Fuente: Módulo simulación térmica. DesignBuilder, 2019

Resultados de simulación térmica horaria para el 6 de julio del 2022.
Propuesta 1, aula E2 203. Obtenidos de DesignBuilder.

EnergyPlus Output

Comfort - Aula E2 203, Aula E2 203
6 Jul - 6 Jul, Hourly



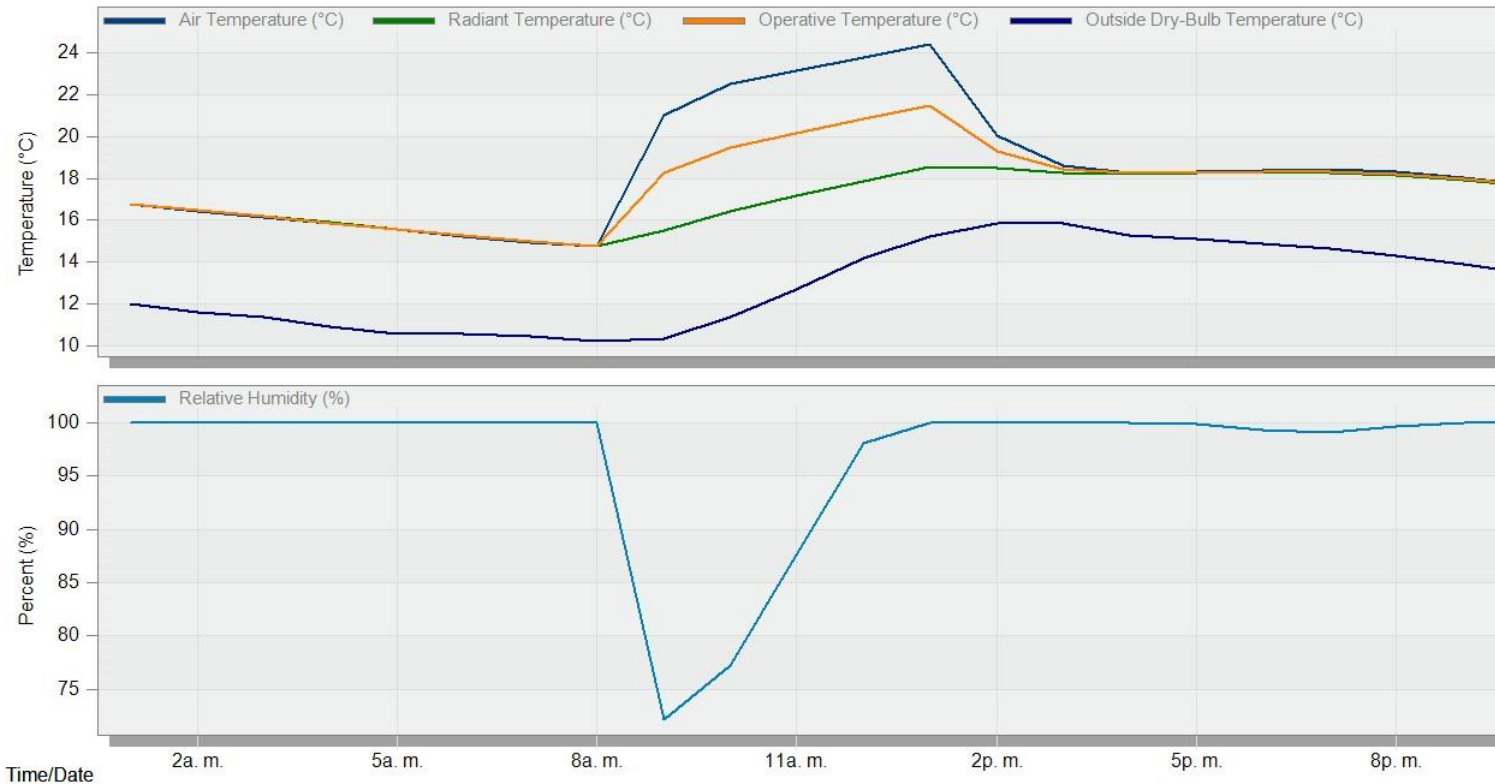
Fuente: Módulo simulación térmica. DesignBuilder, 2019

Resultados de simulación térmica horaria para el 6 de julio del 2022.
Propuesta 1, aula E3 201. Obtenidos de DesignBuilder.

EnergyPlus Output

Comfort - Nivel 3, E3 201

6 Jul - 6 Jul, Hourly



Air Temperature (°C)	16.75	16.45	16.15	15.84	15.54	15.25	14.96	14.75	21.03	22.50	23.17	23.80	24.42	20.03	18.60	18.28	18.31	18.38	18.43	18.32	18.05
Radiant Temperature (°C)	16.80	16.50	16.19	15.89	15.59	15.29	15.00	14.79	15.53	16.45	17.17	17.86	18.52	18.52	18.27	18.22	18.24	18.28	18.27	18.14	17.91
Operative Temperature (°C)	16.77	16.47	16.17	15.87	15.57	15.27	14.98	14.77	18.28	19.47	20.17	20.83	21.47	19.27	18.43	18.25	18.27	18.33	18.35	18.23	17.98
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	11.99	11.61	11.38	10.93	10.57	10.56	10.48	10.21	10.35	11.38	12.71	14.20	15.24	15.88	15.85	15.26	15.13	14.89	14.64	14.29	13.91
Relative Humidity (%)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	72.13	77.26	87.64	98.10	100.00	100.00	100.00	99.99	99.82	99.36	99.05	99.65	100.00

Fuente: Módulo simulación térmica. DesignBuilder, 2019