

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Carrera de Arquitectura

Modelado y mediciones de las condiciones ambientales interiores en edificaciones FAUC

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Arquitecto


Autores:

Freddy Eliecer Ortega Regalado

Luis Fernando Vintimilla Zhingre

Director:

Esteban Felipe Zalamea León

ORCID:  0000-0001-5551-5026

Cuenca, Ecuador

2023-04-03

Modelado y mediciones de las condiciones ambientales interiores en edificaciones FAUC.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Arquitecto

UCUENCA
ARQUITECTURA

Autores:

Freddy Eliecer Ortega Regalado
Luis Fernando Vintimilla Zhingre

Director:

Esteban Felipe Zalamea León

Cuenca, Ecuador 2023



Resumen

Las condiciones ambientales dentro de espacios educativos como temperatura y calidad del aire, son factores determinantes en el desarrollo académico, estos son influenciados por el clima del lugar. En el caso de Cuenca es posible prescindir de sistemas de calefacción y ventilación por el excelente clima durante el año; sin embargo, las extremas variaciones de temperatura provocan momentos fuera de confort. Para el caso de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca, se observó elementos como carpinterías y persianas que permiten intuir la probabilidad de fugas térmicas que pudieran alterar las condiciones internas de confort. El presente estudio busca determinar, a través de simulaciones, las condiciones de confort térmico en espacios interiores de la Facultad, obteniendo así temperaturas internas que serán comparadas con normativas vigentes. Para la realización de este proyecto se hace uso del software ArchiCAD y el plugin Ecodesigner Star. Usando equipos de medición,

se toman las condiciones internas en las aulas y datos climatológicos, indispensables para establecer criterios de análisis, creación de ficheros y demás datos para la simulación. Finalmente, se compara la información obtenida en la simulación con los datos medidos. Se simularon un total de 26 aulas, para el análisis se consideró un aula por cada bloque de la Facultad. Se concluye que, existen desfases en los niveles de temperatura en horas de la mañana, por la tarde estos niveles se ajustan a los requerimientos normativos. La condición más desfavorable se da en el aula E2 203, que presenta temperaturas más bajas y un porcentaje de error de 16% con respecto a la comparación entre datos medidos y simulados. Sin embargo, se demostró la fiabilidad del software, que en la comparación global mostró un promedio del 9%. Además, se obtiene información clave, como valores de infiltración y datos de entrada, estableciendo referentes para futuros proyectos similares.

Palabras clave:

clima ecuatorial andino, espacios educativos, confort térmico, infiltración, Ecodesigner Star

UCUENCA

UCUENCA

Abstract

The environmental conditions within educational spaces such as temperature and air quality are determining factors in academic development, these are influenced by the climate of the place. In the case of Cuenca, it's possible to set aside heating and ventilation systems due to the excellent climate during the year; however, extreme temperature variations can cause moments of uncomfort. In the case of the Faculty of Architecture and Urbanism of the University of Cuenca, elements such as carpentry and blinds were observed, to intuit the probability of thermal leaks that could alter the internal comfort conditions. This study seeks to determine, through simulations, the thermal comfort conditions in interior spaces of the faculty, thus obtaining internal temperatures that will be compared with current regulations. To carry out this project, software's such as ArchiCAD and Ecodesigner Star plugin are used. The internal conditions in the classrooms and climatological data are taken using measuring equipment, essential to esta-

lish analysis criteria, file creation and other data for the simulation. Finally, the information obtained in the simulation is compared with the measured data. A total of 26 classrooms were simulated, one classroom for each block of the faculty was considered for the analysis. It is concluded that, there are discrepancies in temperature levels in the morning hours, in the afternoon these levels are adjusted to the regulatory requirements. The most unfavorable condition occurs in room E2 203, which presents lower temperatures and an error rate of 16% in relation to measured and simulated data. However, the reliability of the software was demonstrated, which in the global comparison showed an average of 9%. In addition, key information is obtained, such as infiltration values and input data, establishing benchmarks for future similar projects.

Keywords:

andean equatorial climate, educational spaces, thermal comfort, infiltration, Ecodesigner Star

1. Capítulo I Generalidades

1.1 Introducción	11
1.2 Hipótesis	12
1.3 Objetivos	13
1.3.1 Objetivo general	13
1.3.2 Objetivos específicos	13
1.4 Antecedentes	14
1.5 Justificación	16
1.6 Metodología	18
1.6.1 Levantamiento de información y modelado	18
1.6.2 Perfil general y específico	18
1.6.3 Elección de fechas y aulas analizadas	19
1.6.4 Fichero climático	19
1.6.5 Simulación y resultados	19

2. Capítulo II Aspectos conceptuales

2.1 Arquitectura bioclimática	23
2.1.1 Origen e historia	23
2.1.2 Conceptualización	24
2.1.3 Objetivos bioclimáticos	24
2.1.4 Estrategias o técnicas bioclimáticas	25
2.1.5 Edificios energéticamente sostenibles	26
2.1.6 Situación en Ecuador	26
2.2 Confort	27
2.2.1 Confort térmico	27
2.2.2 Parámetros de confort	28
2.2.3 Transmisión de calor a través de envolventes	29
2.2.4 Coeficiente de transmisión de calor	29
2.2.5 Resistencia térmica (R)	29
2.2.6 Transmitancia térmica (U)	30
2.2.7 Transmitancia térmica en paquetes constructivos	30
2.2.8 Confort en espacios educativos	31
2.2.9 Métodos para medir el confort	32
2.2.10 Normativas estándares	33
2.3 Clima	34
2.3.1 Clima Ecuador	34
2.3.2 Clima Cuenca	35
2.3.3 Confort Cuenca	36
2.4 Metodología BIM	37
2.4.1 ArchiCAD	38
2.4.2 Ecodesigner	39
2.5 Situación actual FAUC	39

3. Capítulo III Modelado virtual de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo

3.1 Levantamiento del sitio	43
3.1.1 Planos del lugar	43
3.1.1.1 Planta de subsuelo	43
3.1.1.2 Planta baja	43
3.1.1.3 Primera planta alta	43
3.1.1.4 Segunda planta alta	43
3.1.1.5 Tercera planta alta	43
3.2 Mediciones constructivas	49
3.2.1 Bloque E1 y bloque E2	49
3.2.3 Bloque E3 (Ampliación)	51
3.3 Propiedades físicas y térmicas de los materiales	53
3.4 Creación del modelo virtual en ArchiCAD	57
3.5 Parámetros de ocupación y condiciones climáticas	63
3.5.1 Elaboración de fichas	66
3.5.2 Ocupación aula E1 -102	67
3.5.3 Ocupación aula E2 203	68
3.5.4 Ocupación aula E3 201	69

4. Capítulo IV Simulación energética en Ecodesigner

4.1 Modelado de zonas térmicas	73
4.1.1 Planta de subsuelo	74
4.1.2 Planta baja	75
4.1.3 Primera planta alta	76
4.1.4 Segunda planta alta	77
4.1.5 Tercera planta alta	78
4.1.6 Axonometría zonas bloque E1	79
4.1.7 Axonometría zonas bloque E2	80
4.1.8 Axonometría zonas bloque E3	80
4.2 Ajustes de parámetros en bloques térmicos	81
4.2.1 Ventilación natural	81
4.2.2 Aberturas	81
4.2.3 Estructuras	81
4.2.4 Infiltración	82
4.2.5 Asignación de perfil	82
4.2.6 Comprobación del modelo	82
4.3 Asignación del clima y definiciones del entorno	85

5. Capítulo V Análisis y resultados

5.1 Resultados	89
5.1.1 Lectura de gráficos	89
5.1.2 Análisis perfil general FAUC	89
5.1.3 Análisis perfil específico FAUC	91
5.2 Comparación	93
5.2.1 Comparación con datos medidos de confort	93
5.2.2 Comparación con normas vigentes de confort	94

6. Capítulo VI Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones	97
6.2 Recomendaciones	98
6.3 Referencias	99
6.4 Referencia de imágenes	103
6.5 Gráficos y Tablas	105
6.6 Anexos	108
Anexo A. Promedio de áreas	108
Anexo B. Temperaturas registradas	108
Datos medidos en sitio	109
Anexo C. DMS E1 -102	109
Anexo D. DMS E2 203	110
Anexo E. DMS E3 201	111
Cálculo de error	112
Anexo F. CE E1 -102	112
Anexo G. CE E2 203	113
Anexo H. CE E3 201	114
Anexo I. CE General	114
Horarios levantados	115
Anexo J. HL E1 010	115
Anexo K. HL E1 011	115
Anexo L. HL E1 014	116
Anexo M. HL E1 -108	116
Anexo N. HL E1 -106	117
Anexo O. HL E2 204	117
Anexo P. HL E2 003	118
Anexo Q. HL E3 201	118
Anexo R. HL Ocupación	118

UCUENCA

Dedicado a:

A mis padres, **Fernando** y **Sonia**.

Gracias por todo su esfuerzo y apoyo durante mi proceso académico, por enseñarme a depender de **Dios**, quien me dio la capacidad para hacer este trabajo.

A mis hermanos **Pablo** y **Karen**, por su ayuda y por estar siempre presentes.

A mi **familia** y **amigos**.

Freddy Eliecer

A **Dios**,

Por la vida, bendecirme y ayudarme en cada momento,

A mis padres **Pablo** y **Irene**,

Por brindarme de su amor, apoyo y enseñanza para seguir adelante,

A mis hermanos **Gabriela** y **Pablo**,

Por creer y ayudarme en este trayecto,

A **mis amigos**, en especial a **Erika**, **Karen** y **Christian**,

Por su amistad, ayuda y compromiso.

Luis Fernando

UCUENCA

Agradecimientos a:

Arq. Esteban Zalamea León, por la guía y apoyo brindado en el desarrollo de este trabajo.

Ing. Mateo Astudillo, por su aporte y colaboración técnica.



CAPÍTULO 1

1.1 Introducción

Las condiciones ambientales dentro de espacios educativos como temperatura y calidad del aire, son factores determinantes en el desarrollo académico de los estudiantes, mediante investigaciones se ha podido determinar los valores óptimos para poder dotar de confort al interior de las aulas.

El confort se puede garantizar con un buen diseño arquitectónico haciendo uso de estrategias pasivas. Hoy en día, gracias al avance tecnológico, existen softwares digitales que permiten a través de análisis cuantitativos predecir el comportamiento ambiental de un edificio. Si se trata de edificios existentes, la intervención mediante estrategias pasivas o la implementación de sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC), ayudan a regular el ambiente interior mejorando el confort. Esta última alternativa supone el uso de recursos energéticos, algo que hoy en día se tiene que evitar debido al gran impacto que genera sobre el medio ambiente.

El clima es un factor fundamental ya que influye directamente en las condiciones ambientales al interior de las aulas. Existen casos como el clima de Cuenca - Ecuador cuya condición ecuatorial en altura permite variaciones diarias, y existen solo dos estaciones invierno (temporada lluviosa) y verano (temporada seca), investigaciones demuestran que en esta ciudad el uso de sistemas HVAC es mínimo; sin embargo, se usa para aumentar el confort.

Otro aspecto importante a considerar es el sistema constructivo del edificio, es decir, las propiedades térmicas de los materiales empleados permiten o no mantener las condiciones adecuadas para los estudiantes. Esto también está determinado por las ganancias internas que pueden darse por el número de estudiantes y la presencia de equipos eléctricos, así como el tiempo de uso de los espacios.

Conociendo esto, surge la necesidad de determinar las condiciones ambientales dentro de los espacios interiores de la Facultad de Arquitectura

y Urbanismo de la Universidad de Cuenca (FAUC), cuyos edificios, en donde se desarrollan actividades tanto académicas como administrativas, no cuentan con sistemas de climatización, algo normal en este clima ecuatorial andino, los materiales predominantes en la envolvente son el ladrillo y el bloque.

Para esto, es posible usar software de simulación que permita modelar, analizar y comprender el comportamiento ambiental de los edificios FAUC, determinando si las condiciones ambientales son óptimas para el aprendizaje de los estudiantes.

UCUENCA

UCUENCA

1.2 Hipótesis

Bajo las condiciones de diseño y construcción de las actuales edificaciones de la FAUC en un clima ecuatorial andino, existen desfases en los niveles de confort térmico interior, los cuales pueden ser establecidos con el software de simulación térmica de BIM pudiendo ser comparados con los estándares de confort térmico.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Determinar las condiciones de confort térmico dentro de espacios interiores en edificaciones FAUC, obtenidos mediante simulaciones virtuales utilizando software de modelado BIM.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Analizar conceptos de eficiencia energética, metodología BIM y normas vigentes de confort para el clima del contexto de estudio.
2. Crear un modelo virtual de los tres edificios de la FAUC, precisando detallar propiedades de los materiales, dimensiones y contexto climático, así como datos e información de los parámetros de confort necesarios para ejecutar la simulación.
3. Realizar simulaciones de parámetros de confort térmico mediante el software Ecodesigner Star, permitiendo entender el comportamiento ambiental de los espacios interiores de la FAUC.
4. Determinar si las condiciones ambientales de espacios interiores en los edificios de la FAUC cumplen con los estándares de confort térmico establecidos en norma.

1.4 Antecedentes

En ambientes educativos, la temperatura y calidad del aire son parámetros que permiten mejorar el aprendizaje, ya que, están relacionados con la actividad intelectual (Ruiz, 2018). Diversos estudios a nivel mundial muestran la relación directa entre la calidad del ambiente interior en un aula y el aprendizaje de los alumnos, donde la temperatura desempeña un papel fundamental, influyendo en el rendimiento por problemas de distracción o mala comprensión (Muñoz, 2018). La zona climática influye de manera significativa en la percepción y preferencia térmica de los estudiantes, es por esto fundamental el diseño de edificios enfocados en garantizar el confort térmico teniendo en cuenta las condicionantes climáticas. Esto se presenta como un reto en el ámbito nacional y América Latina, el cual debe ser fomentado a través de un aprendizaje que permita propiciar un cambio en la forma de construir las ciudades.

Existe una serie de criterios y estrategias de diseño que permiten brindar confort, así como el uso de HVAC que en muchos casos es indispensable debido a las extremas condiciones climáticas. En el caso de Cuenca - Ecuador el clima permite prescindir de sistemas de calefacción y ventilación; sin embargo, las extremas variaciones de temperatura provocan que dentro de las edificaciones se den momentos fuera de confort, siendo este uno de los aspectos más importantes en el desarrollo de actividades ya sea de tipo residencial, educativa, laboral, etc.

Actualmente, se facilita la construcción de edificios con adecuados niveles de confort, utilizando herramientas de modelado BIM que hoy en día han integrado funciones capaces de realizar análisis para predecir el comportamiento ambiental, así como medir el confort a través de simulaciones energéticas por computador. De igual manera, existen los métodos de evaluación que determinan el comportamiento y desempeño ambiental de un edificio (Quesada, 2014). Todo esto se

UCUENCA

basa bajo estándares y normativas que indican criterios de diseño para alcanzar niveles de confort, así como consideraciones en cuanto al desempeño energético del edificio (Espinoza, 2018).

Sin embargo, al tratarse de herramientas e instrumentos propios de la era digital, que empieza su desarrollo a principios del año 2000 (Ghaffarianhoseini et al., 2017), muchas de las edificaciones construidas décadas anteriores no precisamente fueron diseñadas usando esta tecnología, esto sumado al hecho de que se consideraba mayormente aspectos espaciales y económicos, el confort se alcanzaba mediante sistemas HVAC que eran posibles gracias a la gran disponibilidad de energía. Esto desencadena una serie de factores como el uso de recursos no renovables y un mayor gasto económico que no permiten un desarrollo sustentable de las ciudades.

Tal es el caso de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca, cuya construcción data de 1977 y cuenta con un proyecto

de ampliación llevado a cabo en 2007 (Ramos, 2012). Actualmente se conforma de 3 bloques en donde se desarrollan actividades académicas y administrativas con un promedio de 700 estudiantes por semestre.

El problema radica en el desconocimiento de los niveles de confort dentro de los espacios interiores de la Facultad. No obstante, existe la percepción por parte de los usuarios de un sobreenfriamiento especialmente temprano en la mañana. Para esto es necesario utilizar las herramientas indicadas anteriormente para poder, a través de simulaciones, determinar si se cumple con los estándares de confort dentro de espacios educativos. Es entonces que surge este proyecto de titulación que consiste en el levantamiento de información en sitio, modelado de los edificios FAUC y análisis de las condiciones térmicas internas de las aulas mediante la utilización del software Ecodesigner Star de Graphisoft.

El presente trabajo servirá como base del proyecto de investigación

UCUENCA

“Modelado y mediciones de condiciones ambientales interiores e integración de energía solar, para alcanzar el Estándar Net-Zero en Edificaciones FAUC”, que se realiza en la Facultad. Además, aportará un beneficio de gran importancia en el ámbito educativo y profesional, ya que permitirá ser un punto de partida para futuras mediciones de confort en diferentes contextos educativos y lugares del país.

1.5 Justificación

El confort y el ahorro energético forman parte del amplio concepto de arquitectura sustentable, que se enfoca en lograr una reducción de energía a través del diseño de espacios confortables (Diez, 2020). Este debe acompañarse de una serie de estrategias pasivas, que parten de las características propias del lugar como la correcta orientación, ventilación, cubiertas vegetales, etc.

ArchiCAD de Graphisoft, es uno de los dos mejores softwares de diseño BIM (Bonomolo, M. 2021), el cual

tiene integrado Ecodesigner Star, un plugin que permite realizar el cálculo de puentes térmicos y ayuda a pre-determinar la temperatura interna, así como identificar aquellos detalles en el diseño que son responsables de la pérdida de calor y que pueden causar condensación y otros efectos no deseados (Graphisoft®, 2021), su motor de cálculo VIP-Core cuenta con certificación LEED Energy bajo la normativa ASHRAE. Este complemento permite trabajar en armonía con la herramienta de diseño BIM, lo que facilita el flujo de trabajo al momento de realizar la simulación. Para esto es necesario un correcto modelado, es decir, existe una serie de consideraciones de dibujo que permiten obtener un cálculo preciso como las especificaciones de materiales, definición de áreas, y ubicación del proyecto. Existe también el software Design Builder, un programa independiente que utiliza el motor Energy Plus, capaz de analizar un edificio en condiciones dinámicas desde el punto de vista energético.

UCUENCA

En Bonomolo (2021), se analiza la herramienta Ecodesigner Star de ArchiCAD, determinando la interacción entre el modelado BIM y la simulación energética con resultados satisfactorios desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo. Una de las ventajas que destaca este estudio, es la eficiente transición e interpretación desde la información del modelado BIM (Building Information Modeling) al BEM (Building Energy Model). En Musau (2019), se hace una comparación entre diferentes softwares, determinando que ArchiCAD resulta tener una mayor ventaja al incluir una herramienta de análisis energético dentro de la propia interfaz; sin embargo, también se logra determinar falencias al momento de comparar los valores calculados con los medidos en sitio, esto con respecto al valor U de transmitancia térmica. Por eso, es necesario contrastar dichas simulaciones con datos reales, ya que, esto podrá comprobar la fiabilidad del software frente a la realidad. Por lo que, utilizando los equipos y capacidades que dispone la Facultad (bloques construidos con programa funcional preciso,

estación climática instalada, equipos de medición ambiental, software para modelado), se hace posible realizar esta investigación, simulando niveles de confort ambiental.

Para el caso de la Facultad se ha podido observar elementos constructivos, como carpinterías y persianas, que permiten intuir la probabilidad de fugas térmicas que pudieran alterar las condiciones internas de confort, y por ende, afectar el desarrollo adecuado de las actividades en las edificaciones.

En el país existen normativas que indican valores óptimos para espacios educativos, como la norma ISO 7730; no obstante, en Cuenca se han realizado estudios de confort que difieren de esta norma. En este proyecto se tomará en cuenta ambas referencias, esto es importante ya que nos permite tener dos perspectivas para el análisis, y sobre todo resultados en base a condiciones de confort propias del contexto local.

UCUENCA

Para la elaboración de este trabajo de titulación es necesario conocer cuáles son las herramientas y procesos más factibles en la actualidad para poder obtener los mejores resultados de simulación energética de la edificación, es por eso que anteriormente se hace referencia a investigaciones y datos que muestran resultados aplicables al proyecto.

1.6 Metodología

Como se mencionó anteriormente, este 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", en el que durante el periodo académico marzo-agosto 2022 y usando equipos de medición (Ver imagen 01 y 02), se tomó las condiciones internas de confort en las aulas como temperatura, nivel de CO₂, radiación y humedad. Al mismo tiempo, se obtuvo datos climatológicos mediante la estación ubicada en la cubierta del bloque de postgrados (Ver imagen

03). Gracias a esta información se pudo ingresar datos tomados en sitio; obteniendo así, resultados más cercanos a la realidad.

1.6.1 Levantamiento de información y modelado

Primero, se realizó el levantamiento de información necesaria para el modelado de los edificios de la facultad como: planos, detalles constructivos, propiedades físicas y térmicas de los materiales, contexto, etc. Segundo, se modelaron los edificios de la facultad en el software ArchiCAD.

1.6.2 Perfil general y específico

Para el análisis se elaboraron dos perfiles, uno general y uno específico. Para el perfil general, se estableció un promedio de área para todas las aulas y una ocupación en base al horario de clase. Para el perfil específico, se consideró el área específica para cada aula analizada, y con la información proporcionada de nivel de CO₂, se estableció



IMAGEN 01 Equipos de medición de CO₂.
FUENTE: Propia.



IMAGEN 02 Equipos de medición instalados en aulas.
FUENTE: Propia.



IMAGEN 03 Estación climatológica FAUC.

FUENTE: Propia.

el horario real en el que los estudiantes permanecieron en el aula.

1.6.3 Elección de fechas y aulas analizadas

Gracias a las condiciones internas tomadas en sitio, se determinó las aulas que presentaron las temperaturas más bajas en los periodos de toma de datos, esto debido a que en el contexto de estudio, el discomfort es más probable con temperaturas bajas. La fecha de análisis se determinó por el valor de CO₂ más alto registrado. Se analizó un aula por cada bloque, a las que se les asignó ambos perfiles con el fin de realizar una comparación entre ambos casos.

1.6.4 Fichero climático

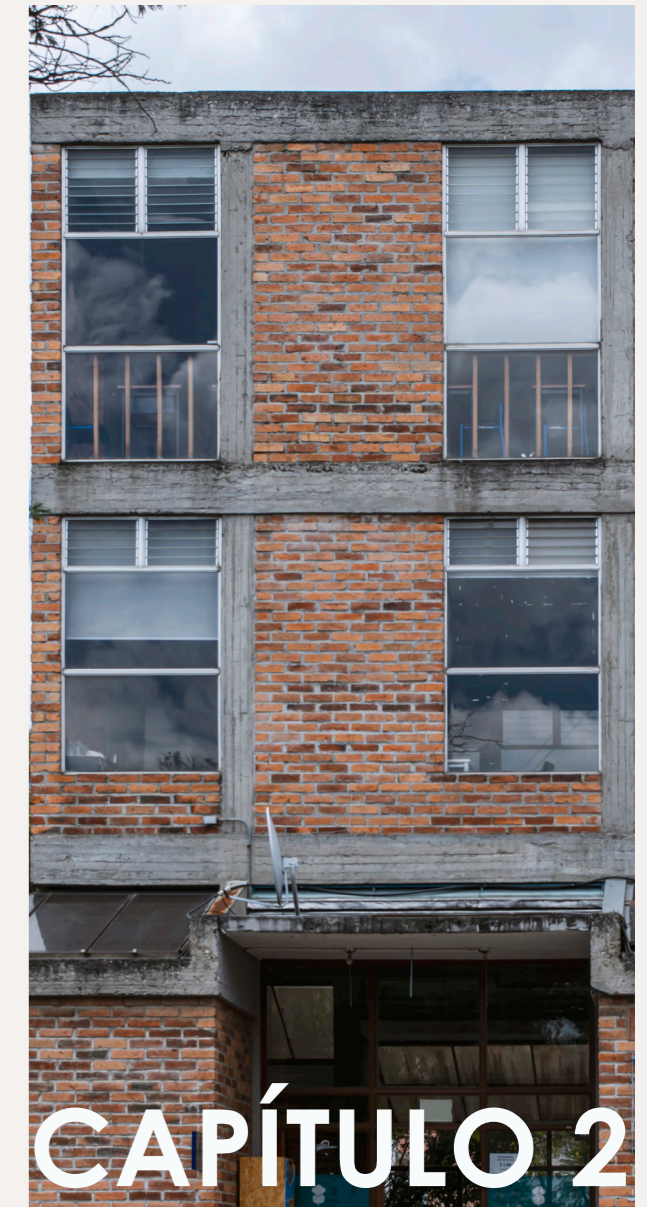
Para la elaboración del fichero climático se utilizó la información proporcionada por la estación climatológica (Ver imagen 03), y al no contar con todos los datos, se complementó mediante un fichero de la ciudad. Para ello, fue necesario hacer uso de una

plantilla y la conversión del archivo .epw a .csv, con el fin de poder editar la información.

1.6.5 Simulación y resultados

Los resultados obtenidos en la simulación se comparan con los datos medidos en sitio, y en base a las normas vigentes de confort para el clima del contexto de estudio.

UCUENCA



CAPÍTULO 2

UCUENCA

2.1 Arquitectura bioclimática

2.1.1 Origen e historia

Podemos decir que se origina en la era primitiva, cuando el hombre en su necesidad de protegerse del frío o calor buscaba mediante recursos naturales (pieles de animales, cuevas, etc.) sentirse en confort y lograr un bienestar (Rodenas, 2021). Sin embargo, es alrededor de los años 60 que Víctor Olgyay introduce las primeras investigaciones sobre la relación que existe entre el hombre, el clima y la arquitectura. Estas serían las bases teórico-prácticas de la arquitectura bioclimática.

Luego, esta empieza su desarrollo debido a diversos sucesos que iniciaron desde la revolución industrial, como la generación de grandes cantidades de CO₂, la invención del automóvil, la producción en masa, la climatización interior artificial, la crisis del petróleo, etc. Esto fue generando una problemática ambiental que fue creciendo ya que se recurre cada vez más al uso de recursos naturales sobre todo en paí-

ses desarrollados. Hoy en día, el sector de la construcción representa a nivel mundial aproximadamente el 40% del consumo energético (Rubiano, 2016).

Es así que, surge una preocupación por parte de organizaciones ambientales como la Organización de Naciones Unidas (ONU), los cuales comienzan a realizar investigaciones para formular documentos y así mediante cumbres internacionales se comienza a introducir poco a poco el interés por lograr una arquitectura más sostenible. De igual manera se crea la literatura por varios autores como: Olgyay, Givoni, Szokolay, etc., quienes mediante libros y artículos manifiestan las diversas metodologías y estrategias referentes al diseño bioclimático (Salazar, 2011).

Muchos países comienzan a adoptar estos documentos con el fin de enseñar en las universidades, para así poder fomentar el aprendizaje de una nueva forma de diseñar y construir en arquitectura (Salazar, 2011). Se empieza a tomar en cuenta la relación con el entorno natural, el uso de nuevas tec-

UCUENCA

nologías y la responsabilidad con el cuidado del medio ambiente (Ver imagen 04).

2.1.2 Conceptualización

La arquitectura bioclimática se basa en el diseño que aprovecha los condicionantes del lugar (clima, orientación, topografía, etc.), con el fin de lograr un proyecto que responda adecuadamente a estos factores para no alterar en lo posible el entorno natural, y a su vez, brindar confort a sus habitantes.

“Se refiere a un proceso de diseño que se desarrolle con la naturaleza y no contra o al margen de ella” (Tudela, 1982).

La arquitectura sustentable está enfocada a lograr un ahorro energético, este debe entenderse no como una reducción del consumo de energía, sino más bien una reducción de la demanda energética a través de una serie de estrategias involucradas en el diseño (Diez, 2020).

Según el diccionario etimológico, la palabra bioclimática proviene del griego bios (vida) y klima (inclinación al sol, condiciones medioambientales) más el sufijo -tico (relativo a).

2.1.3 Objetivos bioclimáticos

- Lograr condiciones óptimas de temperatura, humedad, movimiento y calidad del aire en el espacio ambiental interior, para confort del usuario.
- Usar eficientemente los recursos naturales, y proteger al medio ambiente mediante la aplicación de tecnologías que puedan lograr una arquitectura de confort para el hombre.
- Disminuir la demanda energética de las edificaciones, al utilizar recursos de diseño arquitectónico que permitan prescindir de climatización artificial, y procurar el autoconsumo energético (Narváez, 2015; Salazar, 2011).

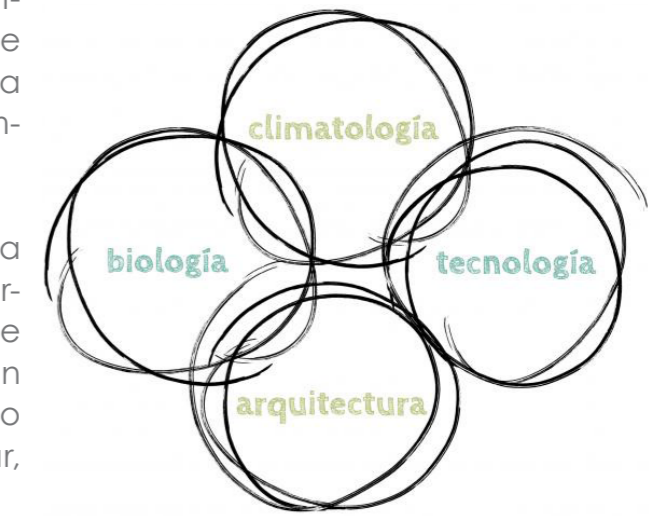


IMAGEN 04 Relaciones de la arquitectura bioclimática.
FUENTE: Ruiz, 2019.

UCUENCA

2.1.4 Estrategias o técnicas bioclimáticas

Existe una serie de factores que influyen en el comportamiento de un edificio, el entorno natural (sol, viento, vegetación), el clima (temperatura, humedad), y las actividades (estudiar, trabajar, dormir, etc.); estas últimas están relacionadas con la fisiología humana (vestimenta, metabolismo, aclimatación). Para esto se ha determinado diversas estrategias que permiten lograr un buen comportamiento climático en un edificio, se deben tomar en cuenta en la etapa previa de diseño (Ver imagen 05), estas se pueden dividir en estrategias activas que principalmente usan energía eléctrica y pasivas que usan fuentes de energía renovables.

Activas

Sistemas mecánicos de climatización: aire acondicionado y calefacción, que para su funcionamiento necesitan combustible, electricidad e incluso materia prima como la leña.

Sistemas de captación solar: paneles fotovoltaicos, eólicos, minihidros, geotermia en sitio, que permiten abastecer de energía a la edificación a través de sistemas renovables para generar calor, frío o electricidad.

Pasivas

Ventilación: Una de las estrategias más eficientes en el diseño pasivo, permite alcanzar niveles adecuados de confort mediante la circulación del aire al interior, es usado mayormente en climas cálidos.

Radiación Solar: Se relaciona con la ubicación y orientación de la edificación, esta estrategia aprovecha el sol para captar, acumular y distribuir energía en espacios interiores, se usa mucho en climas fríos para lograr un confort térmico. En climas cálidos se opta por el bloqueo solar para evitar sobrecalentamiento.

Vegetación: Es un recurso natural muy utilizado en climas cálidos y fríos. Dependiendo de sus caracte-

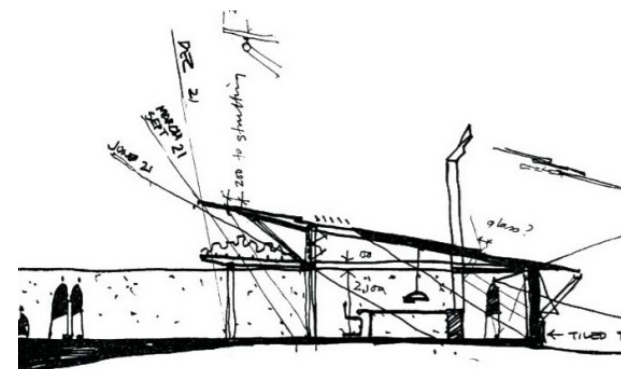


IMAGEN 05 Arquitectura bioclimática.
FUENTE: Chrara, 2015.

UCUENCA

rísticas (árboles frondosos, de hoja perenne, etc.), se puede usar como una forma de control para permitir el paso o protegerse del viento y la radiación solar.

2.1.5 Edificios energéticamente sostenibles

En base a lo mencionado anteriormente, podemos decir que el confort y el ahorro energético son los dos objetivos principales de la arquitectura bioclimática, la cual está enfocada a construir edificaciones energéticamente sustentables, estas por ende deben tener ciertas características:

- Control de la ventilación natural con el fin de conseguir aire limpio, que permita lograr una adecuada temperatura al interior.
- La materialidad de la envolvente deberá permitir un correcto aislamiento del exterior, evitando la influencia de las temperaturas exteriores, obteniendo un control de las

ganancias o pérdidas de calor en verano e invierno respectivamente.

- Un óptimo aprovechamiento de la radiación solar, con el fin de reducir el consumo de luz artificial, calentar los espacios interiores en invierno, o bien evitando su ingreso mediante la incorporación de vegetación.
- Uso de nuevas tecnologías eficientes que permitan reducir la demanda energética como iluminación LED, y equipos más eficientes.

2.1.6 Situación en Ecuador

En el ámbito nacional y América Latina, la arquitectura sustentable se presenta como un reto el cual debe ser fomentado a través de un aprendizaje enfocado al diseño sostenible y que permita propiciar un cambio en la forma de construir las ciudades (APIVE, 2018).

2.2 Confort

Se define como el estado de percepción ambiental por parte del usuario, está determinado por varios factores como las actividades, estado de salud, condiciones ambientales, etc. La Norma ISO 7730, define al confort como “esa condición de la mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”; podemos decir que es una sensación subjetiva propia de cada individuo.

Como se mencionó en la sección 2.1.5, el confort es uno de los objetivos de la arquitectura bioclimática; sin embargo, existen diversos tipos: térmico, lumínico, acústico, visual, etc. La medida de satisfacción de confort en un edificio refleja el éxito del diseño bioclimático (Barranco, 2014).

2.2.1 Confort térmico

Se entiende cuando la calidad del ambiente interior brinda condiciones de temperatura, humedad, y movimiento de aire adecuados, que permi-

ten lograr un equilibrio térmico para el usuario, es decir, no siente frío ni calor (Narváez, 2015).

Los factores que se deben considerar para lograr edificios energéticamente eficientes y confortables se dividen en ambientales y humanos. Los principales factores ambientales están relacionados con la temperatura del aire, la humedad relativa, la radiación solar, la velocidad del viento, y como factores generados por el hombre podemos mencionar la vestimenta, costumbres, tipos de actividades y edad.

Dado que, los edificios son el medio de interacción entre los factores ambientales y las personas, por su parte, los edificios responden de acuerdo con su materialidad y otras características físicas, provocando condiciones internas que dependen de procesos de transferencia de calor llamados: radiación, convección y conducción.

Radiación: La radiación de calor se produce de un cuerpo al otro sin que exista un contacto directo, esta

UCUENCA

UCUENCA

transferencia se da en forma de radiación electromagnética desde un cuerpo más caliente hacia uno más frío.

Convección: Es la transferencia de calor de un punto a otro dentro de la masa de un fluido, transmitida a través del movimiento de sus moléculas que se produce por cambios en la densidad del fluido que recibe mucho calor. Si consideramos una pared que está muy caliente y una de sus caras está afuera y la temperatura del aire es más fría, entonces hay una película laminar entre el objeto y el fluido (Díaz, 2005).

Conducción: La transmisión por conducción se produce de molécula a molécula cuando estos elementos a distintas temperaturas se tocan. La transferencia va a depender de la diferencia de temperatura, el área de contacto, o sección del cuerpo en el cual se da la conducción (Encalada, 2013).

Según la norma ISO, el confort óptimo se define cuando el 95% de los

individuos están satisfechos con el ambiente térmico del lugar. Cuando más del 25% de las personas están insatisfechas, hablamos de un inconfort (MAE, 2019).

2.2.2 Parámetros de confort

Velocidad del aire: permite la pérdida de calor por convección y el aumento de evaporación, dando como resultado una sensación de frescura al interior. Según la Norma Ecuatoriana (NEC), esta debe estar entre 0.05 m/s y 0.15 m/s.

Humedad relativa: permite un mayor o menor grado de evaporación, influyendo en la pérdida de calor del cuerpo. Cuando menor sea se podrá sentir más fresca.

Temperatura del aire: es el estado térmico del aire de un espacio cubierto, influye en la pérdida de calor del cuerpo humano por convección y evaporación. Los niveles de temperatura en un espacio dependen de las actividades realizadas por el usuario.

UCUENCA

Los parámetros temperatura del aire y humedad son fundamentales para saber la zona confort en la que se encuentra una persona dentro de un espacio determinado de la edificación.

2.2.3 Transmisión de calor a través de envolventes

Si se considera que dentro de dos espacios, un muro está a diferente temperatura este produce un flujo de calor desde la cara más caliente hacia la más fría. Según Encalada (2013), existen tres maneras de transmisión de calor básicas donde la envolvente resuelve la diferencia de temperaturas en un área interior acondicionado y un área a la intemperie, estas son:

- Desde el aire interior- caliente- a la cara interior, por convección.
- Desde la cara interior a la exterior por conducción- o una combinación de conducción y radiación.
- Desde la cara exterior al aire exterior por convección.

2.2.4 Coeficiente de transmisión de calor

Se define como la cantidad de calor transferido por unidad de tiempo a través de un elemento superficial de cierto espesor de elementos de construcción, paredes, tabiques, vidrios, etc., cuando la diferencia de temperatura entre masas de aire es de grados Kelvin (o grados Celsius) sobre cualquier lado del elemento (Díaz, 2005).

2.2.5 Resistencia térmica (R)

La resistencia térmica es la capacidad de un material para oponerse al flujo de temperatura. Dicha resistencia viene expresada de la siguiente manera:

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

Donde:

e = espesor del material (m)

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

UCUENCA

La conductividad λ , es la conducción de calor del material y es equivalente a la cantidad de calor que pasa por una unidad de tiempo cuando tiene un metro de espesor, esta tiene un área de sección transversal de 1 m² y está sujeta a una diferencia de temperatura de 1 °K. Su unidad viene dada en (W/m² K) (Encalada, 2013).

2.2.6 Transmitancia térmica (U)

Es la resistencia que ofrece un elemento constructivo al paso de calor, este elemento puede estar constituido por varias capas de diferentes materiales, incluso puede llegar a tener cámaras de aire entre estos por unidad de tiempo en segundos y unidad de superficie en metros cuadrados. Generalmente se le conoce con la nomenclatura U (W / m² K) y puede calcularse mediante la siguiente expresión:

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

Mientras más grandes sean los valores de transmitancia (U), mayor

será la pérdida de calor en invierno y mayor ganancia en verano.

2.2.7 Transmitancia térmica en paquetes constructivos

La envolvente de un edificio está generalmente compuesta por una cantidad de materiales diferentes que se pueden considerar actuando sucesivamente desde el punto de vista del flujo de calor en relación a la dirección del flujo. Es decir, las resistencias de los materiales a través del espesor de la envolvente se suman. La resistencia total de un elemento incorpora todas las resistencias de cada material, las cavidades de aire y la resistencia superficial interior R_{si} y exterior R_{se} (Ver tabla 01) (Encalada, 2013).

Para el cálculo del paquete constructivo, que está conformado por varios materiales, se emplea la siguiente fórmula:

$$R_t = R_{se} + \sum R_n + R_{si}$$

Donde:

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	R _{se}	R _{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >80° y flujo Horizontal	0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente (Techo)	0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (Suelo)	0,04	0,17

TABLA 01 Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m².K/W.

FUENTE: Ministerio de Fomento, 2015.

R_t = resistencia total del elemento (m^2 K / W)

R_{se} = resistencia superficial exterior (m^2 K / W)

R_n = resistencia del enésimo material dentro del elemento (m^2 K / W)

R_{si} = resistencia superficial interior (m^2 K / W)

La resistencia R_n es:

$$R_n = e_n / K_n$$

Donde:

R_n = resistencia del enésimo material dentro del elemento (m^2 K / W)

e_n = espesor del material enésimo (m)

K_n = conductividad del material enésimo (W / m.K).

2.2.8 Confort en espacios educativos

En Muñoz (2018), se evalúa el comportamiento térmico de aulas con diseño pasivo mediante el software Design Builder, el estudio logró determinar el escenario con mejor confort térmico durante el año, pudiendo establecer referentes de diseño para futuros proyectos educativos. En Roque (2018), se realiza una investigación evaluando el comportamiento térmico de las aulas de un centro educacional, con el fin de desarrollar estrategias bioclimáticas que permitan mejorar las condiciones de confort térmico, bajo criterios ambientales. Para este caso se utiliza el software Ecodesigner Star.

En Chiriboga (2021), se realizó un estudio de las percepciones de confort y como este incide en la habitabilidad de los espacios de la edificación, en este caso se trata de la Facultad Ciencias Económicas – Universidad Central del Ecuador, un edificio de más de seis décadas de antigüedad, este trabajo hace referencia a diversos estudios e investigaciones que permiten evidenciar

la importancia del cumplimiento de lineamientos y normativas en espacios educativos para poder garantizar el confort de los estudiantes. Este estudio se basó en encuestas para medir las sensaciones de confort de los estudiantes, recalca la importancia de realizar a futuro un estudio de monitoreo y medición instrumental para poder comparar; sin embargo, demuestra la relación que existe entre el diseño arquitectónico y sus efectos en los procesos de enseñanza aprendizaje.

En Lamberti (2021), se realiza un análisis bibliográfico de 143 estudios de campo sobre el confort en edificios educativos, estos comprenden desde educación inicial hasta universidades, en estas últimas los estudiantes tienen una mayor posibilidad de adaptarse debido a factores como la edad, la duración de las clases que es más corta, la recurrente transición a espacios libres en cambios de hora, incluso interviene el tema psicológico que juega un papel importante en la adaptación al ambiente térmico.

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen-Geiger, hay cinco grupos climáticos diferentes (de A a E), divididos de acuerdo con los patrones estacionales de precipitación y temperatura (Lamberti, 2021).

Según este estudio el grupo C (coincidente con el clima de Cuenca), pertenece a climas templados y comprende varios tipos de clima, por ende, las variaciones de temperatura y adaptabilidad son muy grandes. Las variaciones de temperatura en esta investigación y para esta zona climática varían entre 14.7 y 35 °C, concluyendo que estos resultados se dan debido al amplio rango de climas en esta zona; sin embargo, se demostró la gran capacidad de adaptación de los estudiantes a este tipo de climas.

2.2.9 Métodos para medir el confort

Baruch Givoni fue uno de los especialistas en arquitectura bioclimática que siguió los fundamentos realizados por Olgyay. Uno de sus trabajos fue la realización de un diagrama psicomé-

UCUENCA

trico (Ver imagen 06), herramienta utilizada para determinar características climáticas dentro de espacios interiores, y así poder evaluar las necesidades energéticas de calentamiento o ventilación para mantener unas condiciones adecuadas de confort.

2.2.10 Normativas estándares

En Ecuador se han emitido normas como la NTE INEN 2506, acerca de la eficiencia energética en la construcción, así como la norma ISO 7730 que trata sobre la ergonomía del ambiente térmico.

La norma ISO 7730 indica criterios de diseño para aulas, se establece un rango de temperatura entre 22 y 24 °C con una variación de +/- 3 °C, y una máxima velocidad media del aire de 0.10 y 0.12 m/s en invierno y verano respectivamente.

En Quesada (2018), se realiza un estudio acerca de las condiciones de confort interiores de las viviendas urbanas de la ciudad de Cuenca, se toma

en cuenta factores como la temperatura, calidad del aire e iluminación. Mediante mediciones cualitativas y cuantitativas se logra determinar los niveles de confort. La temperatura de confort promedio se establece en 20.12 °C y un rango de confort térmico en orden de los 17.62 y 22.62 °C, concluyendo que los usuarios presentan una mayor capacidad de adaptación a temperaturas más frías. Se recomienda utilizar este estudio como referencia para el diseño de edificaciones, aunque es necesario hacer investigaciones y estudios según el tipo de vivienda y sistema constructivo.

Aunque estos datos difieren de los establecidos en la normativa nacional, son importantes para este trabajo, al permitir analizar en base a condiciones propias del contexto local.

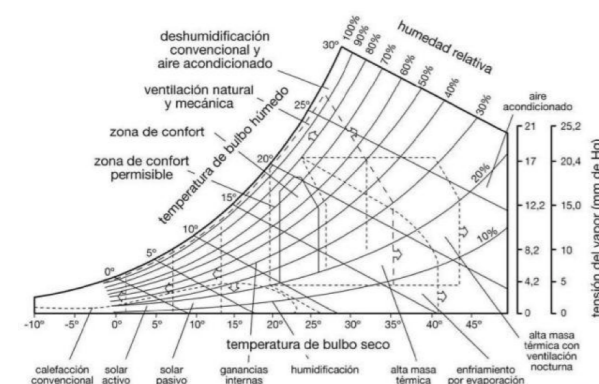


IMAGEN 06 Diagrama de Givoni.

FUENTE: Hernandez, 2014.

UCUENCA

2.3 Clima

2.3.1 Clima Ecuador

El Ecuador se encuentra ubicado en la Línea Ecuatorial, sus límites son al norte Colombia, al sur y este Perú y al oeste el Océano Pacífico, en esta zona el ángulo del sol es muy alto durante todo el año, por lo que, la energía solar que llega a la superficie tiene una variación mínima en comparación con países estacionales. Las precipitaciones se presentan durante todo el año y alcanzan su nivel máximo cuando la energía solar es alta y su nivel mínimo cuando es baja. En Ecuador las temperaturas más bajas se dan en los meses de junio a septiembre, periodo de invierno debido a que el sol se encuentra más alejado. El verano ocurre en los meses de septiembre a abril, donde las temperaturas son más altas (Narváez, 2015).

La presencia de la Cordillera de los Andes divide climáticamente en tres regiones: Costa, Sierra y Oriente, las diferentes variaciones de humedad,

temperatura, precipitación, vientos, corrientes marinas, etc., han formado diversos pisos climáticos y, por ende, subclimas, microclimas y topoclimas (Guillen, 2014), que se caracterizan por ser muy variables en distancias cortas. En Ecuador existen doce zonas térmicas, las cuales se agrupan en seis zonas climáticas (Narvaez, 2015) (Ver tabla 02).

Zona Climática	Rango de temperatura. Según datos del INHAMI
ZT1	6 - 10 [°C]
ZT2	10 - 14 [°C]
ZT3	14 - 18 [°C]
ZT4	18 - 22 [°C]
ZT5	22 - 25 [°C]
ZT6	25 - 27 [°C]

TABLA 02 Rangos de temperatura promedio de acuerdo a las zonas climáticas, según el mapa del INHAMI.

FUENTE: Hernandez, 2014.

La Sierra Ecuatoriana se caracteriza por su clima variado, en la mañana puede hacer calor, en la tarde llover, y hacer frío en la noche. Existen principalmente dos estaciones en esta zona, el invierno o época lluviosa y el verano,

UCUENCA

sol o sequía (Salazar, 2011); sin embargo, las oscilaciones térmicas son mínimas.

2.3.2 Clima Cuenca

La ciudad de Cuenca se encuentra ubicada en la región Sierra a una altura de 2560 m sobre el nivel del mar, y pertenece a la zona climática 3 (ZT3), la temperatura, humedad, precipitaciones y vientos son los elementos climáticos que definen el tipo de clima propio del lugar (Narváez, 2015).

Como se indicó en la tabla anterior (Ver tabla 02), el rango de temperatura promedio varía entre los 14 y 18 °C, siendo los meses más fríos julio, agosto

y septiembre con valores entre 14 y 14.8 °C, y los meses más cálidos enero, febrero y marzo con valores entre 16.8 y 17.5 °C.

No obstante, el clima de Cuenca se caracteriza por sus condiciones extremas de temperatura, estas varían entre -1.7 y 27.2 °C (Ver tabla 03), provocando que se susciten momentos de disconfort. La humedad relativa anual varía entre 52.5 y 66.8 %, siendo junio y septiembre los meses que registran el valor más alto y bajo respectivamente.

La precipitación promedio anual es de 69.98 mm/m², siendo los meses de enero hasta mayo los que presentan los

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp. máx. abs. (°C)	26.7	26.1	27.2	24.4	25.0	25.0	22.8	25.6	25.0	27.2	27.2	27.2	27.2
Temp. máx. media (°C)	21.8	21.3	21.3	20.9	20.4	20.0	18.8	19.2	20.6	21.4	22.2	22.3	20.9
Temp. media (°C)	16.9	16.6	16.7	16.6	16.2	15.9	14.9	15.1	15.9	16.4	16.8	17.1	16.3
Temp. mín. media (°C)	11.6	11.8	12.0	11.9	11.4	10.7	9.8	9.3	10.0	10.5	10.9	11.5	11
Temp. mín. abs. (°C)	3.3	2.8	3.9	1.1	0.0	-0.6	-1.7	-1.1	2.2	-0.6	-0.6	1.1	-1.7
Precipitación total (mm)	53.1	116.0	133.3	111.7	101.0	49.0	27.3	17.9	68.0	80.9	89.9	80.4	928.5
Días de precipitaciones (≥ 1.0 mm)	20	21	22	19	15	11	10	10	12	16	13	10	179
Horas de sol	155	115	125	120	155	150	185	185	150	155	150	155	1800
Humedad relativa (%)	85	86	86	86	86	87	86	83	79	82	82	85	84.4

TABLA 03 Parámetros climáticos promedio de Cuenca.

UCUENCA

valores más altos (163.5 mm/mes), y junio, agosto y septiembre los más bajos (24.3 mm/mes). La velocidad promedio del viento es de 9.29 km/h (Espinoza, 2018).

Según la clasificación climática de Köppen-Geiger, la ciudad de Cuenca se cataloga como Cfb (Marítimo de costa occidental (Oceánico)), término que corresponde a un clima de latitudes medias, húmedo y templado (Bustamante, 2018).

2.3.3 Confort Cuenca

En Baquero (2016), se realizó un estudio para determinar la percepción de confort de los usuarios en vivienda residencial en la ciudad de Cuenca, se determinó que el 65 % consideran confortable el ambiente interior, aunque existe un 2 % que utiliza algún sistema de calefacción, y el 13 % considera necesario el uso de calefacción.

En Bacuilima (2018), se determinan estrategias bioclimáticas para la ciudad de Cuenca mediante el sof-

ware Climate Consultant, entre ellas, el uso de calefacción activa o pasiva es una de las estrategias a considerar, ya que incrementa el nivel de confort en la vivienda.

Si bien no es común el uso de sistemas de climatización en Cuenca, es necesario un correcto diseño haciendo énfasis en el aprovechamiento de la radiación en horas de la tarde, es factible también el uso de materiales que permitan lograr una correcta aislación térmica (Baquero, 2016). En algunos casos, para no ocasionar encandilamiento, se evita la captación directa del sol, lo que puede producir un mayor enfriamiento de los espacios interiores. En Ordoñez (2015), se hace énfasis en señalar que, si una vivienda requiere aire acondicionado o calefacción en Cuenca, algo anda mal en su diseño arquitectónico.

Se puede concluir que en la ciudad de Cuenca el clima permite que el uso de sistemas de climatización como calefacción o aire acondicionado sea mínimo y casi innecesario, un correcto

UCUENCA

diseño arquitectónico lograría el mayor confort posible, a pesar de ello, se propone como alternativa el uso de estos sistemas para aumentar los niveles de confort.

2.4 Metodología BIM

Actualmente, los proyectos arquitectónicos hacen uso de tecnología BIM (Building Information Modeling), ya que, esta herramienta permite la creación de un modelo de construcción tridimensional, el cual facilita la

administración de todas las etapas de un edificio: planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento (Tkeshelashvili, 2021).

Esto es posible gracias a la evolución que ha tenido esta tecnología (Ver imagen 07), en un inicio el diseño asistido por computadora (CAD), permitía la creación de planos en 2D, que luego con la introducción del dibujo 3D mejoró la visualización y representación de los proyectos. Poco a poco se fueron implementando funciones como el

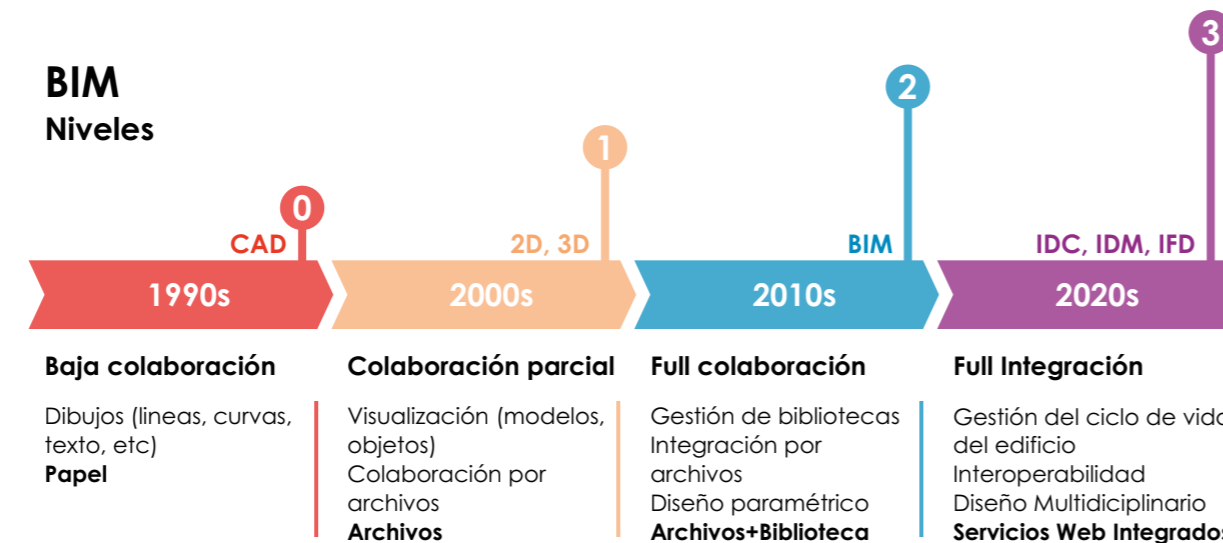


IMAGEN 07 Línea de tiempo Desarrollo de tecnología BIM.
FUENTE: Tkeshelashvili, 2021.

UCUENCA

dibujo paramétrico y el uso de bibliotecas, así como el cálculo de costos y programación del proyecto. La necesidad de trabajar colaborativamente fue posible gracias al OPEN BIM, un nuevo nivel que permite el intercambio de datos a través de una nube, pudiendo integrar diferentes disciplinas necesarias en cada etapa del proyecto (Tkeshelashvili, 2021).

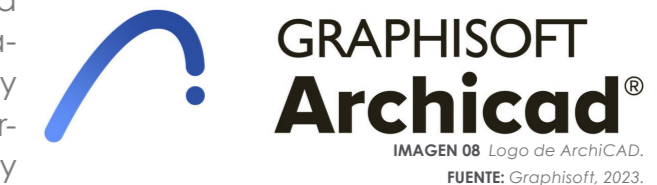
En el ámbito de la evaluación energética interviene la tecnología BEM (Building Energy Modeling), un software de simulación por computadora que permite determinar el comportamiento energético del edificio. Para la elaboración del modelo se requiere de datos de entrada que permitan obtener resultados detallados del rendimiento del edificio:

- **Clima:** Datos meteorológicos típicos para una ubicación específica, obtenidos mediante estaciones meteorológicas (ficheros climáticos).

- **Sitio:** Ubicación (coordenadas), orientación, contexto (sombra, vegetación, etc.).
- **Geometría:** Forma del edificio y distribución zonal.
- **Envolvente:** Materialidad, sistema constructivo, aberturas, infiltraciones, etc.
- **Ganancias de calor internas:** generadas por los usuarios, los equipos y la iluminación.
- **Horarios:** de ocupación y operación del edificio.
- **Especificaciones:** calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC).

2.4.1 ArchiCAD

Es un software desarrollado por la empresa húngara Graphisoft (Ver imagen 08), cuenta con una interfaz muy intuitiva y fácil de usar, el programa permite diseñar, visualizar, documentar y



UCUENCA

entregar proyectos; toda la información es generada automáticamente, cuenta con la modalidad de trabajo colaborativo, así como el intercambio de información mediante la importación/exportación de IFC. Tiene integradas funciones para el diagnóstico energético, aunque estas tienen limitaciones. Es uno de los softwares más populares y eficientes convirtiéndolo en una herramienta práctica para el diseño BIM.

2.4.2 Ecodesigner STAR

Es un complemento para la simulación energética integrado en ArchiCAD (Ver imagen 09), su motor de cálculo opera bajo estándares LEED Energy de la normativa ASHRAE, a diferencia del paquete de herramientas estándar, este plugin integra funciones que permiten el cálculo de puentes térmicos y energías renovables, así como la exportación en formato .gbXML y .PHPP para la colaboración entre diferentes profesionales y técnicos. Lo importante de este complemento es que, como se mencionó anteriormente, permite transformar el modelado BIM de

ArchiCAD en un modelo BEM para el análisis energético.

2.5 Situación actual FAUC

La disposición de las caras más largas de los bloques E1 y E2, construidos entre los años 1973 y 1977, se da en sentido sur del Campus de la Universidad de Cuenca, junto a la calle Agustín Cueva. Esta disposición fue pensada para que no exista deslumbramiento; sin embargo, se tiene poca o ninguna captación solar pasiva directa, presentando así problemas de confort que posteriormente se analizan con simulaciones y datos exactos de temperaturas máximas y mínimas tomadas con equipos de medición.

La construcción de la Facultad sufrió varios cambios con respecto al diseño original, incluso se omitió algunos elementos del proyecto, y en otros casos se ven problemas evidentes de infiltraciones como grandes oquedades en los vanos de las ventanas y puertas (Ver imagen 10 y 11), también las alturas de las aulas suponen un posible en-

UCUENCA

friamiento en días y horas específicas, pese a que, todo esto ayuda a mantener una adecuada condición de CO₂. Por otro lado, al usar sistemas de protección solar como las persianas, estas no sellan del todo bien permitiendo la infiltración del aire.

En 2007, se construye un nuevo edificio ubicado al oeste (Bloque E3), este proyecto de ampliación se realiza para satisfacer la necesidad de nuevas aulas, cubículos y espacios para fines de investigación y labores vinculados a la docencia. Al ser un edificio más reciente, propone un sistema constructivo diferente al usar varios materiales que generan un paquete constructivo más eficiente que ayuda a mantener una condición de confort más estable, debido a que no existen oquedades y sus vanos de ventanas no son muy altos. Por otra parte, sus ventanas se mantienen siempre abiertas para lograr mantener una adecuada condición de CO₂.



IMAGEN 09 Logo de Ecodesigner STAR.
FUENTE: Graphisoft, 2023.

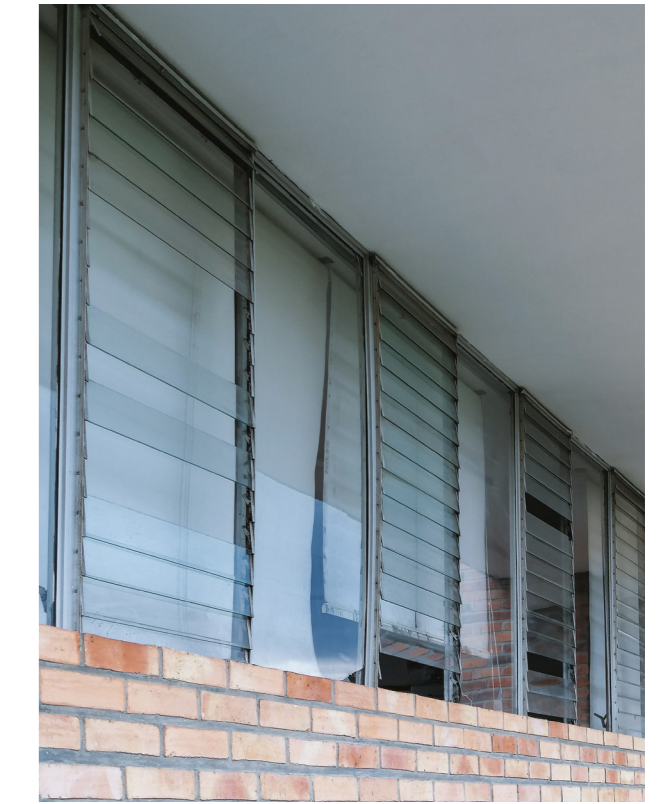


IMAGEN 10 Problemas en vanos de ventanas que presentan oquedades.
FUENTE: Propia

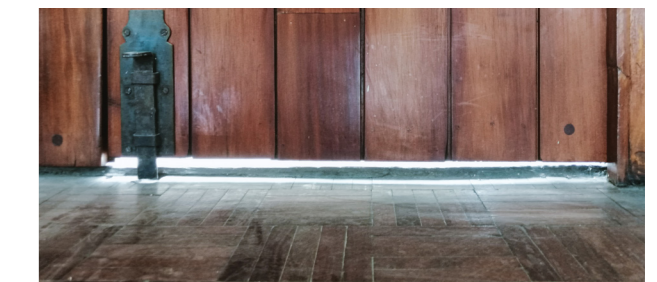


IMAGEN 11 Problemas en carpinterías de puertas que presentan oquedades.
FUENTE: Propia.

UCUENCA



CAPÍTULO 3

3.1 Levantamiento del sitio

La Facultad de Arquitectura y Urbanismo se edifica en cinco plantas arquitectónicas emplazadas en los predios de la Universidad de Cuenca configuradas en 3 bloques: E1, E2 y E3 (Ver gráfico 01), este último pertenece a una nueva ampliación donde se desarrollan espacios vinculados para la investigación y la docencia. En los bloques E1 y E2 la envolvente es de ladrillo artesanal, mientras que las cubiertas y estructuras son de hormigón armado. En el bloque E3, la envolvente está formada con varios materiales como: ladrillo hueco, paneles de hormigón y laminas metálicas, así mismo la cubierta, estructura y entrepisos usan el sistema constructivo de hormigón armado.

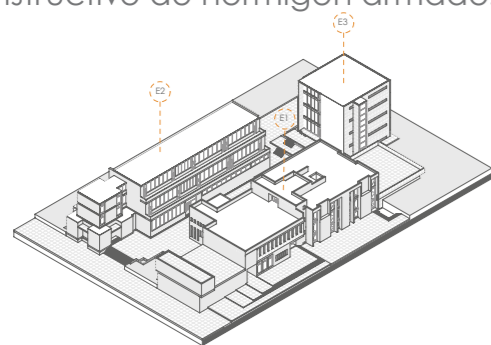


GRÁFICO 01 Axonometría distribución de bloques.
FUENTE: Propia.

3.1.1 Planos del lugar

3.1.1.1 Planta de subsuelo

La planta de subsuelo agrupa espacios de bodegas, talleres, oficinas y aulas dedicadas a talleres y audiovisuales. La circulación es ortogonal, esta conecta de manera subterránea los bloques E1 y E2 generando una buena comunicación entre bloques y espacios funcionales (Ver gráfico 02).

3.1.1.2 Planta baja

En planta baja se encuentran espacios comunales como: vestíbulo, cafetería, sala de exposiciones y auditorio. También se encuentran espacios para la enseñanza distribuidos en los tres bloques (Ver gráfico 03).

3.1.1.3 Primera planta alta

En la primera planta alta de los bloques E2 y E3, se agrupan en su mayoría aulas, mientras que en el bloque E1 se da mayor uso de espacios administrativos. La ventilación e iluminación

UCUENCA

natural ingresan por las fachadas norte y sur de los diferentes bloques (Ver gráfico 04).

3.1.1.4 Segunda planta alta

En la segunda planta alta, los espacios se centran en aularios dedicados para la enseñanza. En el bloque E1 se hace uso de la terraza para exposiciones. Las circulaciones del bloque E2 se resuelven al exterior (Ver gráfico 05).

3.1.1.5 Tercera planta alta

En la tercera planta alta solo se encuentra el bloque E3, donde se encuentran únicamente aulas (Ver gráfico 06).

UCUENCA

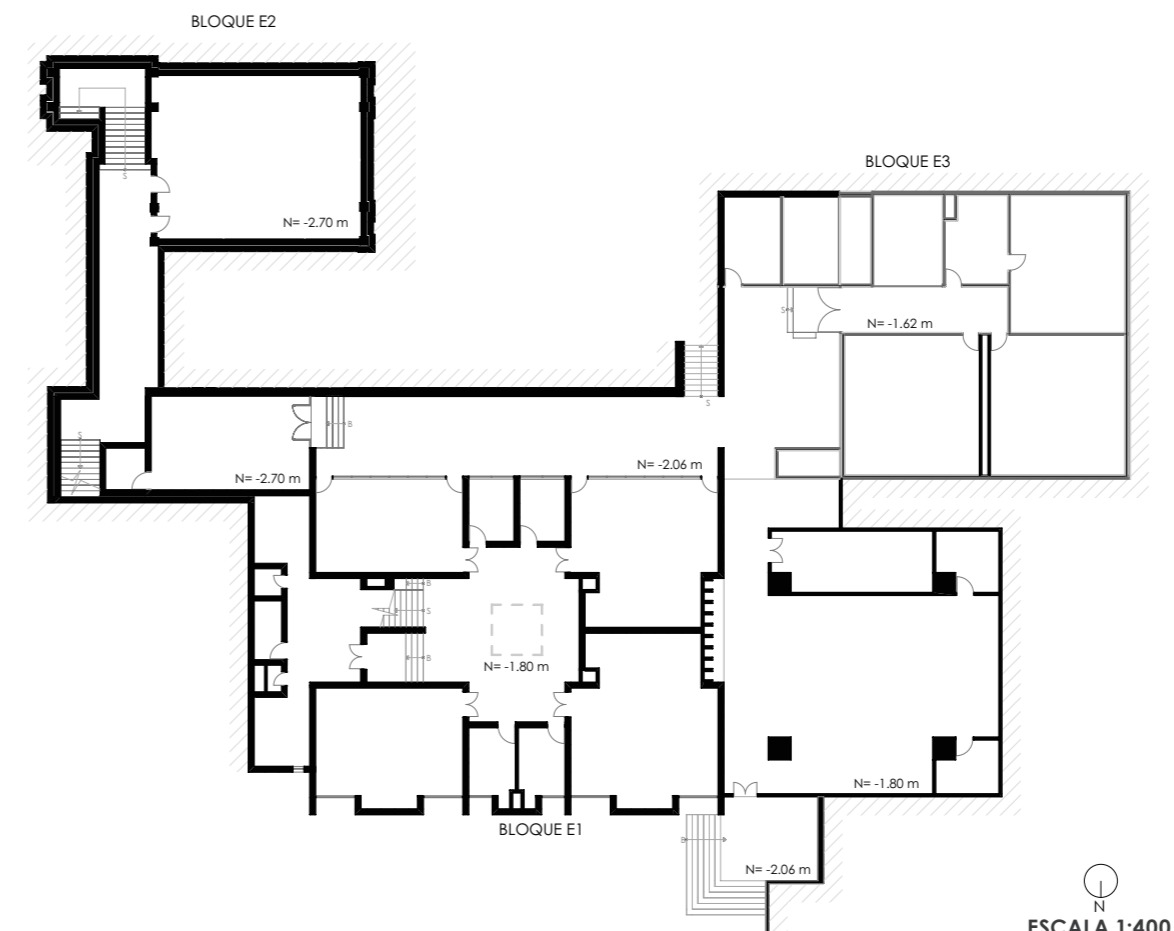


GRÁFICO 02 Planta de Subsuelo FAUC.
FUENTE: Propia.



GRÁFICO 03 Planta Baja FAUC.
FUENTE: Propia.

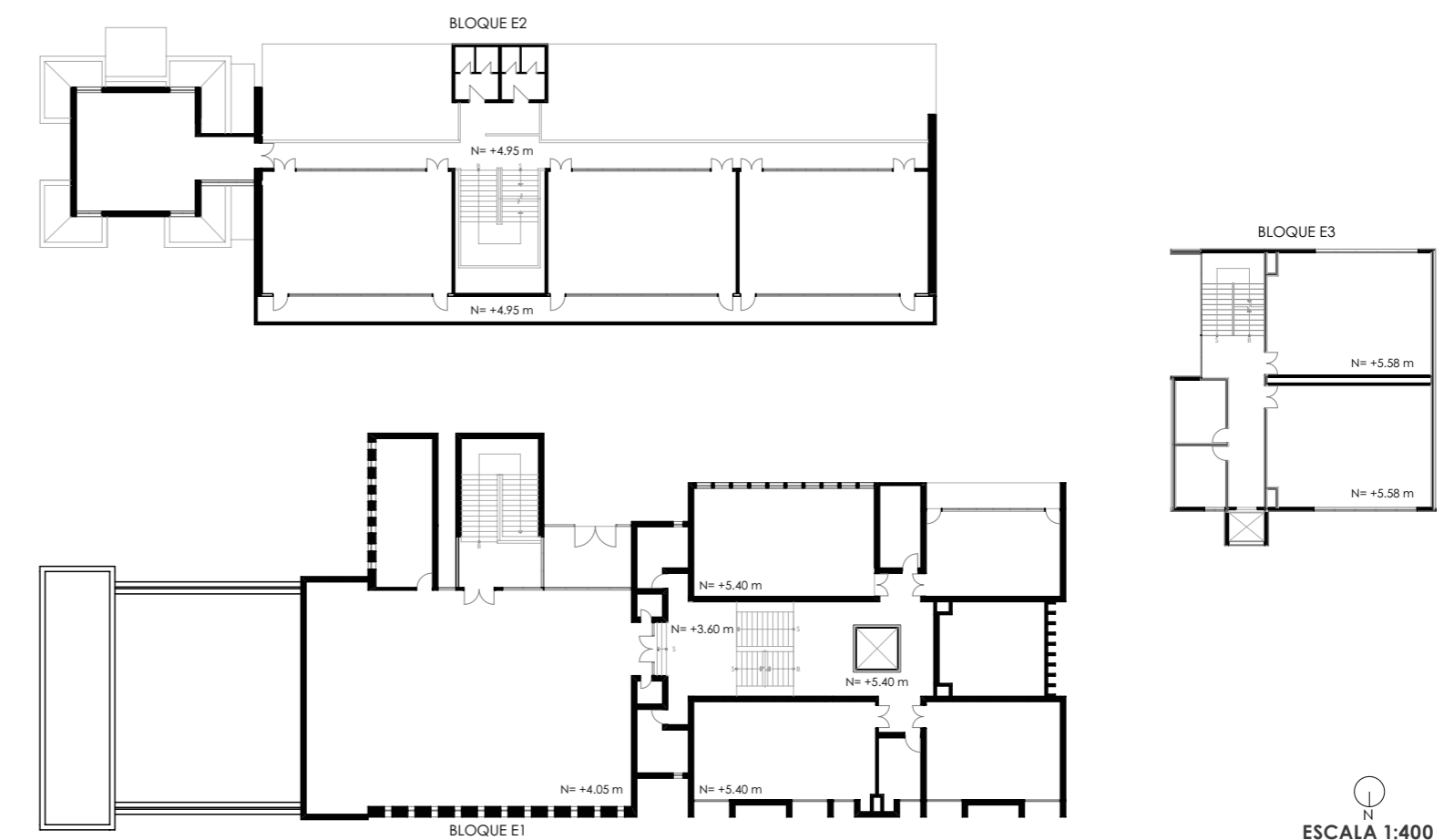


GRÁFICO 04 Primera Planta Alta FAUC.
FUENTE: Propia.

UCUENCA

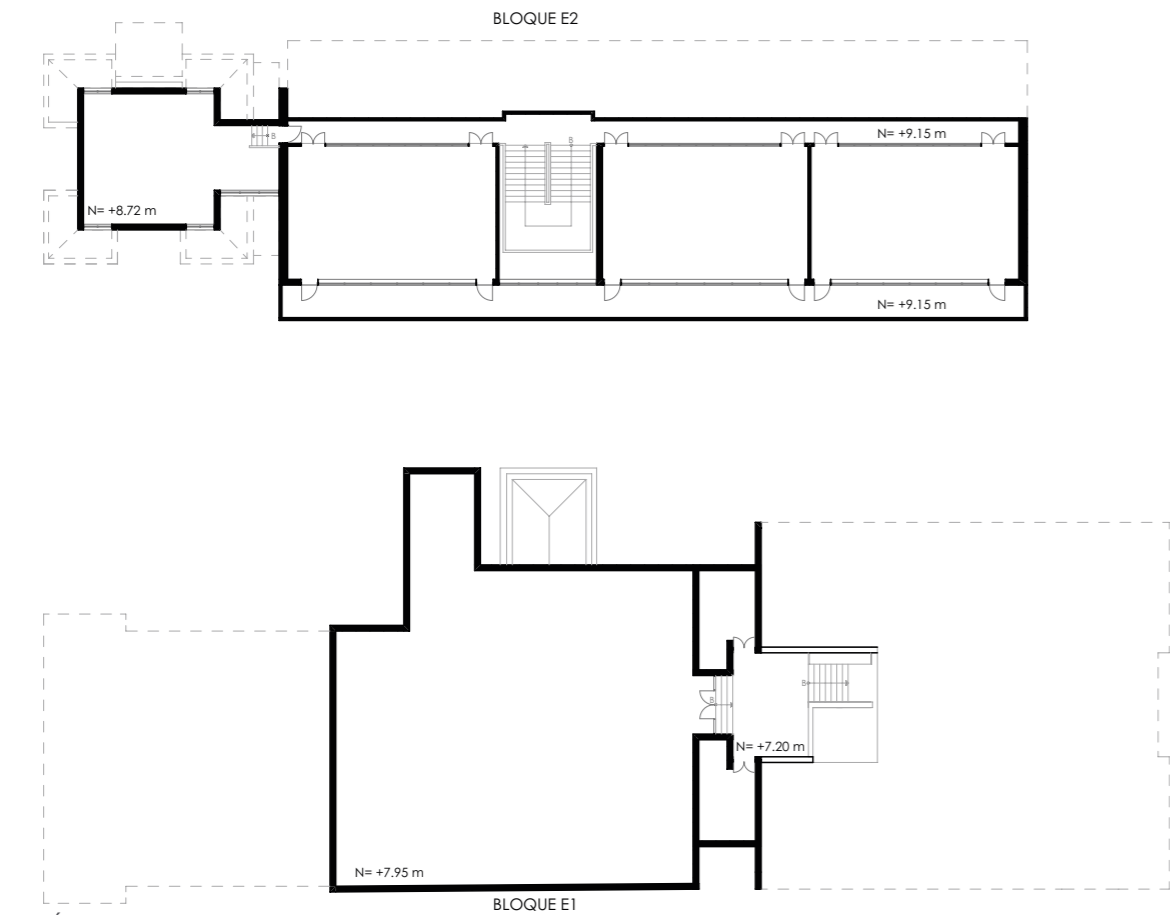
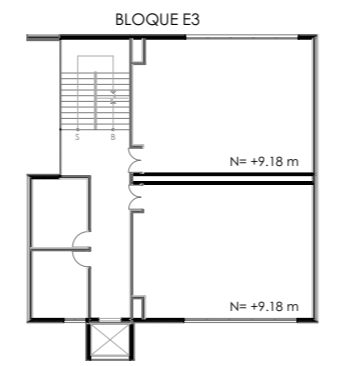


GRÁFICO 05 Segunda Planta Alta FAUC.
FUENTE: Propia.



ESCALA 1:400

UCUENCA

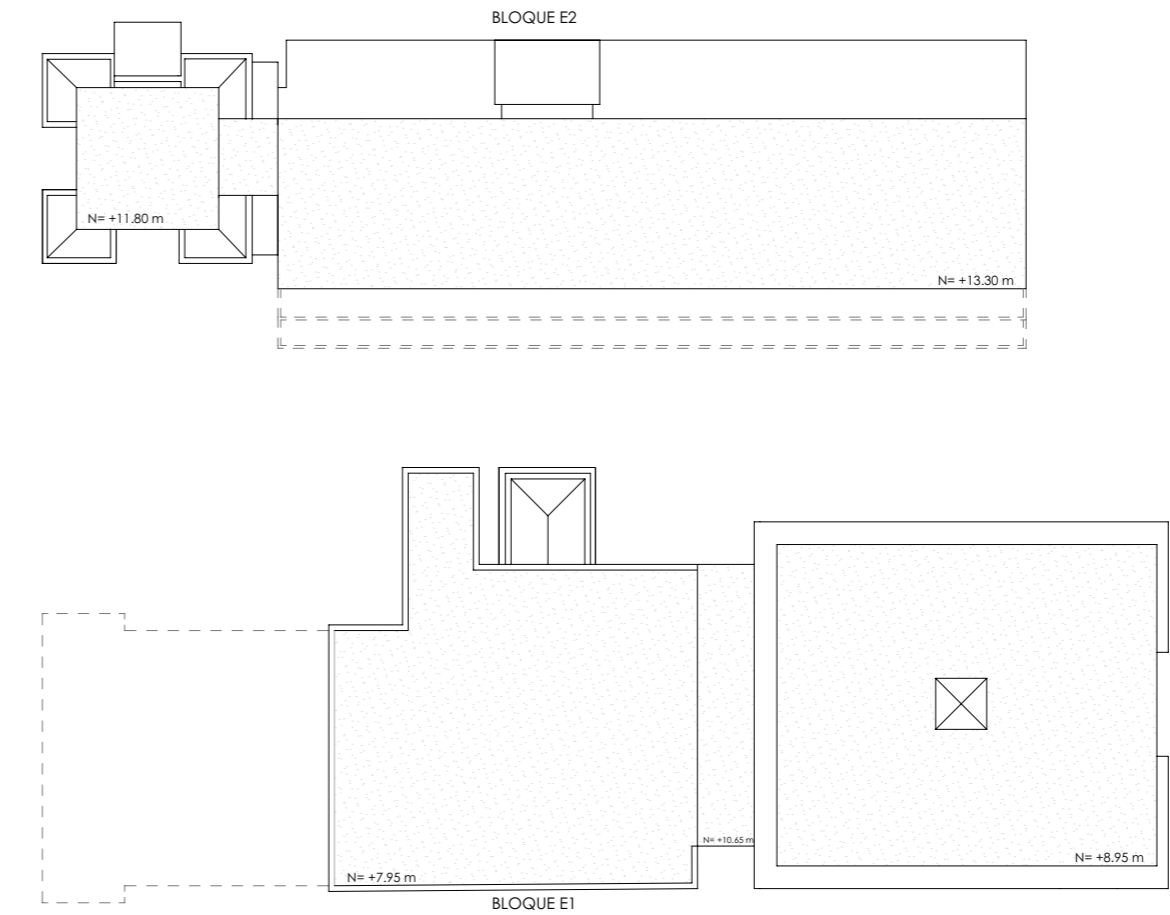
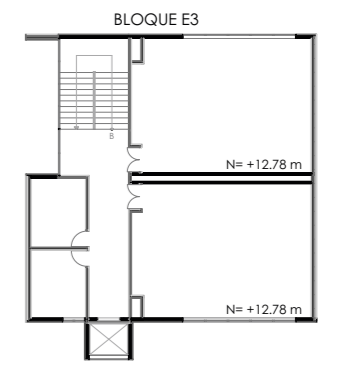


GRÁFICO 06 Tercera Planta Alta FAUC.
FUENTE: Propia.



ESCALA 1:400



IMAGEN 12 Aula E1 011.

FUENTE: Propia.



IMAGEN 13 Aula E1 108.

FUENTE: Propia.



IMAGEN 14 Aula E1 -105.

FUENTE: Propia.

3.2 Mediciones constructivas

3.2.1 Bloque E1 y bloque E2

En ArchiCAD se ha modelado los tres bloques para adecuarlos a los diferentes análisis. Para los bloques E1 y E2, se usó un sistema tradicional de mampostería de ladrillo visto con estructura de hormigón, modelando así la facultad con características en su estado actual. Según los detalles constructivos mostrados por Encalada (2013), los bloques E1 y E2 poseen un suelo conformado con distintas capas tomadas desde lo inferior hasta lo superior; suelo natural, piedra de canto rodado de 20 cm, hormigón simple de 7 cm, mortero de arena y cemento de 1.5 cm, y terminado de parquet de 1.5 cm o alfombra de 0.5 cm. El entrepiso contiene desde abajo hacia arriba las distintas capas; mortero de arena y cemento de 1.5 cm, bloque de pómez de 35 cm, hormigón armado de 7 cm, y terminado de alfombra de 0.5 cm o parquet de 1.5 cm. Las paredes por su parte, son de ladrillo artesanal en dimensiones de 0.30 cm, 0.15 cm y 0.45 cm (Ver gráficos 07-12).

UCUENCA

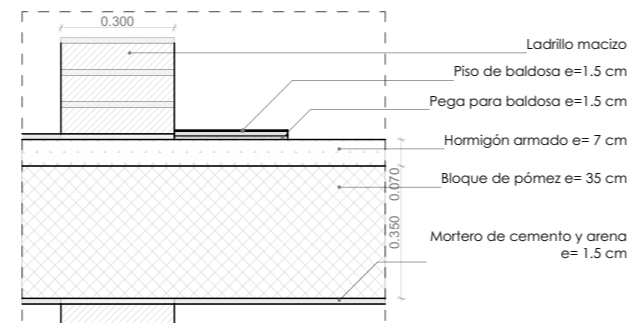


GRÁFICO 07 Detalle entrepiso con acabado de baldosa.

FUENTE: Propia.

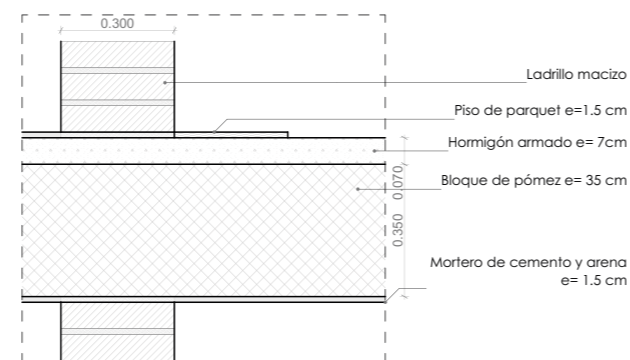


GRÁFICO 08 Detalle entrepiso con acabado de parquet.

FUENTE: Propia.

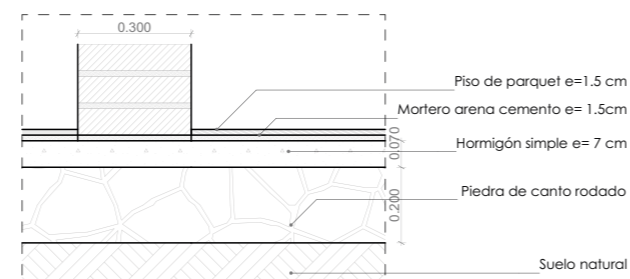


GRÁFICO 09 Detalle contrapiso con acabado de parquet.

FUENTE: Propia.

UCUENCA

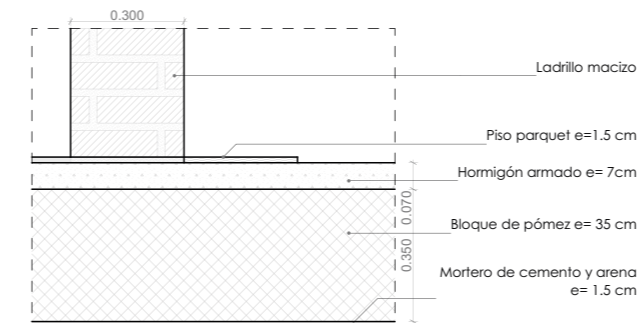


GRÁFICO 10 Detalle entrepiso con acabado de parquet Bloque E2.

FUENTE: Propia.

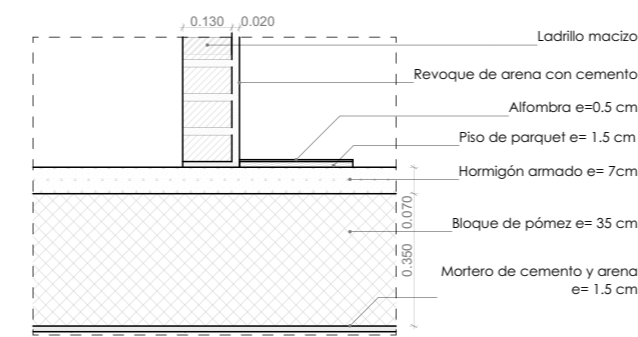


GRÁFICO 11 Detalle entrepiso con acabado parquet + alfombra.

FUENTE: Propia.

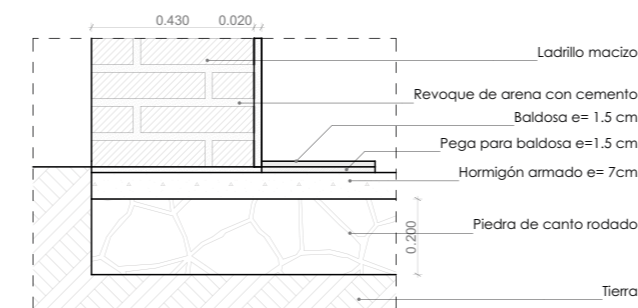


GRÁFICO 12 Detalle contrapiso con acabado de baldosa.

FUENTE: Propia.



IMAGEN 15 Aula E2 202.

FUENTE: Propia.



IMAGEN 16 Aula E2 103.

FUENTE: Propia.



IMAGEN 17 Aula E2 003.

FUENTE: Propia.

3.2.3 Bloque E3 (Ampliación)

La configuración del bloque E3, al ser una edificación mucho más reciente que los bloques E1 y E2, adopta diferentes capas de materiales en todos los componentes constructivos (Ver imágenes 18 y 19).

Según Encalada (2013), las paredes de las fachadas norte y sur están conformadas de adentro hacia afuera; mortero de arena y cemento de 1.5 cm, ladrillo hueco de 14x20x12 cm, cámara de aire de 6 cm, perfiles metálicos de 3 cm, con terminado de paneles de hormigón alivianado de 6 cm, en el sentido este-oeste; mortero de arena y cemento de 1.5 cm, ladrillo hueco de 14x20x12 cm, cámara de aire de 6 cm, perfiles metálicos de 5 cm, con terminado de plancha de tol de 0.25 cm.

En el caso del contrapiso, las capas contienen desde abajo hacia arriba; suelo natural, piedra de canto rodado de 20 cm, hormigón armado de 7 cm, para el terminado se usó microcemento de 0.15 cm.



IMAGEN 18 Aula E3 201.

FUENTE: Propia.

El entrepiso está formado desde lo inferior hasta lo superior; cielo raso de yeso cartón de 1 cm, cámara de aire por cielo raso de 46.5 cm, bloque de pómez de 40x20x20 cm, hormigón armado de 5 cm, y microcemento de 0.15 cm (Ver gráficos 13-16).



IMAGEN 19 Aula E3 202.

FUENTE: Propia.

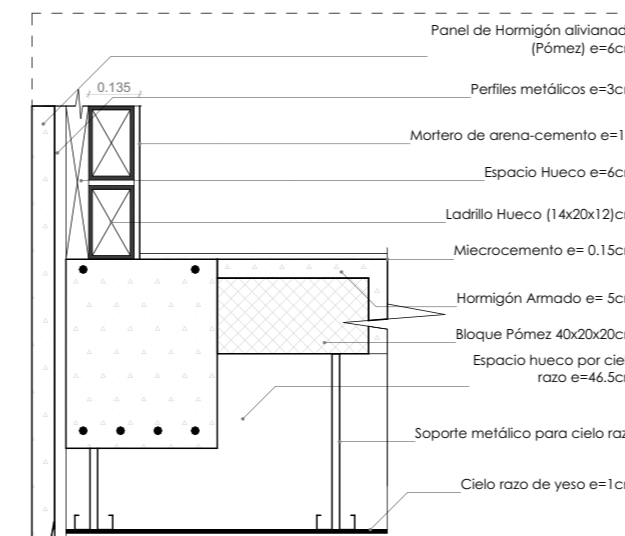


GRÁFICO 13 Detalle pared de paneles de hormigón.

FUENTE: Propia.

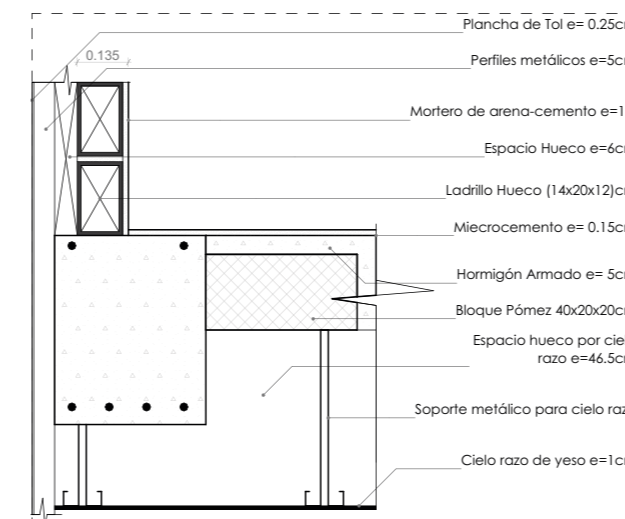


GRÁFICO 14 Detalle pared de tol.

FUENTE: Propia.

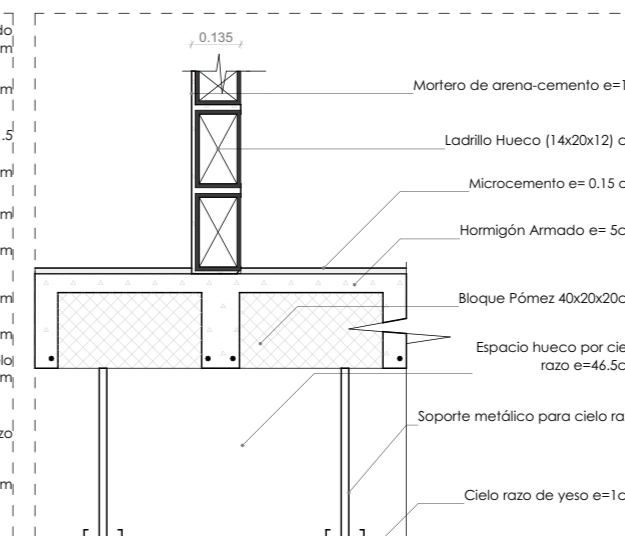


GRÁFICO 15 Detalle pared de ladrillo hueco enlucido una cara.

FUENTE: Propia.

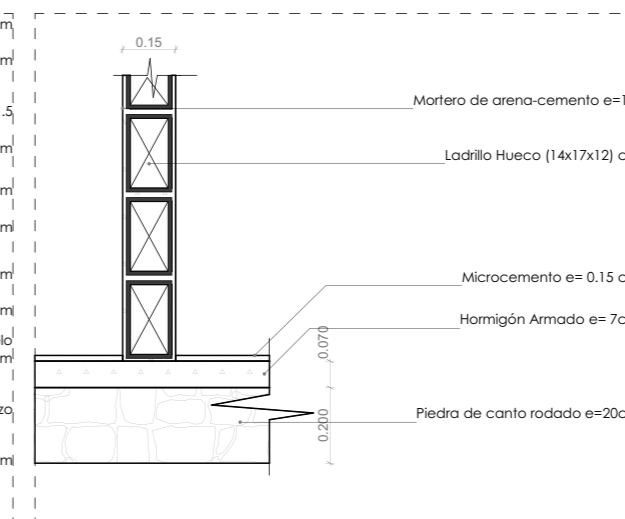


GRÁFICO 16 Detalle pared de ladrillo hueco enlucido dos caras.

FUENTE: Propia.

3.3 Propiedades físicas y térmicas de los materiales

En este apartado se describen los materiales, espesor, conductividad térmica, densidad, calor específico y transmitancia térmica, con los cuales se ha edificado el edificio de estudio. Las variaciones de transmitancia de cada elemento constructivo se mencionan en las tablas 04-15.

Los datos obtenidos para cada material se obtuvo mediante estudios realizados por la NEC 2018, según el apartado "Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales".

La Facultad de Arquitectura y Urbanismo en su estado actual, ya construida, está conformada con un sistema constructivo más tradicional como el uso de ladrillo artesanal visto para la envolvente de los bloques E1 y E2, con una transmitancia térmica de 1.42 W/m²k a 3 W/m²k dependiendo del espesor del elemento constructivo (Ver tablas 09-11). Para el caso del bloque E3, al existir varias capas de materiales

UCUENCA

en su paquete constructivo, los valores de transmitancia térmica son mucho más bajos 0.72 W/m²k a 1.9 W/m²k (Ver tablas 12-14).

En las losas de contrapiso y entrepiso de los bloques E1 y E2, los valores de transmitancia varían de 0.4 W/m²k a 2.67 W/m²k. Mientras que en el bloque E3, estos valores oscilan entre 0.21 W/m²k y 2.81 W/m²k (Ver tablas 04-08).

Ambas edificaciones tienen el mismo sistema constructivo de hormigón armado; sin embargo, los entrepisos y las envolventes de los bloques E1 y E2 no cuentan con cielo raso, ni cámaras de aire. Por lo tanto, los valores de transmitancia en estos dos bloques son más altos que en el bloque E3.

UCUENCA

Contrapiso de Hormigón y Acabado de Baldosa					
Materiales	Espesor (m)	Conductividad termica K (W/mk)	Densidad ρ (kg/m ³)	Calor Específico (J/KgK)	Transmitancia Térmica W/m ² K (U)
Baldosa	0.015	1.3	2300	840	2.67
Mortero	0.015	0.5	1300	1000	
Hormigón armado	0.07	1.63	2400	1050	
Piedra Natural	0.2	1.83	2200	712	

TABLA 04 Propiedades físicas y térmicas contrapiso de baldosa.

FUENTE: NEC, 2018.

Contrapiso de Hormigón y Acabado de Microcemento					
Materiales	Espesor (m)	Conductividad termica K (W/mk)	Densidad ρ (kg/m ³)	Calor Específico (J/KgK)	Transmitancia Térmica W/m ² K (U)
Microcemento	0.015	0.46	1700	1050	2.81
Hormigón armado	0.07	1.63	2400	1050	
Piedra Natural	0.215	1.83	2200	712	

TABLA 05 Propiedades Físicas y Térmicas contrapiso de microcemento.

FUENTE: NEC, 2018.

Entrepiso de Hormigón y Acabado de Parquet					
Materiales	Espesor (m)	Conductividad termica K (W/mk)	Densidad ρ (kg/m ³)	Calor Específico (J/KgK)	Transmitancia Térmica W/m ² K (U)
Parquet	0.018	0.17	900	1300	1.79
Mortero	0.032	1.15	1800	1000	
Bloque de hormigón	0.3	1.63	2000	1050	

TABLA 06 Propiedades Físicas y Térmicas entrepiso de parquet.

FUENTE: NEC, 2018.

Entrepiso de Hormigón y Acabado de Baldosa					
Materiales	Espesor (m)	Conductividad termica K (W/mk)	Densidad ρ (kg/m ³)	Calor Específico (J/KgK)	Transmitancia Térmica W/m ² K (U)
Baldosa	0.015	1.3	2300	840	0.4
Mortero	0.015	0.5	1300	1000	
Hormigón armado	0.07	1.63	2400	1050	
Bloque de Hormigón	0.35	0.163	2000	1000	

TABLA 07 Propiedades Físicas y Térmicas entrepiso de baldosa.

FUENTE: NEC, 2018.

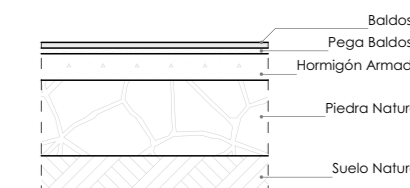


GRÁFICO 17 Contrapiso de hormigón y acabado de baldosa.

FUENTE: Propia.

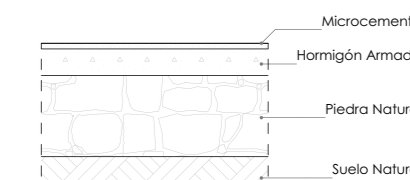


GRÁFICO 18 Contrapiso de hormigón y acabado de microcemento.

FUENTE: Propia.

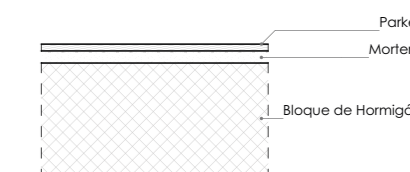


GRÁFICO 19 Entrepiso de hormigón y acabado de parquet.

FUENTE: Propia.

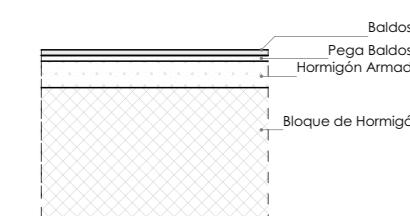


GRÁFICO 20 Entrepiso de hormigón y acabado de baldosa.

FUENTE: Propia.

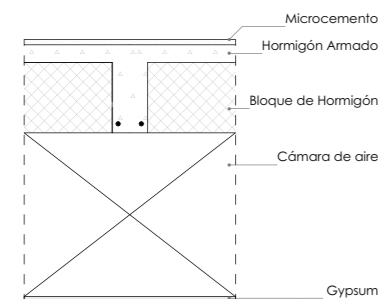


GRÁFICO 21 Entrepiso de hormigón y acabado de microcemento.

FUENTE: Propia.

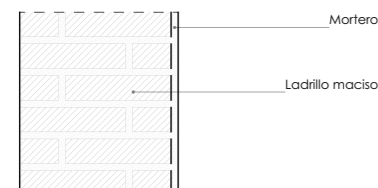


GRÁFICO 22 Pared de ladrillo maciso, e= 45 cm.

FUENTE: Propia.

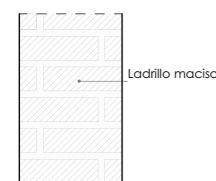


GRÁFICO 23 Pared de ladrillo maciso, e= 30 cm.

FUENTE: Propia.

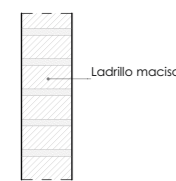


GRÁFICO 24 Pared de ladrillo maciso, e= 15 cm.

FUENTE: Propia.

Entrepiso de Hormigón y Acabado de Microcemento					
Materiales	Espesor (m)	Conductividad termica K (W/mk)	Densidad ρ (kg/m ³)	Calor Específico (J/KgK)	Transmitancia Térmica W/m ² K (U)
Microcemento	0.015	0.46	1700	1050	0.21
Hormigón armado	0.05	1.63	2400	1050	
Bloque de Hormigón	0.2	0.163	2000	1000	
Cámara de aire	0.465	0.15	1.2	1008	
Gypsum	0.01	0.25	900	1000	

TABLA 08 Propiedades físicas y térmicas entrepiso de microcemento.

FUENTE: NEC, 2018.

Pared de Ladrillo Maciso					
Materiales	Espesor (m)	Conductividad termica K (W/mk)	Densidad ρ (kg/m ³)	Calor Específico (J/KgK)	Transmitancia Térmica W/m ² K (U)
Ladrillo	0.43	0.84	830	800	1.42
Mortero	0.02	0.5	1300	1000	

TABLA 09 Propiedades físicas y térmicas pared de ladrillo maciso, e=45 cm.

FUENTE: NEC, 2018.

Pared de Ladrillo Maciso					
Materiales	Espesor (m)	Conductividad termica K (W/mk)	Densidad ρ (kg/m ³)	Calor Específico (J/KgK)	Transmitancia Térmica W/m ² K (U)
Ladrillo	0.3	0.84	830	800	1.95

TABLA 10 Propiedades físicas y térmicas pared de ladrillo maciso, e=30 cm.

FUENTE: NEC, 2018.

Pared de Ladrillo Maciso					
Materiales	Espesor (m)	Conductividad termica K (W/mk)	Densidad ρ (kg/m ³)	Calor Específico (J/KgK)	Transmitancia Térmica W/m ² K (U)
Ladrillo	0.15	0.84	830	800	3

TABLA 11 Propiedades físicas y térmicas pared de ladrillo maciso, e=15 cm.

FUENTE: NEC, 2018.

Pared de Ladrillo Huevo y Placa de Hormigón					
Materiales	Espesor (m)	Conductividad termica K (W/mk)	Densidad ρ (kg/m ³)	Calor Específico (J/KgK)	Transmitancia Térmica W/m ² K (U)
Hormigón simple (Panel)	0.06	1.15	1800	1000	1.49
Cámara de aire	0.03	0.15	1.2	1008	
Ladrillo hueco	0.115	0.49	1200	800	
Mortero	0.015	0.5	1300	1000	

TABLA 12 Propiedades físicas y térmicas placa de hormigón.

FUENTE: NEC, 2018.

Pared de Ladrillo Huevo y Placa Metálica					
Materiales	Espesor (m)	Conductividad termica K (W/mk)	Densidad ρ (kg/m ³)	Calor Específico (J/KgK)	Transmitancia Térmica W/m ² K (U)
Lámina de acero cortén	0.0025	50.2	7830	48	0.72
Cámara de aire	0.12	0.15	1.2	1008	
Ladrillo hueco	0.12	0.49	1200	800	
Mortero	0.02	0.5	1300	1000	

TABLA 13 Propiedades físicas y térmicas placa metálica.

FUENTE: NEC, 2018.

Pared de Ladrillo Huevo Enlucido Ambas Caras					
Materiales	Espesor (m)	Conductividad termica K (W/mk)	Densidad ρ (kg/m ³)	Calor Específico (J/KgK)	Transmitancia Térmica W/m ² K (U)
Mortero	0.015	0.5	1300	1000	2.18
Ladrillo hueco	0.12	0.49	1200	800	
Mortero	0.015	0.5	1300	1000	

TABLA 14 Propiedades físicas y térmicas ladrillo hueco enlucido ambas caras.

FUENTE: NEC, 2018.

Vidrio Simple e= 4 mm					
Materiales	Espesor (m)	Conductividad termica K (W/mk)	Densidad ρ (kg/m ³)	Calor Específico (J/KgK)	Transmitancia Térmica W/m ² K (U)
Vidrio	0.004	1	2500	750	5.9

TABLA 15 Propiedades físicas y térmicas vidrio simple, e=4 mm.

FUENTE: NEC, 2018.

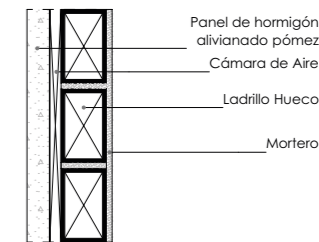


GRÁFICO 25 Pared de ladrillo hueco y placa de hormigón.

FUENTE: Propia.

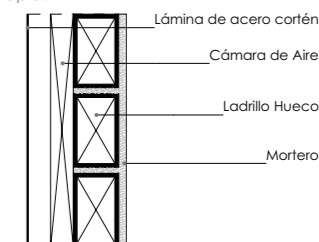


GRÁFICO 26 Pared de ladrillo hueco y placa metálica.

FUENTE: Propia.

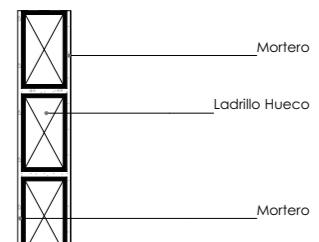


GRÁFICO 27 Pared de ladrillo hueco enlucido ambas caras.

FUENTE: Propia.

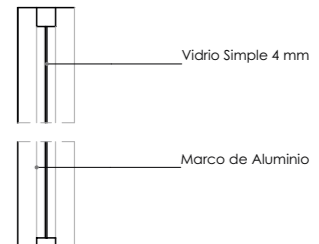


GRÁFICO 28 Vidrio Simple, e= 4 mm.

FUENTE: Propia.

BLOQUE E1		
ESPACIOS	CANTIDAD	ÁREA
Aulas	12	584,82 m ²
Aulas de exposiciones	1	32,70 m ²
Administración	1	244,64 m ²
Baños	7	62,48 m ²
Decanato	1	28,56 m ²
Oficinas	14	223,99 m ²
MATERIALES		CANTIDADES
Ladrillo artesanal		890,55 m ³
Parquet		211,93 m ²
Baldosa		2286,73 m ²
Vidrio simple		283,90 m ²
BLOQUE E2		
NOMBRE	CANTIDAD	ÁREA
Aulas	10	671,79 m ²
Aulas de exposiciones	1	133,70 m ²
Baños	11	44,17 m ²
Cafetería	1	97,75 m ²
Oficinas	4	238,78 m ²
MATERIALES		CANTIDADES
Ladrillo artesanal		590,07 m ³
Parquet		805,86 m ²
Baldosa		504,94 m ²
Vidrio simple		401,03 m ²
BLOQUE E3		
NOMBRE	CANTIDAD	ÁREA
Aulas	8	509,92 m ²
Baños	4	42,30 m ²
Oficinas	6	243,18 m ²
MATERIALES		CANTIDADES
Ladrillo hueco		185,76 m ³
Microcemento		785,35 m ²
Lámina de acero		408,87 m ²
Paneles de hormigón alivianado		562,26 m ²
Vidrio simple		161,77 m ²

TABLA 16 Espacios y cantidades de materiales en bloques FAUC.

FUENTE: Propia.

3.4 Creación del modelo virtual en ArchiCAD

Una vez definido los compuestos para las envolventes y pisos, se procedió a modelar en ArchiCAD, tomando como referencia los planos del levantamiento del sitio.

En la construcción del modelo se precisó que cada pared y piso debe estar en su totalidad conectado para que no exista ningún error al momento de la simulación. Para el bloque E1 (Ver gráficos 29-31), bloque E2 (Ver gráficos 32-34), bloque E3 (Ver gráficos 35-37) van albergar diferentes espacios y materialidad descritas en la tabla 16.

Las alturas del cielo raso para el bloque E1 varían de 3.10 m a 3.60 m (Ver gráfico 30), en el bloque E2 de 3.85 m a 4.60 m (Ver gráfico 34), y para el bloque E3 la altura es constante de 2.86 m (Ver gráfico 36). El gráfico 38 muestra una axonometría explotada de los tres bloques, mientras que en el gráfico 39, se evidencia la axonometría general de toda la facultad incluido el terreno.

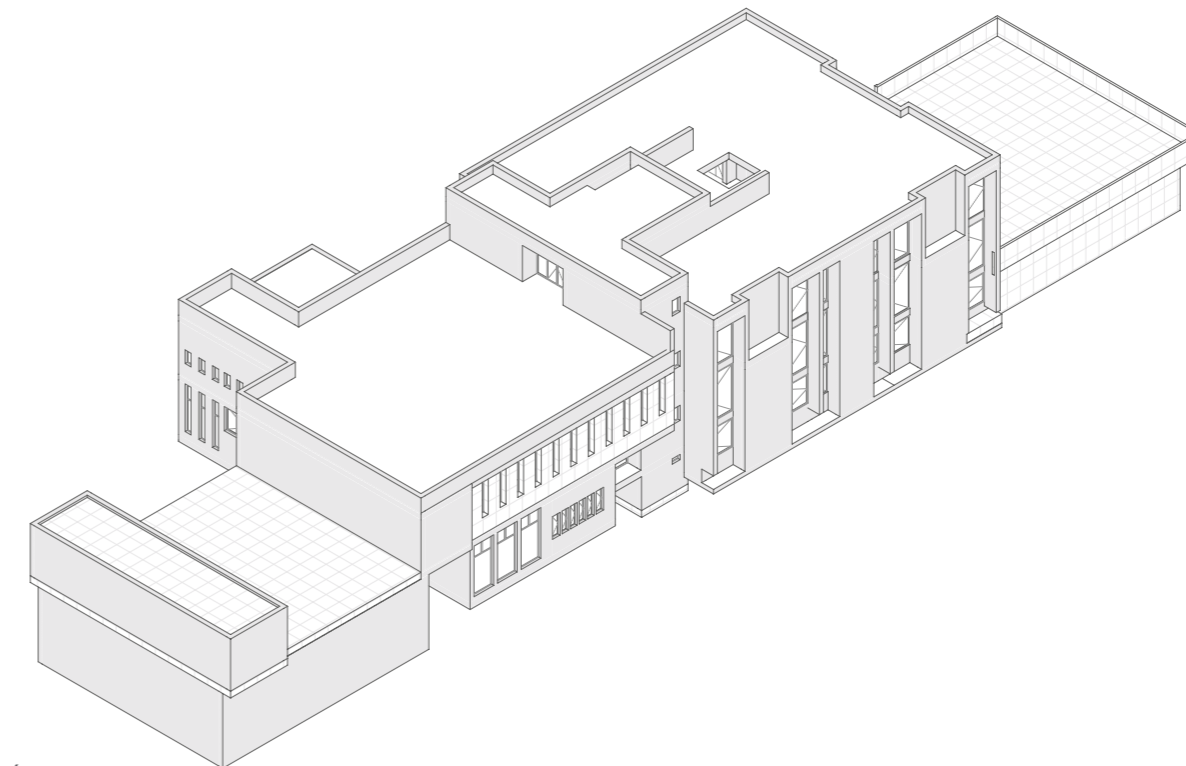


GRÁFICO 29 Axonometría bloque E1.

FUENTE: Propia.

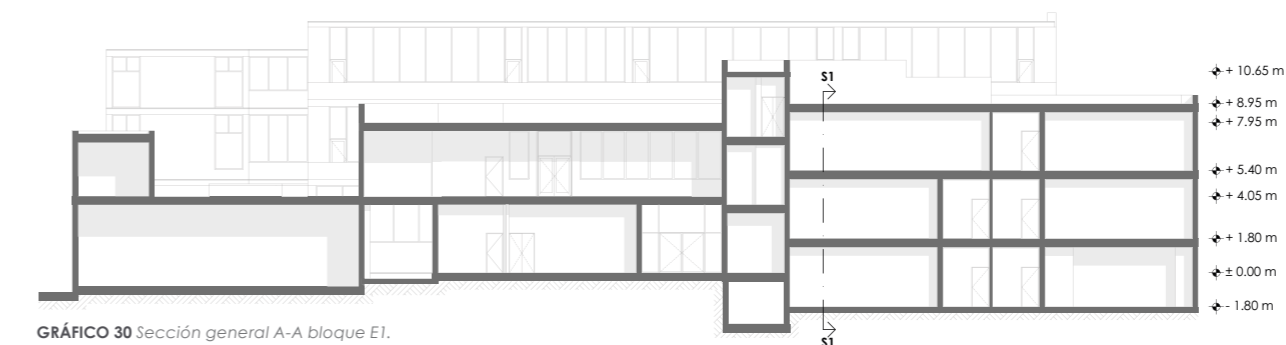


GRÁFICO 30 Sección general A-A bloque E1.

FUENTE: Propia.

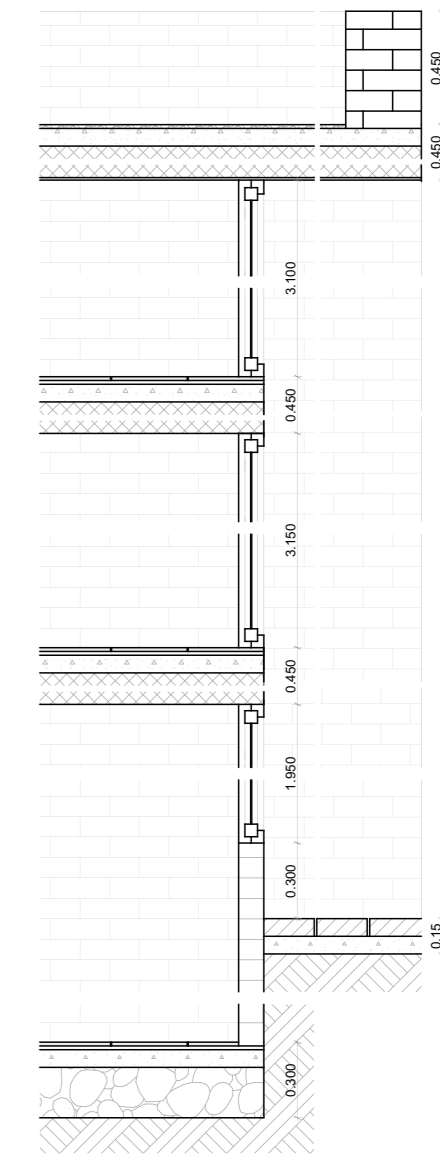


GRÁFICO 31 Sección constructiva S1 bloque E1.

FUENTE: Propia.

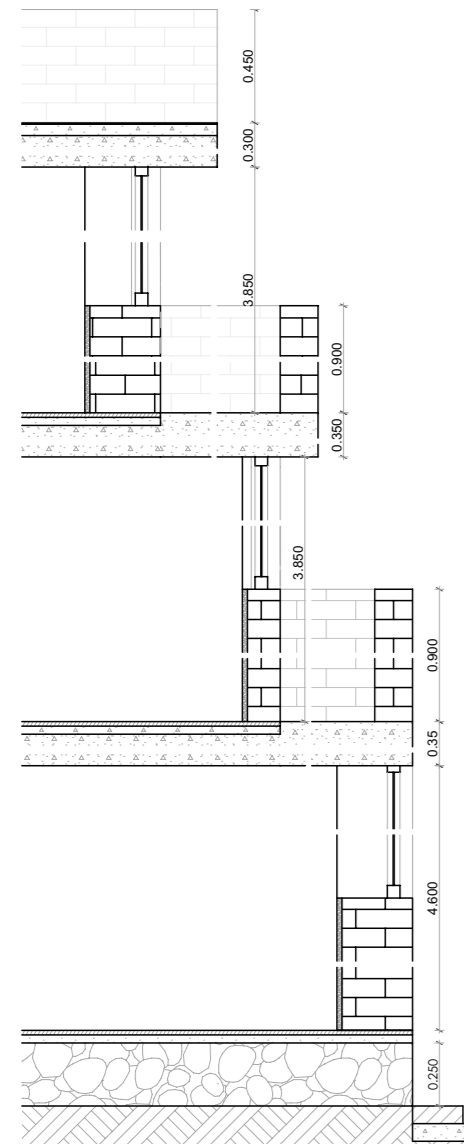


GRÁFICO 32 Sección constructiva S2 bloque E2.
FUENTE: Propia.

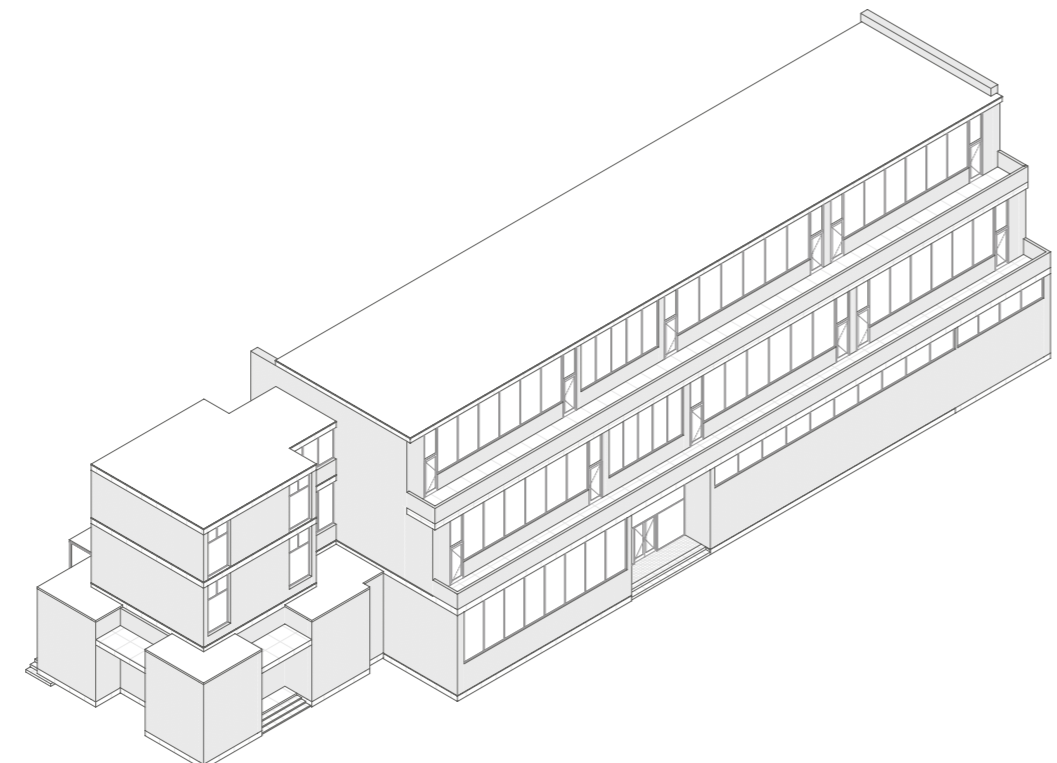


GRÁFICO 33 Axonometría bloque E2.
FUENTE: Propia.

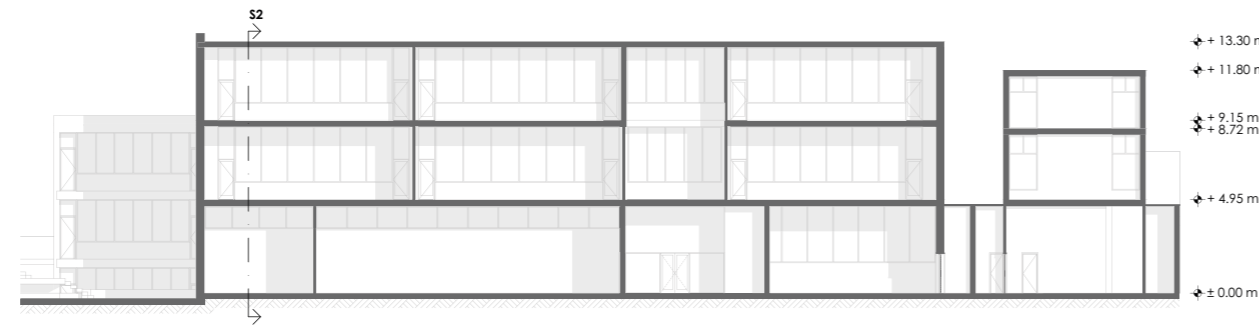


GRÁFICO 34 Sección general B-B bloque E2.
FUENTE: Propia.

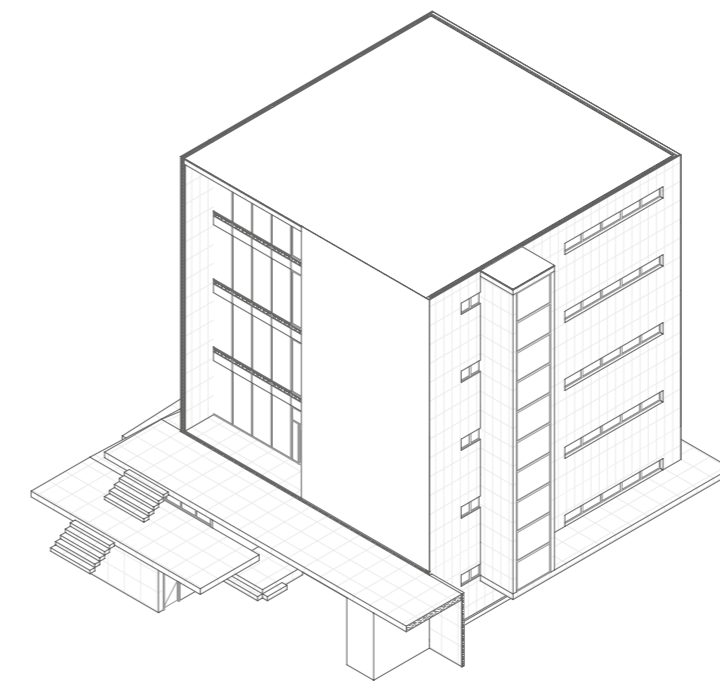


GRÁFICO 35 Axonometría bloque E3.
FUENTE: Propia.

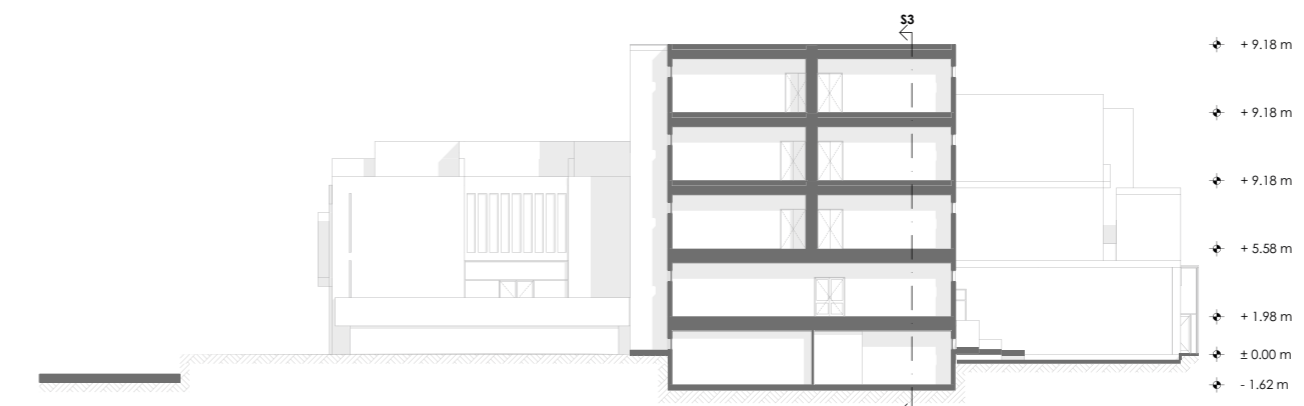


GRÁFICO 36 Sección general C-C bloque E3.
FUENTE: Propia.

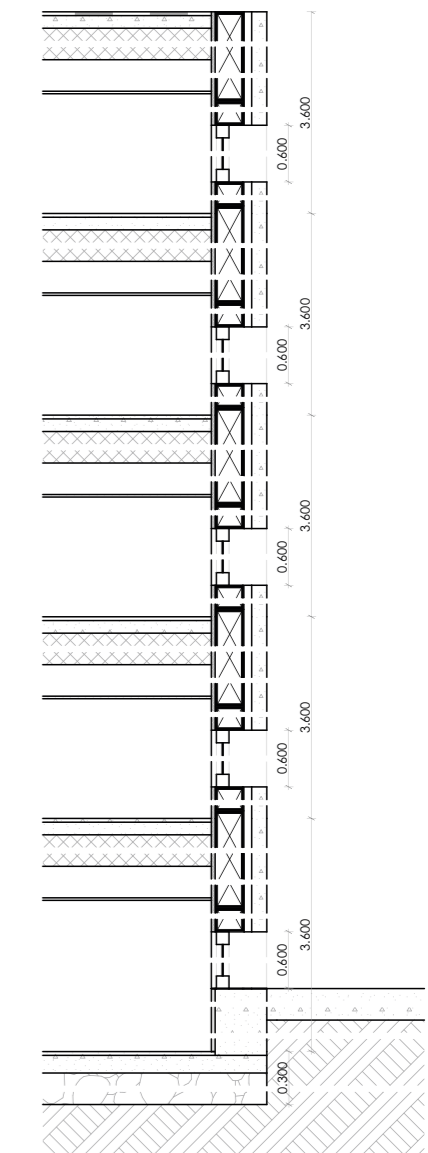
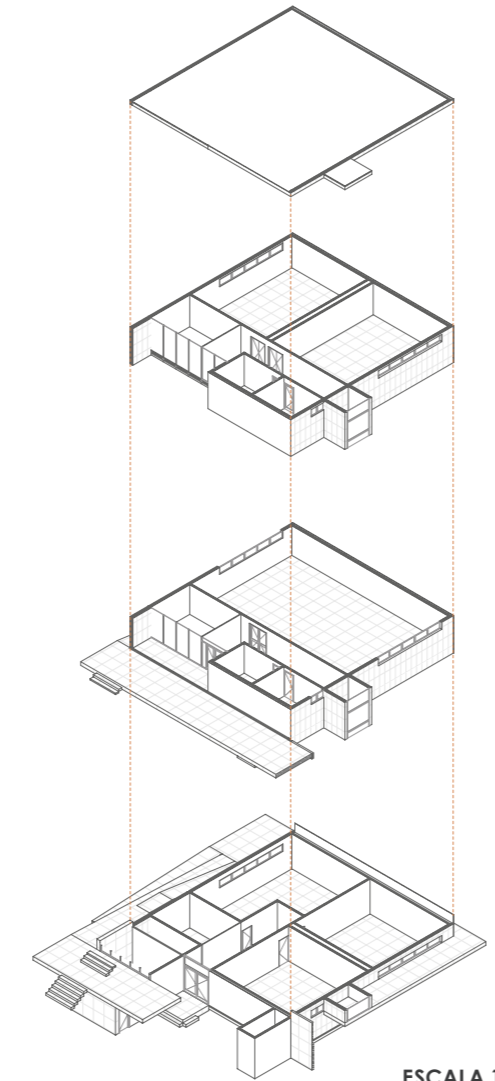
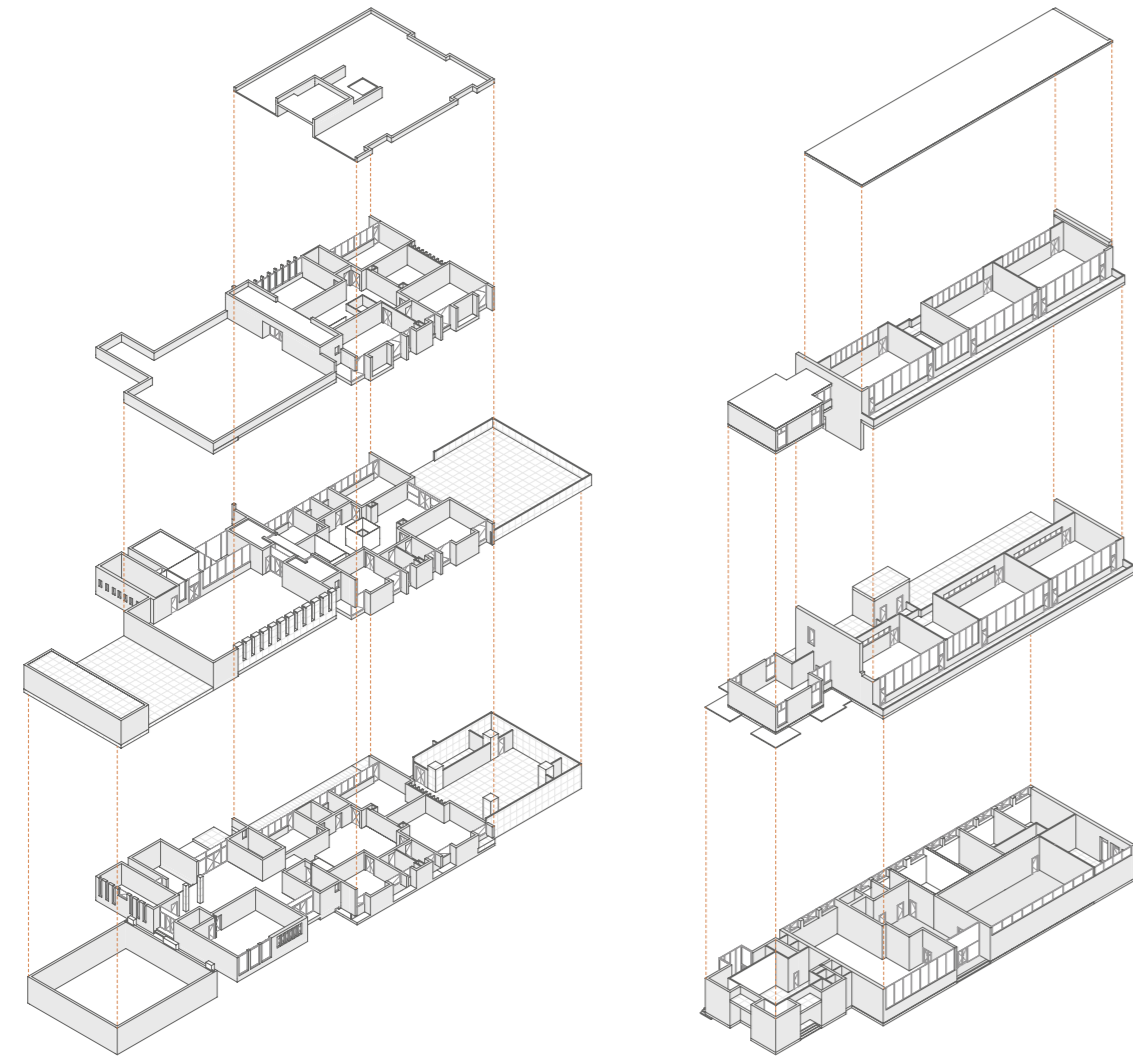


GRÁFICO 37 Sección constructiva S3 bloque E3.
FUENTE: Propia.

UCUENCA



ESCALA 1:400

GRÁFICO 38 Axonometría explotada.
FUENTE: Propia.

UCUENCA

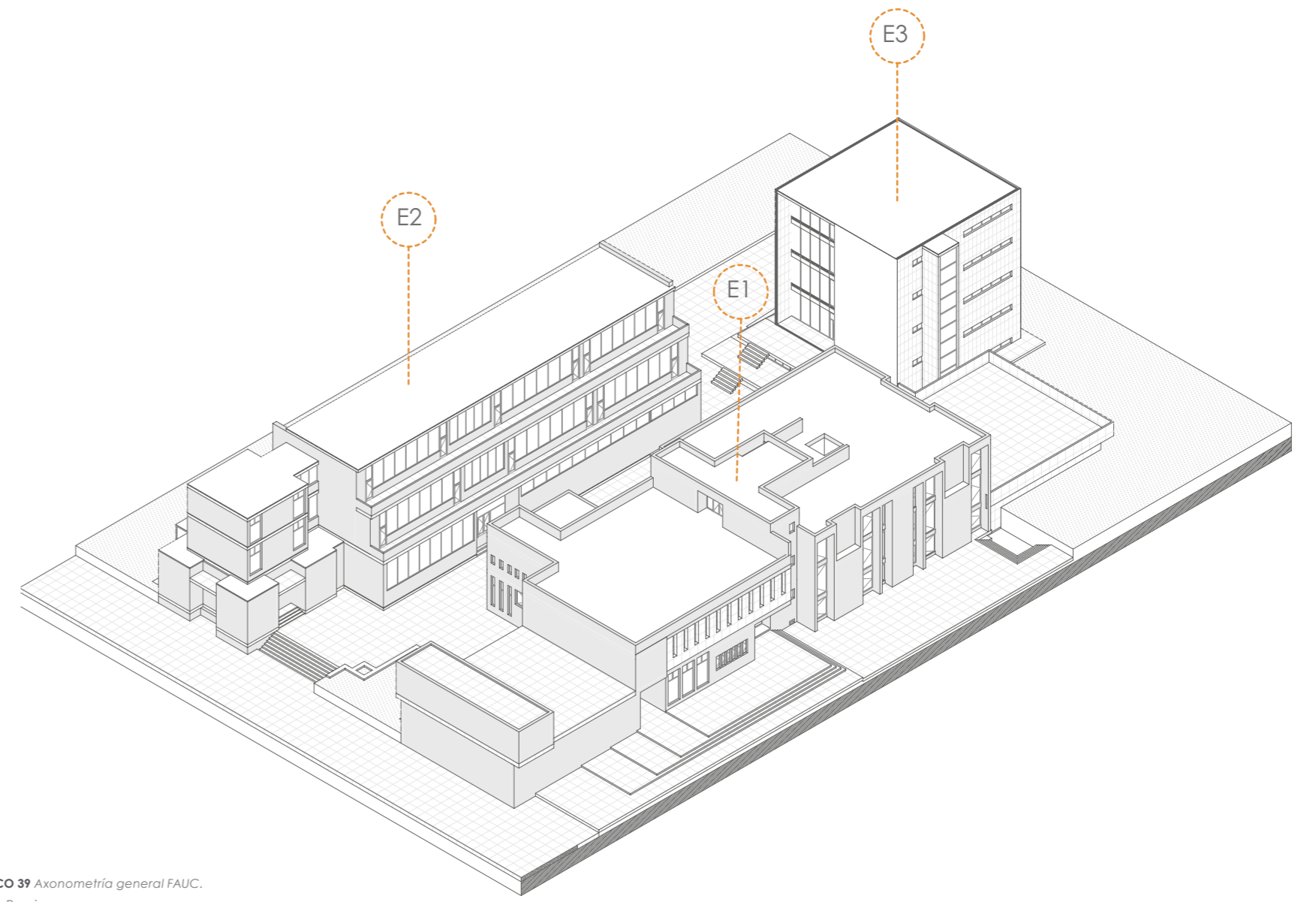


GRÁFICO 39 Axonometría general FAUC.
FUENTE: Propia.

3.5 Parámetros de ocupación y condiciones climáticas

Mediante el levantamiento de información se logró determinar los elementos que intervienen en las aulas de la Facultad, tales como el mobiliario, tipo de iluminación y la existencia de aparatos eléctricos. Esto es necesario para poder establecer el perfil de operación asignado en cada bloque térmico. En primera instancia, se determinó un perfil general para todas las aulas; luego, se procedió con el análisis detallado de un aula por cada bloque, precisando el área y la ocupación, se tomó en cuenta las fechas y horarios de ocupación reales de la Facultad para poder obtener resultados precisos (Ver anexos C-E).

Se determinó entonces que un aula FAUC tiene en promedio un área de 65 m², 33 bancas, 12 luminarias tipo LED, y un infocus (Ver anexo A). Para el cálculo se consideró una ocupación de 20 estudiantes por sesión (promedio por cada curso), lo que nos da una ocupación de 3.25 m² por persona.

En base a los horarios levantados (Ver anexos J-R), se estimó el tiempo de estancia de los estudiantes en las aulas, este representa aproximadamente el 60 % del total de horas en la jornada de clase, se estableció entonces de manera general una ocupación de 5.4 m² por persona (Ver imagen 20).

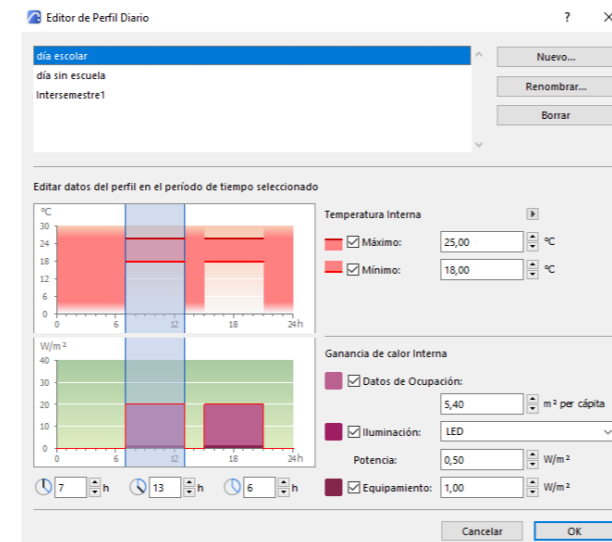


IMAGEN 20 Perfil de ocupación general aulas FAUC.

FUENTE: Propia.

Los esquemas diarios se ingresaron en base al calendario académico, considerando días de clase y descansos intersemestrales (Ver imagen 21). Como se describe en la metodología, con equipos de medición se logró de-

terminar los tiempos y horarios específicos para cada aula, esto debido a que los porcentajes de CO₂ medidos indican el tiempo de permanencia en el interior independientemente del horario de clase. De igual manera, los datos medidos ayudaron a determinar los momentos de máximo frío, para poder establecer que aulas analizar, cabe recalcar que se consideró solo la información completa (Ver anexo B).

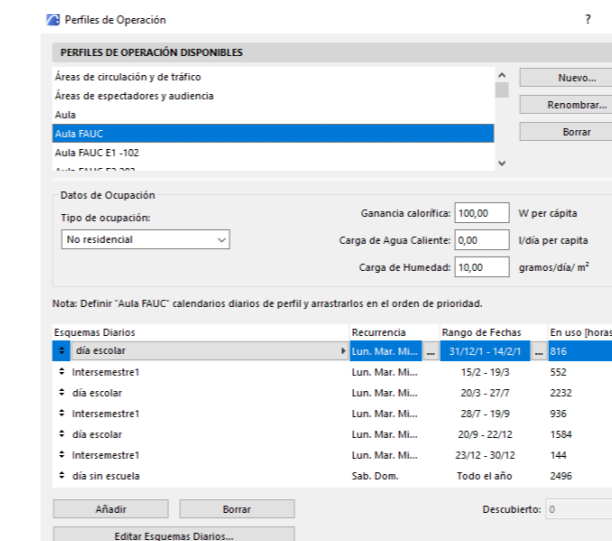


IMAGEN 21 Perfil de operación general aulas FAUC.

FUENTE: Propia.

Para la simulación también se determinaron las ganancias de calor interno en las aulas, se consideró una

potencia de 0.50 W/m² para iluminación LED, y 1 W/m² para equipos eléctricos. En cuanto al rango de confort, se estableció entre 18 y 25 °C, considerando un promedio entre las normas descritas en la sección 2.2.10 y con una variación de +/- 3 °C. Estos datos fueron utilizados de manera general para todos los perfiles de operación.

El proceso consistió en elegir las aulas con valores más bajos de temperatura interna (Ver anexo B), esto debido a que en la ciudad de Cuenca el clima imposibilita el exceder el rango de confort (18-25 °C), por el contrario el desconfort es probable con temperaturas bajas. Las aulas establecidas para el análisis fueron: E1-102, E2 203 y E3 201, una por cada bloque de la Facultad (Ver imagen 22). Para la elección del día de análisis se consideró los valores más altos de concentración de CO₂, pudiendo así analizar las aulas que alcanzan las temperaturas más bajas en situaciones de máxima ocupación. Esta fecha se consideró en ambos perfiles con el fin de poder comparar resultados.

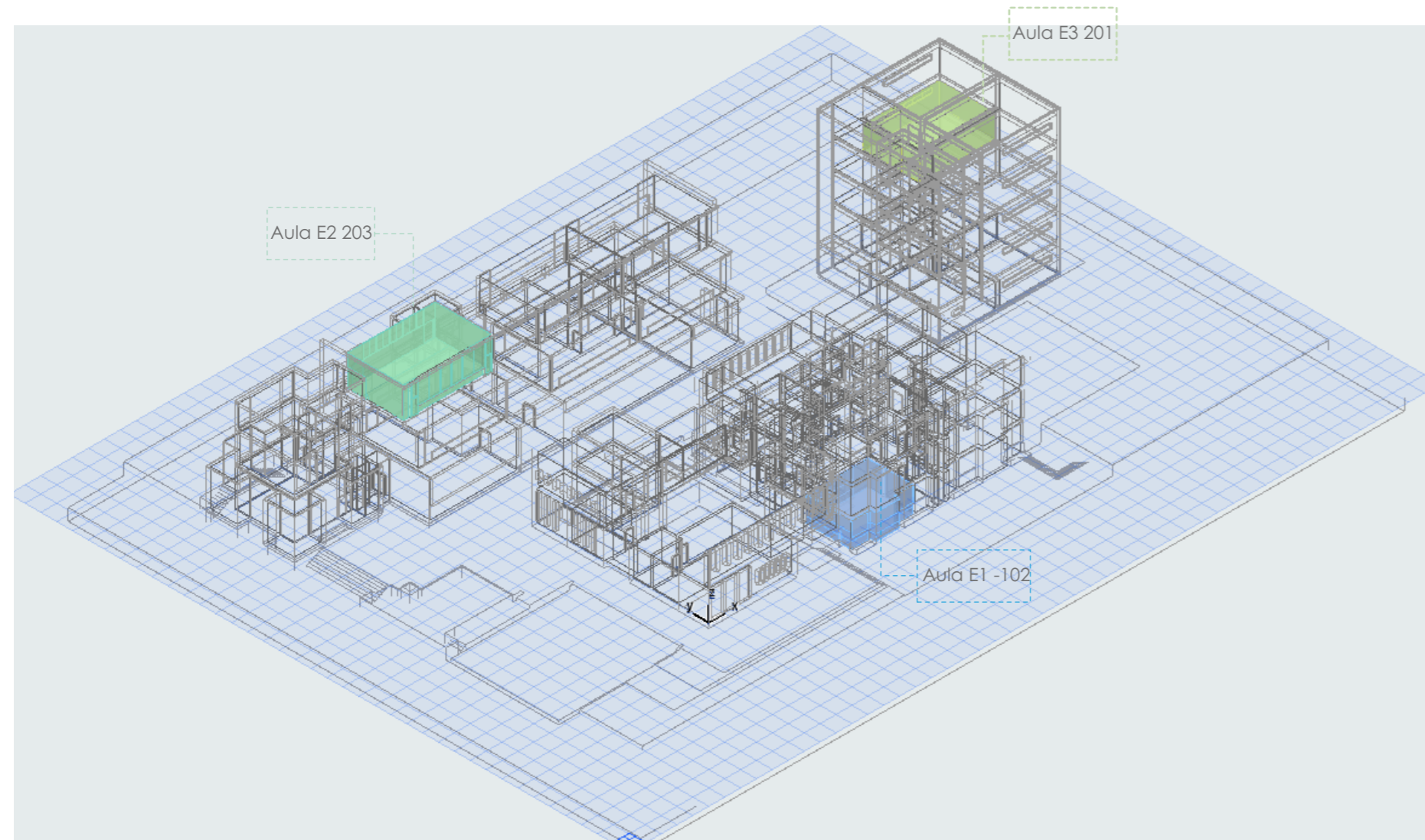


IMAGEN 22 Axonometría aulas a analizar.
FUENTE: Propia.

3. 5.1 Elaboración de fichas

Todo el proceso mencionado anteriormente, se representa mediante fichas para cada una de las aulas analizadas. Como ayuda al lector se describe el ejemplo para el aula E1 -102.

La tabla superior E1 -102 (Ver tabla 17) indica el levantamiento realizado en sitio, e información obtenida mediante los equipos de medición. Los datos se describen a continuación:

- **Temperatura:** Se indican los valores de temperatura más bajos registrados en el periodo de medición, esto nos indica el porqué se consideró específicamente el aula a analizar.
- **Elementos:** Se indica la cantidad de mobiliario, luminarias y equipos en el aula.
- **Datos de ocupación:** Se divide el área del aula por el número de estudiantes, y se obtiene el valor a ingresar en el Ecodesigner.

- **Nivel de CO₂ :** Según la NEC-11 (2011), el rango máximo permitido de CO₂ para edificaciones públicas es de 650 ppm. En este caso se tomó los valores máximos de concentración en las aulas, estableciendo la fecha de análisis .

- **Horario:** En base al gráfico de nivel de CO₂, se describe el horario real de ocupación para el día establecido.

El gráfico E1 -102 (Ver gráfico 40), indica los valores de temperatura registrados en el día establecido, necesarios para la comparación.

El gráfico E1 -102 CO₂ (Ver gráfico 41), representa el nivel de CO₂ registrado.

Los imágenes inferiores (Ver imagen 23 y 24) muestran el ingreso de datos en Ecodesigner, se establece el perfil diario en base al horario, así como los datos de ocupación y valores de ganancia interna para el aula establecida.

3.5.2 Ocupación aula E1 -102 (Ver anexo C)

E1 -102					
Temp. (°C)	Bancas: 35	Area(m²): 46.56	CO ₂ (max)	Horario:	08h00 - 13h00
14.26 (min)	Ilum LED: 12	Cap(max): 20	137.87ppm		19h00 - 21h00
21.29 (max)	Equipos: Si	Gan.Cal: 2.33	8-Junio		

TABLA 17 Datos de ocupación interna Aula E1 -102.

FUENTE: Propia.

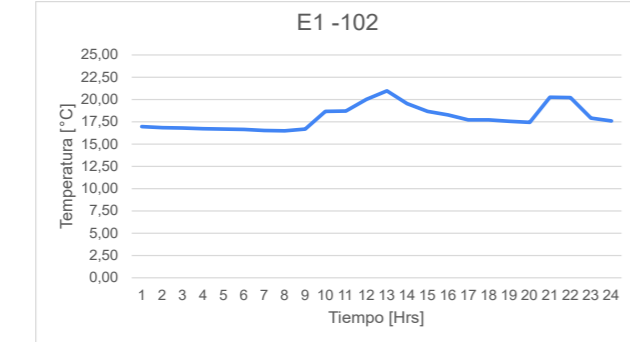


GRÁFICO 40 Temperatura interna Aula E1 -102.

FUENTE: Propia.

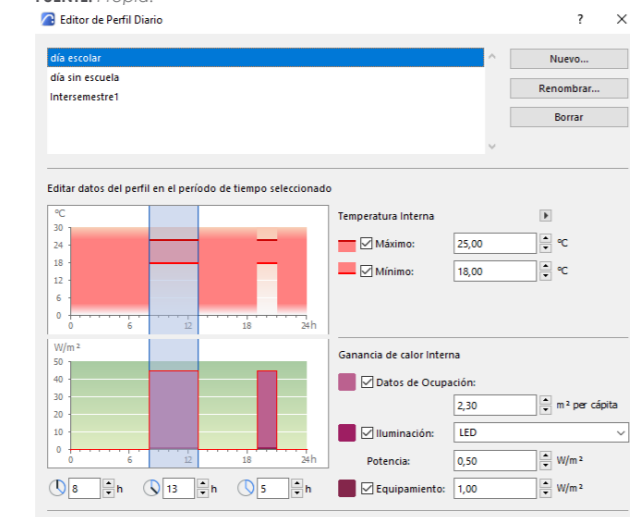


IMAGEN 23 Perfil de ocupación Aula E1 -102.

FUENTE: Propia.

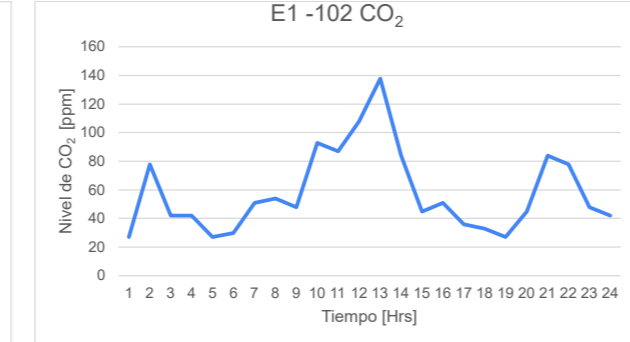


GRÁFICO 41 Niveles de CO₂ Aula E1 -102.

FUENTE: Propia.

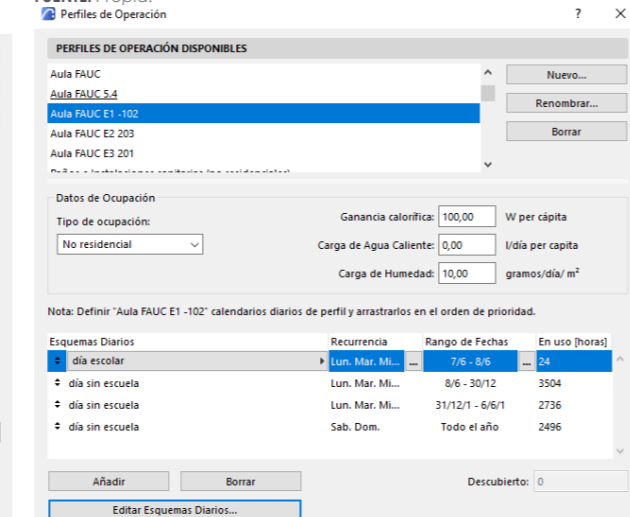


IMAGEN 24 Perfil de operación Aula E1 -102.

FUENTE: Propia.

3.5.3 Ocupación aula E2 203 (Ver anexo D)

E2 203					
Temp. (°C)	Bancas: 30	Area(m²): 77.95	CO ₂ (max)	Horario:	09h00 - 10h00
9.70 (min)	Ilum LED: 12	Cap(max): 20	591.21ppm		13h00 - 16h00
20.74 (max)	Equipos: Si	Gan.Cal: 3.89	6-Junio		17h00 - 19h00

TABLA 18 Datos de ocupación interna Aula E2 203.

FUENTE: Propia.

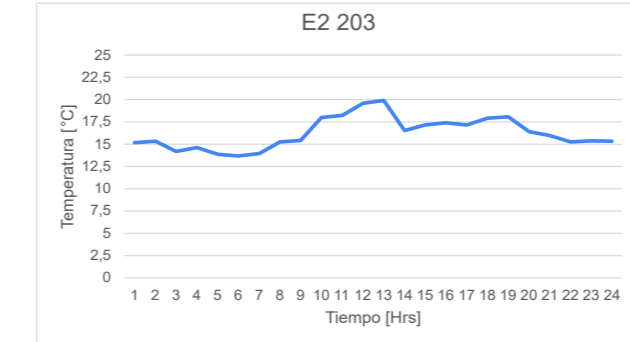


GRÁFICO 42 Temperatura interna Aula E2 203.

FUENTE: Propia.

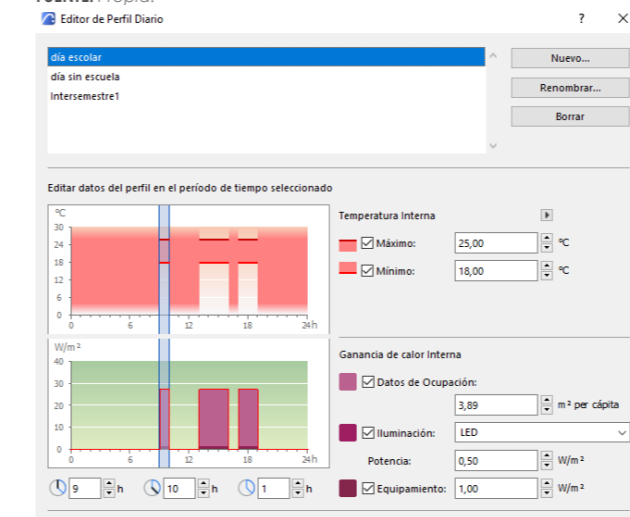


IMAGEN 25 Perfil de ocupación Aula E2 203.

FUENTE: Propia.

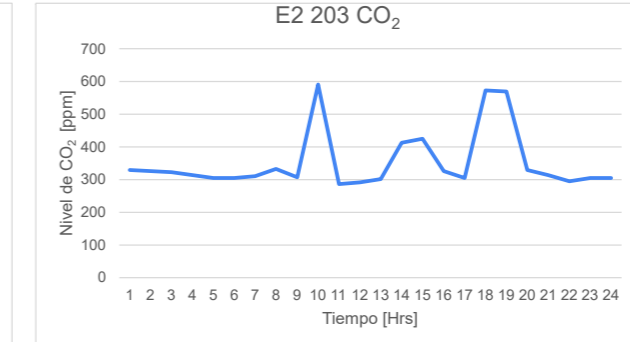


GRÁFICO 43 Niveles de CO₂ Aula E2 203.

FUENTE: Propia.

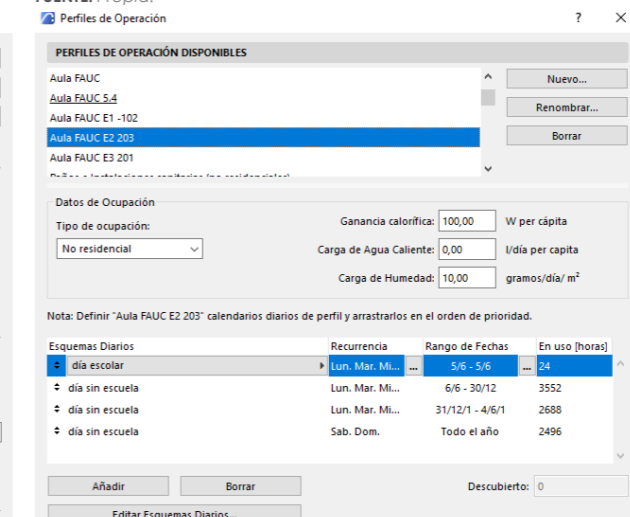


IMAGEN 26 Perfil de operación Aula E2 203.

FUENTE: Propia.

3.5.4 Ocupación aula E3 201 (Ver anexo E)

E3 201					
Temp. (°C)	Bancas: 32	Area(m²): 67.48	CO ₂ (max)	Horario:	07h00 - 11h00
14.44 (min)	Ilum LED: 12	Cap(max): 20	877.16ppm		19h00 - 21h00
21.09 (max)	Equipos: Si	Gan.Cal: 3.37	1-Junio		

TABLA 19 Datos de ocupación interna Aula E3 201.

FUENTE: Propia.



GRÁFICO 44 Temperatura interna Aula E3 201.

FUENTE: Propia.

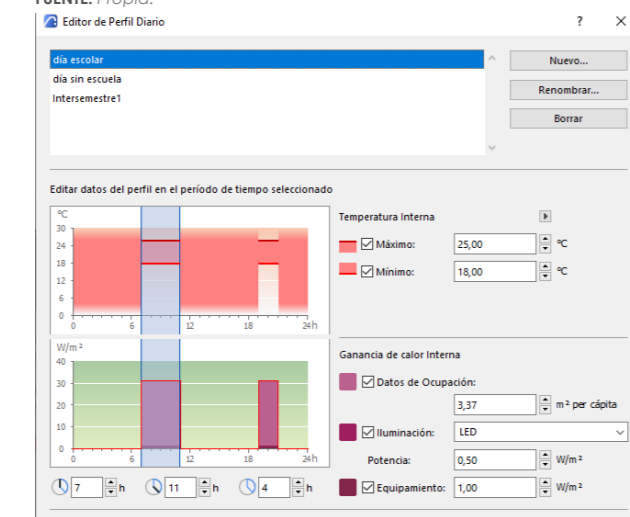


IMAGEN 27 Perfil de ocupación Aula E3 201.

FUENTE: Propia.

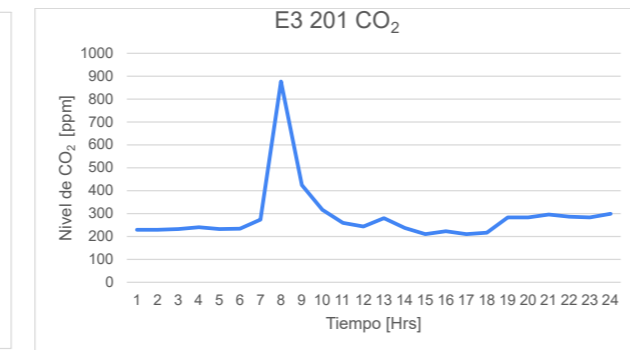


GRÁFICO 45 Niveles de CO2 Aula E3 201.

FUENTE: Propia.

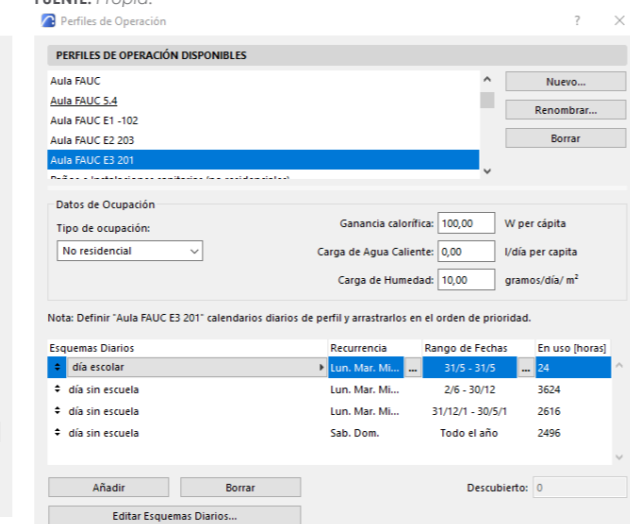


IMAGEN 28 Perfil de operación Aula E3 201.

FUENTE: Propia.

UCUENCA



CAPÍTULO 4

4.1 Modelado de zonas térmicas

Para la simulación en Ecodesigner Star, es necesario la creación de zonas térmicas en cada uno de los espacios del modelo, si bien el análisis se centra en las aulas específicas, los demás espacios como circulaciones, aulas aledañas, vestíbulos, etc., intervienen en las condiciones ambientales ya sea con aportes térmicos o enfriamiento.

Con la ayuda de la herramienta zona se asignan las zonas térmicas, estas deben abarcar en su totalidad el volumen de cada espacio (Ver gráficos 46-53), para esto es necesario un correcto modelado. La zona debe conectarse con cada uno de los elementos como losas, paredes, ventanas y puertas, esto con el fin de que el software lea correctamente los paquetes constructivos asignados en el modelo.

Al asignar una zona a un espacio se describe la información como nombre, número, área y altura. Para la simulación se agrupa cada zona en di-

ferentes bloques térmicos a excepción de las aulas, que se les asignó uno propio. Como se observa en los siguientes gráficos se establecieron 7 categorías: aulas, sala de exposiciones, cafetería, baños, oficinas, circulaciones horizontales y circulaciones verticales.

Posteriormente, se asignan los perfiles de operación a cada categoría, para el caso de las aulas, los perfiles de ocupación general y específico según el análisis, y para las demás se les asignó el perfil genérico del software.

4.1.1 Planta de subsuelo

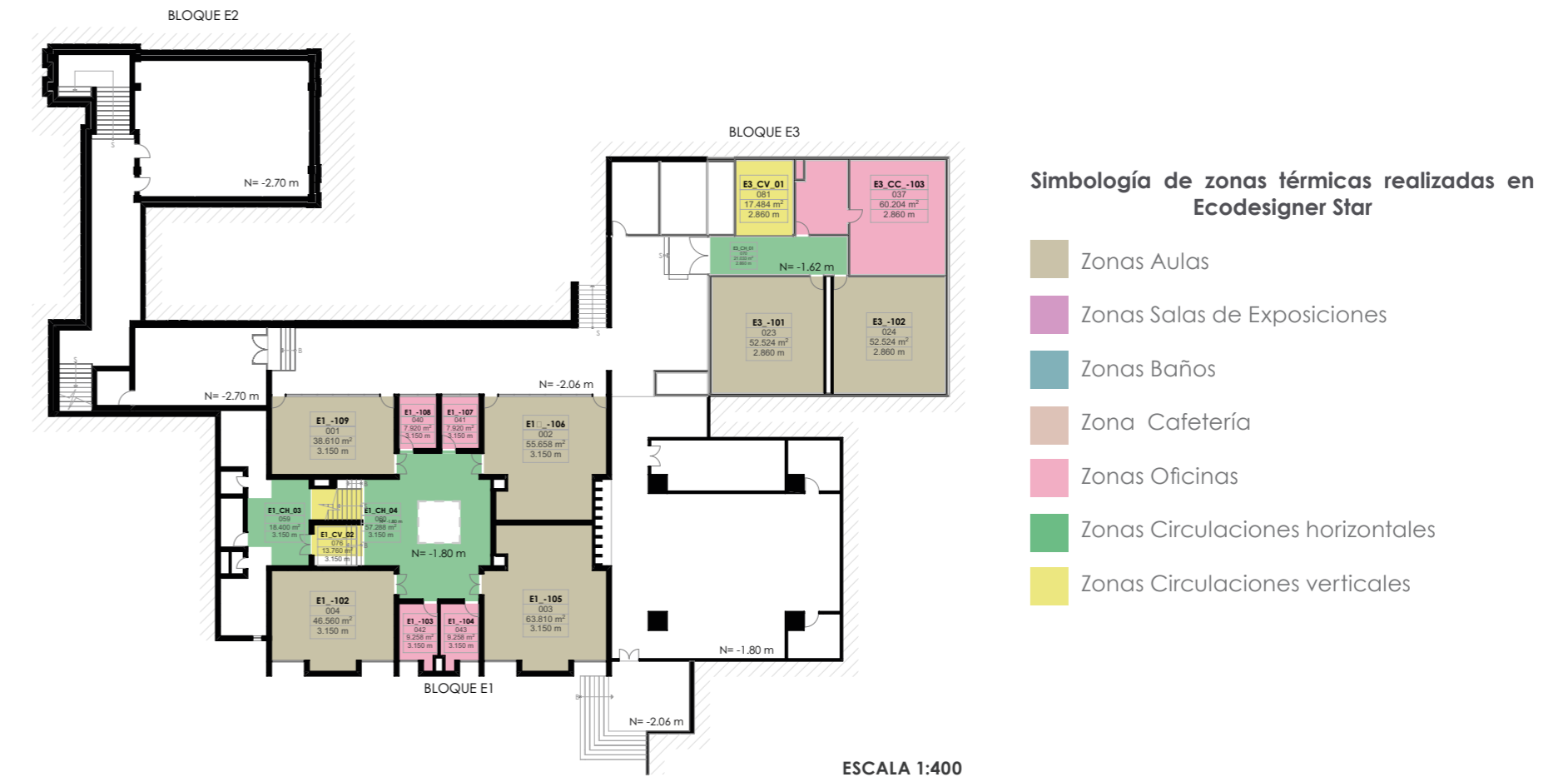


GRÁFICO 46 Plano de zonas en Planta de Subsuelo FAUC.
FUENTE: Propia.

4.1.2 Planta baja



GRÁFICO 47 Plano de zonas en Planta Baja FAUC.
FUENTE: Propia.

4.1.3 Primera planta alta



GRÁFICO 48 Plano de zonas en Primera Planta Alta FAUC.
FUENTE: Propia.

4.1.4 Segunda planta alta



GRÁFICO 49 Plano de zonas en Segunda Planta Alta FAUC.
FUENTE: Propia.

4.1.5 Tercera planta alta

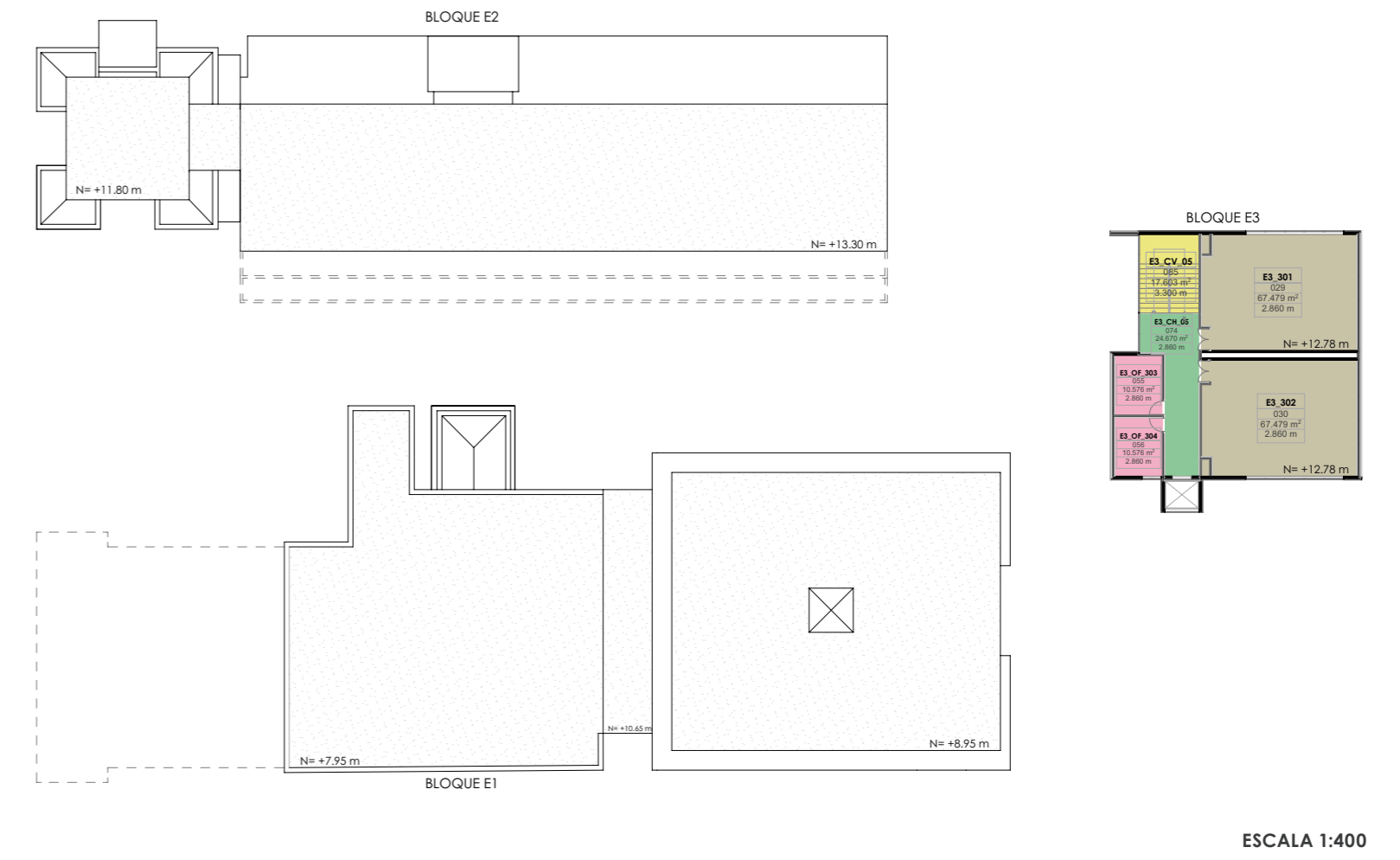


GRÁFICO 50 Plano de zonas en Tercera Planta Alta FAUC.
FUENTE: Propia.

UCUENCA

Simbología de zonas térmicas Realizadas en Ecodesigner Star 4.1.6 Axonometría zonas bloque E1

- Zonas Aulas
- Zonas Salas de Exposiciones
- Zonas Baños
- Zona Cafetería
- Zonas Oficinas
- Zonas Circulaciones horizontales
- Zonas Circulaciones verticales

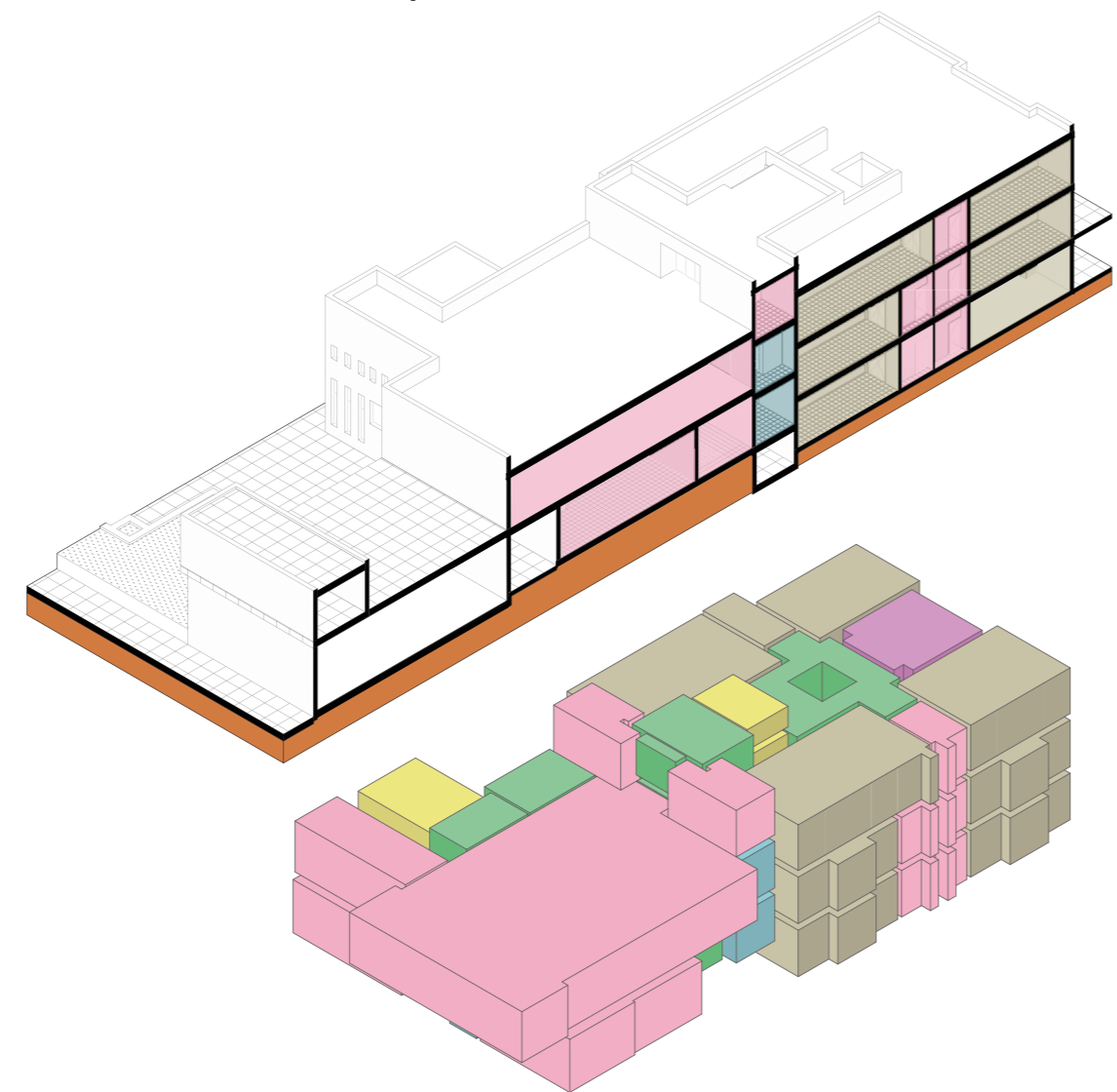


GRÁFICO 51 Corte y axonometría de zonas en bloque E1.
FUENTE: Propia.

UCUENCA

4.1.7 Axonometría zonas bloque E2

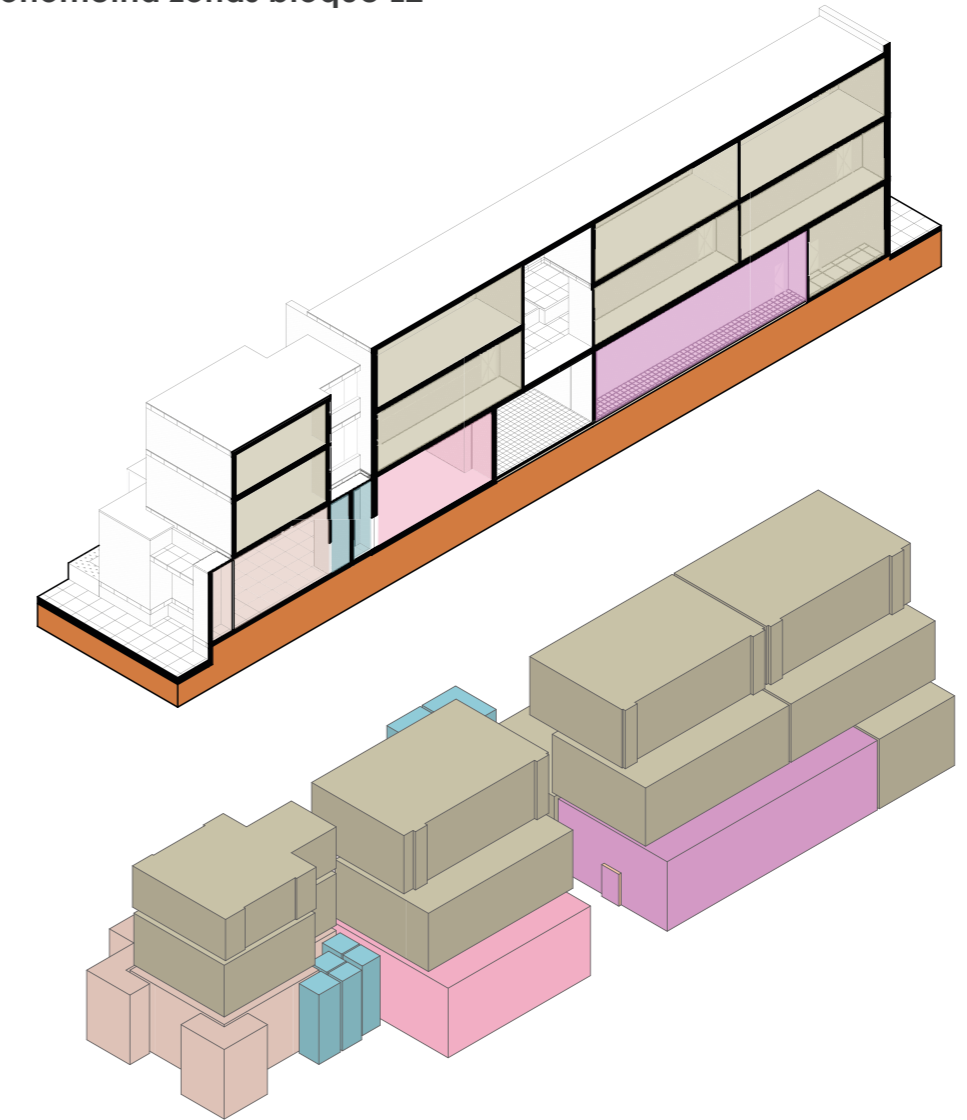


GRÁFICO 52 Corte y axonometría de zonas en bloque E2.
FUENTE: Propia.

4.1.8 Axonometría zonas bloque E3

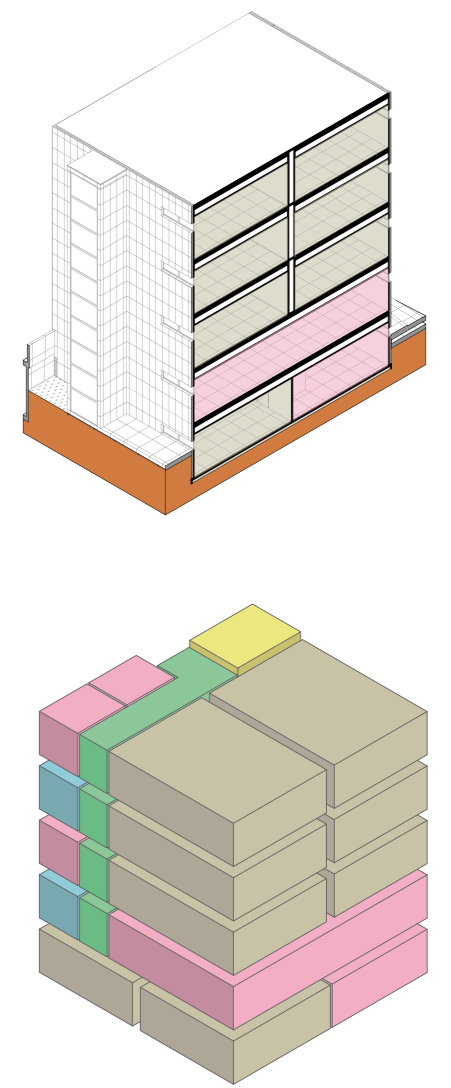


GRÁFICO 53 Corte y axonometría de zonas en bloque E3.
FUENTE: Propia.



IMAGEN 29 Detalle de ventanas en aulas bloque E3.

FUENTE: Propia.

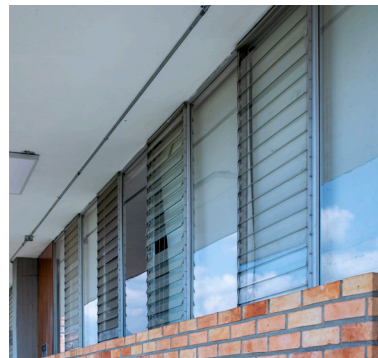


IMAGEN 30 Detalle de ventanas en aulas bloque E2 segunda planta alta.

FUENTE: Propia.



IMAGEN 31 Detalle de ventanas en aulas bloque E2 primera planta alta.

FUENTE: Propia.

4.2 Ajustes de parámetros en bloques térmicos

4.2.1 Ventilación natural

La ventilación natural en las aulas de la Facultad se presenta durante todo el año, esto debido a que por lo general el clima en Cuenca permite que las ventanas pasen abiertas todo el tiempo, esto con el fin de renovar el aire interior (Ver imágenes 29-31).

Para la simulación se asignó ventilación natural para cada bloque térmico, considerando las mismas fechas de operación (Ver imagen 32).

4.2.2 Aberturas

Para las ventanas, estas están construidas con vidrio de 4 mm de espesor, por lo que se seleccionó vidrio acristalado simple (Ver imagen 33).

4.2.3 Estructuras

Se comprueban las estructuras de los bloques térmicos, los detalles

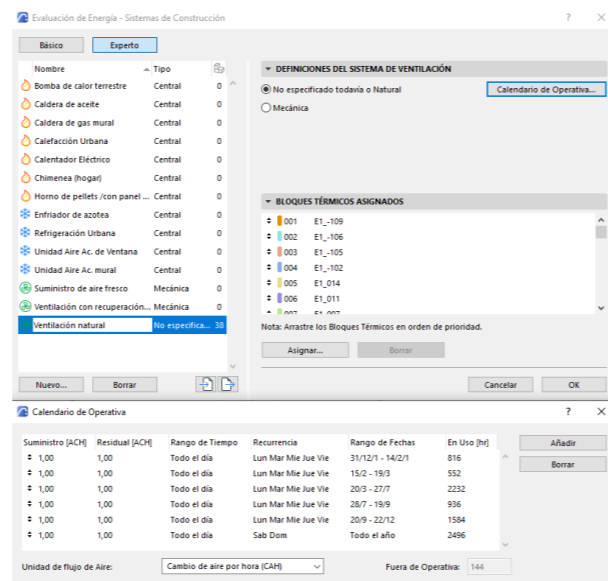
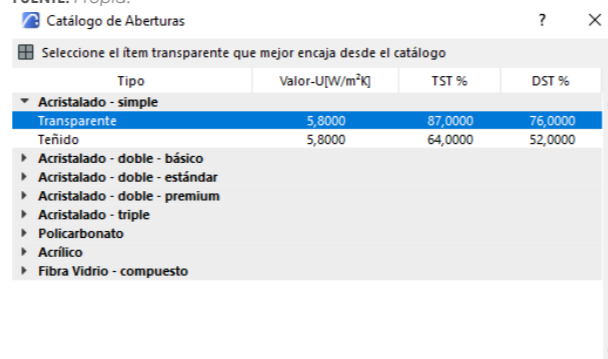


IMAGEN 32 Ventilación Natural.

FUENTE: Propia.



Tipo	Valor-U[W/m²K]	Valor Pst:...	Infiltración [l/sm]
Marco - madera			
Marco - plástico			
Marco - metal			
Puerta entrada			
Puerta garaje			

IMAGEN 33 Aberturas.

FUENTE: Propia.

constructivos y los valores de cada elemento (Ver tabla 20).

Revisión del Modelo de Energía - Estructuras

Tipo	Orientación	C...	Bloque Térmico	Nombre	Área [m²]	Espesor [m]	Valor-U [W/m²K]
Muro	Este Arriba (D...)	001 E1_109	03_LADRILLO		10,85	0,3000	2,09
Muro	Este Arriba (D...)	001 E1_109	03_LADRILLO		10,78	0,3000	1,67
Muro	Este Arriba (D...)	001 E1_109	03_LADRILLO		10,40	0,3000	1,67
Muro	Este Arriba (D...)	001 E1_109	03_LADRILLO		8,68	0,3000	2,09
Muro	Este Arriba (D...)	001 E1_109	03_LADRILLO		5,47	0,3000	1,67
Muro	Este Arriba (D...)	001 E1_109	03_LADRILLO		4,80	0,1500	3,34
Muro	Norte	001 E1_109	03_LADRILLO		4,59	0,3000	1,95
Muro	Este	001 E1_109	03_LADRILLO		0,81	0,3000	1,95
Muro	Este Arriba (D...)	001 E1_109	03_LADRILLO		0,60	0,1500	3,34
Forja	Este Arriba (D...)	001 E1_109	12_SUELO HORMIGON_BALDOSA_45CM		38,61	0,4500	0,40
Forja	Horizontal	001 E1_109	17_SUELO PIEDRA_BALDOSA_30CM		38,61	0,3000	2,67
Muro	Oeste	001 OFICINAS COM...	01_PARED DE TOL		51,26	0,2850	0,72
Muro	Angular (Suave)	001 OFICINAS COM...	01_PARED DE TOL		7,25	0,2850	0,74
Muro	Angular (Rde...)	001 OFICINAS COM...	01_PARED DE TOL		4,50	0,2850	0,74
Forja	Hacia arriba	001 OFICINAS COM...	02_Hormigón Armado_LOSA		164,68	0,3500	2,81
Muro	Norte	001 OFICINAS COM...	02_Hormigón Armado_LOSA		41,15	0,6000	1,91

TABLA 20 Estructuras.

FUENTE: Propia.

4.2.4 Infiltración

Los valores de infiltración usados para la simulación se obtuvieron en base a un estudio en Chile, en donde para viviendas en ladrillo se determinan en 15 l/h (cambios de aire por hora), este valor nos indica el límite de hermeticidad (Ver gráfico 54), que define la capacidad de la envolvente de oponerse a las infiltraciones de aire (Universidad del Bío Bío, 2014); sin embargo, en Ecuador no existen estudios que permitan controlar estos valores de infiltración dentro de la construcción. Para este proyecto se realizó un traba-

jo inverso, en el que se calibraron los datos de infiltración ingresados para puertas y ventanas con el fin de que el resultado permita simular la mala hermeticidad de la Facultad. Se usó el valor de 20 para ventanas y 100 para cámaras de aire usadas en algunos bloques térmicos (Ver tablas 21 y 22).

4.2.5 Asignación de perfil

Se asigna el perfil de operación para cada bloque térmico, en este caso se utilizó un perfil general para el primer análisis, y los tres perfiles específicos de las aulas seleccionadas para el segundo análisis (Ver imagen 34).

4.2.6 Comprobación de modelo

Antes de ejecutar el análisis, se comprueba en la opción "Mostrar áreas al descubierto" que no exista ningún error de dibujo que pueda alterar los resultados del análisis (Ver imagen 35).

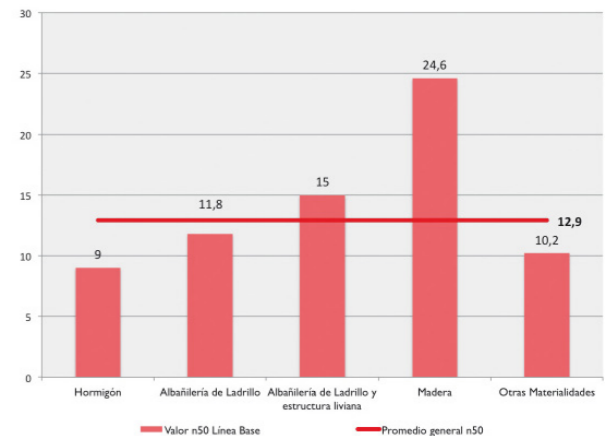


GRÁFICO 54 Infiltración. Cambios de aire por hora [l/h].

FUENTE: Universidad del Bío Bío, 2014.

Revisión del Modelo de Energía - Aberturas

Tipo	Orientación	Bloque Térmico	Superficie opaca...	Superficie acris...	Área total [m²]	TST%	DST%	Análisis Solar	Perímetro [m]	Opaco Valor-U [W/m²K]	Vidriera Valor-U [W/m²K]	Total Valor-U [W/m²K]	Valor Psi del Perímetro [W/mK]	Infiltración...	Dispositivo...
Ventana	Este	004 CIRCULACIONE...	3,98	64,26	68,24	87,00	76,00	No hecho	121,1800	2,11	5,80	5,90	0,18	20,00	Ninguno
Ventana	Norte	001 OFICINAS COM...	2,14	30,48	32,62	87,00	76,00	No hecho	67,6340	2,11	5,80	5,93	0,18	20,00	Ninguno
Ventana	Norte	017 E2_102	1,76	24,35	26,11	87,00	76,00	No hecho	51,3800	2,11	5,80	5,91	0,18	20,00	Ninguno
Ventana	Norte	021 E2_202	1,76	24,35	26,11	87,00	76,00	No hecho	51,3800	2,11	5,80	5,91	0,18	20,00	Ninguno
Ventana	Norte	020 E2_203	1,71	22,99	24,71	87,00	76,00	No hecho	50,4300	2,11	5,80	5,91	0,18	20,00	Ninguno
Ventana	Norte	016 E2_103	1,71	22,99	24,71	87,00	76,00	No hecho	50,4300	2,11	5,80	5,91	0,18	20,00	Ninguno
Ventana	Norte	018 E2_101	1,71	22,92	24,63	87,00	76,00	No hecho	50,3900	2,11	5,80	5,91	0,18	20,00	Ninguno
Ventana	Norte	022 E2_201	1,71	22,92	24,63	87,00	76,00	No hecho	50,3900	2,11	5,80	5,91	0,18	20,00	Ninguno
Ventana	Norte	007 EXPOSICIONES	2,21	17,55	19,26	87,00	76,00	No hecho	53,2000	2,11	5,80	5,87	0,18	20,00	Ninguno
Ventana	Sur	006 ALMACÉN Y VE...	2,15	14,06	16,22	87,00	76,00	No hecho	42,2502	2,11	5,80	5,78	0,18	20,00	Ninguno
Ventana	Sur	021 E2_202	1,63	12,46	14,09	87,00	76,00	No hecho	44,8000	2,11	5,80	5,95	0,18	20,00	Ninguno
Ventana	Sur	006 E1_011	1,27	12,23	13,50	87,00	76,00	No hecho	37,2800	2,11	5,80	5,95	0,18	20,00	Ninguno
Ventana	Sur	005 E1_014	1,27	12,23	13,50	87,00	76,00	No hecho	37,2800	2,11	5,80	5,95	0,18	20,00	Ninguno
Ventana	Sur	002 E1_106	1,27	12,23	13,50	87,00	76,00	No hecho	37,2800	2,11	5,80	5,95	0,18	20,00	Ninguno
Ventana	Sur	001 E1_109	1,27	12,23	13,50	87,00	76,00	No hecho	37,2800	2,11	5,80	5,95	0,18	20,00	Ninguno
Ventana	Sur	020 E2_203	1,58	11,67	13,26	87,00	76,00	No hecho	43,8500	2,11	5,80	5,95	0,18	20,00	Ninguno
Ventana	Sur	022 E2_201	1,58	11,63	13,21	87,00	76,00	No hecho	43,8000	2,11	5,80	5,96	0,18	20,00	Ninguno
Ventana	Sur	010 E1_106	1,25	11,95	13,20	87,00	76,00	No hecho	36,6800	2,11	5,80	5,95	0,18	20,00	Ninguno

Mostrar ítems uniformes como una sola entrada
Umbral Área Total: 0,00 m²

Estado de Teamwork: Editable, Está Desconectado

Empezar Simulación de Energía

TABLA 21 Infiltración ventanas.

FUENTE: Propia.

Revisión del Modelo de Energía - Aberturas

Tipo	Orientación	Bloque Térmico	Superficie opaca...	Superficie acris...	Área total [m²]	TST%	DST%	Análisis Solar	Perímetro [m]	Opaco Valor-U [W/m²K]	Vidriera Valor-U [W/m²K]	Total Valor-U [W/m²K]	Valor Psi del Perímetro [W/mK]	Infiltración...	Dispositivo...
Estructu...	Este	003 CIRCULACIONE...	0,00	8,22	8,22	87,00	76,00	No hecho	11,6000	2,11	5,80	6,05	0,18	100,00	Ninguno
Estructu...	Sur	003 CIRCULACIONE...	0,00	8,15	8,15	87,00	76,00	No hecho	11,6000	2,11	5,80	6,06	0,18	100,00	Ninguno
Estructu...	Este	003 CIRCULACIONE...	0,00	7,43	7,43	87,00	76,00	No hecho	13,7000	2,11	5,80	6,13	0,18	100,00	Ninguno
Estructu...	Sur	003 CIRCULACIONE...	0,00	3,78	3,78	87,00	76,00	No hecho	9,3000	2,11	5,80	6,24	0,18	100,00	Ninguno
Estructu...	Oeste	003 CIRCULACIONE...	0,00	3,65	3,65	87,00	76,00	No hecho	8,1000	2,11	5,80	6,20	0,18	100,00	Ninguno
Estructu...	Norte	003 CIRCULACIONE...	0,00	3,58	3,58	87,00	76,00	No hecho	8,0000	2,11	5,80	6,20	0,18	100,00	Ninguno
Estructu...	Este	003 CIRCULACIONE...	0,00	3,58	3,58	87,00	76,00	No hecho	8,0000	2,11	5,80	6,20	0,18	100,00	Ninguno
Estructu...	Sur	003 CIRCULACIONE...	0,00	3,51	3,51	87,00	76,00	No hecho	7,9000	2,11	5,80	6,21	0,18	100,00	Ninguno
Estructu...	Sur	003 CIRCULACIONE...	0,00	2,03	2,03	87,00	76,00	No hecho	9,9000	2,11	5,80	6,68	0,18	100,00	Ninguno
Estructu...	Norte	004 CIRCULACIONE...	0,00	1,62	1,62	87,00	76,00	No hecho	8,2300	2,11	5,80	6,72	0,18	100,00	Ninguno
Estructu...	Inferior	004 CIRCULACIONE...	0,00	0,12	0,12	87,00	76,00	No hecho	9,6300	2,11	5,80	20,28	0,18	100,00	Ninguno
Estructu...	Sur	003 CIRCULACIONE...	0,00	0,11	0,11	87,00	76,00	No hecho	4,6000	2,11	5,80	13,16	0,18	100,00	Ninguno
Estructu...	Este	003 CIRCULACIONE...	0,00	0,11	0,11	87,00	76,00	No hecho	4,6000	2,11	5,80	13,16	0,18	100,00	Ninguno
Estructu...	Sur	003 CIRCULACIONE...	0,00	0,11	0,11	87,00	76,00	No hecho	4,6000	2,11	5,80	13,16	0,18	100,00	Ninguno
Estructu...	Norte	003 CIRCULACIONE...	0,00	0,11	0,11	87,00	76,00	No hecho	4,6000	2,11	5,80	13,16	0,18	100,00	Ninguno
Estructu...	Sur	003 CIRCULACIONE...	0,00	0,11	0,11	87,00	76,00	No hecho	4,5000	2,11	5,80	13,16	0,18	100,00	Ninguno
Estructu...	Este	003 CIRCULACIONE...	0,00	0,11	0,11	87,00	76,00	No hecho	4,5000	2,11	5,80	13,16	0,18	100,00	Ninguno
Estructu...	Norte	003 CIRCULACIONE...	0,00	0,11	0,11	87,00	76,00	No hecho	4,5000	2,11	5,80	13,16	0,18	100,00	Ninguno

Mostrar ítems uniformes como una sola entrada
Umbral Área Total: 0,00 m²

Estado de Teamwork: Editable, Está Desconectado

Empezar Simulación de Energía

TABLA 22 Infiltración cámaras de aire.

FUENTE: Propia.

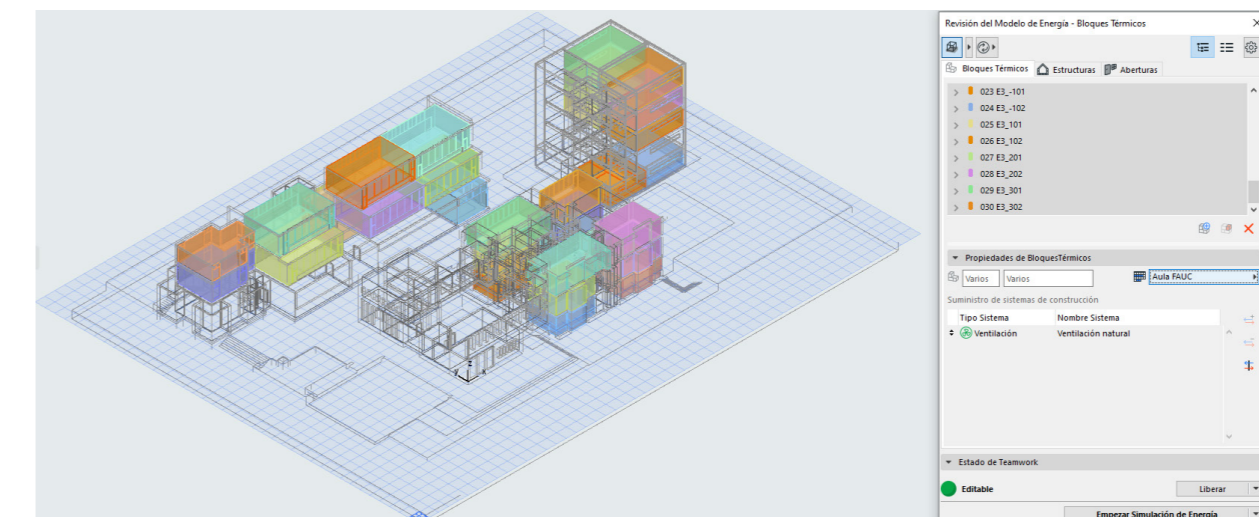


IMAGEN 34 Bloques térmicos FAUC.

FUENTE: Propia.

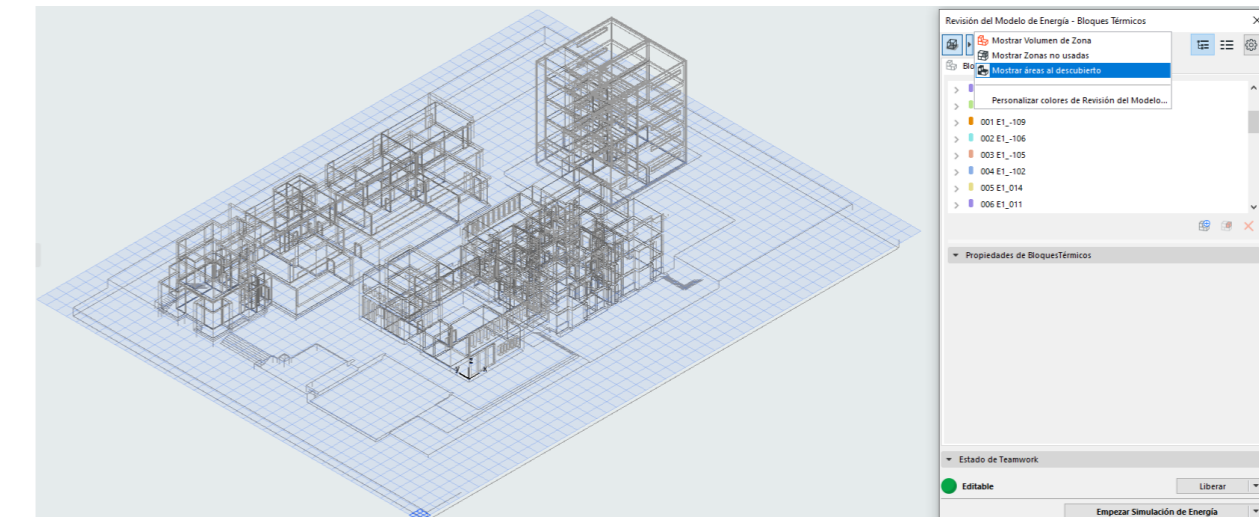


IMAGEN 35 Áreas al descubierto FAUC.

FUENTE: Propia.

4.3 Asignación del clima y definiciones de entorno

Para la simulación, Ecodesigner Star trabaja con datos climáticos, estos pueden ser descargados desde el servidor de climatología de Strusoft o bien pueden ser generados a partir de un fichero climático en formato, ASHRAE IWE, TMY, WTEC2 (Graphisoft®, 2021) (Ver imagen 36).

Normalmente los datos climáticos usados en simulaciones son descargados de Strusoft o bien, corresponden a la triangulación entre estaciones, mostrando evidentes variaciones con respecto a la información real. Parte fundamental de este proyecto fue la construcción del fichero climático con datos tomados en sitio, lo cual, resultó un aporte novedoso para futuras investigaciones (Ver gráfico 37).

La creación del fichero se realizó con una plantilla, esta se obtuvo mediante la descarga de un fichero proporcionado por EnergyPlus. Se utilizó el equipo de medición emplazado en la

cubierta del edificio de posgrados (bloque E3) marca DeltaT Devices, modelo WSGP2 (Delta-T Devices, 2019), el cual tiene la capacidad de registrar velocidad y dirección del viento, humedad relativa, temperatura del aire y del suelo, precipitaciones y radiación solar directa-difusa.

Debido a que los datos necesarios para la creación del fichero deben ser de un año completo, la plantilla fue editada con los datos proporcionados por la estación climática y la información faltante fue completada con un fichero de la ciudad. Se utilizaron varias herramientas y programas, con el fin de poder realizar la combinación de información. En el proceso se pudo descubrir aspectos fundamentales a tomar en cuenta para la construcción del fichero:

- En el caso de Ecodesigner Star, se necesitan principalmente la radiación solar, temperatura seca, humedad relativa, presión, velocidad y dirección del viento.

- Para el ingreso de datos es necesario la conversión de la plantilla a un formato editable. En este caso se usó una herramienta que convierte un archivo .epw a .csv (Ver imagen 38).

- Otro aspecto es tomar en cuenta que los datos proporcionados por la estación sean compatibles con la información del fichero, de ser el caso se debe considerar la conversión de unidades, así como revisar que los valores y caracteres estén completos en la plantilla, de lo contrario Ecodesigner Star no reconocerá como válido el archivo. Para esto se usó la herramienta Excel (Ver imagen 39).

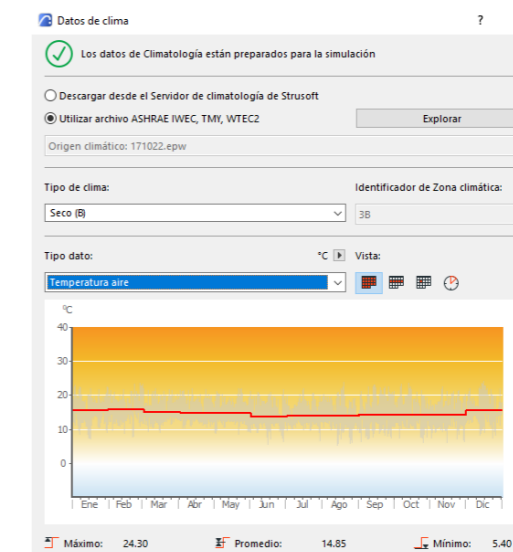


IMAGEN 36 Datos de clima.

FUENTE: Propia.

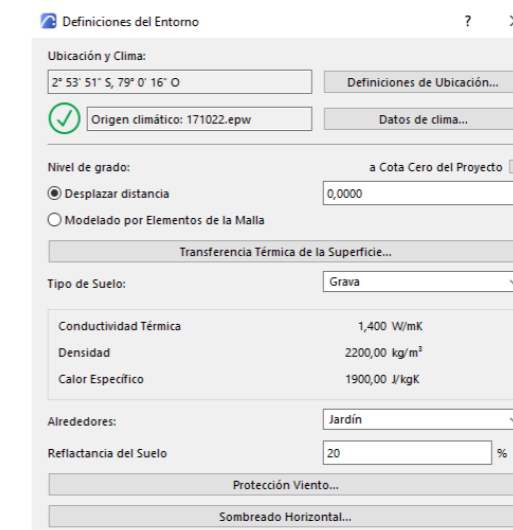


IMAGEN 37 Definiciones de entorno.

FUENTE: Propia.

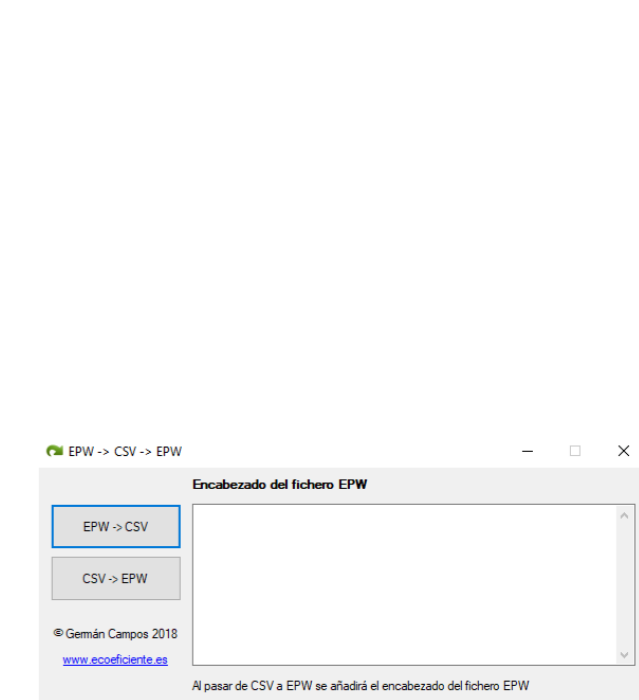


IMAGEN 38 Conversión de .epw a .csv.

FUENTE: Propia.

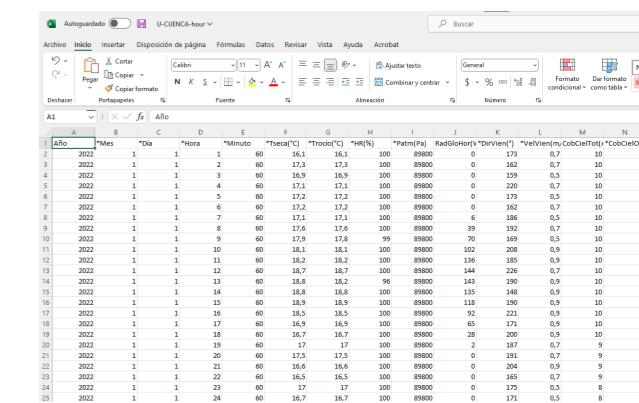
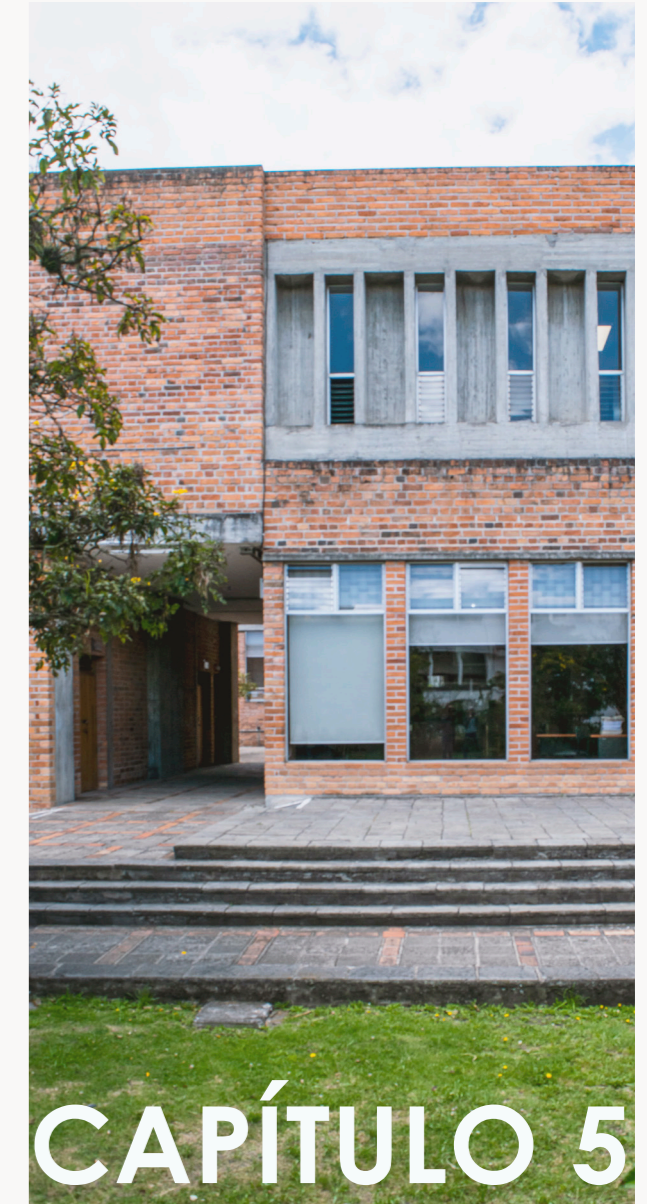


IMAGEN 39 Edición de datos en Excel.

FUENTE: Propia.



CAPÍTULO 5

5.1 Resultados

5.1.1 Lectura de gráficos

Los gráficos obtenidos en la simulación, nos brindan información de temperatura interna y externa, así como el rango de confort establecido para el análisis (18-25 °C), el horario de ocupación está representado con un color más claro, este indica su tiempo en horas. Para una mejor comprensión de los gráficos, se indica su simbología en la parte derecha.

Datos generales del proyecto		
Nombre Proyecto:	TESIS_FAUC	
Ubicación Ciudad:		
Latitud:	2° 53' 51" S	
Longitud:	79° 0' 16" O	
Altitud:	2537,00	m
Origen de Datos Climáticos:	171022.epw	
Fecha de Evaluación:	17/11/2022 11:31	

Datos de geometría del edificio		
Área bruta de la planta:	4345,77	m ²
Área de Suelo Tratado:	3912,39	m ²
Área del Envolvente Exterior:	6019,74	m ²
Volumen ventilado:	13358,54	m ³
Ratio acristalamiento:	21	%

Datos de rendimiento de la estructura		
Infiltración a 50Pa:	34,88	AAH

IMAGEN 40 Valores clave de la simulación.
FUENTE: Propia.

5.1.2 Análisis perfil general FAUC

El primer análisis se realizó en base al perfil general, este toma en cuenta el horario de 7h00-13h00 y 15h00-21h00 considerando un 60 % de uso diario, un área promedio con una ocupación de 20 estudiantes por curso.

En la imagen 40 se observan los datos obtenidos en la simulación que nos indican el valor de infiltración de 34.88, como se mencionó en la sección

Coefficientes de transfer.	Valor U	[W/m²K]
Promedio Edificio Entero:	2,66	
Pavimentos:	0,42 - 4,38	
Externo:	0,22 - 4,66	
Subterráneo:	0,74 - 4,17	
Aberturas:	2,11 - 20,28	

Valores Anuales Específicos		
Energía calorífica Neta:	0,00	kWh/m²a
Energía refrigerante Neta:	0,00	kWh/m²a
Energía Neta Total:	0,00	kWh/m²a
Consumo de Energía:	15,68	kWh/m²a
Consumo de Combustible:	15,68	kWh/m²a
Energía Primaria:	47,04	kWh/m²a
Coste Combustible:	--	EUR/m²a
Emisión CO ₂ :	3,39	kg/m²a

Días-Grado		
Calefacción (HDD):	1296,37	
Refrigeración (CDD):	1997,30	

4.2.4 este resultado refleja la pésima hermeticidad de las carpinterías.

tro del rango de confort establecido a partir de las 9h00.

El gráfico 55 indica el comportamiento del aula E1 -102, como se observa la temperatura se mantiene den-

Para el caso del aula E2 203 (Ver gráfico 56), se observan bajas temperaturas entre 07h00 y 11h00.

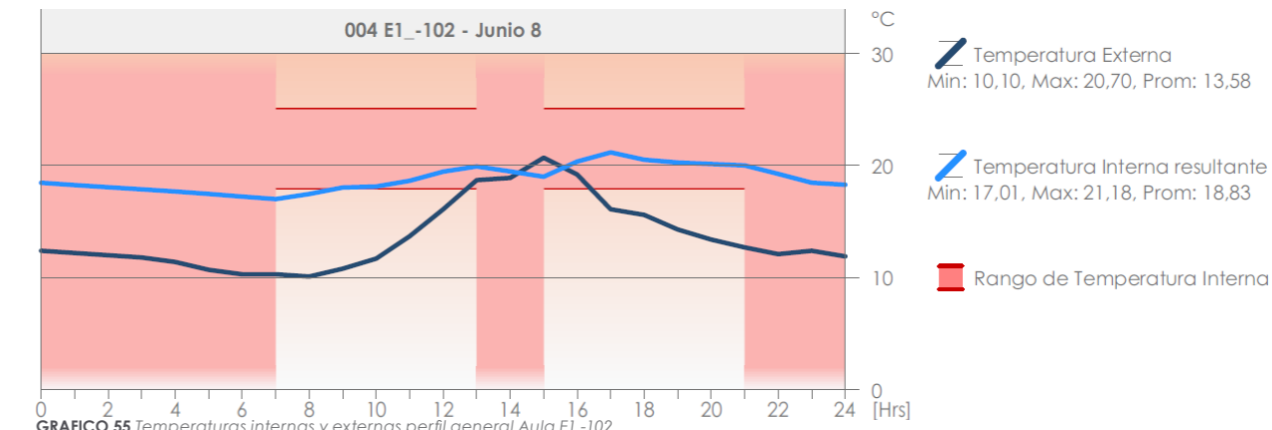


GRAFICO 55 Temperaturas internas y externas perfil general Aula E1 -102.
FUENTE: Propia.

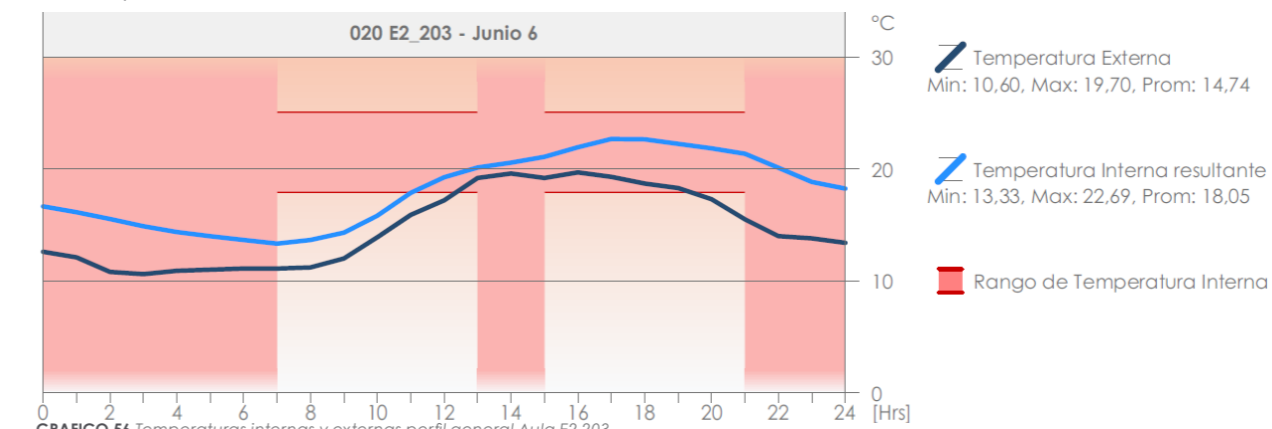


GRAFICO 56 Temperaturas internas y externas perfil general Aula E2 203.
FUENTE: Propia.

UCUENCA

La temperatura del aula E3 201 (Ver gráfico 57) se mantiene dentro del rango durante todo el día.

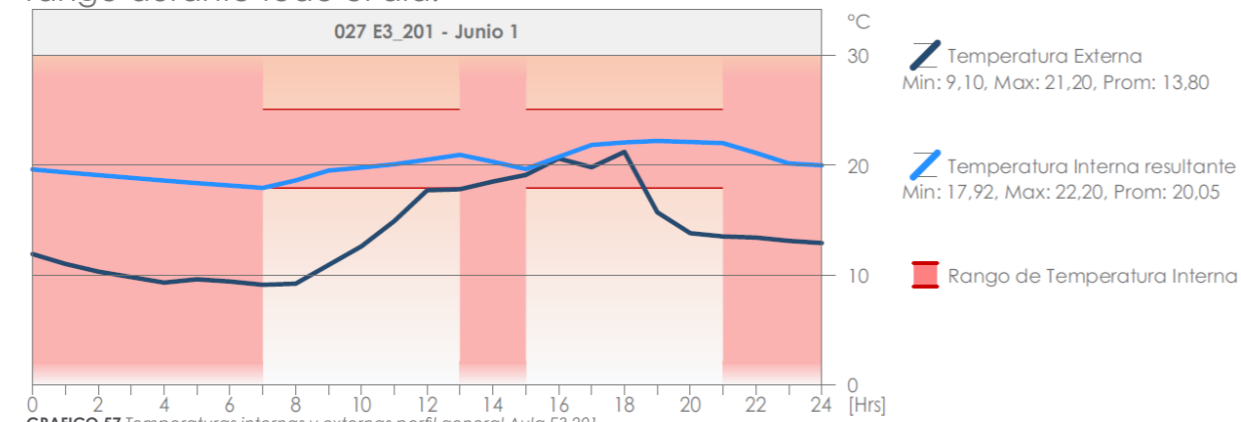


GRAFICO 57 Temperaturas internas y externas perfil general Aula E3 201. FUENTE: Propia.

5.1.3 Análisis perfil específico FAUC

Para el segundo análisis se consideró los datos medidos en sitio, se eligieron las aulas con temperaturas más

bajas y los horarios fueron determinados en base a los niveles de CO₂, para este caso se tomó en cuenta el área real. El valor de infiltración de 34.88 se mantiene.

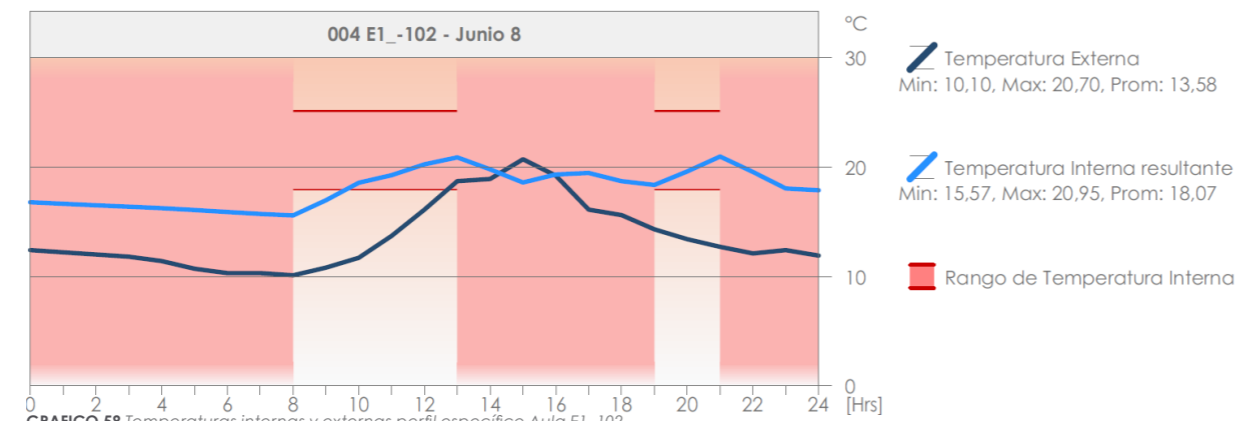


GRAFICO 58 Temperaturas internas y externas perfil específico Aula E1 -102. FUENTE: Propia.

UCUENCA

En este caso, en el aula E1 -102 (Ver gráfico 58) las temperaturas se mantienen en confort desde las 09h40.

Las temperaturas en el aula E2 203 (Ver gráfico 59), presentan confort en la tarde mientras que en la mañana son bajas.

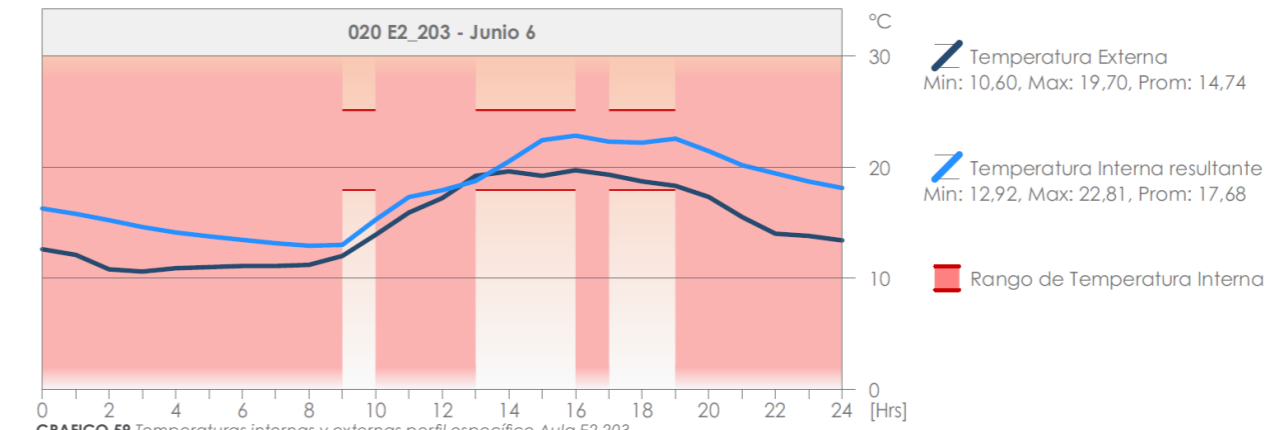


GRAFICO 59 Temperaturas internas y externas perfil específico Aula E2 203. FUENTE: Propia.

El aula E3 201 (Ver gráfico 60), se mantiene en confort desde las 09h00 sin embargo, se puede observar mínimos desfases entre las 12h30 y 16h00.

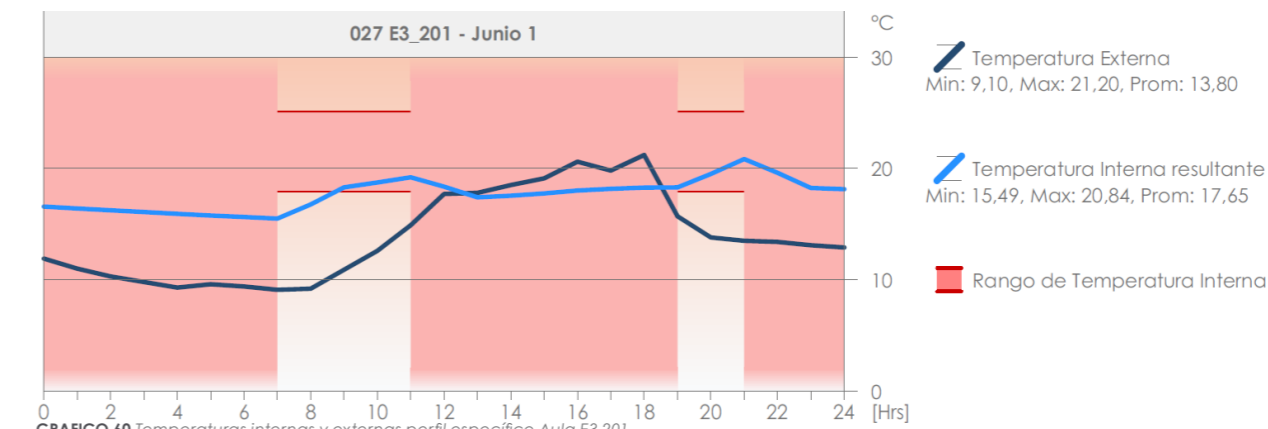


GRAFICO 60 Temperaturas internas y externas perfil específico Aula E3 201. FUENTE: Propia.

5.2 Comparación

5.2.1 Comparación con datos medidos

Con el fin de evaluar la fiabilidad del software se comparan los datos medidos de temperatura interna, con los obtenidos en la simulación, dando un error promedio general de 9 % (Ver anexo I).

Se observa la similitud de las curvas de temperatura en el aula E1 -102 (Ver gráfico 61), sobre todo en su trayectoria durante el día. El error promedio es del 3 % (Ver anexo F).

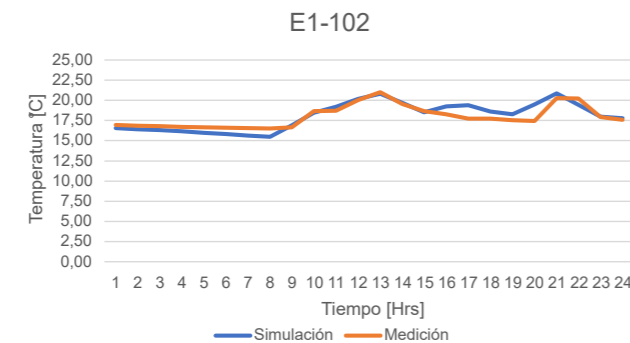


GRAFICO 61 Comparación de temperaturas Aula E1 -102.
FUENTE: Propia.

El caso del aula E2 203 (Ver gráfico 62), presenta un desfase entre las

12h00 y 14h00; sin embargo, a partir de este punto se observa una similitud en la trayectoria de las curvas.

Esto se debe a que los datos medidos muestran una disminución de la temperatura entre las 12h00 y 14h00, esto probablemente se debió a alguna variación climática. Existe también la posibilidad de que haya sido causado por abrir las ventanas o la salida de los estudiantes, debido a que, los datos registrados indican el incremento de CO₂ durante aproximadamente 10 minutos, siendo lo normal 1 hora de clase. Este dato no se tomó en cuenta en la simulación, ya que el software solo permite ingresar información en el rango de 1 hora. En este caso el error presenta un valor del 16 % (Ver anexo G).

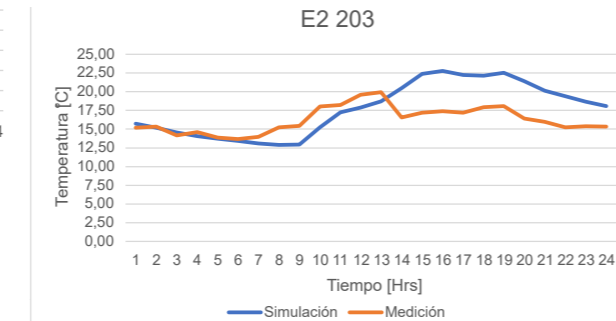


GRAFICO 62 Comparación de temperaturas Aula E2 203.
FUENTE: Propia.

De igual manera, en el aula E3 201 (Ver gráfico 63), existe bastante similitud en las curvas; sin embargo, el mayor desfase se da entre las 19h00 y 21h00.

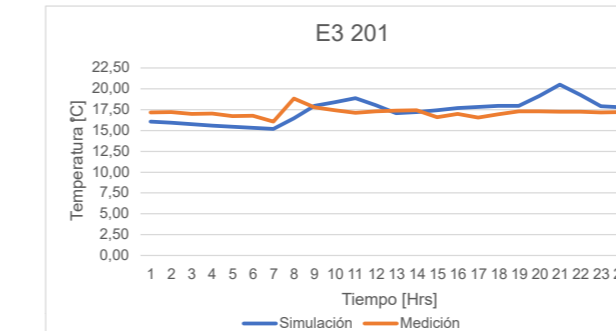


GRAFICO 63 Comparación de temperaturas Aula E3 201.
FUENTE: Propia.

Esto se debe a que los datos ingresados para la simulación fueron generalizados a 20 estudiantes por curso, pero se evidencia que la ocupación fue menor. El error es del 7 % (Ver anexo H).

5.2.2 Comparación con normas vigentes de confort

Como se mencionó en la sección 3.5, el rango de confort para la simulación se estableció entre 18 y 25 °C; a

pesar de ello, se realiza una comparación de resultados con cada norma.

Según la norma ISO 7730 el rango de temperatura de confort está entre 22 y 24 °C con una variación de +/- 3 °C. Se observa en los análisis que todas las aulas se encuentran en confort sobre todo en horas de la tarde; sin embargo, el desconfort se presenta en las primeras horas de la mañana.

En Quezada (2018), se establece un rango de confort entre 17.62 y 22.62 °C, se observa que de la misma forma las aulas se encuentran en confort, presentando excepciones en las primeras horas de la mañana, bajo estas condiciones los estudiantes tendrían una percepción más confortable de las aulas.

UCUENCA



CAPÍTULO 6

6.1 Conclusiones

Luego del modelado virtual y análisis sobre las condiciones ambientales internas de la FAUC se concluye que:

1. Para el desarrollo del proyecto, la base teórica analizada permitió conocer conceptos fundamentales de arquitectura bioclimática, precisamente aspectos de confort y clima, pudiendo entender las condiciones ambientales locales, así como los niveles óptimos de confort.

2. Se pudo verificar la eficiencia del software Ecodesigner Star de ArchiCAD. Al poder realizar la simulación energética del modelado en la propia interfaz, este presentó resultados coherentes permitiendo conocer las condiciones ambientales dentro de la FAUC.

3. Para la construcción del modelo virtual fue necesario simplificar aspectos formales y estructurales de los edificios FAUC, con la finalidad de que el software identifique correctamente

las propiedades físicas y térmicas de cada uno de los componentes constructivos.

4. Los datos obtenidos de las simulaciones para las aulas analizadas de los diferentes bloques E1, E2 y E3 se han comparado con normativa vigente y estudios realizados sobre el confort en la Ciudad de Cuenca, pudiendo observar desfases en los niveles de temperatura interna especialmente de 7:00 am a 9:00 am, en donde existe disconfort. Por el contrario, en horas de la tarde se presenta una mejor situación respecto al estándar de confort.

5. En cuanto a los perfiles de operación general y específico elaborados para la simulación se concluye que, si bien no existe gran diferencia en cuanto a rangos de confort, el perfil específico resulta tener más validez al tener congruencia con los horarios y áreas reales para cada aula analizada. Sin embargo, el perfil general nos permite analizar la aproximación que tiene el software en situaciones en donde no se cuente con datos reales.

6. Al existir diferencias entre los rangos de confort establecidos en la normativa vigente y estudios realizados en la ciudad, se ha podido concluir que en base el estudio local las condiciones internas de las aulas presentan un mayor confort para los estudiantes.

7. Las simulaciones establecidas mediante el software Ecodesigner Star, permitieron comprobar el verdadero comportamiento ambiental de los espacios interiores de la FAUC, esto fue posible por la ayuda de equipos de medición que proporcionaron porcentajes de CO₂, indicando con exactitud el tiempo de permanencia de los estudiantes en el aula independientemente del horario de clase. El error promedio determinado en la simulación fue del 9 %.

8. Los datos climáticos necesarios para medir el confort en Ecodesigner Star son fundamentalmente la radiación solar, temperatura seca, humedad relativa, presión, velocidad y dirección del viento.

UCUENCA

UCUENCA

9. Se pudo observar que con el valor de infiltración de 34.88, los resultados obtenidos de la simulación se asemejan a los medidos en sitio, al no existir estudios en el país, este valor nos permite tener una referencia para futuros proyectos similares.

6.2 Recomendaciones

1. Para mejores resultados, el fichero climático debe tener información de un año completo, para el caso de este proyecto se registraron datos desde el inicio del periodo académico y los datos faltantes se completaron con los proporcionados por un fichero diferente. Se observaron resultados no concordantes en estos periodos, sin embargo, esto no afectó las fechas analizadas.

2. En cuanto al dato de ocupación es necesario establecer el número de estudiantes por curso con relación al nivel de CO₂ registrado, esto con el fin de obtener resultados más precisos. De la misma forma para periodos de estancia cortos, ya que Ecodesigner

Star no permite ingresar datos menores al lapso de una hora.

3. Para la simulación en Ecodesigner Star es necesario contar con un modelado virtual preciso y simple, donde cada elemento debe estar completamente conectado, esto para que al momento de colocar las zonas no existan errores. Esto se puede lograr con un correcto dibujo desde el principio, pudiendo prever cualquier desfase.

6.3 Referencias

- APIVE. (14 de marzo de 2018). *¿Cómo implementar la arquitectura sustentable en Ecuador?* <https://apive.org/implementar-arquitectura-sustentable-ecuador/>
- Bacuilima, B. (2018). *Estrategias de diseño pasivo para brindar confort higrotérmico en un modelo de vivienda de la Ciudad de Cuenca*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Cuenca]. Repositorio Universidad Católica de Cuenca. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/1542>
- Baquero, M., Quesada, F. (2016). Eficiencia energética en el sector residencial de la Ciudad de Cuenca, Ecuador. *Maskana*, 7(2), 147-165. <https://doi.org/10.18537/mskn.07.02.11>
- Bonomolo, M., Di Lisi, S., Leone, G. (2021). Building Information Modelling and Energy Simulation for Architecture Design. *Applied Sciences*, 11(5) 2252. <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/5/2252>
- Bustamante, A. (2018). Análisis de la isla de calor urbana en el entorno andino de Cuenca-Ecuador. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, (70), 167-179. www.redalyc.org/articulo.oa?id=17664421008
- Chiriboga, J., Pérez, E. & Santamaría, J., (2021). Percepciones de confort en una edificación histórica de uso educativo, Caso de estudio: Facultad Ciencias Económicas – Universidad Central. *Novasinerгия*. 4(1). 74-90. <https://doi.org/10.37135/ns.01.07.04>
- Delta-T Devices. (2019). *WS-GP2 Advanced Automatic Weather Station System*. <https://www.delta-t.co.uk/product/ws-gp2/>
- Díaz, V., Barreneche, R. (2005). *Acondicionamiento térmico de edificios*. Nobuko

UCUENCA

UCUENCA

- Díez, J. (12 de marzo de 2020). *Arquitectura bioclimática en climas cálidos*. <https://eadic.com/blog/entrada/arquitectura-bioclimatica-en-climas-calidos/#:~:text=Consiste%20en%20hacer%20uso%20de,corriente%20de%20flujo%20de%20aire.>
- Encalada, P. (2013). *Estudio de desempeño y eficiencia energética en los edificios de la Universidad de Cuenca*. [Tesis de maestría, Universidad de Cuenca]. Repositorio Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/539>
- Espinoza, J., Quezada, F. (2018). *Obtención de Estándares de Sustentabilidad para mejorar la Eficiencia Energética y la Confortabilidad de las Viviendas Patrimoniales del Centro Histórico de Cuenca*. [Tesis de maestría, Universidad de Cuenca]. Repositorio Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30254>
- Ghaffarianhoseini, A., Tookey, J., Ghaffarianhoseini, A., Naismith, N., Azhar, S., Efimova, O., Raahemifar, K. (2017). Building Information Modelling (BIM) uptake: Clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1046-1053. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.083>
- Graphisoft@. (2021). *Archicad 24*. <https://www.graphisoft.es/archicad/>
- Guillén, V. (2014). Metodología de evaluación de confort térmico exterior para diferentes pisos climáticos en Ecuador. *In Proceedings of the Congreso Nacional del Medio Ambiente*. Madrid: CO-NAMA
- Lamberti, G., Salvadori, G., Leccese, F., Fantozzi, F., Bluysen, P. (2021). Advancement on Thermal Comfort in Educational Buildings: Current Issues and Way Forward. *Sustain-*

- nability, 13, 10315. <https://doi.org/10.3390/su131810315>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2019). *Guía para el diseño y construcción de infraestructuras del sistema nacional de áreas protegidas*. Ecuador.
- Ministerio de Fomento. (2015). *Cálculo de parámetros característicos de la envolvente*. España. https://www.cgate.es/hit/Hit2015-1/DA-DB-HE-1-Calculo_de_parametros_caracteristicos.pdf
- Muñoz, C. (2018). Diseño pasivo de aulas escolares para el confort térmico, desde una perspectiva para el cambio climático. *Arquitecturas del Sur*, 16(54). <https://doi.org/10.22320/07196466.2018.36.054.06>
- Musau, F., Evans, A. (2019). Computer Simulation of Energy in Buildings: Predicted Versus Measured Results. *Proceedings of the 16th IBPSA Conference*. 4321-4328. <https://doi.org/10.26868/25222708.2019.211237>
- Narváez, J., Quezada, K. & Villavicencio, K. (2015). *Criterios Bioclimáticos aplicados a los cerramientos horizontales y verticales para la vivienda en Cuenca*. [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/21783>
- Norma ISO 7730 (2014). Ergonomía del ambiente térmico. *Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local*.
- Ordoñez, A., Zarie, J. (2015). *Diseño de vivienda sostenible de interés social para la ciudad de Cuenca en base a principios bioclimáticos*. [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/21586>

- dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/21586
- Norma Ecuatoriana de la construcción (NEC). (2018). *Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-HS-EE-Final.pdf>
- Proyectartv (21 de diciembre de 2020) ¿Qué es la arquitectura bioclimática? [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=d-CYdFWGseCI>
- Quesada, F. (2014). Métodos de evaluación sostenible de la vivienda: Análisis comparativo de cinco métodos internacionales. *Hábitat Sustentable*. 4(1). 56-67. <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/444/406>
- Quezada, F., & Bustillos, D. (2018). Indoor environmental quality of urban residential buildings in Cuenca-Ecuador: Comfort stan-
- [dard. Buildings, 8\(90\). https://doi.org/10.3390/buildings8070090](https://doi.org/10.3390/buildings8070090)
- Ramos, J. (2012). Memoria: Proyecto de ampliación y readecuación de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca Edificio de Postgrado. *Estoa*, 1, 9-21. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27603>
- Rodenas, G. (2021). *Arquitectura Bioclimática. Análisis regulatorio y estudio de caso práctico*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio UPV. <http://hdl.handle.net/10251/181307>
- Roque, E., Cruz, E. (2018). *Confort térmico en el centro educacional para el deficiente visual - C.E.B.E. Nuestra Sra. de Copacabana de la Ciudad de Puno*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional UNA-PUNO. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7528>

UCUENCA

Rubiano, M. (2016). La fachada ventilada y el confort climático: un instrumento tecnológico para edificaciones de clima cálido en Colombia. *Dearq*, (18), 138- 145. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=341649737016>

Ruiz, A., Onieva, L., Escudero, A., Muñozuri, J. (2018). Confort adaptativo aplicado a edificios escolares y aplicabilidad en el sur de España. *RevistaDyo*, (67), 30-36. <https://doi.org/10.37610/dyo.v0i67.541>

Serrano, M. (27 de junio de 2012). *Clima, La Sierra Ecuatoriana*. Wordpress. <https://sierraecuador.wordpress.com/clima/>

Salazar, S. (2011). *Construcción y Desarrollo Sostenible "Arquitectura Bioclimática"*. [Tesis de maestría, Universidad de Almería]. Repositorio Universidad de Almería. <http://hdl.handle.net/10835/800>

Tkeshelashvili, M. (2021). *BIM to BEM: Development of integrated wor-*

kflow from Archicad to Energy Evaluation. [Master thesis, Lund University]. Lund University Libraries. <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9053944>

Universidad del Bío Bío. (2014). *Manual de hermeticidad al aire de edificaciones*. Chile. http://construccionsustentable.uc.cl/images/Documentos/Manual_de_hermeticidad_al_aire_de_edificaciones.pdf

6.4 Rereferencia de imágenes

- **Imagen 01:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Equipos de medición de CO₂ [Fotografía].
- **Imagen 02:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Equipos de medición instalados en aulas [Fotografía].
- **Imagen 03:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Estación climatológica FAUC [Fotografía].
- **Imagen 04:** Ruiz, A. (2019). Relaciones de la arquitectura bioclimática. Recuperado de: <https://www.alvaroruizarquitectura.com/arquitectura-bioclimatica-conceptos-herramientas-n-33-es>
- **Imagen 05:** chrarq. (2015). *Arquitectura biocliomática*. Recuperado de [https://chrarq.wordpress.com/2015/08/20/hola-](https://chrarq.wordpress.com/2015/08/20/hola-mundo/)

UCUENCA

mundo/

- **Imagen 06:** Hernandez, P. (2014). Diagrama de Givoni. Recuperado de: <https://pedrojhernandez.com/2014/03/03/diagrama-bioclimatico-de-givoni-2/>
- **Imagen 07:** Tkeshelashvili, M. (2021). Línea de tiempo Desarrollo de tecnología BIM.
- **Imagen 08:** Graphisoft, (2023). Logo de ArchiCAD. Recuperado de: <https://graphisoft.com/content/uploads/2023/10/Group-673.png>
- **Imagen 09:** Graphisoft, (2023). Logo de Ecodesigner STAR. Recuperado de: <https://graphisoft.com/content/uploads/downloads/ecodesignerstar.jpg>
- **Imagen 10:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Problemas en vanos de ventanas que presentan oquedades [Fotografía].
- **Imagen 11:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Problemas en carpinterías de puertas que presentan oquedades [Fotografía].
- **Imagen 12:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Aula E1 011 [Fotografía].
- **Imagen 13:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Aula E1 108 [Fotografía].
- **Imagen 14:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Aula E1 -105 [Fotografía].
- **Imagen 15:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Aula E2 202 [Fotografía].
- **Imagen 16:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Aula E2 103 [Fotografía].
- **Imagen 17:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Aula E2 003 [Fotografía].
- **Imagen 18:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Aula E3 201 [Fotografía].
- **Imagen 19:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Aula E3 202 [Fotografía].
- **Imagen 20:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Perfil de ocupación general aulas FAUC.
- **Imagen 21:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Perfil de operación general aulas FAUC.
- **Imagen 22:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Axometrías aulas a analizar.
- **Imagen 23:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Perfil de ocupación Aula E1 -102.
- **Imagen 24:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Perfil de operación Aula E1 -102.
- **Imagen 25:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Perfil de ocupación Aula E2 203.
- **Imagen 26:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Perfil de operación Aula E2 203.
- **Imagen 27:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Perfil de ocupación Aula E3 201.
- **Imagen 28:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Perfil de operación Aula E3 201.
- **Imagen 29:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Detalle de ventanas en aulas bloque E3 [Fotografía].
- **Imagen 30:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Detalle de ventanas en aulas bloque E2 segunda planta alta [Fotografía].
- **Imagen 31:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023).

Detalle de ventanas en aulas bloque E2 primera planta alta [Fotografía].

- **Imagen 32:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Ventilación Natural.
- **Imagen 33:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Aberturas.
- **Imagen 34:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Bloques térmicos FAUC.
- **Imagen 35:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Áreas al descubierto FAUC.
- **Imagen 36:** Datos de clima.
- **Imagen 37:** Definiciones de entorno.
- **Imagen 38:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Conversión de .epw a .csv.
- **Imagen 39:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Edición de datos en Excel.
- **Imagen 40:** Ortega, F. y Vintimilla, L. (2023). Valores clave de la simulación.

6.5 Gráficos y tablas

Gráficos

- **Gráfico 01:** Axonometría distribución de bloques.
- **Gráfico 02:** Planta de Subsuelo FAUC.
- **Gráfico 03:** Planta Baja FAUC.
- **Gráfico 04:** Primera Planta Alta FAUC.
- **Gráfico 05:** Segunda Planta Alta FAUC.
- **Gráfico 06:** Tercera Planta Alta FAUC.
- **Gráfico 07:** Detalle entrepiso con acaba-

UCUENCA

do de baldosa.

- **Gráfico 08:** Detalle entrepiso con acabado de parquet.
- **Gráfico 09:** Detalle contrapiso con acabado de parquet.
- **Gráfico 10:** Detalle entrepiso con acabado de parquet bloque E2.
- **Gráfico 11:** Detalle entrepiso con acabado parquet + alfombra.
- **Gráfico 12:** Detalle contrapiso con acabado de baldosa.
- **Gráfico 13:** Detalle pared de paneles de hormigón.
- **Gráfico 14:** Detalle pared de tol.
- **Gráfico 15:** Detalle pared de ladrillo hueco enlucido una cara.
- **Gráfico 16:** Detalle pared de ladrillo hueco enlucido dos caras.
- **Gráfico 17:** Contrapiso de hormigón y acabado de baldosa.
- **Gráfico 18:** Contrapiso de hormigón y acabado de microcemento.
- **Gráfico 19:** Entrepiso de hormigón y acabado de parquet.
- **Gráfico 20:** Entrepiso de hormigón y acabado de baldosa.
- **Gráfico 21:** Entrepiso de hormigón y acabado de microcemento.
- **Gráfico 22:** Pared de ladrillo maciso, e= 45 cm.
- **Gráfico 23:** Pared de ladrillo maciso, e= 30

UCUENCA

cm.

- **Gráfico 24:** Pared de ladrillo maciso, e= 15 cm.
- **Gráfico 25:** Pared de ladrillo hueco y placa de hormigón.
- **Gráfico 26:** Pared de ladrillo hueco y placa metálica.
- **Gráfico 27:** Pared de ladrillo hueco enlucido ambas caras.
- **Gráfico 28:** Vidrio simple, e= 4 mm.
- **Gráfico 29:** Axonometría bloque E1.
- **Gráfico 30:** Sección general A-A bloque E1.
- **Gráfico 31:** Sección constructiva S1 bloque E1.
- **Gráfico 32:** Sección constructiva S2 bloque E2.
- **Gráfico 33:** Axonometría bloque E2.
- **Gráfico 34:** Sección general B-B bloque E2.
- **Gráfico 35:** Axonometría bloque E3.
- **Gráfico 36:** Sección general C-C bloque E3.
- **Gráfico 37:** Sección general C-C bloque E3.
- **Gráfico 38:** Axonometría explotada.
- **Gráfico 39:** Axonometría General FAUC.
- **Gráfico 40:** Temperatura interna Aula E1 -102.
- **Gráfico 41:** Niveles de CO₂ Aula E1 -102.
- **Gráfico 42:** Temperatura interna Aula E2 203.

- **Gráfico 43:** Niveles de CO₂ Aula E2 203.
- **Gráfico 44:** Temperatura interna Aula E3 201.
- **Gráfico 45:** Niveles de CO₂ Aula E3 201.
- **Gráfico 46:** Plano de zonas en Planta de Subsuelo FAUC.
- **Gráfico 47:** Plano de zonas en Planta Baja FAUC.
- **Gráfico 48:** Plano de zonas en Primera Planta Alta FAUC.
- **Gráfico 49:** Plano de zonas en Segunda Planta Alta FAUC.
- **Gráfico 50:** Plano de zonas en Tercera Planta Alta FAUC.
- **Gráfico 51:** Corte y axonometría de zonas en bloque E1.
- **Gráfico 52:** Corte y axonometría de zonas en bloque E2.
- **Gráfico 53:** Corte y axonometría de zonas en bloque E3.
- **Gráfico 54:** Infiltración. Cambios de aire por hora [l/h].
- **Gráfico 55:** Temperaturas internas y externas perfil general Aula E1 -102.
- **Gráfico 56:** Temperaturas internas y externas perfil general Aula E2 203.
- **Gráfico 57:** Temperaturas internas y externas perfil general Aula E3 201.
- **Gráfico 58:** Temperaturas internas y externas perfil específico Aula E1 -102.
- **Gráfico 59:** Temperaturas internas y exter-

UCUENCA

nas perfil específico Aula E2 203.

- **Gráfico 60:** Temperaturas internas y externas perfil específico Aula E3 201.
- **Gráfico 61:** Comparación de temperaturas Aula E1 -102.
- **Gráfico 62:** Comparación de temperaturas Aula E2 203.
- **Gráfico 63:** Comparación de temperaturas Aula E3 201.

Tablas

- **Tabla 01:** Ministerio de Fomento, (2015). Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en $m^2 \cdot K / W$.
- **Tabla 02:** NEC, (2011). Rangos de temperatura de acuerdo a las zonas climáticas, según el mapa del INHAMI.
- **Tabla 03:** Parámetros climáticos promedio de Cuenca. Recuperado de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Cuenca_\(Ecuador\)#:~:text=Su%20temperatura%20promedio%20anual%20es,fr%C3%ADo%20y%20el%20m%C3%A1s%20c%C3%A1lido](https://es.wikipedia.org/wiki/Cuenca_(Ecuador)#:~:text=Su%20temperatura%20promedio%20anual%20es,fr%C3%ADo%20y%20el%20m%C3%A1s%20c%C3%A1lido)
- **Tabla 04:** Propiedades físicas y térmicas contrapiso de baldosa.
- **Tabla 05:** Propiedades físicas y térmicas contrapiso de microcemento.
- **Tabla 06:** Propiedades físicas y térmicas entrepiso de parquet.
- **Tabla 07:** Propiedades físicas y térmicas entrepiso de baldosa.
- **Tabla 08:** Propiedades físicas y térmicas entrepiso de microcemento.
- **Tabla 09:** Propiedades físicas y térmicas pared de ladrillo maciso, $e=45$ cm.
- **Tabla 10:** Propiedades físicas y térmicas pared de ladrillo maciso, $e=30$ cm.
- **Tabla 11:** Propiedades físicas y térmicas pared de ladrillo maciso, $e=15$ cm.
- **Tabla 12:** Propiedades físicas y térmicas-placa de hormigón.
- **Tabla 13:** Propiedades físicas y térmicas placa metálica.
- **Tabla 14:** Propiedades físicas y térmicas ladrillo hueco enlucido ambas caras.
- **Tabla 15:** Propiedades físicas y térmicas vidrio simple, $e=4$ mm.
- **Tabla 16:** Espacios y cantidades de materiales en bloques FAUC.
- **Tabla 17:** Datos de ocupación interna Aula E1 -102.
- **Tabla 18:** Datos de ocupación interna Aula E2 203.
- **Tabla 19:** Datos de ocupación interna Aula E3 201.
- **Tabla 20:** Estructuras.
- **Tabla 21:** Infiltración ventanas.
- **Tabla 22:** Infiltración cámaras de aire.

UCUENCA

6.6 Anexos

Anexo A. Levantamiento de aulas

Levantamiento de aulas				
Aula	Área (m ²)	Bancas	Iluminación LED	Equipos
E1 -109	42,67	35,00	12,00	Si
E1 -105	70,53	35,00	12,00	Si
E1 -102	51,94	35,00	12,00	Si
E1 014	41,98	35,00	12,00	Si
E1 011	42,80	35,00	12,00	Si
E1 007	51,36	25,00	8,00	Si
E1 010	52,25	25,00	8,00	Si
E1 108	75,63	45,00	10,00	Si
E1 106	41,85	25,00	10,00	Si
E2 003	38,10	30,00	10,00	Si
E2 104	56,95	35,00	12,00	Si
E2 103	85,11	30,00	12,00	Si
E2 102	82,09	35,00	12,00	Si
E2 101	84,51	50,00	12,00	Si
E2 204	60,29	30,00	12,00	Si
E2 203	85,68	30,00	12,00	Si
E2 202	83,50	30,00	12,00	Si
E2 201	85,49	30,00	12,00	Si
E3 -101	58,85	30,00	12,00	Si
E3 -102	58,84	30,00	12,00	Si
E3 101	73,04	32,00	12,00	Si
E3 102	73,04	32,00	12,00	Si
E3 201	73,04	32,00	12,00	Si
E3 202	73,04	32,00	12,00	Si
E3 301	73,09	32,00	12,00	Si
E3 302	73,09	32,00	12,00	Si
Promedio	64,95	32,58	11,46	

Anexo B. Temperaturas registradas

Temperaturas registradas			
Aula	max (°C)	min (°C)	IC
E1 -105	21,93	16,46	No
E1 -102	21,29	14,26	Si
E1 014	21,09	11,40	No
E1 010	21,24	17,17	Si
E1 108	23,12	15,19	Si
E1 007	22,71	14,84	No
E1 106	20,64	11,65	No
E2 003	22,00	13,22	No
E2 102	20,32	12,27	Si
E2 203	20,74	9,70	Si
E3 -101	22,45	15,77	No
E3 -102	22,18	16,87	No
E3 101	22,49	14,49	No
E3 201	21,09	14,44	Si
E3 301	20,50	16,44	Si
E3 302	22,55	17,31	Si

Datos medidos en sitio

Anexo C. DMS E1 -102

E1 -102				
Fecha	Temperatura (°C)	CO ₂ (ppm)	Radiación (W/m ²)	Humedad (%)
08/06/2022 0:04	16,95	26,94	1,83	64,55
08/06/2022 1:04	16,86	77,89	1,83	65,01
08/06/2022 2:04	16,81	41,92	1,83	65,04
08/06/2022 3:04	16,72	41,92	2,44	65,11
08/06/2022 4:04	16,68	26,94	1,83	64,99
08/06/2022 5:04	16,63	29,94	2,44	65,38
08/06/2022 6:04	16,54	50,91	2,44	65,77
08/06/2022 7:04	16,49	53,91	2,44	66,48
08/06/2022 8:04	16,68	47,92	1,83	67,19
08/06/2022 9:04	18,67	92,88	2,44	65,33
08/06/2022 10:04	18,72	86,88	2,44	59,69
08/06/2022 11:04	20,01	107,87	2,44	59,16
08/06/2022 12:04	20,99	137,87	1,83	56,08
08/06/2022 13:04	19,53	83,88	2,44	51,61
08/06/2022 14:04	18,67	44,92	2,44	57,96
08/06/2022 15:04	18,29	50,91	2,44	59,79
08/06/2022 16:04	17,73	35,93	1,83	61,08
08/06/2022 17:04	17,73	32,93	1,83	61,87
08/06/2022 18:04	17,55	26,94	2,44	63,96
08/06/2022 19:04	17,46	44,92	1,83	63,79
08/06/2022 20:04	20,26	83,88	2,44	58,89
08/06/2022 21:04	20,21	77,89	2,44	57,71
08/06/2022 22:04	17,92	47,92	1,83	62,40
08/06/2022 23:04	17,59	41,92	1,83	63,57

Anexo D. DMS E2 203

E2 203				
Fecha	Temperatura (°C)	CO ₂ (ppm)	Radiación (W/m ²)	Humedad (%)
06/06/2022 0:59	15,19	329,24	2,44	61,04
06/06/2022 1:59	15,33	326,15	2,44	60,62
06/06/2022 2:59	14,18	323,06	2,44	64,55
06/06/2022 3:59	14,62	313,80	2,44	61,08
06/06/2022 4:59	13,88	304,54	2,44	60,11
06/06/2022 5:59	13,66	304,54	2,44	60,28
06/06/2022 6:59	13,96	310,71	2,44	56,62
06/06/2022 7:59	15,24	332,33	3,66	55,10
06/06/2022 8:59	15,42	307,62	4,27	56,81
06/06/2022 9:59	18,01	591,22	3,66	50,90
06/06/2022 10:59	18,25	286,04	3,05	45,61
06/06/2022 11:59	19,58	292,20	6,10	40,38
06/06/2022 12:59	19,91	301,45	3,66	42,04
06/06/2022 13:59	16,54	412,94	2,44	62,89
06/06/2022 14:59	17,18	425,38	3,66	63,60
06/06/2022 15:59	17,41	326,15	3,05	60,57
06/06/2022 16:59	17,18	304,54	1,83	65,50
06/06/2022 17:59	17,92	572,36	2,44	64,18
06/06/2022 18:59	18,06	569,21	2,44	63,53
06/06/2022 19:59	16,40	329,24	2,44	67,29
06/06/2022 20:59	15,95	313,80	1,83	68,12
06/06/2022 21:59	15,24	295,29	2,44	69,21
06/06/2022 22:59	15,37	304,54	1,83	68,14
06/06/2022 23:59	15,33	304,54	2,44	68,80

Anexo E. DMS E3 201

E3 201				
Fecha	Temperatura (°C)	CO ₂ (ppm)	Radiación (W/m ²)	Humedad (%)
01/06/2022 0:59	17,18	229,06	2,44	57,40
01/06/2022 1:59	17,23	229,06	2,44	57,10
01/06/2022 2:59	17,00	232,09	2,44	57,18
01/06/2022 3:59	17,04	241,16	2,44	56,03
01/06/2022 4:59	16,72	232,09	2,44	54,42
01/06/2022 5:59	16,77	235,11	2,44	54,47
01/06/2022 6:59	16,09	274,56	2,44	52,91
01/06/2022 7:59	18,86	877,16	1,83	53,49
01/06/2022 8:59	17,78	425,46	1,83	48,27
01/06/2022 9:59	17,46	317,33	1,83	50,29
01/06/2022 10:59	17,13	259,36	1,83	51,07
01/06/2022 11:59	17,32	244,19	2,44	51,66
01/06/2022 12:59	17,41	280,66	1,83	51,44
01/06/2022 13:59	17,46	238,14	1,83	51,39
01/06/2022 14:59	16,59	210,96	1,83	62,01
01/06/2022 15:59	17,00	223,02	1,83	58,69
01/06/2022 16:59	16,54	210,96	2,44	61,25
01/06/2022 17:59	16,95	216,99	2,44	61,84
01/06/2022 18:59	17,32	283,70	2,44	60,30
01/06/2022 19:59	17,32	283,70	2,44	60,18
01/06/2022 20:59	17,27	295,91	2,44	60,47
01/06/2022 21:59	17,27	286,75	2,44	60,18
01/06/2022 22:59	17,18	283,70	2,44	60,40
01/06/2022 23:59	17,23	298,97	2,44	60,52

Cálculo de error

Anexo F. CE E1 -102

E1 -102			
Fecha	Medición (°C)	Simulación (°C)	Error
08/06/2022 0:04	16,95	16,56	0,02
08/06/2022 1:04	16,86	16,43	0,03
08/06/2022 2:04	16,81	16,30	0,03
08/06/2022 3:04	16,72	16,16	0,03
08/06/2022 4:04	16,68	16,00	0,04
08/06/2022 5:04	16,63	15,81	0,05
08/06/2022 6:04	16,54	15,64	0,05
08/06/2022 7:04	16,49	15,50	0,06
08/06/2022 8:04	16,68	16,89	0,01
08/06/2022 9:04	18,67	18,49	0,01
08/06/2022 10:04	18,72	19,18	0,02
08/06/2022 11:04	20,01	20,17	0,01
08/06/2022 12:04	20,99	20,80	0,01
08/06/2022 13:04	19,53	19,71	0,01
08/06/2022 14:04	18,67	18,51	0,01
08/06/2022 15:04	18,29	19,24	0,05
08/06/2022 16:04	17,73	19,38	0,09
08/06/2022 17:04	17,73	18,63	0,05
08/06/2022 18:04	17,55	18,28	0,04
08/06/2022 19:04	17,46	19,52	0,12
08/06/2022 20:04	20,26	20,88	0,03
08/06/2022 21:04	20,21	19,47	0,04
08/06/2022 22:04	17,92	17,96	0,00
08/06/2022 23:04	17,59	17,79	0,01
	Promedio		0,03

Anexo G. CE E2 203

E2 203			
Fecha	Medición (°C)	Simulación (°C)	Error
06/06/2022 0:59	15,19	15,75	0,04
06/06/2022 1:59	15,33	15,18	0,01
06/06/2022 2:59	14,18	14,57	0,03
06/06/2022 3:59	14,62	14,08	0,04
06/06/2022 4:59	13,88	13,73	0,01
06/06/2022 5:59	13,66	13,42	0,02
06/06/2022 6:59	13,96	13,12	0,06
06/06/2022 7:59	15,24	12,90	0,15
06/06/2022 8:59	15,42	12,97	0,16
06/06/2022 9:59	18,01	15,23	0,15
06/06/2022 10:59	18,25	17,27	0,05
06/06/2022 11:59	19,58	17,88	0,09
06/06/2022 12:59	19,91	18,71	0,06
06/06/2022 13:59	16,54	20,47	0,24
06/06/2022 14:59	17,18	22,38	0,30
06/06/2022 15:59	17,41	22,78	0,31
06/06/2022 16:59	17,18	22,24	0,29
06/06/2022 17:59	17,92	22,15	0,24
06/06/2022 18:59	18,06	22,51	0,25
06/06/2022 19:59	16,40	21,39	0,30
06/06/2022 20:59	15,95	20,12	0,26
06/06/2022 21:59	15,24	19,39	0,27
06/06/2022 22:59	15,37	18,66	0,21
06/06/2022 23:59	15,33	18,08	0,18
	Promedio		0,16

Anexo H. CE E3 201

E3 201			
Fecha	Medición (°C)	Simulación (°C)	Error
01/06/2022 0:59	17,18	16,08	0,06
01/06/2022 1:59	17,23	15,92	0,08
01/06/2022 2:59	17,00	15,77	0,07
01/06/2022 3:59	17,04	15,60	0,08
01/06/2022 4:59	16,72	15,45	0,08
01/06/2022 5:59	16,77	15,32	0,09
01/06/2022 6:59	16,09	15,18	0,06
01/06/2022 7:59	18,86	16,45	0,13
01/06/2022 8:59	17,78	17,98	0,01
01/06/2022 9:59	17,46	18,42	0,06
01/06/2022 10:59	17,13	18,89	0,10
01/06/2022 11:59	17,32	18,04	0,04
01/06/2022 12:59	17,41	17,08	0,02
01/06/2022 13:59	17,46	17,23	0,01
01/06/2022 14:59	16,59	17,43	0,05
01/06/2022 15:59	17,00	17,69	0,04
01/06/2022 16:59	16,54	17,84	0,08
01/06/2022 17:59	16,95	17,95	0,06
01/06/2022 18:59	17,32	17,97	0,04
01/06/2022 19:59	17,32	19,17	0,11
01/06/2022 20:59	17,27	20,51	0,19
01/06/2022 21:59	17,27	19,27	0,12
01/06/2022 22:59	17,18	17,90	0,04
01/06/2022 23:59	17,23	17,80	0,03
	Promedio		0,07

Anexo I. CE General

Promedio General	
Aula	Error
E1 -102	0,03
E2 203	0,16
E3 201	0,07
Promedio	0,09

Horarios levantados

Anexo J. HL E1 010

E1 010					
Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
07h00-08h00					
08h00-09h00					
09h00-10h00					
10h00-11h00					
11h00-12h00					
12h00-13h00					
13h00-14h00					
14h00-15h00					
15h00-16h00					
16h00-17h00					
17h00-18h00					
18h00-19h00					
19h00-20h00					
20h00-21h00					
Ocupación					70%

Anexo K. HL E1 011

E1 011					
Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
07h00-08h00					
08h00-09h00					
09h00-10h00					
10h00-11h00					
11h00-12h00					
12h00-13h00					
13h00-14h00					
14h00-15h00					
15h00-16h00					
16h00-17h00					
17h00-18h00					
18h00-19h00					
19h00-20h00					
20h00-21h00					
Ocupación					70%

Anexo L. HL E1 014

E1 014					
Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
07h00-08h00					
08h00-09h00					
09h00-10h00					
10h00-11h00					
11h00-12h00					
12h00-13h00					
13h00-14h00					
14h00-15h00					
15h00-16h00					
16h00-17h00					
17h00-18h00					
18h00-19h00					
19h00-20h00					
20h00-21h00					
Ocupación					40%

Anexo M. HL E1 -108

E1 -108					
Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
07h00-08h00					
08h00-09h00					
09h00-10h00					
10h00-11h00					
11h00-12h00					
12h00-13h00					
13h00-14h00					
14h00-15h00					
15h00-16h00					
16h00-17h00					
17h00-18h00					
18h00-19h00					
19h00-20h00					
20h00-21h00					
Ocupación					77%

Anexo N. HL E1 -106

E1 -106					
Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
07h00-08h00					
08h00-09h00					
09h00-10h00					
10h00-11h00					
11h00-12h00					
12h00-13h00					
13h00-14h00					
14h00-15h00					
15h00-16h00					
16h00-17h00					
17h00-18h00					
18h00-19h00					
19h00-20h00					
20h00-21h00					
Ocupación					52%

Anexo O. E2 204

E2 204					
Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
07h00-08h00					
08h00-09h00					
09h00-10h00					
10h00-11h00					
11h00-12h00					
12h00-13h00					
13h00-14h00					
14h00-15h00					
15h00-16h00					
16h00-17h00					
17h00-18h00					
18h00-19h00					
19h00-20h00					
20h00-21h00					
Ocupación					70%

Anexo P. HL E2 003

E2 003					
Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
07h00-08h00					
08h00-09h00					
09h00-10h00					
10h00-11h00					
11h00-12h00					
12h00-13h00					
13h00-14h00					
14h00-15h00					
15h00-16h00					
16h00-17h00					
17h00-18h00					
18h00-19h00					
19h00-20h00					
20h00-21h00					
Ocupación					32%

Anexo Q. HL E3 201

E3 201					
Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
07h00-08h00					
08h00-09h00					
09h00-10h00					
10h00-11h00					
11h00-12h00					
12h00-13h00					
13h00-14h00					
14h00-15h00					
15h00-16h00					
16h00-17h00					
17h00-18h00					
18h00-19h00					
19h00-20h00					
20h00-21h00					
Ocupación					32%

Anexo R. HL Ocupación

Promedio General	
Aula	Ocupación
E1 010	70%
E1 011	70%
E1 014	40%
E1 -108	77%
E1 -106	52%
E2 204	62%
E2 003	62%
E3 201	32%
Promedio	58%

UCUENCA
ARQUITECTURA