

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO:

**VIVIENDA RESILIENTE Y SOSTENIBLE EN REGIONES
ECUATORIALES: HACIA LA CONSTRUCCIÓN DE CIUDADES
RESILIENTES Y SOSTENIBLES**

COMPONENTE:

**ESTUDIO DEL CONFORT TÉRMICO DE UNA VIVIENDA EN ZONA
ANDINA**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA MECÁNICA**

ESTEFANY PATRICIA VIZUETE CHACÓN

estefany.vizquete@epn.edu.ec

DIRECTOR: PhD. FREDDY ORDOÑEZ MALLA

freddy.ordonez@epn.edu.ec

DMQ, Julio, 2024

CERTIFICACIONES

Yo, Estefany Patricia Vizúete Chacón declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

ESTEFANY PATRICIA VIZUETE CHACÓN

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Estefany Patricia Vizúete Chacón, bajo mi supervisión.

Dr. FREDDY ORDÓÑEZ MALLA
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Estefany Patricia Vizuite Chacón

Dr. Freddy Ordóñez Malla

DEDICATORIA

A mis padres, por ser mi motivación. Este logro es para ustedes.

A mis abuelitos, que desde el cielo me cuidan y sonríen con orgullo en cada paso que doy.

A las mujeres, niñas y adolescentes que ya no están con nosotros porque alguien les arrebató la vida. A aquellas que, con valentía, desafiaron los estereotipos de género, aunque eso les costara su libertad y carrera profesional. A mis compañeras, docentes, colegas y amigas, por su incansable esfuerzo para romper esquemas y demostrarle al mundo que nosotras también podemos hacer ciencia. Este logro es para todas ustedes, en homenaje a su lucha y su fuerza transformadora.

AGRADECIMIENTO

A mi familia, mis padres Patty y Diego por el amor, los valores y enseñanzas que me llevaron a culminar mi carrera; a mis hermanos, por ser mi fuente de inspiración; y a mis perritos, Goofy y Latika por su compañía y alegría, mi felicidad constante.

A mis docentes, por aquellas lecciones que trascienden los conocimientos técnicos y científicos, fomentando mi compromiso por ejercer una ingeniería innovadora, multidisciplinaria y con conciencia social. Especialmente a Victor Hugo Guerrero, Roberto Rojas y Freddy Ordóñez por su ejemplo; y a Carlos Naranjo y Santiago Vaca, por su guía en diversas etapas de este proyecto.

Con total admiración, a la psicóloga Nathy Guamán, por acompañarme y ayudarme a creer en mí. A Álvaro Rosero, quien con su talento artístico y buen humor me regaló miles de sonrisas. Gracias por ayudarme a seguir soñando con una sociedad mejor y segura.

A mis amigas y amigos, con quienes hemos creado lazos de amistad que sobrepasan los espacios universitarios. Especialmente a José por su amistad sincera y a todas las valientes mujeres, compañeras de lucha, que encontré en la EPN.

A mis compañeros y compañeras, con quienes fuimos escalando los semestres hasta cumplir la meta de llamarnos "colegas".

A Joe Vega, mi mejor amigo, por ser un pilar fundamental en mi vida. Gracias por enseñarme la magia de vivir cada día al máximo y recordarme que no hay motivos para dejar de perseguir cosas grandes.

A Freddy Ordóñez, tutor de tesis, por su invaluable guía, paciencia y dedicación en cada etapa del proyecto. Su conocimiento y sabiduría fueron esenciales para la culminación exitosa de este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VII
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance	3
1.4 Marco teórico	3
2 METODOLOGÍA.....	15
2.1 Características del Modelo.....	15
2.2 Simulación dinámica	20
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	28
3.1 Resultados.....	28
3.2 Discusión	46
3.3 Conclusiones	47
3.4 Recomendaciones	48
4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
5 ANEXOS	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Parámetros e índices de ciudades resilientes	4
Figura 2. Rango de confort adaptativo para espacios no acondicionados.	4
Figura 3. Tipos de ventilación natural: (a) unilateral, (b) cruzada y (c) efecto chimenea ...	5
Figura 4. Principios del calentamiento solar pasivo.....	5
Figura 5. Radiación solar.....	5
Figura 6. Intercambios de calor en vivienda.	6
Figura 7. (a) Ejemplo de comportamiento de vivienda. (b) Flujos de calor en paredes.	6
Figura 8. Temperatura media global (°C) para cada mes de años representativos.	7
Figura 9. Simulación dinámica para Diseño Térmico de Vivienda	15
Figura 10. Modelo 3D de la vivienda.....	16
Figura 11. Planos de la vivienda.	16
Figura 12. Temperatura del aire (ambiente exterior).....	17
Figura 13. Tipología de superficies de la vivienda.....	17
Figura 14. Perfiles de Ocupación por Zonas días laborables.....	20
Figura 15. Transferencia de calor a través de superficies opacas.....	24
Figura 16. Rango de temperaturas para el confort adaptativo con el 80% y 90% de aceptación en Quito.....	26
Figura 17. Condiciones climáticas exteriores de la vivienda	28
Figura 18. Condiciones de borde de la Sala y Habitación 2.....	30
Figura 19. Ganancias de calor y temperaturas en la Zona: Sala	32
Figura 20. Ganancias de calor y temperaturas en la Zona: Habitación 2.....	33
Figura 21. Mapa de incidencia solar de la vivienda a las 18:00 horas.....	34
Figura 22. Ganancias internas de la sala (izq.) y la habitación 2 (der.).....	35
Figura 23. Transferencia de calor por superficie en la Sala (izq.) y Habitación 2 (der.)... 37	
Figura 24. Transferencia de calor en la sala el día más caluroso.....	38
Figura 25. Transferencia de calor en la pared noroeste de la sala.	39
Figura 26. Ventilación natural de la sala (izq.) y la habitación 2 (der).	40
Figura 27. Temperatura operativa por zonas para el día más caluroso (10 de junio, gráfico superior) y el día más frío (28 de julio, gráfico inferior).	41
Figura 28. Confort térmico de la vivienda por zonas para el 90% de aceptabilidad (sup.) y el 80% de aceptabilidad (inf).	42
Figura 29. Confort térmico por zonas según Set Point (80% aceptabilidad).	43
Figura 30. Confort térmico por zonas ventanas (80% aceptabilidad).	44
Figura 31. Confort térmico según rotación (80% aceptabilidad).	44

Figura 32. Confort térmico con nueva envolvente (80% aceptabilidad).....	45
Figura 33. Confort térmico de la vivienda por zonas en el mejor caso para el 90% de aceptabilidad (sup.) y el 80% de aceptabilidad (inf).	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios para diseñar y construir Low or Zero Energy Buildings	10
Tabla 2. Lista de materiales y sus propiedades principales	18
Tabla 3. Parámetros de las ganancias internas de la vivienda.....	19
Tabla 4. Tasas metabólicas para tareas típicas.....	20
Tabla 5. Parámetros de simulación	21
Tabla 6. Condiciones climáticas principales de los días de análisis.....	28
Tabla 7. Procesos y Efectos asociados a la incidencia solar de la vivienda.....	29
Tabla 8. Resumen de zonas simuladas	30
Tabla 9. Características de la Sala y Habitación 2.	31
Tabla 10. Resultados del balance de calor general.....	31
Tabla 11. Clasificación de ganancias internas.....	34
Tabla 12. Resumen de cargas térmicas sensibles anuales (kWh).....	36
Tabla 13. Conceptos avanzados de superficies.....	37
Tabla 14. Número de horas de desconfort	41
Tabla 15. Configuraciones de ventanas en habitaciones.	43
Tabla 16. Porcentaje de confort por zona en horas ocupadas para el mejor caso.....	45

RESUMEN

El presente proyecto se centra en la evaluación del comportamiento energético y confort térmico de una vivienda resiliente unifamiliar ubicada en Quito – Ecuador. Para alcanzar el objetivo, se utilizó un Typical Meteorological Year (TMY) que permitió simular las características climatológicas de la zona de estudio durante un año. Adicionalmente, la estimación del confort térmico y los detalles del comportamiento energético de la vivienda se obtuvieron a través de simulación dinámica.

El modelo se concibe como un caso de estudio particular, contando con criterios de diseño pasivo o bioclimáticos que definieron los materiales envolventes, iluminación, equipos y ocupación de los habitantes. Se consideran como factores importantes de analizar a: la transferencia de calor por superficies, las ganancias internas, las cargas térmicas, el consumo de energía, la ventilación natural y las horas de confort térmico.

El software de simulación es Design Builder, con el motor de cálculo dinámico EnergyPlus. Se obtuvieron simulaciones para un año calendario, y se realizó el análisis de resultados según dos días característicos (más frío y más caluroso) o por zonas de ocupación de la vivienda. Para la representación de resultados se utilizó el software MATLAB.

Con base en la norma ASHRAE-55-2017, centrada en el modelo de confort adaptativo para espacios no acondicionados, se evidencia que la vivienda lograría alcanzar el 73.97% de confort térmico al año con el 80% de aceptabilidad, teniendo zonas donde el desconfort está presente a causa de las limitantes de diseño y construcción intrínsecas del proyecto. Se plantean nuevas alternativas y retos para continuar mejorando los principios bioclimáticos y de resiliencia que posee la vivienda.

PALABRAS CLAVE: Confort térmico, comportamiento energético, transferencia de calor, ganancia de calor, simulación, diseño pasivo, resiliencia.

ABSTRACT

This project focuses on evaluating the energy performance and thermal comfort of a resilient single-family dwelling located in Quito, Ecuador. To achieve this objective, a Typical Meteorological Year (TMY) was employed, enabling the simulation of the climatological characteristics of the study area over a year. Additionally, the estimation of thermal comfort and the details of the energy behavior of the dwelling were obtained through dynamic simulation.

The model is conceived as a particular case study, incorporating passive or bioclimatic design criteria that define the envelope materials, lighting, equipment, and occupant activity. Key factors analyzed include heat transfer through surfaces, internal gains, thermal loads, energy consumption, natural ventilation, and thermal comfort hours.

The simulation software used is Design Builder, with the dynamic calculation engine EnergyPlus. Simulations were performed for a calendar year, and results were analyzed based on two characteristic days (coldest and hottest) or by occupancy zones within the dwelling. MATLAB software was used for results representation.

Based on the ASHRAE-55-2017 standard, centered on the adaptive comfort model for unconditioned spaces, it is evident that the dwelling would achieve 73.97% thermal comfort per year with 80% acceptability, with zones where discomfort is present due to the inherent design and construction limitations of the project. New alternatives and challenges are proposed to continue improving the bioclimatic and resilience principles of the dwelling.

KEYWORDS: Thermal comfort, energy performance, heat transfer, heat gain, simulation, passive design, resilience.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

En 2023, el planeta experimentó su año más cálido registrado desde 1850, con un aumento de 1.48°C respecto a la temperatura media en ese periodo inicial. Las temperaturas globales están a 0.52°C de superar el umbral irreversible del IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático), con un promedio anual de 14.98°C, 0.17°C más alto que en 2016 [1].

Este escenario subraya la urgencia de que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) disminuyan para prevenir consecuencias irreversibles. Las áreas urbanas concentran a la mitad de la población mundial y se estima que el porcentaje ascienda al 70% en 2050. Esto resulta en una presión creciente sobre los recursos que alimentan las ciudades (precarización), incluyendo la disponibilidad de agua y energía. Para enfrentar esta realidad, las Naciones Unidas plantearon los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) centrándose en acciones para la eliminación de la pobreza y todas las formas de desigualdad, así como en la protección del medio ambiente. El ODS N°11 propone que las áreas urbanas sean inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles. Un aspecto clave para alcanzar esto es asegurar el acceso a la energía asequible y no contaminante, contemplado en el ODS número 7 [2].

La energía es fundamental para el progreso humano, social y económico; sin embargo, también representa la principal causa de la crisis climática. De hecho, más del 75% de las emisiones mundiales de GEI provienen del uso u obtención de la energía incluyendo el transporte [3]. Por esta razón, es esencial impulsar un cambio hacia una energía basada en fuentes renovables e impulsar mejorar la eficiencia energética de los hogares [4]. El diseño térmico de las viviendas permite optimizar el uso de la energía y asegurar ambientes confortables, adaptándose a las condiciones climáticas de cada lugar [5].

Para definir el confort térmico, la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) engloba el término como “la condición mental en la que se expresa satisfacción con el entorno térmico” [6]. Las diferencias individuales en el estado de ánimo, la cultura y otros factores personales, organizativos y sociales tienen una fuerte influencia sobre esta percepción. La evaluación del confort es un proceso cognitivo complejo que considera factores físicos, fisiológicos, psicológicos y otros, lo que ha resultado en la variabilidad de las sensaciones térmicas entre personas, incluso en entornos idénticos [7]. Para evaluar la sensación térmica, Macpherson propone concentrar en dos variables personales (aislamiento de la ropa y tasa metabólica) y cuatro variables físicas (temperatura del aire, humedad relativa, temperatura radiante media y velocidad del

aire [8]. Estos valores se utilizan como parámetros del diseño del confort térmico de espacios. La ASHRAE 55-2017 es la norma que contempla el modelo adaptativo y determina las condiciones térmicas aceptables en espacios no acondicionados controlados por los ocupantes [6].

La ausencia de confort térmico en las viviendas impacta en el bienestar emocional y físico de sus habitantes. Este disconfort se traduce en malestar, fatiga y dificultades para concentrarse, además de reducir la eficiencia laboral. Según Fisk y Rosenfeld, mejorar el entorno térmico en edificios de oficinas en EE. UU. podría aumentar la productividad entre un 0,5-5%, generando beneficios anuales de 12.000 a 125.000 millones de dólares [9].

Puesto que en Ecuador las temperaturas no llegan a valores extremos (6°C mínimo en la sierra, 37°C máximos en la costa), los edificios no consideran aspectos energéticos en su diseño o construcción, omitiendo aislamientos en los envolventes y/o equipos de acondicionamiento del aire interior [10], dando como resultado viviendas no confortables la mayor parte del año [7]. Sin embargo, es posible lograr ambientes interiores confortables mediante el uso de criterios bioclimáticos en el diseño de la vivienda [11].

En este contexto, se está construyendo una casa con factores de diseño y construcción bioclimática en Quito. El objetivo es que esta vivienda sea resiliente y capaz de adaptarse a las condiciones climáticas locales. Para demostrar su eficacia, se requiere el diseño térmico de la vivienda. Este análisis debe considerar aspectos como la transferencia de calor, el control térmico adaptativo y la energía térmica. La meta principal es proporcionar un entorno interior confortable y con principios de eficiencia energética.

1.1 Objetivo general

Diseñar térmicamente una vivienda resiliente ubicada en Quito, empleando simulación dinámica.

1.2 Objetivos específicos

1. Recopilar el detalle de los datos sobre las características del diseño arquitectónico y los materiales seleccionados para la vivienda resiliente en Quito.
2. Realizar un análisis de las variables que intervienen en el confort térmico de la vivienda, considerando su ubicación geográfica y condiciones climáticas específicas.

3. Desarrollar un diseño térmico que optimice el confort de la vivienda, teniendo en cuenta las restricciones arquitectónicas identificadas y utilizando simulación dinámica.

1.3 Alcance

El presente trabajo de integración curricular (TIC) forma parte de un proyecto multidisciplinario que contempla la construcción de una vivienda resiliente y autosustentable que genera su propia energía eléctrica mediante la recolección de luz solar, recolecta y distribuye agua lluvia, y contiene factores de arquitectura y selección de materiales de construcción amigables con el medio ambiente.

Este proyecto enmarca el diseño térmico de la vivienda, excluyendo explícitamente su diseño arquitectónico y su construcción física, centrándose en el análisis del comportamiento térmico de la vivienda a través del entendimiento de la transferencia de calor. La vivienda es de carácter unifamiliar ubicada en Quito – Ecuador, con la arquitectura y los hábitos de sus ocupantes previamente determinados.

La metodología para analizar el confort térmico contempla los criterios de la norma ASHRAE 55-2017. Esta norma emplea el modelo de confort adaptativo (para espacios no acondicionados y controlados por sus ocupantes) y establece los rangos de confort aceptables. Además, la simulación se realizará en el software Design Builder con los principios de simulación de EnergyPlus, aplicables para el estudio térmico de edificios.

1.4 Marco teórico

Definiciones

Indicadores de resiliencia: La norma ISO 37120:2018 y la Fundación Rockefeller establecen parámetros para evaluar la resiliencia en ciudades como se muestra en la Figura 1.



b)

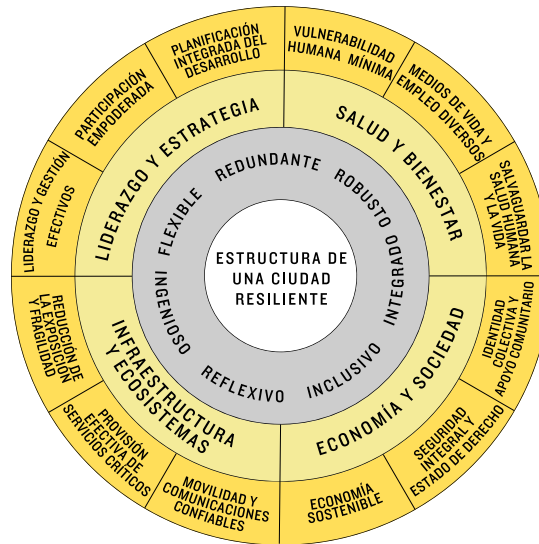


Figura 1. Parámetros e índices de ciudades resilientes según (a) ISO 37120:2018 y (b) Fundación Rockefeller.

Fuente: Elaboración propia a partir de ISO 37120:2018 y “City Resilient Index” [12].

Confort térmico

El confort térmico está asociado con la percepción de bienestar y satisfacción de los ocupantes dentro de un espacio. La ASHRAE 55-2017 define al confort como "la condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico" [13]. Este depende de la temperatura del aire, la velocidad del aire, la temperatura radiante media, la humedad relativa, el aislamiento de la ropa y la tasa metabólica, que en conjunto deben equilibrar el intercambio térmico entre el cuerpo humano y el entorno [13].

La misma norma propone dos modelos para evaluar el confort térmico: el modelo estático, que predice el voto medio estimado (PMV) y el porcentaje de personas insatisfechas (PPD) basado en el equilibrio térmico, y el modelo adaptativo, que considera la capacidad de los ocupantes para adaptarse a condiciones térmicas variables mediante ajustes conductuales, psicológicos y fisiológicos, siendo relevante en edificios de energía cero donde se prioriza el ambiente no acondicionado [13]. Así, el rango de temperatura operativa aceptable para el 80% y 90% de aceptabilidad se muestra en la Figura 2.

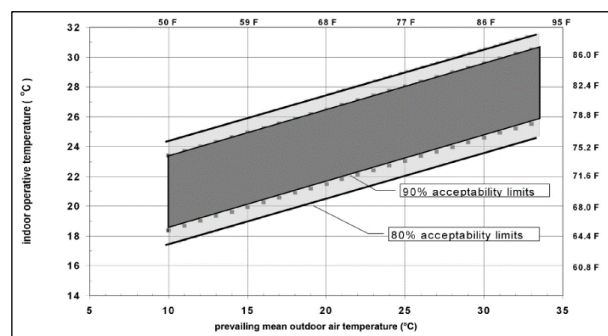


Figura 2. Rango de confort adaptativo para espacios no acondicionados.

Fuente: ASHRAE 55-2013 [13].

Ventilación Natural: Aprovecha los flujos de aire naturales para enfriar el edificio y asegurar la calidad del aire, sin el uso de sistemas mecánicos. Se basa en principios como la convección natural, la acción del viento y el efecto chimenea. La Figura 3 muestra el flujo de aire frío (azul) y caliente (rojo) en las configuraciones de ventilación natural.

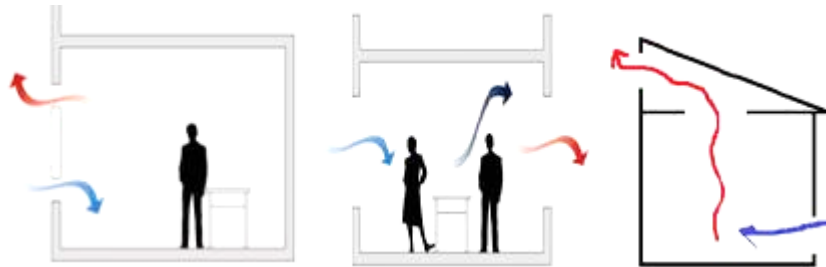


Figura 3. Tipos de ventilación natural: (a) unilateral, (b) cruzada y (c) efecto chimenea.

Fuente: Simulación local de ventilación natural (Al-Ammari A.) [14]

Calentamiento Solar Pasivo: Utiliza la radiación solar para calentar el edificio de manera optimizada. Implica el diseño de las aberturas, la orientación del edificio, el uso de materiales con masa térmica y otros elementos para captar, almacenar, distribuir y conservar el calor del sol (véase la Figura 4).

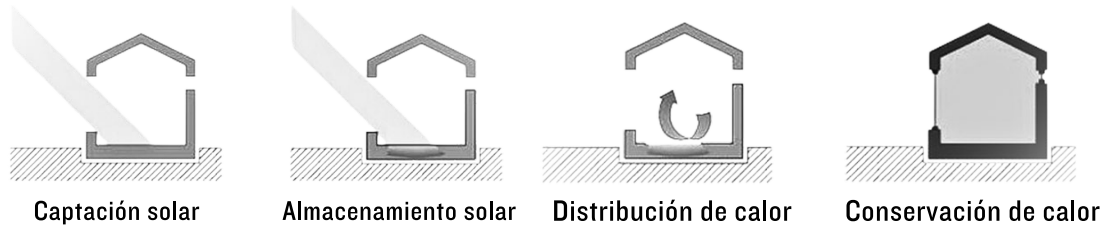


Figura 4. Principios del calentamiento solar pasivo.

Fuente: Introducción al diseño solar pasivo (IETCC) [15].

Radiación solar: es la energía emitida por el sol. La radiación solar directa llega sin ser dispersada, mientras que la radiación solar difusa ha sido dispersada por elementos como las nubes y llega desde todas las direcciones (véase la Figura 5).

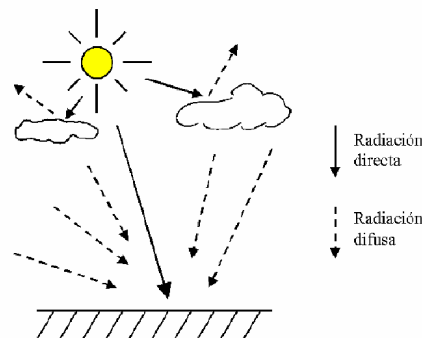
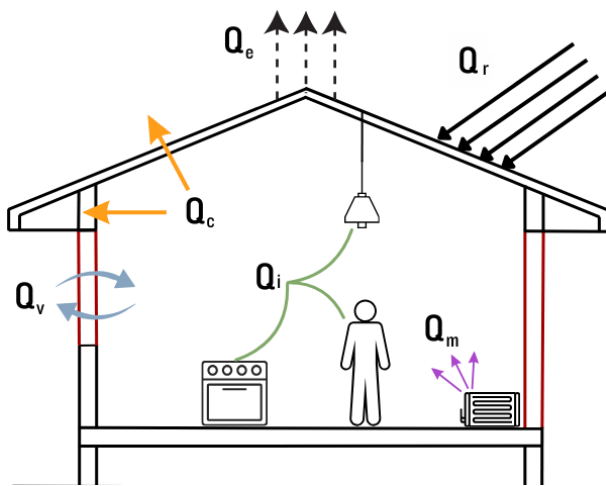


Figura 5. Radiación solar.

Fuente: Recursos Naturales (Águila M) [16].

Comportamiento térmico e Intercambio de calor en edificios

El comportamiento térmico de una vivienda implica modelar la transferencia de energía entre el edificio y su entorno, esencial para dimensionar adecuadamente los equipos de ventilación y aire acondicionado (HVAC) en edificios climatizados y estimar variaciones de temperatura en edificios no climatizados. Este proceso permite evaluar la eficiencia del diseño del edificio. Sus procesos de intercambio de calor con el entorno exterior se clasifican como se indica en la Figura 6 [17].



Q_i : Calor generado por personas, luces y equipos (W).

Q_s : Efectos de la radiación solar sobre superficies opacas y superficies transparente (W).

Q_c : Conducción de calor a través de las paredes (W).

Q_v : Intercambio de calor por convección a través del movimiento del aire (ventilación) (W).

Q_m : Intercambio de calor mediante calefacción o enfriamiento mecánica (W).

Q_e : Evaporación en la superficie y dentro del edificio (piscinas, fuentes de agua, etc) (W).

Figura 6. Intercambios de calor en vivienda.

Fuente: Elaboración propia.

El equilibrio térmico, o la condición térmica existente, se mantiene si:

$$Q_i + Q_s \pm Q_c \pm Q_v \pm Q_m - Q_e = 0 \quad (1)$$

Así, la Figura 7 muestra un ejemplo del comportamiento de una vivienda, así como también de los flujos de calor existentes en una pared.

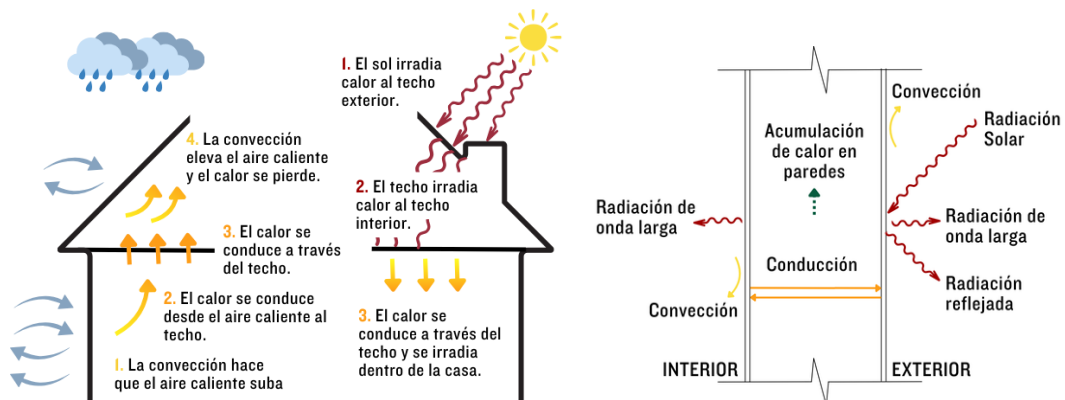


Figura 7. (a) Ejemplo de comportamiento de vivienda. (b) Flujos de calor en paredes.

Fuente: Elaboración propia con base en bibliografía [17].

Introducción

Crisis Climática y Eficiencia Energética

En 2018, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) alertó sobre los impactos en el clima debido al aumento de temperatura global en 1.5°C respecto a los niveles preindustriales (1850-1900) indicando que alcanzar un aumento de 2°C tendría consecuencias irreversibles [18]. A pesar de esta advertencia, la temperatura global ha seguido aumentando, registrando al año 2023 como el más caluroso desde 1850, con un aumento de 1.48°C y se estima que las temperaturas sigan subiendo a un ritmo de 0.2°C por década [1] [18]. Según los registros climáticos, julio y agosto del 2023 han sido identificados como los meses con las temperaturas más elevadas registradas hasta la fecha. Por primera vez, todos los días del año superaron en 1°C el nivel preindustrial, y el 50% de ellos superó este referencial en 1.5°C, haciendo que todos los meses desde junio sobrepasaran el calentamiento de 1.5°C (véase la Figura 8) [1].

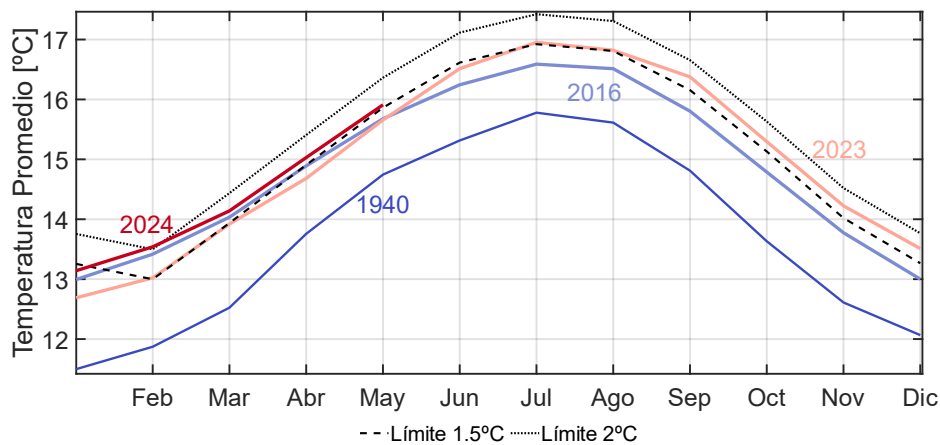


Figura 8. Temperatura media global (°C) para cada mes de años representativos.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ERA5 [19].

Este incremento ha provocado impactos significativos, como la amenaza a ecosistemas únicos como los arrecifes de coral y el Ártico, la afectación económica debido a la pérdida de biodiversidad y los costos derivados de eventos meteorológicos extremos, y la exacerbación de la desigualdad social al afectar desproporcionadamente a grupos vulnerables, intensificando las disparidades socioeconómicas y la precariedad [18].

Se estima que el calentamiento global se detendría si las emisiones antropogénicas globales netas globales de dióxido de carbono (CO₂) llegaran a cero, lo que reduciría el forzamiento radiativo a valores mínimos o nulos [18].

La Agencia Internacional de Energía, indica que el sector energético, incluyendo la generación de electricidad, el transporte y la industria, aporta con un 75% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel mundial, mientras que el restante se atribuye a otras fuentes como la agricultura y la gestión de residuos [3]. Cerca del 98% de estas emisiones corresponden al CO₂ liberado durante la quema de combustibles fósiles y la diferencia abarca otros gases (metano y óxido nitroso) proveniente de emisiones fugitivas (resultado de escapes accidentales durante la producción, transformación y transporte de combustibles fósiles) [3]. Debido a esto, es fundamental impulsar la transición energética hacia fuentes renovables.

Las áreas urbanas son especialmente afectadas por eventos climáticos extremos más frecuentes y el aumento de la temperatura del aire, lo que incrementa el riesgo de desastres naturales y el estrés térmico [20]. Según la ONU, las ciudades absorben el 78% del consumo energético global y son responsables del 70% de las emisiones de gases de efecto invernadero GEI [21]. Además, la urbanización acelerada presiona a los recursos naturales, contraviniendo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente el N°7 acerca de energía asequible y no contaminante junto con el N°11 enfocado en ciudades y comunidades sostenibles [2]. Mejorar la eficiencia energética en las ciudades es clave para mostrar resiliencia ante los impactos de la crisis climática.

Resiliencia en Ciudades

La resiliencia en las ciudades se estudia como un aspecto del desarrollo sostenible, puesto que una ciudad sostenible también será resiliente [22]. Inicialmente el término se centraba en la capacidad de los sistemas urbanos para mantener sus funciones bajo perturbaciones [23]. Otros enfoques reconocen la interconexión de los sistemas sociales y ecológicos, y la complejidad dinámica de los entornos urbanos resaltando la capacidad de adaptarse, mantener la función después de una perturbación y evolucionar continuamente [24]. Las definiciones desde la ingeniería enmarcan a las ciudades en términos de la robustez, la capacidad de predecir y planificar, y la capacidad de responder y recuperarse de las perturbaciones para luego regresar eficientemente a su estado anterior [25].

Las estrategias para impulsar la resiliencia en las ciudades incluyen: la planificación urbana con resiliencia como principio rector, el diseño resiliente de las edificaciones, la implementación de infraestructura verde, la diversificación hacia fuentes de energía renovables; el desarrollo de planes de preparación y respuesta ante desastres naturales; y la implementación de programas educativos para fomentar la conciencia sobre la resiliencia y promover la participación comunitaria [26].

La norma ISO 37123:2019 establece indicadores de resiliencia en ciudades. Estos son aplicables a cualquier ciudad, municipio o gobierno comprometido con la medición de su desempeño de manera comparativa y verificable, sin importar su escala o ubicación geográfica [27]. Se implementa junto con la norma ISO 37120 que clasifica los indicadores según 20 parámetros como se muestra en el Anexo I. Por otro lado, la Fundación Rockefeller propone evaluar la resiliencia según siete cualidades, cuatro dimensiones y doce objetivos. Estos objetivos están respaldados por 52 indicadores presentes en el Anexo II (véase la Figura 1).

A pesar de la reconocida importancia de la resiliencia urbana, su práctica es un desafío [28]. Mientras que, en Singapur, Países Bajos y el Reino Unido hay avances para integrar la resiliencia en la planificación urbana gracias a políticas sólidas, inversiones y programas de concientización; en América Latina, la precariedad, la inseguridad y la inhabilidad de crear políticas socioambientales limitan el desarrollo de ciudades resilientes [29].

En Quito, como parte de la iniciativa de la Fundación Rockefeller “100 Ciudades Resilientes”, se está desarrollando una estrategia, enfocándose en riesgos sísmicos, eficiencia energética y adaptación al cambio climático [30].

Diseño Resiliente de Edificaciones

Los edificios resilientes están diseñados para resistir y recuperarse ante desastres naturales, impactos del cambio climático y otras interrupciones causadas por el hombre [25]. Tras el terremoto y tsunami de 2011 en Japón, los edificios con principios de resiliencia sufrieron menos daños y se repararon rápidamente [31]. En Países Bajos y EE.UU, estos edificios experimentaron menos daños y costos de reparación frente a tormentas e inundaciones [32].

Existen varios casos de diseño resiliente como Masdar City (Abu Dhabi) que destaca por su planificación urbana con energía solar y sistemas de transporte eficientes, o el Proyecto BedZED en Londres (área residencial de energía cero), el Bullitt Center en Seattle, autosuficiente en energía y agua [33]; y el Sendai Mediatheque, en Japón con características antisísmicas y adaptables para diversas situaciones de emergencia [34]. No obstante, es fundamental evaluar la huella ambiental completa de estos proyectos, considerando todas las fases de su vida útil para asegurar su sostenibilidad a largo plazo.

Según Yao, las estrategias de diseño de edificios resilientes incluyen: el uso de materiales robustos, el refuerzo estructural, las técnicas de construcción resistentes a inundaciones, la implementación de medidas de eficiencia energética y la incorporación de energías

renovables [35]. Estos edificios pueden incorporar mecanismos de diseño pasivo, como ventilación e iluminación naturales, para mejorar el confort de los ocupantes y reducir la dependencia de sistemas mecánicos de climatización [10].

Diseño de Edificios Energéticamente Eficientes

El diseño de edificios energéticamente eficientes se focaliza en minimizar el consumo energético a través de estrategias que optimizan los recursos naturales. Los edificios de bajo o cero consumo energético (Low or Zero Energy Buildings) minimizan la demanda energética y utilizan fuentes renovables para satisfacer las necesidades restantes, lo cual contribuye a la sostenibilidad y a la disminución del impacto ambiental [35].

Alcanzar el balance energético neto cero en edificios es un problema cuando se utilizan sistemas activos de calefacción y aire acondicionado. Los sistemas HVAC (aire acondicionado, calefacción y ventilación) pueden consumir el 60% y el 30% de la energía de una vivienda, en climas cálidos y fríos respectivamente [36]. Es así como en climas fríos, las pérdidas de calor deben equilibrarse con las ganancias internas para minimizar las cargas de calefacción, mientras que en climas cálidos se debe emplear ventilación natural para aumentar las pérdidas por ventilación, antes de recurrir al enfriamiento activo [37].

Varios autores proponen criterios a considerar durante el diseño y construcción de estos edificios, tal como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Criterios para diseñar y construir Low or Zero Energy Buildings

The Passivhaus Designer's Manual	Energy Efficient Buildings, Chapter 5	Passive design optimization on LEB
<ul style="list-style-type: none"> • Superaislamiento. • Diseño libre de puentes térmicos. • Forma compacta. • Hermeticidad de la envolvente del edificio. • Uso óptimo de las ganancias solares pasivas. • Ventilación mecánica con recuperación de calor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicación del edificio • Planificación del sitio • Forma del edificio. • Organización del espacio y plan del edificio. • Envolvente del edificio. • Materiales de construcción. • Diseño de paisaje eficiente en energía. • Uso energías renovables. 	<ul style="list-style-type: none"> • Economía y costo del ciclo de vida. • Consumo de energía, cargas térmicas e iluminación. • Medio ambiente y huella de carbono. • Confort térmico. • Forma y aprovechamiento de recurso solar.

Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía [37] [38] [39].

Diseño térmico y bioclimático

El diseño bioclimático, o diseño pasivo es una estrategia para obtener edificios energéticamente eficientes que aprovechen los recursos naturales para regular las condiciones ambientales interiores y lograr el confort térmico, por ejemplo, a través de la radiación solar y el viento [40]. Sus principios radican en la ubicación del edificio, la forma, la envolvente (fachada y acristalamiento) y la optimización de la ventilación natural, el calentamiento solar pasivo, la iluminación natural y la masa térmica [41].

Este tipo de diseño responde a las particularidades del clima e implica que la transferencia de calor debe ser controlada para responder a las fluctuaciones diurnas y estacionales, así como a los patrones de ocupación y utilización de equipos dentro del edificio, asegurando un ambiente interior confortable. Asimismo, ofrece beneficios para mitigar las emisiones de CO₂ y costos operativos por compra de energía [42].

Aplicar el diseño pasivo puede ahorrar hasta un 54% en cargas de refrigeración en climas cálidos, el 87% en cargas de calefacción en climas fríos y el 52% en costos de ciclo de vida en climas mixtos; además, las estrategias de refrigeración pasiva y ventilación natural reducen a la mitad las cargas de refrigeración en cualquier clima [39].

Puesto que, en la zona ecuatorial, el reto principal es la ventilación durante los picos de calentamiento por radiación solar y la conservación del calor en las noches frías, el diseño pasivo es una opción para alcanzar niveles de confort, omitiendo por completo los equipos HVAC.

Estado del Arte en Diseño Térmico

En el sureste asiático (cálido-húmedo), emplean técnicas de enfriamiento pasivo, como la ventilación natural cruzada, elegir alta inercia térmica como principal propiedad de los materiales de construcción y usar la vegetación para generar sombra [3]. En climas fríos, como en Canadá y Europa del Norte, se enfatiza en el aislamiento térmico, la captación solar pasiva y la eficiencia de equipos HVAC [25].

En Europa, el Edificio de Energía Positiva en Múnich, utiliza estrategias bioclimáticas combinadas con sistemas de energía renovable, logrando un consumo energético neto casi nulo. En España, el Edificio CIES de la Universidad Politécnica de Cataluña incorpora un sistema de enfriamiento evaporativo, un muro Trombe y una fachada ventilada, reduciendo significativamente la demanda energética [21].

En Ecuador, el diseño térmico de edificios enfrenta obstáculos debido a la diversidad climática del país y la limitada adopción de estrategias bioclimáticas en la construcción

tradicional [43]. Aunque existen algunos ejemplos de edificios que incorporan principios de diseño térmico, como la Universidad del Azuay, aún existe un gran potencial para asegurar prácticas eficientes y espacios confortables en las viviendas y edificaciones del país.

Una limitante es la falta de seguimiento y detalle de las normativas para el diseño térmico en Ecuador [29]. Además, la escasez de datos climáticos locales abiertos y la falta de herramientas de simulación adaptadas al contexto ecuatoriano dificultan el diseño.

Se requiere mayor investigación y desarrollo de estrategias de diseño bioclimático con enfoque en las condiciones climáticas y constructivas del país, así como la capacitación de profesionales y la sensibilización de la población sobre los beneficios de su aplicación.

La NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción), en el capítulo “Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales” plantea pautas para el uso sostenible de energía asegurando el confort térmico en función del clima donde el proyecto se encuentre, pero no contempla todos los criterios para la construcción de edificios resilientes. A nivel nacional, las construcciones continúan aplicando los materiales convencionales como el hormigón armado por la facilidad de acceso a este, omitiendo la prueba de nuevos materiales [29].

Relevancia del Diseño Térmico en Zona Andina y en Quito

La región andina se caracteriza por una gran diversidad climática atribuida a su compleja topografía conformada por la Cordillera de los Andes (7.000 km de longitud y altura máxima de 6.959 msnm). El clima en esta zona es influenciado por factores como la latitud, la altitud, la línea ecuatorial y los vientos alisios [44].

Las zonas andinas presentan climas templados a fríos, con temperaturas medias anuales que oscilan entre los 5°C y los 20°C, dependiendo de la altitud [44]. Por lo tanto, altas temperaturas son registradas en los Andes del norte con valores superiores a 10°C y las temperaturas más bajas se encuentran en regiones del sur, como Perú, Bolivia, Argentina y Chile en el rango de 0°C a 10°C [45]. A pesar de eso, la radiación solar es intensa debido a la menor masa atmosférica a mayores altitudes. Estas condiciones plantean particularidades para el diseño térmico de viviendas, donde las edificaciones deben aprovechar la ganancia de radiación solar en el día y minimizar las pérdidas de calor en las noches de baja temperatura y vientos fríos [46].

Quito, se ubica en la región andina a 2800 metros sobre el nivel del mar. Esta ubicación implica condiciones climáticas moderadas con temperatura promedio anual de 15°C y variaciones diarias de hasta 10°C [47]. La radiación solar es intensa, con cifras anuales de 5,5 kWh/m²/día [43]. Por ello, los edificios han optado por no utilizar medidas de eficiencia

energética, resultando en viviendas sin confort térmico durante gran parte del año. Sin embargo, aplicar criterios bioclimáticos en el diseño de edificios puede lograr ambientes interiores adecuados.

Algunas opciones de solución son el aprovechamiento de la radiación solar mediante ventanas orientadas hacia el norte, la implementación de sistemas de calefacción pasiva y cámaras de aire, el uso de materiales de construcción como el hormigón y la mampostería, y la incorporación de un adecuado aislamiento térmico en la envolvente del edificio [46].

Al implementar estos principios en las viviendas, se mejoraría su comportamiento térmico mitigando los impactos de las fluctuaciones climáticas de la zona, se generaría ahorros económicos para los residentes, y se reducirían las emisiones de CO₂. Por eso, el enfoque debe ser lograr edificios sostenibles en Quito ya que marcaría un camino hacia la creación de ciudades sostenibles en la región, replicando los resultados en otras ciudades con condiciones climáticas y demográficas similares, como Bogotá, Cuzco y La Paz.

Herramientas y Metodologías para el Diseño Térmico

Uno de los procedimientos más adoptados para el diseño térmico sigue el manual "ASHRAE GreenGuide" que contempla las siguientes fases: el análisis del sitio y la recopilación de datos climáticos locales, el establecimiento de objetivos de diseño y requisitos de confort térmico, el diseño conceptual con exploración de estrategias bioclimáticas, el modelado y la simulación térmica, la optimización del diseño y evaluación del rendimiento, y finalmente, la implementación y monitoreo del rendimiento real [48].

Luego del diseño, la evaluación del rendimiento térmico puede realizarse mediante simulaciones computacionales o a través del monitoreo y mediciones in situ. Los indicadores de la evaluación incluyen el consumo energético anual, las cargas térmicas, las temperaturas interiores, los índices de confort térmico y las emisiones de CO₂.

La simulación dinámica permite predecir el comportamiento energético mediante modelos numéricos basados en principios termodinámicos. Esta técnica posibilita evaluar sistemas constructivos, estrategias de control, costos y características de desempeño sostenible, mejorando la toma de decisiones, reduciendo la necesidad de ensayos físicos, y ahorrando tiempo y costos [49]. Existen más de 400 programas especializados que permiten evaluar con precisión el desempeño bajo escenarios específicos [50].

Vivienda Resiliente Ubicada en Zona Andina

En Quito, no existen casos de estudio completos sobre viviendas resilientes. Por ello, se desarrolló el proyecto construir una casa resiliente con diseño térmico, utilizando criterios bioclimáticos. El proyecto emplea simulación computacional con Design Builder y Energy Plus. Una ventaja significativa es que su construcción está en marcha, lo que posteriormente permitirá el desarrollo de nuestros estudios enfocados en la medición de los datos reales y su comparación con los datos simulados.

El proyecto incluye el análisis de confort térmico, la selección de materiales sostenibles, la captación de agua lluvia, el uso de paneles fotovoltaicos, una bomba de calor para el sistema de agua caliente, y una técnica de riego con agua de lluvia. El comportamiento térmico se evalúa según los principios del confort adaptativo señalados en la norma ASHRAE-55, considerando los planos arquitectónicos y detalles constructivos para predecir el confort y las condiciones ambientales internas a lo largo de un año. Cabe mencionar que, en regiones altas de la zona ecuatorial, donde no se requieren sistemas de calefacción ni aire acondicionado, la ventilación natural mediante la apertura de ventanas es crucial para renovar el aire interior y regular la temperatura, haciendo de la temperatura interior el principal parámetro a evaluar.

2 METODOLOGÍA

La vivienda objeto de estudio se encuentra en Quito, una ciudad andina que cuenta aproximadamente con 2,872,351 de habitantes, de los cuales el 73.2% reside en zonas urbanas.

El diseño térmico se realiza mediante simulación dinámica, utilizando el software DesignBuilder con el motor de cálculo EnergyPlus. DesignBuilder se especializa en la simulación energética y medioambiental de edificios, con prestaciones que permiten evaluar el confort, consumos de energía y emisiones de carbono. En la Figura 9, se presenta un diagrama que ilustra la metodología del diseño a seguir, mostrando las entradas requeridas y las salidas esperadas [51].

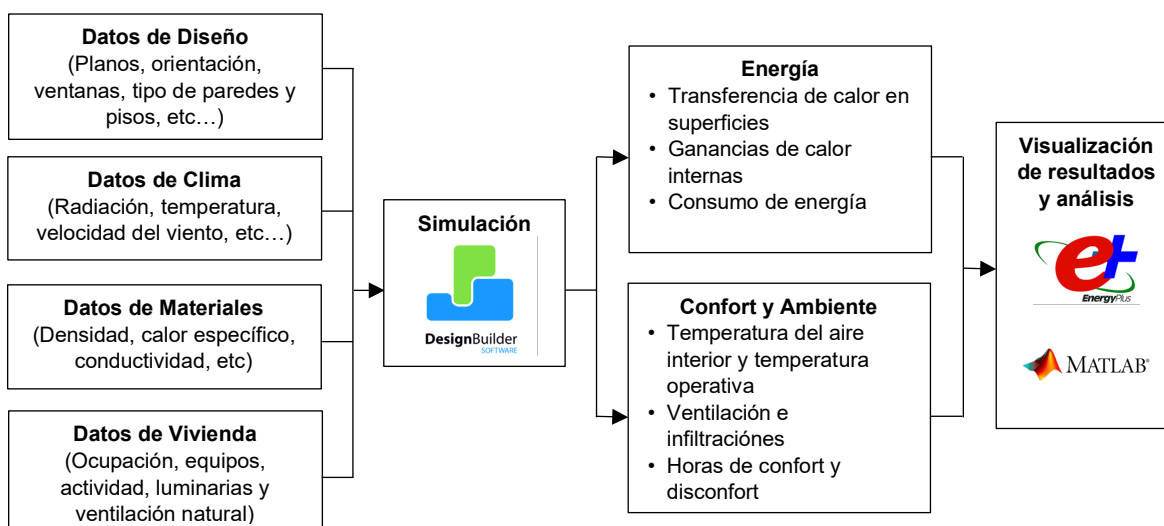


Figura 9. Simulación dinámica para Diseño Térmico de Vivienda.

Fuente: Elaboración propia.

2.1 Características del Modelo

Datos de Diseño

La vivienda se encuentra en el sector La Vicentina, y colinda con dos construcciones vecinas. El predio cuenta con un área total de 200 m² y dos construcciones, donde el bloque principal es el que será el caso de estudio para el presente trabajo. Este bloque está destinado para comportarse como una vivienda, mientras que el bloque secundario se relaciona con un área social, de almacenamiento y trabajo.

La vivienda ocupa 48m² del terreno, cuenta con tres pisos y siete zonas de ocupación. Los planos arquitectónicos que definen la forma y dimensiones de la vivienda, así como la distribución de zonas son entregados por el equipo de diseño estructural del proyecto (véase la Figura 10 y Figura 11).

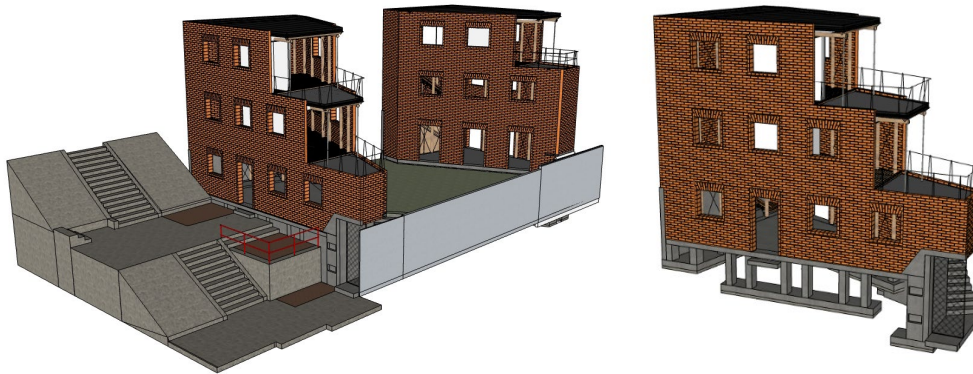


Figura 10. Modelo 3D de la vivienda.

Fuente: Entregado por arquitectos.

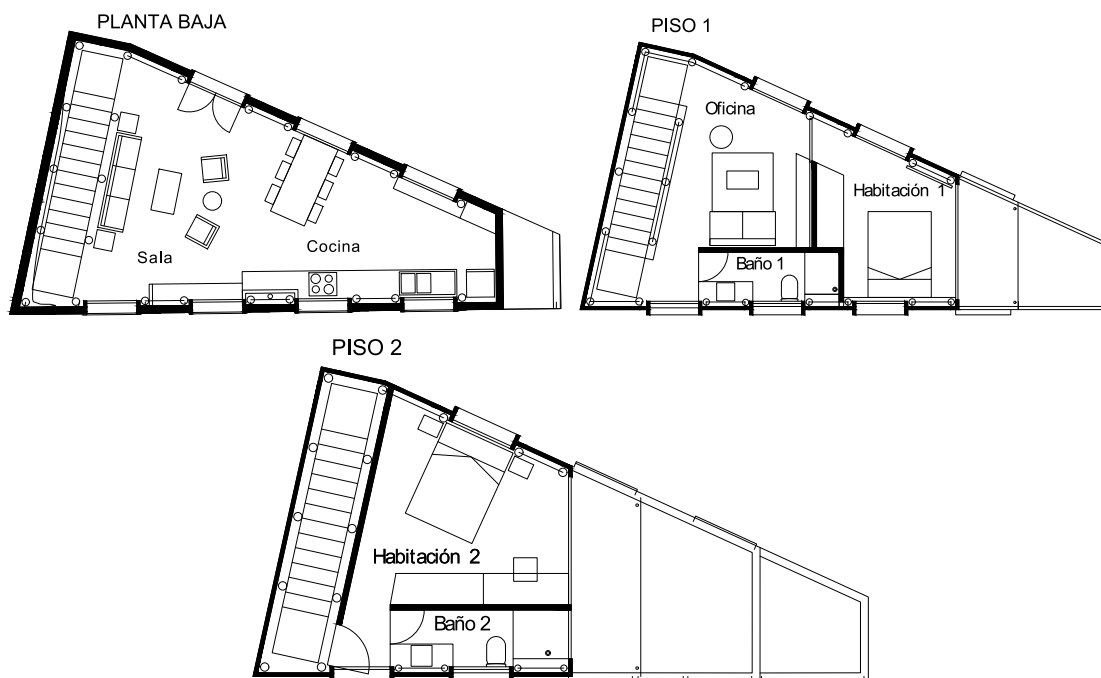


Figura 11. Planos de la vivienda.

Fuente: Entregado por arquitectos.

Datos de Clima

Debido a la falta de registros completos y la limitación de acceso a datos climatológicos locales en Quito, se utiliza el TMY 2022 del NREL para la simulación. El TMY, que representa valores climáticos como temperatura, presión y radiación solar, se construye a partir de varios años de registros meteorológicos, minimizando la influencia de eventos atípicos y asegurando resultados representativos para el diseño y análisis de eficiencia energética en edificaciones [52].

El NREL proporciona un archivo de clima que se ingresa en DesignBuilder, donde el software ajusta la temperatura del ambiente (bulbo seco) utilizando la Ecuación (2) [53]:

$$T_{actual} = T_{max} - \Delta T \times m_T \quad (2)$$

Donde:

T_{actual} = Temperatura del aire de la hora actual del día (°C).

T_{max} = Temperatura máxima de bulbo seco suministrada por el TMY (°C).

ΔT = El rango de temperatura diaria ($T_{max} - T_{min}$.)

m_T = Multiplicador de rango de temperatura (ASHRAE 2009 HOF)

Además, se obtienen dos días representativos del TMY: el 10 de marzo, como el día más caluroso de la mejor semana con $T_{prom} = 13.367$ °C y el 28 de julio como el día más frío de la peor semana con $T_{prom} = 9.998$ °C (véase la Figura 12).

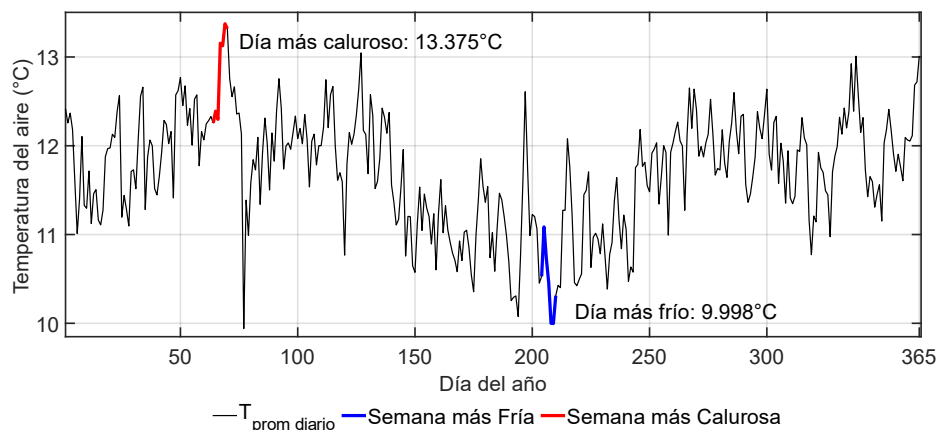


Figura 12. Temperatura del aire (ambiente exterior)

Fuente: TMY 2022 del NREL

Datos de Materiales

Los materiales fueron seleccionados por parte del equipo arquitectónico del proyecto, siguiendo consideraciones del diseño bioclimático para optimizar el rendimiento de sus propiedades y minimizar la huella de carbono. La Figura 13 muestra las superficies de la construcción con sus respectivos materiales.

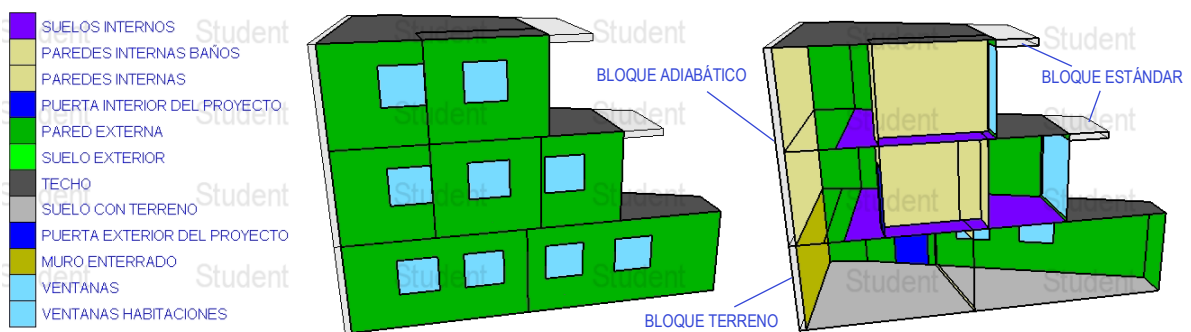


Figura 13. Tipología de superficies de la vivienda.

Fuente: Elaboración propia como resultado de simulación en DesignBuilder.

Se considera como bloque adiabático a la superficie que colinda con la casa oeste y para este se asumen materiales comunes de las viviendas en el país puesto que se carece de los datos específicos. Los techos voladizos se consideran como bloque estándar de concreto ya que su función principal dentro de la simulación es la creación de sombra. Las propiedades de los materiales se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Lista de materiales y sus propiedades principales

Construcción	Material	Conductividad (W/m-K)	Calor específico (J/kg-K)	Densidad (kg/m ³)	Espesor (m)	Fuente
Bloque Terreno	Suelo	1.28	880	1460	0.20	Design Builder
Bloque adiabático y estándar	Concreto	0.38	1000	1200	0.20	
Pared externa	Ladrillo	0.84	800	1700	0.15	CIBSE Guide A
Muro enterrado	Poliuretano (ext)	0.023	1590	24	0.05	
	Concreto Reforzado (int)	1.9	840	2300	0.15	
Techo	Baldosa de concreto (ext)	1.1	840	2100	0.025	
	OSB	0.13	1700	650	0.02	Design Builder
	Fibra de coco	0.06	1090	520	0.04	CIBSE Guide A
	Eucalipto (int)	0.045	2198	25	0.02	Daza K., 2017
Pared interna	Plancha de Gympsum (exterior)	0.16	840	800	0.02	CIBSE Guide A
	Fibra de coco	0.06	1090	520	0.05	
	Plancha de Gympsum (int)	0.16	840	800	0.02	
Suelo con terreno	Poliuretano (ext)	0.023	1590	24	0.05	Design Builder
	Hormigón fundido (int)	1.13	1000	2000	0.08	
Suelos internos	Eucalipto (ext)	0.045	2198	25	0.02	CIBSE Guide A

	Fibra de coco	0.06	1090	520	0.06	Daza K.,2017
	Eucalipto (int)	0.045	2198	25	0.02	CIBSE Guide A
Elemento	Material	Conductividad (W/m-K)	Transmitancia	Emisividad	Espesor (m)	Fuente
Ventanas	Vidrio claro	1	0.816	0.84	0.004	Energy Plus data
	Vidrio claro	1	0.816	0.84	0.004	
Ventanales	Interfaz	-	-	-	0.004	
	Vidrio claro	1	0.816	0.84	0.004	

Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía [37]

Datos de Vivienda

Los parámetros de entrada consideran patrones residenciales que determinan la ocupación y ganancias internas de calor según el comportamiento doméstico (luminarias y equipos). Este estudio estima el comportamiento de una familia tras encuestar a 10 viviendas en condiciones urbanas de Quito, con un estrato social medio-bajo y con tres a cuatro miembros por familia. El objetivo es detallar finamente los perfiles horarios y las densidades de potencia de ganancias internas para obtener resultados específicos de este caso de estudio. No se busca generalizar estos patrones residenciales a toda la ciudad de Quito ni a otras aplicaciones como oficinas, hospitales y centros educativos.

Para las luminarias, se utilizan los valores de densidad de potencia en edificaciones según el método del área, basado en la norma ASHRAE 90.1, Tabla 9.5.1. En cuanto a las ganancias internas por equipos, se detalla cada uno para obtener la densidad de potencia total por zona. El modelo también considera la potencia debida a corrientes parásitas y equipos en standby que permanecen conectados todo el tiempo. La ventilación natural depende de la apertura de las ventanas por parte de los ocupantes, definiendo el horario en que esto podría ocurrir. Sin embargo, la decisión de abrir las ventanas dependerá de las condiciones ambientales internas (véase la Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros de las ganancias internas de la vivienda.

Zona	Densidad de potencia			Ventilación Natural	
	Ocupación	Luminarias (W/m ²)	Equipos (W/m ²)	Apertura	Horario
Cocina	4 personas	10.20	31.79	30%	08h00-20h00
Sala		10.70	3.90	30%	08h00-22h00
Baños		6.10	10.00	30%	06h00-22h00
Habitaciones		6.10	6.58	10%	06h00-22h00
Oficina		8.80	8.36	30%	09h00-17h30

Fuente: Elaboración propia, algunos valores tomados de bibliografía [37].

La ocupación depende también de la actividad (tasa metabólica) y la vestimenta de las personas. Se utilizan los valores del ASHRAE HOF, Capítulo 8, Tabla 5 (Tabla 4).

Tabla 4. Tasas metabólicas para tareas típicas.

Zona	Actividades	Vestimenta (clo)	Tasa metabólica (W/persona)	Factor metabólico
Cocina	Cocina y alimentación	0.5-1.0	171	0.85-1.0
Sala	Ocio, reposo.	0.5-1.0	126	0.85-1.0
Habitaciones	Dormir, reposo.	0.5-1.0	90	0.93
Oficina	Trabajo en casa	0.5-1.0	180	0.85
Baños	Aseo personal	0.5-1.0	180	0.85-1.0

Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía [37].

Además, los parámetros se acompañan con los perfiles de ocupación y uso mostrados en la Figura 14.

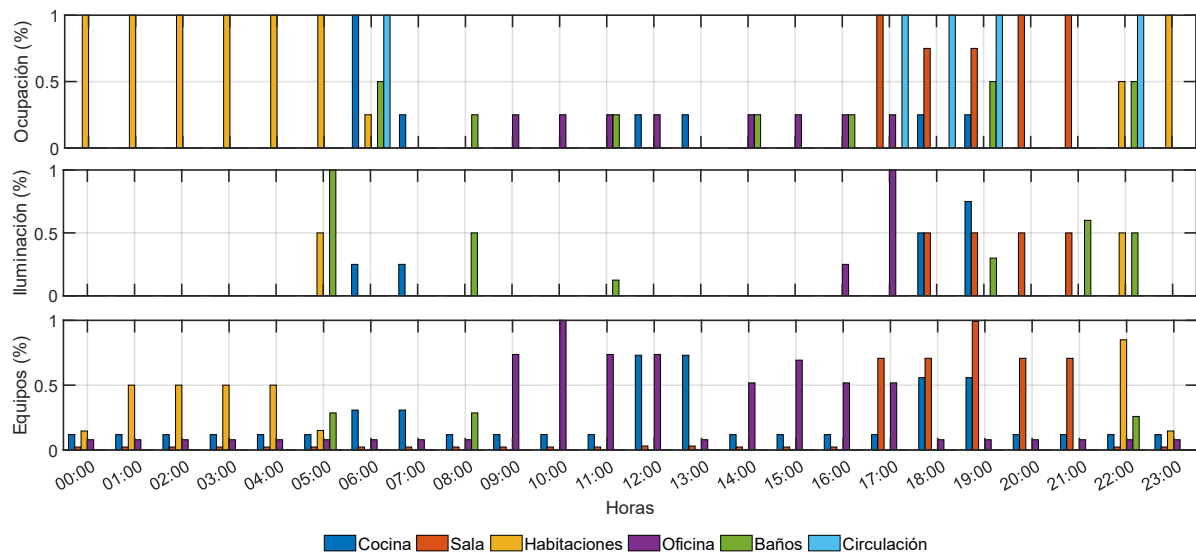


Figura 14. Perfiles de Ocupación por Zonas días laborables.

Fuente: Elaboración propia.

2.2 Simulación dinámica

La metodología del motor de simulación EnerguPlus incluye cálculos precisos de temperaturas internas, cargas de calefacción y refrigeración, transmisión de calor por superficies del edificio, ventilación natural y confort térmico. Este permite analizar diferentes escenarios de diseño, su rendimiento energético y la comodidad térmica, presentando los resultados en formatos gráficos y tabulares [51].

Para el caso de estudio, se definen algunas consideraciones previas debido a la complejidad de los análisis del programa, por lo tanto: se omiten las herramientas de cálculo para evaluar las emisiones de CO₂ y el impacto ambiental, los rubros por costos de construcción no se considera durante la simulación, se inactiva el uso de equipos HVAC para enfocarse solo en la ventilación natural, el confort se evalúa según la norma ASHRAE 55, se utilizan vidrios comerciales sin modelar sistemas de acristalamiento en detalle, y no se incluyen dispositivos de sombreado específicos. Los parámetros de simulación del presente modelo se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros de simulación

	Campo	Valor
Detalles de Sitio	Latitud (°)	-0.13
	Longitud (°)	-74.48
	Zona climática (ASHRAE 90.1)	3C
	Elevación (msnm)	2812
Edificio	Rotación (°)	0
	Terreno	Estándar
	Tolerancia de convergencia de temperatura	0.4
	Distribución solar	Exterior completo
	Estanqueidad al aire	Modelado: medio
	Ventanas exteriores	Programación personalizada
Opciones de modelo	Método de definición	General
	Datos de ganancias	Simplificadas
	Sincronización	Programado
	Ventilación natural e infiltración	Calculada
	Coefficiente de descarga para puertas y aberturas	0.65
Cálculo de sombras	Método de cálculo	Promedio por intervalo
Algoritmo de convección de superficie: interior	Algoritmo	TARP
Algoritmo de convección de superficie: exterior	Algoritmo	DOE-2
Algoritmo de balance de calor	Algoritmo	Función de Transferencia de Conducción (CTF)
Periodo de ejecución	Un año	Mensual, diario y horario

Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía [37]

Balance de calor en superficies y ventanas

La sección Definiciones explica a detalle el balance de energía en una vivienda y los flujos de calor se observan en la Figura 6 y 7. Para hallar las cargas térmicas, el programa utiliza el método del balance de calor validado por la ASHRAE. Así, la Ecuación (3) indica el balance de calor de las superficies externas [54].

$$q''_{\infty sol} + q''_{LWR} + q''_{conv} - q''_{ko} = 0 \quad (3)$$

Dónde:

q''_{∞} : flujo de calor absorbido por radiación solar directa y difusa (W/m^2).

q''_{LWR} : flujo de radiación de onda larga intercambiado con el entorno (W/m^2).

q''_{conv} : flujo convectivo intercambiado con el aire exterior (W/m^2).

q''_{ko} : flujo de calor por conducción hacia el interior de la pared (q/A) (W/m^2).

En las caras interiores el balance incluye la transferencia de calor por conducción, convección, absorción y reflexión de radiación de onda corta, y el intercambio de radiación de onda larga (Ecuación 4). La radiación de onda corta proviene del sol y luces, mientras que la onda larga hace referencia a la radiación de baja temperatura de las superficies de la zona, equipos y personas [55].

$$q''_{LWR} + q''_{sw} + q''_{LWS} + q''_{ki} + q''_{sol} + q''_{conv} = 0 \quad (4)$$

Donde:

q''_{LWR} : flujo neto de intercambio de radiación de onda larga entre superficies (W/m^2).

q''_{sw} : flujo neto de radiación de onda corta hacia la superficie desde las luces (W/m^2).

q''_{LWS} : flujo de radiación de onda larga desde el equipo en una zona (W/m^2).

q''_{ki} : flujo de conducción a través de la pared (W/m^2).

q''_{sol} : flujo de radiación solar transmitida absorbida en la superficie (W/m^2).

q''_{conv} : flujo de calor convectivo al aire de la zona (W/m^2).

El algoritmo de solución utiliza la función de transferencia por conducción por diferencias finitas y una función implícita de primer orden. Para la convección interna, usa el algoritmo TARP, mientras que para la convección externa se utiliza el algoritmo DOE-2 [51].

El flujo total de calor hacia la zona desde el acristalamiento, el marco y el divisor de las ventanas exteriores a través de la conducción se calcula según la Ecuación (5) [56].

$$Q_{total} = Q_{conv} + Q_{IR\ neto} - Q_{sw} + Q_{cond\ marco\ y\ divisor} \quad (5)$$

Donde:

Q_{total} : flujo de calor total hacia la zona (W).

Q_{conv} : es el flujo de calor convectivo hacia la zona desde el lado del acristalamiento que da a la zona (W).

$Q_{IR\ neto}$: es el flujo neto de calor infrarrojo hacia la zona desde el lado del acristalamiento que da a la zona (W).

Q_{sw} : es la radiación de onda corta desde la zona transmitida de vuelta hacia afuera por la ventana (W).

$Q_{cond\ marco\ y\ divisor}$: es la conducción hacia la zona desde el marco de la ventana y el divisor, si están presentes (W).

Por otro lado, en términos de transferencia de calor por convección las ventanas siguen el modelo de la Ecuación (6).

$$Q_{conv} = h \times A \times (T_{superficie} - T_{aire}) \quad (6)$$

Donde:

Q_{conv} : flujo de calor por convección (W).

h : coeficiente de transferencia de calor por convección (W/m²·K).

A : área de la superficie (m²).

$T_{superficie}$: temperatura de la superficie de la ventana (°C).

T_{aire} : temperatura del aire (°C).

Ganancias Internas y ganancia solar

Una vez que se especifican las ganancias por equipos, luminarias y ocupación, EnergyPlus calcula la ganancia total de calor sumando las ganancias sensibles (convección y radiación) y latentes de estos elementos, siguiendo recomendaciones del HOF ASHRAE. Las ganancias por convección adicionan instantáneamente el calor al aire de la zona; las radiantes se absorben en las superficies para luego ser liberadas; y las ganancias latentes se relacionan con la evaporación [57].

Por otro lado, la ganancia solar total en una superficie exterior combina la absorción de radiación solar directa y difusa (Ecuación 7) [58]:

$$Q_{so} = \alpha \times (I_b \times \cos(\theta) \times \frac{S_s}{S} + I_s \times F_{ss} + I_g \times F_{sg}) \quad (7)$$

Donde:

Q_{so} : Flujo de calor solar hacia la superficie es en vatios [W].

α : Absorptancia solar de la superficie.

θ : Ángulo de incidencia de los rayos solares [rad].

S : Área de la superficie [m^2].

S_s : Área iluminada por el sol [m^2].

I_b : Intensidad de la radiación directa [W/m^2].

I_s : Intensidad de la radiación difusa del cielo [W/m^2].

I_g : Intensidad de la radiación difusa reflejada del suelo [W/m^2].

F_{ss} : Factor de ángulo entre la superficie y el cielo.

F_{sg} : Factor de ángulo entre la superficie y el suelo.

Transferencia de calor en superficies

Este análisis explora el detalle de la simulación de la transferencia de calor a través de las superficies opacas, las mismas que pueden ser por conducción, convección y radiación (Figura 15). Para esto se requiere obtener los resultados avanzados modificando el script que se genera como producto de DesignBuilder y que es al mismo tiempo el archivo de entrada visualizar los resultados en ResultViewer de EnergyPlus. Esta modificación tiene lugar en el IDF Editor incorporado en EnergyPlus (véase el Anexo III).

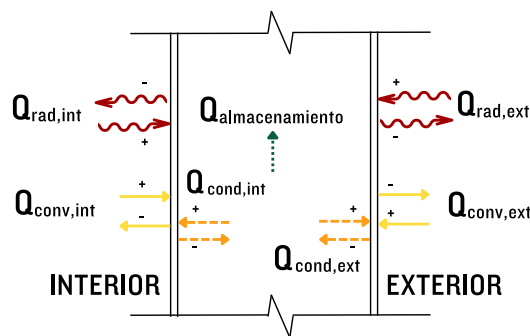


Figura 15. Transferencia de calor a través de superficies opacas.

Fuente: Elaboración propia.

Infiltraciones y ventilación natural

La infiltración es el flujo no intencionado de aire desde el exterior hacia una zona térmica, causado generalmente por la apertura y cierre de puertas, grietas alrededor de ventanas y pequeños elementos de construcción. La ventilación es el flujo intencionado de aire exterior a una zona térmica para proporcionar enfriamiento no mecánico.

Determinar la cantidad de aire total es complejo y conlleva una incertidumbre significativa. El método más común convierte la infiltración y ventilación en un número de cambios de aire por hora (ACH) y se incluye en el balance de calor del aire de la zona. Las Ecuaciones (8) y (9) explican como hallar dichos valores.

$$I = I_{design} \times F_s [A + B | \Delta T | + C \times W_s + D \cdot W_s^2] \quad (8)$$

$$V = V_{design} \times F_s [A + B | \Delta T | + C \times W_s + D \cdot W_s^2] \quad (9)$$

Donde:

I_{design} : tasa de infiltración bajo condiciones de diseño [$m^3/s \cdot m^2$ de área de la envolvente].

V_{design} : Caudal de ventilación bajo condiciones de diseño [m^3/s].

F_s : horario programado entre 0.0 y 1.0 para tener en cuenta los impactos de la operación del ventilador en la infiltración.

$| \Delta T |$: diferencia entre la temperatura interior y la temperatura exterior [$^{\circ}C$].

W_s : es la velocidad del viento [m/s].

A, B, C, D : Coeficientes dados por el modelo de cálculo, en DOE-2 son 0, 0, 0.224 (velocidad del viento) y 0.

A modo de validación, se aplica la metodología de la norma ASHRAE 62.1-2013, para calcular el requerimiento de aire fresco de una zona, empleando la Ecuación (10) y utilizando los datos de tasa de flujo de aire por persona y por unidad de área a partir de la Tabla "Minimum Ventilation Rates in Breathing Zone", ubicada en el Anexo IV.

$$OA = \frac{Rp \cdot P + Ra \cdot Az}{E} \quad (10)$$

Donde:

OA : Flujo de aire exterior en la zona [cfm].

Rp : Tasa de flujo de aire por persona [cfm/persona].

Ra : Tasa de flujo de aire por unidad de área [cfm/ft²].

P : Cantidad de personas

A : Área de la oficina [ft²]

E : Efectividad de distribución de aire en la zona

Confort Térmico

Uno de los indicadores clave en el análisis del confort térmico es el porcentaje de horas de disconfort. Este indicador se define como la proporción de tiempo durante el cual las condiciones térmicas internas están fuera del rango considerado confortable para los ocupantes. La Ecuación (11) permite calcular el porcentaje de disconfort:

$$disconfor (\%) = \frac{\# \text{ horas fuera de confort}}{\# \text{ horas de ocupación}} \times 100\% \quad (11)$$

Este indicador proporciona una medida cuantitativa del tiempo que los ocupantes pasan en condiciones no confortables. El rango de confort térmico se puede determinar utilizando modelos empíricos que relacionan la temperatura exterior y la temperatura de confort interior. Con base en la norma ASHRAE 55.1 se usan las Ecuaciones (12) y (13).

$$T_{up,low,90\%} = 0.31 T_{m,ext} + 17.8 \pm 2.5 \quad (12)$$

$$T_{up,low,80\%} = 0.31 T_{m,ext} + 17.8 \pm 3.5 \quad (13)$$

Donde:

$T_{up,low,90\%}$: límites de la temperatura de confort al 90% de aceptabilidad [°C].

$T_{up,low,80\%}$: límites de la temperatura de confort al 80% de aceptabilidad [°C].

$T_{m,ext}$: temperatura de bulbo seco exterior (aportado por TMY) [°C].

Así, los rangos de confort para el 80% (17.93 – 24.93°C) y 90% (18.93 – 23.93°C) de aceptabilidad, tal como se observa en la Figura 16. Para estar en confort térmico, las condiciones internas del edificio deben mantenerse dentro de este rango de temperaturas:

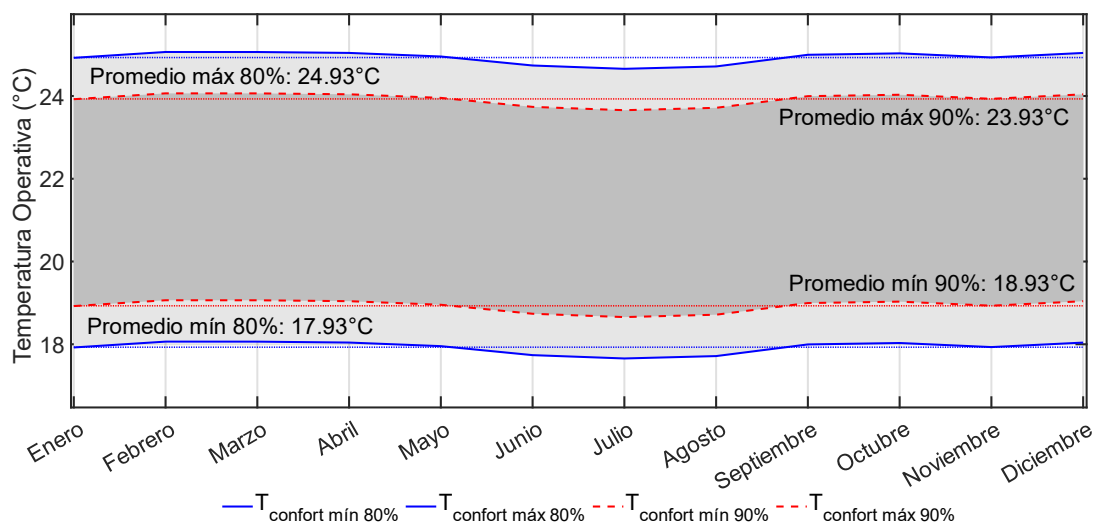


Figura 16. Rango de temperaturas para el confort adaptativo con el 80% y 90% de aceptación en Quito.

Fuente: Elaboración propia.

Para nivelar la temperatura operativa de las zonas, en la simulación se considera la ventilación natural calculada, de modo que el programa controla la apertura de ventanas y puertas tomando como consigna la temperatura del aire interior (Set Point) y así ventilar el espacio únicamente cuando sea necesario. Puesto que la temperatura operativa debe mantenerse dentro del confort, tomamos el valor del tercer cuartil del rango con el 90% de aceptabilidad, por lo tanto, se tiene un Set Point de 22.7°C. No se toman valores inferiores para evitar el enfriamiento rápido.

Tratamiento de datos y variación de parámetros

Para la gestión y análisis de los datos obtenidos de las simulaciones, se utiliza MATLAB. Inicialmente, los resultados se visualizan en la interfaz de DesignBuilder. Sin embargo, para un análisis más detallado y específico de las zonas y superficies, se emplea la herramienta ResultViewer.

Los datos obtenidos se recopilan y gestionan para generar gráficos que permitan entender el comportamiento térmico de la vivienda, incluyendo sus zonas y superficies. Para este propósito, se utilizan diversas funciones de MATLAB, que forman parte de su toolbox. Entre las funciones empleadas se encuentran readtable, detectImportOptions, datetime, y plot, entre otras.

Para las gráficas donde se destaca la temperatura operativa, se visualizará el confort térmico con el rango de adaptabilidad del 90% para mantener una perspectiva final ante el detalle.

En función de los resultados obtenidos se plantea la variación de parámetros que podrían demostrar mejoras en el confort térmico de la vivienda, entre estas se encuentran: ventilación natural, configuración de ventanas y orientación de la vivienda.

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

Comportamiento global de la vivienda

El 10 de marzo y el 28 de julio se seleccionan para el análisis puesto que representan las condiciones más extremas de temperatura promedio diaria en el sitio, lo que permite evaluar el comportamiento térmico bajo las condiciones más frías y las condiciones más calurosas. La Tabla 6 muestra las condiciones climáticas exteriores a las que la vivienda se encuentra expuestas, considerando la temperatura del aire exterior (bulbo seco) modificada por el programa de simulación a partir del archivo TMY y la radiación solar total.

Tabla 6. Condiciones climáticas principales de los días de análisis.

Parámetro	10 de Marzo	28 de Julio
Temperatura de Bulbo Seco (°C)		
Mínima	9.9	6.5
Máxima	18.7	15.2
Promedio	13.39	10.01
Radiación Solar Total (kW/m²)		
Mínima	0	0
Máxima	1.1	1
Promedio	0.43	0.24

Fuente: Elaboración propia.

Las temperaturas máximas aparecen al medio día y las temperaturas mínimas en la madrugada. La radiación solar inicia a las 06:00 horas pudiendo extenderse hasta las 19:00 horas gracias al ocaso. Cuando la radiación directa disminuye, la radiación difusa aumenta, lo que podría indicar la presencia de nubes en el cielo (véase la Figura 17).

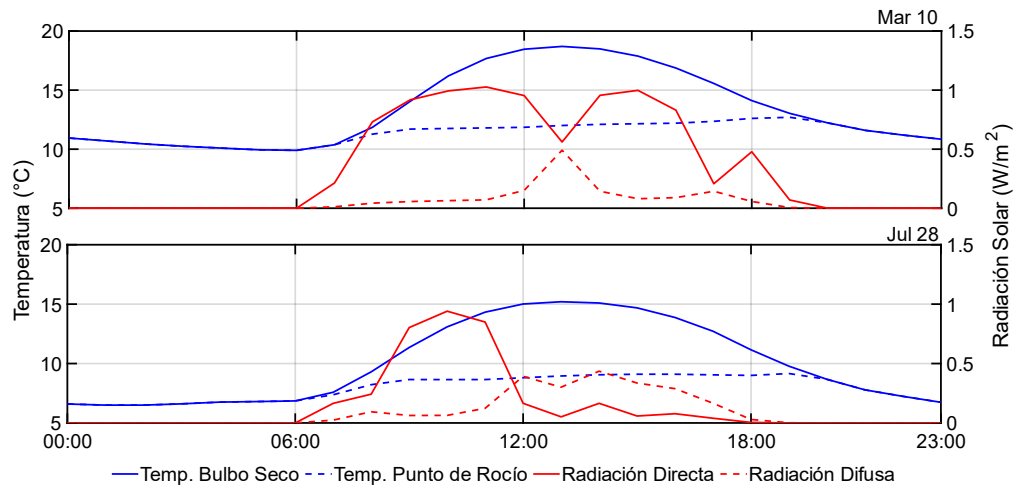
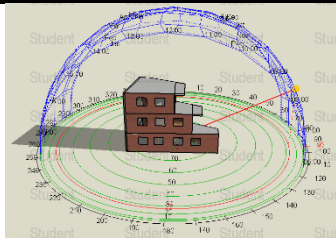
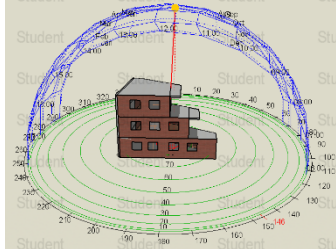
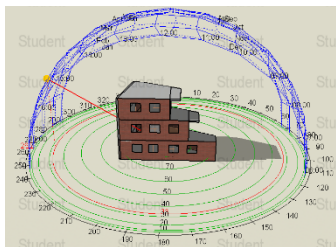
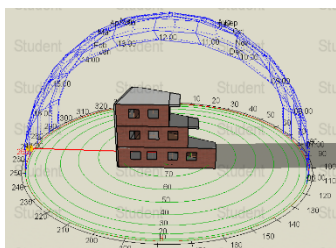
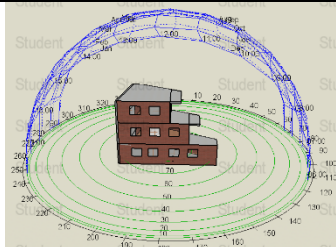


Figura 17. Condiciones climáticas exteriores de la vivienda.

Fuente: Elaboración propia.

Así, las condiciones climáticas y especialmente la radiación solar influyen en la vivienda. La Tabla 7 presenta un resumen de los efectos a lo largo del día.

Tabla 7. Procesos y Efectos asociados a la incidencia solar de la vivienda

Período del Día	Proceso	Efecto	Posición Solar
Ganancia de Calor Solar (Mañana) 6:00 AM - 10:00 AM	Las superficies orientadas hacia el este reciben radiación solar directa, calentando las superficies.	Aumento de la temperatura de las superficies exteriores y del aire interior.	
Absorción y Transformación del Calor (Mediodía) 10:00 AM - 2:00 PM	La radiación solar continúa calentando la superficie, absorbiendo y almacenando el calor en la masa térmica.	Aumento de la temperatura de los materiales de construcción y de las superficies internas.	
Inercia Térmica y Almacenamiento de Calor (Tarde) 2:00 PM - 6:00 PM	Las superficies siguen aumentando la temperatura debido a la inercia térmica, incluso cuando la radiación disminuye.	El calor almacenado mantiene la temperatura de las superficies.	
Liberación del Calor Almacenado (Noche) 6:00 PM - 12:00 AM	La temperatura ambiente disminuye, y los materiales liberan el calor almacenado al aire de las zonas.	La temperatura del aire en las zonas se mantiene en valores constantes.	
Pérdida de Calor (Madrugada) 12:00 AM - 6:00 AM	La temperatura exterior desciende. Las superficies y los materiales pierden calor hacia el exterior.	Disminución de la temperatura de las superficies y del aire de las zonas.	

Fuente: Elaboración propia.

Comportamiento por zona

DesignBuilder realiza los cálculos necesarios para evaluar el comportamiento térmico y energético de cada zona de la vivienda. Los valores de la Tabla 8 son fundamentales para

calcular las ganancias y pérdidas de calor, así como el consumo de energía y las condiciones de confort térmico. Además, también calcula las propiedades térmicas de los materiales, como la reflectancia y el coeficiente global de transferencia de calor para cada superficie. Estos detalles adicionales se encuentran en el Anexo V.

Tabla 8. Resumen de zonas simuladas

ZONA	Área	Volumen	Área de	Muro	Área de	Área de	Iluminación	Ocupación	Equipos
	m2	m3	paredes	subterráneo	ventana	Apertura			
	m2	m3	m2	m2	m2	m2	W/m2	m2/persona	W/m2
SALA	23.22	60.84	25.98	17.18	2.28	2.63	10.7000	5.81	9.9000
COCINA	18.31	42.03	42.68	0.00	4.57	5.28	10.2000	4.58	35.7900
BAÑO 1	3.92	10.38	8.83	0.00	1.14	1.32	6.1000	1.96	13.0000
HABIT. 1	9.93	20.36	25.31	0.00	8.01	8.36	6.1000	4.97	10.5800
OFICINA	11.92	53.67	19.14	0.00	2.24	2.60	8.8000	11.92	12.3600
HABIT. 2	14.28	41.29	29.56	0.00	5.80	6.45	6.1000	7.14	10.5800
BAÑO 2	4.05	7.39	13.44	0.00	2.78	3.17	6.1000	4.05	13.0000
Total	85.63	235.96	164.94	17.18	26.82	29.81	8.5998	5.35	16.2582

Fuente: DesignBuilder (Simulation Data Summary).

Se toman como caso de estudio a la Sala y la Habitación 2. Es necesario tener en cuenta varios factores como la orientación de la superficie, los materiales de construcción, la inercia térmica, las condiciones climáticas, y los patrones de uso de la habitación. La Figura 18 resume las condiciones de borde del espacio.

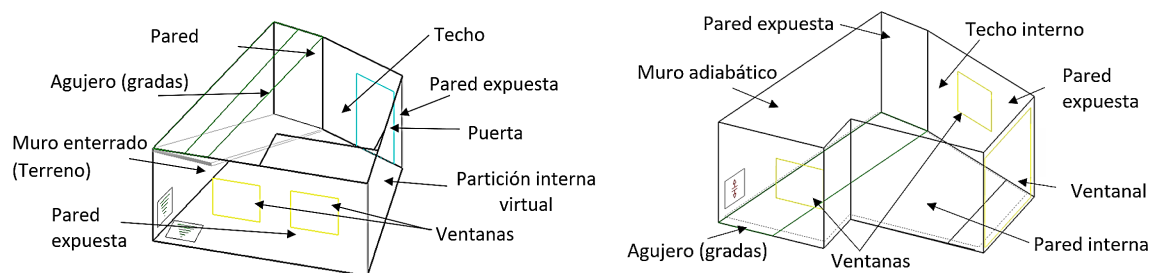


Figura 18. Condiciones de borde de la Sala y Habitación 2.

Fuente: Elaboración propia.

Las zonas cuentan con un agujero que permite simular el intercambio de calor y de aire por efecto de las gradas que conectan los pisos de la vivienda, por lo que el modelo de simulación contempla dicho intercambio de aire.

La Tabla 9 menciona las características, tamaño, orientación y cantidades de las superficies de las zonas a analizar (véase el Anexo VI).

Tabla 9. Características de la Sala y Habitación 2.

Elemento	Sala	Habitación 2
Paredes	3, bloque de 0.15 m de espesor	3, bloque de 0.15 m de espesor
Muro Enterrado	1, poliuretano de 0.05 m y concreto reforzado de 0.15 m	-
Muro Adiabático	-	1
Particiones	1, virtual con la zona Cocina	2, con la zona Baño
Ventanas	2, área = 1.316 m ² cada una, espesor de 4 mm	2, área = 1.316 m ² cada una, espesor de 4 mm
Ventanal	-	1, área = 6.147 m ² , doble
Puerta	1, área = 2.638 m ² , madera de 0.035 m	-
Agujeros	1 (escaleras)	1 (escaleras)
Actividad	Descanso, actividades sociales	Descanso
Pared Norte Oeste	3.761 m ²	3.761 m ²
Pared Norte Este	7.108 m ²	10.647 m ²
Pared Este	-	7.651 m ²
Particiones	-	13.502 m ²
Pared Norte Oeste	17.177 m ²	17.177 m ²
Pared Sur	15.105 m ²	7.502 m ²
Piso	25.527 m ²	24.696 m ²
Techo	25.527 m ²	24.696 m ²

Fuente: Elaboración propia.

Balance de calor

Para el balance de calor, la Tabla 10 enlista todos los flujos de calor que salen e ingresan en la zona. Se analizan las zonas durante el 10 de marzo y el 28 de julio.

Tabla 10. Resultados del balance de calor general.

Parámetro	Definición
Ventanas	Ganancias de calor a través de las superficies internas de las ventanas externas por conducción y convección.
Muros	Ganancias de calor por las superficies internas de las paredes.
Techos	Ganancias de calor a través de las superficies de techos externos.
Suelos Int.	Ganancias de calor a través de las superficies de los suelos internos.
Suelos	Ganancias de calor a través del suelo de planta baja.

Particiones	Ganancias de calor a través de las superficies internas de las particiones internas.
Vent. Nat. Int.	Ganancia de calor desde otras zonas por intercambio de aire a través de aberturas internas.
Ventilación Ext.	Ganancia de calor por entrada de aire exterior a través de infiltraciones.
Aire exterior	Ganancia de calor por entrada de aire exterior a través de aberturas cuando se utiliza ventilación natural calculada.
Ganancias Int.	Ganancias de calor de fuentes internas.
Ganancias Sol. Vent.	Ganancias solares de calor a través de las ventanas por radiación.
Temp. Aire	Temperatura del aire en la zona (percibida por los ocupantes).
Temp. Operativa	Temperatura operativa en la zona (para evaluar confort térmico).
Temp. Exterior	Temperatura exterior a la zona (ambiente).

Fuente: Resultados detallados de simulación [56].

A pesar de la diferencia de condiciones climáticas externas entre los días, el patrón general de comportamiento de las zonas es similar, por lo que se puede tomar uno de los días (10 de marzo) para continuar con el detalle de resultados (véase la Figura 19 y 20).

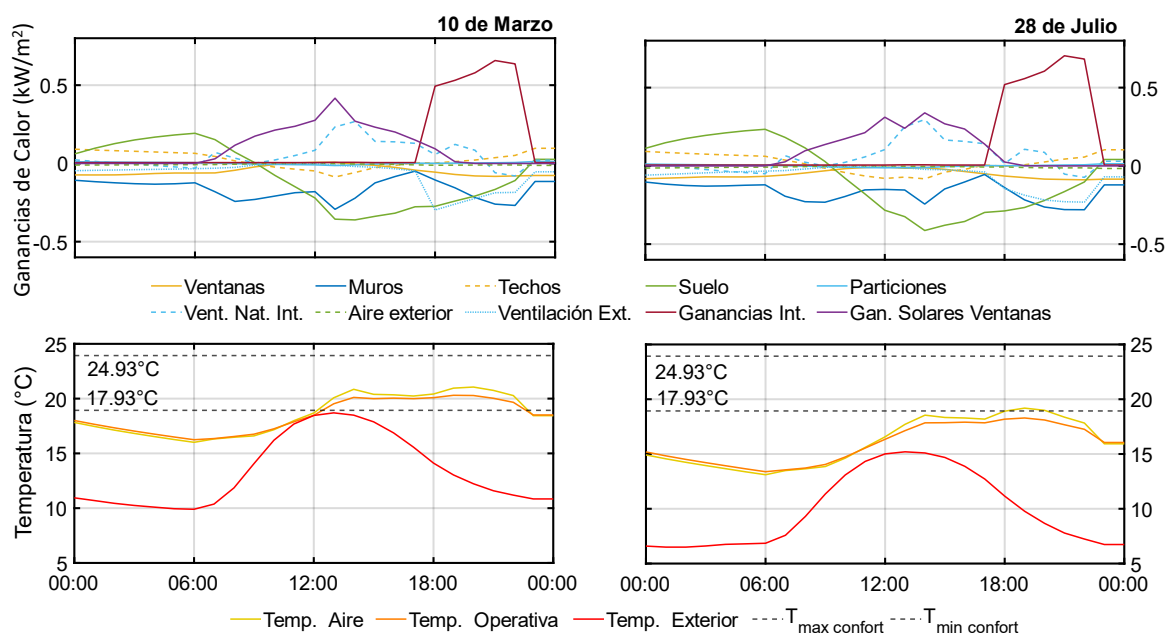


Figura 19. Ganancias de calor y temperaturas en la Zona: Sala.

Fuente: Elaboración propia.

Las principales fuentes de ganancia de calor son la radiación solar y las ganancias internas. La Habitación obtiene una ganancia solar de 2.4 kW/m² por la presencia del ventanal, orientado hacia el este, optimizando el aprovechamiento del recurso solar durante todas las horas del día en que está disponible. La Sala tiene ventanas orientadas al norte y al sur, por lo que no aprovecha directamente las ganancias solares, alcanza los 0.4 kW/m². Esto incide en el aumento de la temperatura operativa y temperatura del aire de las zonas.

Las ganancias internas son la segunda fuente de aporte de calor a las zonas. El perfil de aporte de calor sigue el horario de ocupación y actividad previamente detallados como características del estudio de caso, por lo que estas ganancias variarían significativamente frente a comportamientos familiares diferentes. Debido a su importancia, las ganancias internas son estudiadas de forma individual en una próxima sección.

En la planta baja aparecen ganancias y pérdidas de calor considerables a través del suelo, mientras que en las plantas superiores es más evidente el flujo de calor a través de las paredes y el techo. El aislamiento térmico del suelo con el primer piso permite evidenciar el funcionamiento de la inercia térmica resultante en esta superficie, ya que durante el día absorbe el calor de la zona para luego ser liberado durante la noche en forma de ganancia de calor. Por otro lado, en el tercer piso, se denota una influencia relevante por parte de los muros o paredes, esto a causa de que toda la zona se encuentra expuesta hacia las condiciones externas, principalmente el viento, que repercute en la pérdida de calor de paredes hacia el exterior alcanzando valores de 0.9 kW/m^2 (véase la Figura 20).

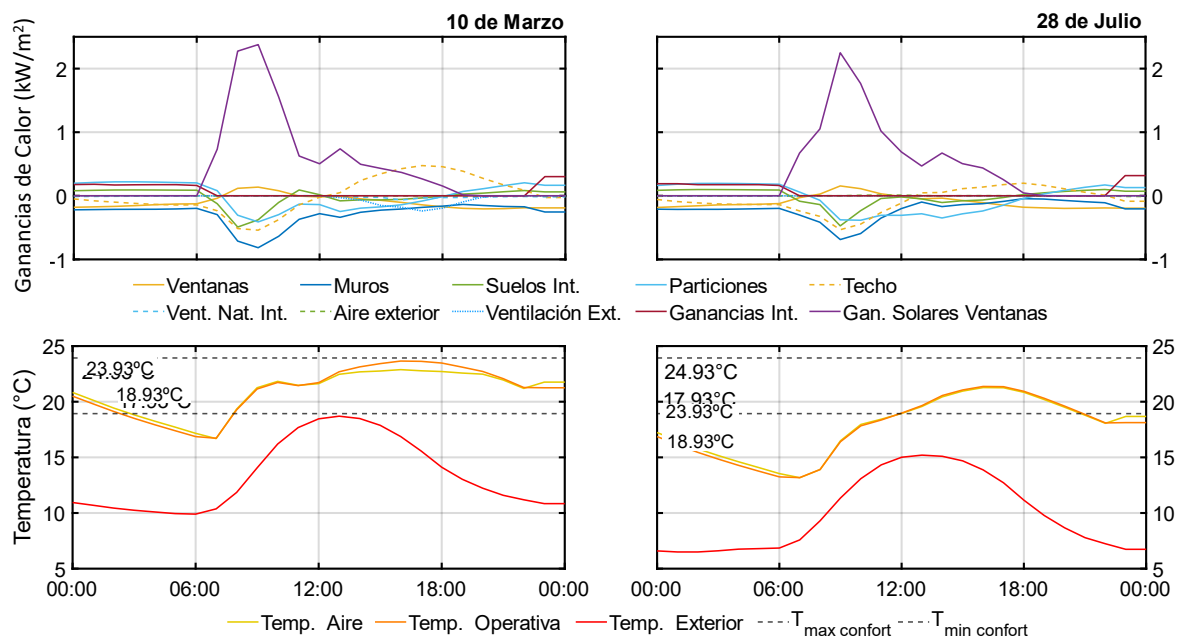


Figura 20. Ganancias de calor y temperaturas en la Zona: Habitación 2.

Fuente: Elaboración propia.

Las particiones, techos y suelos internos tienen una contribución mínima al balance de calor, mostrando flujos de calor relativamente constantes y bajos. La ventilación natural, tanto interna como externa, tiene un impacto menor pero notable. En zonas que comparten planta con otras áreas, como la Sala que colinda con la Cocina se observan flujos de calor representativos por el intercambio de aire entre ellas, lo que permite un equilibrio térmico. El modelo toma en consideración el flujo de aire entre las tres plantas a través de los

agujeros que simulan las gradas. Más adelante se presentan los resultados de los flujos de aire y la ventilación natural de la vivienda a detalle.

Con respecto a las ventanas, el modelo diferencia las ganancias solares a través de los acristalamientos, observados como “Gan. Solares ventanas” y los elementos que componen la ventana “Ventanas” es decir, los marcos y perfiles. La ganancia solar depende del recorrido solar y ubicación de las ventanas. Así, en la Figura 21 se evidencia que las ventanas de las habitaciones tendrán picos de ganancias solares superiores a cualquier otra zona debido a que están en la cara este de la vivienda, mientras que las ventanas de las caras sur y norte tendrán aporte mayoritario de radiación difusa.

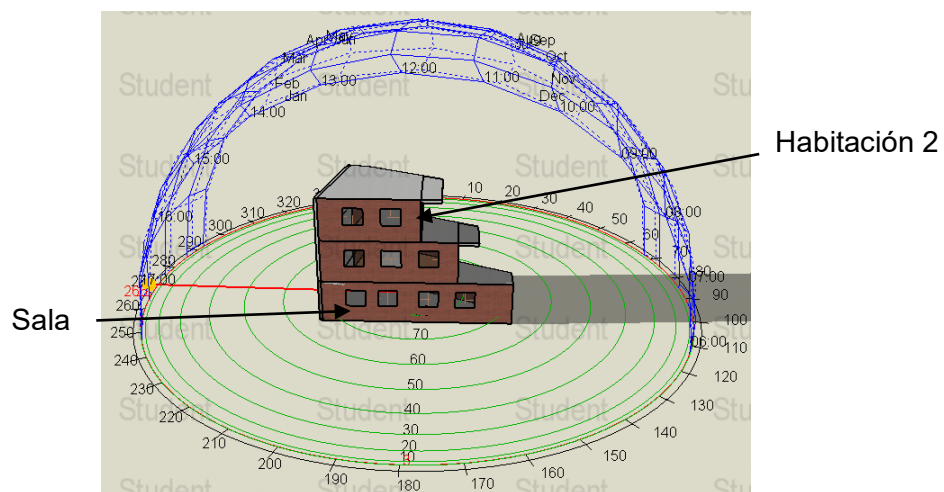


Figura 21. Mapa de incidencia solar de la vivienda a las 18:00 horas.

Fuente: Mapa solar en RenderView (DesignBuilder).

Véase el Anexo VII para conocer el balance de calor del resto de zonas.

Ganancias Internas

Las ganancias internas contemplan la influencia de equipos, iluminación y ocupación dentro de las condiciones térmicas de una zona. Generalmente la ganancia solar a través de las ventanas se incorpora dentro de esta categoría, ya que es resultado de la transmitancia de radiación de onda corta, sin embargo, esta ya fue analizada anteriormente, por lo que se omite de esta sección. La Tabla 11 menciona los parámetros que generan ganancias internas en la vivienda.

Tabla 11. Clasificación de ganancias internas.

Parámetro	Definición
Iluminación General	Calor generado por iluminación general.
Misceláneos	Calor generado por equipos diversos.

Procesos	Calor generado por equipos de proceso.
Cocina	Calor generado por equipos de cocina.
Computadoras y Equipos	Calor generado por equipos de TI.
Ocupación	Calor generado por los ocupantes.
Ganancias Solares Ventanas Exteriores	Radiación solar de onda corta a través de ventanas exteriores.

*No hay equipos de HVAC en la presente simulación, pero las ganancias sensibles provocados por su uso son considerados dentro de este campo.

Fuente: Resultados detallados de simulación [56].

Siguiendo la Figura 22, las ganancias internas responden al perfil de ocupación y por consecuencia al uso de equipos e iluminación. Durante la tarde, noche y primeras horas del día, la ocupación es el mayor aporte puesto que todas las personas se encuentran en la vivienda, realizando actividades de descanso y sin iluminación (habitaciones). A lo largo del día la ocupación disminuye y aumenta el aporte de los equipos por el uso durante las actividades del hogar y el trabajo en casa. A partir de las 18:00 hay una concentración de ganancias internas por la mayor actividad, ocupación y luminarias de la vivienda (sala). En equipos se considera a las corrientes parásitas por consumo energético de los aparatos en Stand by.

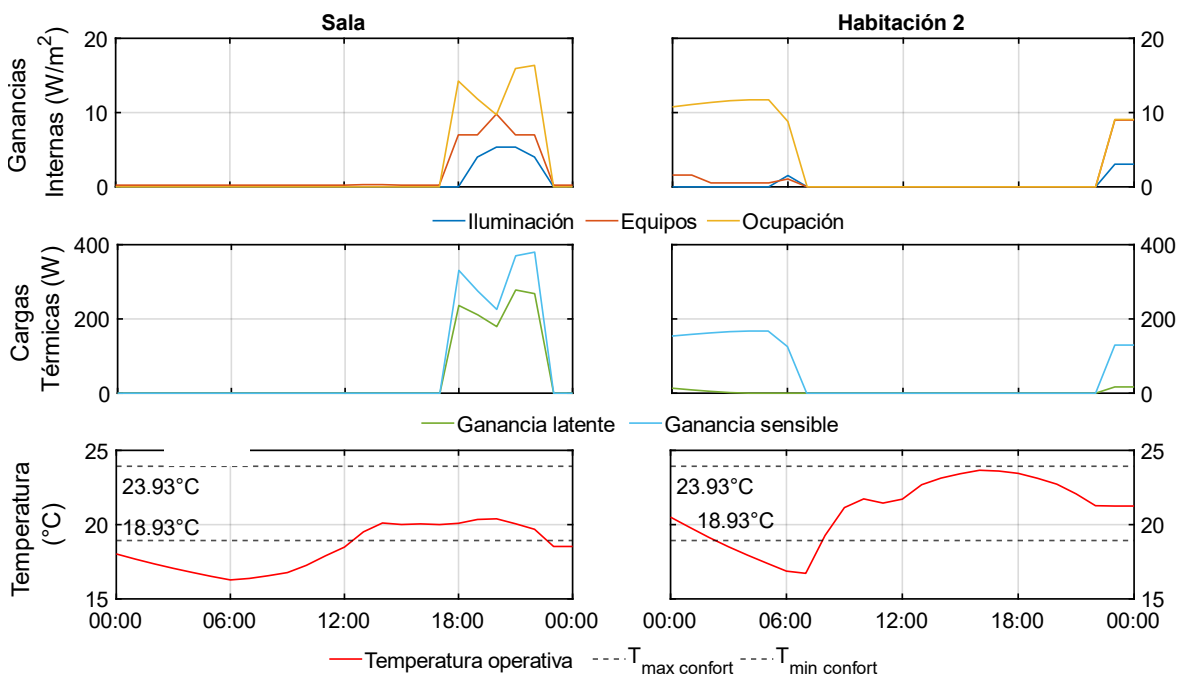


Figura 22. Ganancias internas de la sala (izq.) y la habitación 2 (der.).

Fuente: Elaboración propia con resultados de simulación.

Véase el Anexo VIII para el resumen de ganancias internas de las zonas restantes.

Cada parámetro de la Tabla 11 genera ganancias sensibles que aumenta la temperatura de la zona y en menor cantidad, algunos elementos pueden generar ganancias latentes y modificar la humedad del ambiente, sobre todo en equipos que involucran el cambio de fase como las actividades de cocina y aseo personal. En vista de que la variable principal de análisis en la temperatura, se centra la atención en el resumen de las cargas sensibles anuales presentado en la Tabla 12.

Tabla 12. Resumen de cargas térmicas sensibles anuales (kWh).

Fuente	Baño 1	Habitación2	Oficina	Habitación1	Baño 2	Sala	Cocina	Total
Equipos HVAC	0	0	0	0	0	0	0	0
Ganancia por ocupación	107.007	491.344	150.157	488.573	37.879	661.101	313.765	2249.825
Ganancia por luminarias	7.972	15.794	34.092	22.71	8.238	149.577	73.004	311.386
Ganancia por equipos	8.705	56.731	278.461	81.573	8.996	398.064	873.81	1706.34
Ganancia por ventanas	504.285	3952.525	1108.252	3112.631	1579.307	1054.348	2323.837	13635.187
Intercambio entre zonas	52.013	80.459	266.661	17.59	17.902	475.273	153.266	1063.164
Infiltraciones	0.001	0.006	0.009	0.029	0.002	0.506	0.105	0.658
Conducción	0.004	0.033	0.007	0	0.013	0.007	0.019	0.083
Pérdida por ventanas	-205.17	-1114.65	-390.71	-769.19	-461.79	-359.12	-706.68	-4007.3
Pérdida por intercambio entre zonas	-20.69	-372.04	-144.21	-53.82	-7.25	-138.62	-502.32	-1238.96
Pérdida por infiltración	-42.61	-287.14	-46.98	-86.28	-5.86	-706.79	-221.54	-1397.2
Pérdidas por conducción	-411.51	-2823.03	-1255.73	-2813.81	-1177.43	-1534.34	-2307.24	-12323.1

Fuente: Resultados de simulación.

Los aportes más significativos provienen de las ventanas y la ocupación, especialmente en las habitaciones (ventanales) y la sala ya que es la zona más ocupada de la vivienda. Las luminarias y los equipos también contribuyen a las ganancias, aunque en menor medida. El intercambio entre zonas tiene un impacto moderado, y las infiltraciones aparecen como pérdidas menores, lo que indica una hermeticidad media. Las pérdidas más grandes se deben a la conducción, con valores máximos en las habitaciones.

Transferencia de calor en superficies

Tal como se mencionó en la metodología, los resultados avanzados de la simulación a nivel de superficies permiten estudiar los parámetros definidos en la Tabla 13, que siguen el comportamiento de la Figura 15.

Tabla 13. Conceptos avanzados de superficies.

Parámetro	Definición
Tasa de Almacenamiento de Calor en la Superficie	Diferencia entre la conducción de calor de la cara interior y exterior, positiva si se añade calor al núcleo.
Ganancia de Calor por Convección (Cara Interior)	Calor transferido por convección entre la cara interior y el aire de la zona, positivo si se añade calor a la superficie.
Ganancia de Calor por Convección (Cara Exterior)	Calor transferido por convección entre la cara exterior y el aire circundante, positivo si se añade calor a la superficie.
Ganancia de Calor por Radiación (Cara Interior)	Calor transferido por radiación entre las caras interiores de otras superficies, positivo si se añade calor a la superficie.
Ganancia de Calor por Radiación (Cara Exterior)	Calor transferido por radiación térmica entre la cara exterior y el entorno, positivo si se añade calor a la superficie.

Fuente: Documentación de referencia de EnergyPlus [59].

Puesto que la convención de signos de la simulación responde a las ganancias de calor hacia la superficie opaca y no hacia el ambiente, se realiza un tratamiento de datos previo que nos permita visualizar de qué manera el flujo de calor aporta a las zonas. (Figura 23)

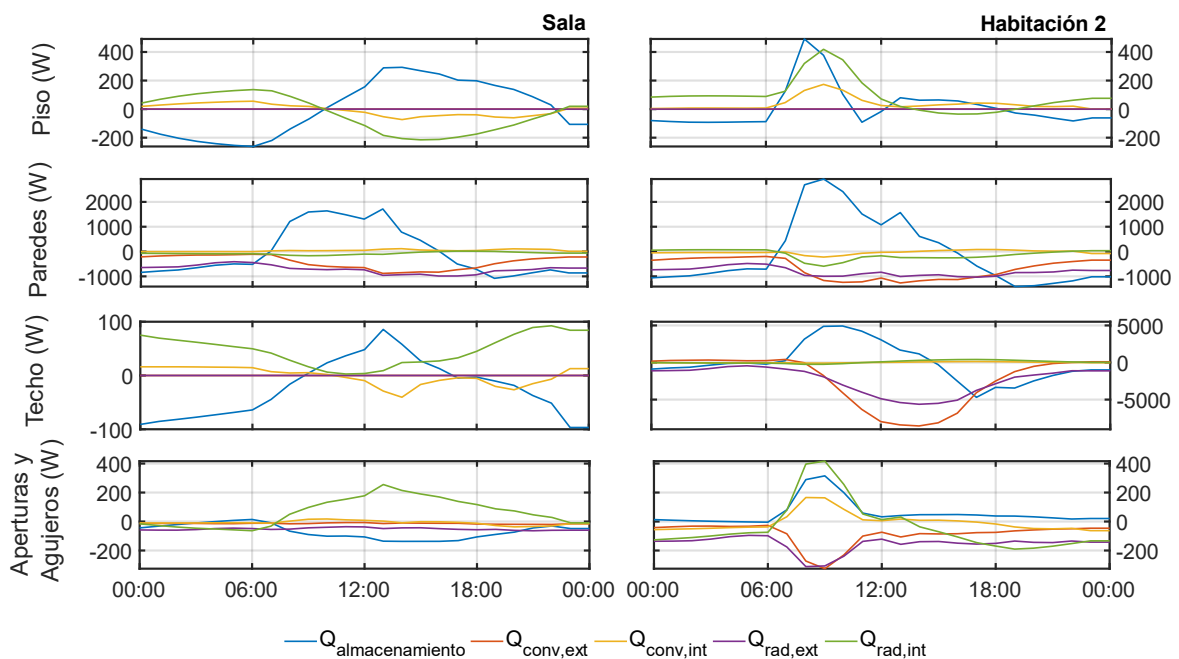


Figura 23. Transferencia de calor por superficie en la Sala (izq.) y Habitación 2 (der.).

Fuente: Elaboración propia con resultados de simulación.

En todas las superficies, a excepción de las aperturas y agujeros el almacenamiento de calor es la característica más evidente, esto demuestra que durante el día almacenan el calor a través de conducción para luego liberar esta carga térmica hacia el exterior o hacia el interior según las condiciones de temperatura a las que la superficie se expone. En las superficies expuestas (paredes y techos) se muestra valores significativos de pérdidas por convección hacia el exterior, esto indica que el viento exterior hace que las superficies cedan calor hacia el ambiente, disminuyendo la carga de almacenamiento. El suelo de la planta baja tiene mínima transferencia con el terreno debido a las condiciones aislantes.

La convección y la radiación internas son indicativos de las ganancias de la zona. En ninguna superficie la convección interna supera los 200W, mientras que la radiación interna es considerable en ambientes del segundo y tercer piso, y a través de las ventanas.

La Figura 24 indica todas las ganancias de calor en la sala durante el día más caluroso (10 de marzo) con aportes que se aproximan a 400W gracias al sol. Cabe mencionar que las ganancias solares son mayores en las superficies orientadas al este, teniendo el pico de en la mañana, mientras que las demás superficies ganan radiación difusa a lo largo del día. Esta figura denota que el almacenamiento de paredes y techo fue liberado hacia el exterior en lugar de al interior de la zona. El piso aporta calor a la sala durante la madrugada ya que no tiene posibilidad de liberar con otra zona o superficie. Los marcos de ventanas representan pérdidas y ganancias mínimas.

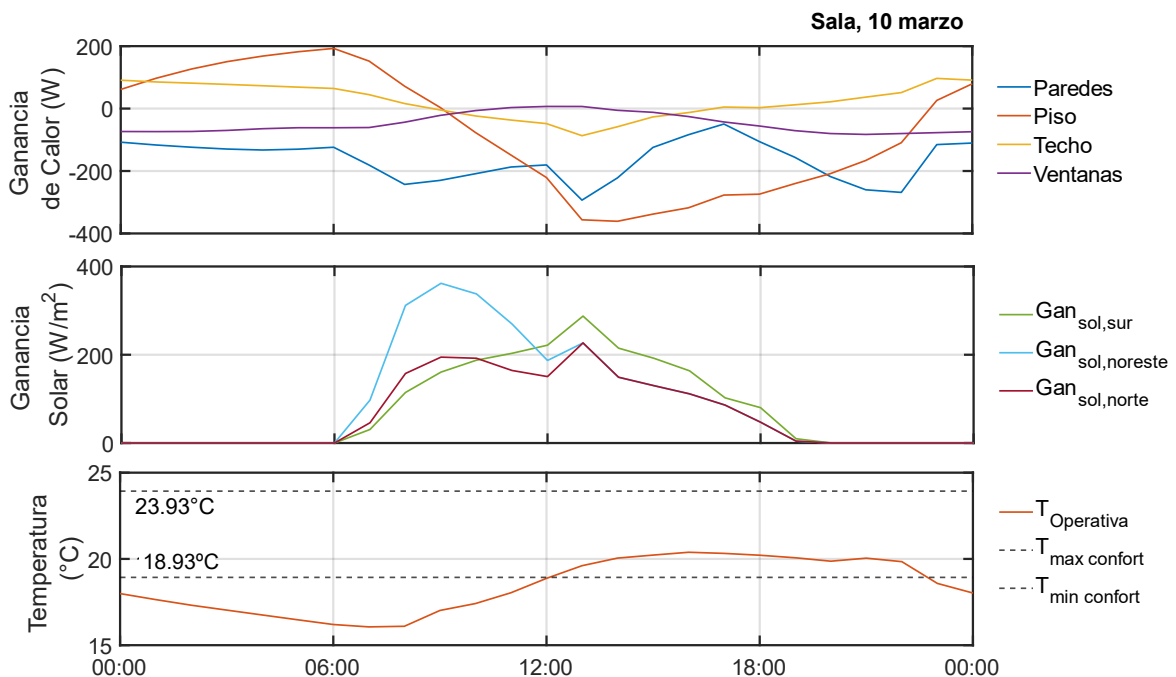


Figura 24. Transferencia de calor en la sala el día más caluroso.

Fuente: Elaboración propia con resultados de simulación

Para complementar, la Figura 25 muestra que las superficies tienen la capacidad de almacenar calor debido a la inercia térmica propia de las características de sus materiales, este almacenamiento es el resultado de la diferencia entre la transferencia de calor por conducción interna y externa (valores negativos significan almacenamiento y positivos significa liberación de calor). Tanto en convección como en radiación, la transferencia de calor se da principalmente con el exterior. La temperatura externa de la superficie es mayor durante el horario de la ganancia de calor y es menor cuando este desaparece, demostrando los efectos del almacenamiento.

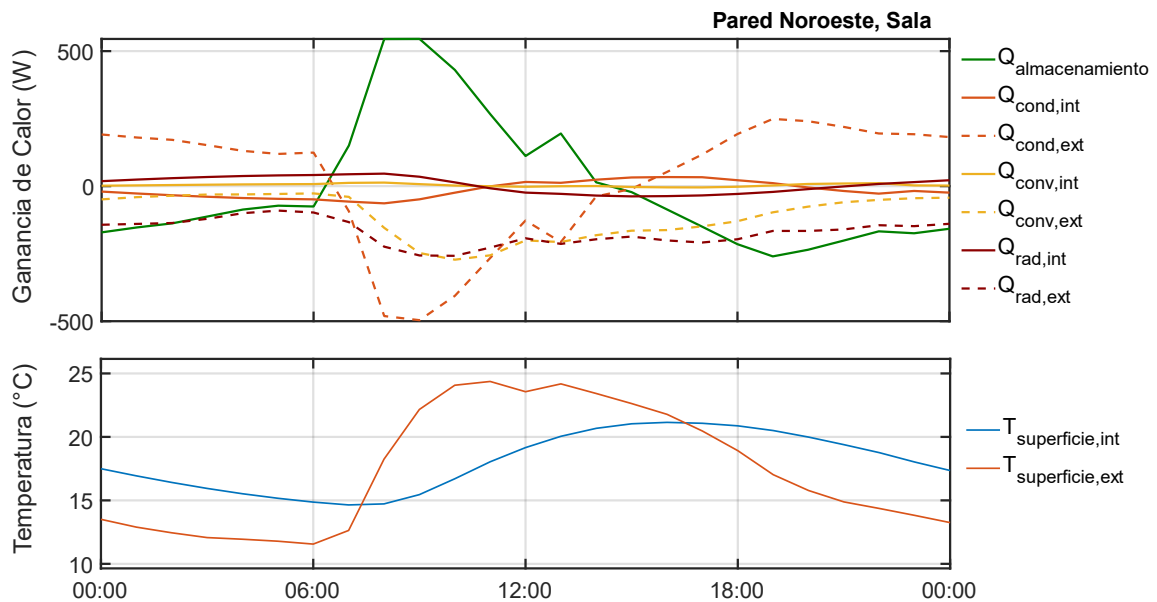


Figura 25. Transferencia de calor en la pared noroeste de la sala.

Fuente: Elaboración propia con resultados de simulación.

Ventilación Natural

La ventilación natural hace referencia a la ganancia de calor de la zona debido al intercambio de aire con otras zonas a través de ventanas, puertas, respiraderos, orificios y particiones virtuales internas abiertas. Este resultado también incluye el impacto térmico de cualquier ruta de flujo de aire entre zonas, como en el caso de las gradas entre los pisos y la partición virtual con la sala con la cocina.

La sala gana calor por ventilación natural interna en las horas en que las zonas aledañas (cocina y estudio) tienen picos de ocupación y uso de equipos. Los picos de pérdida de calor se dan a las 18:00 horas por ventilación externa como respuesta al aumento de cargas, esto ayuda a mantener el ambiente tal como se ve en el rango de temperaturas. Las infiltraciones son mínimas y la habitación 2 únicamente experimenta ventilación externa.

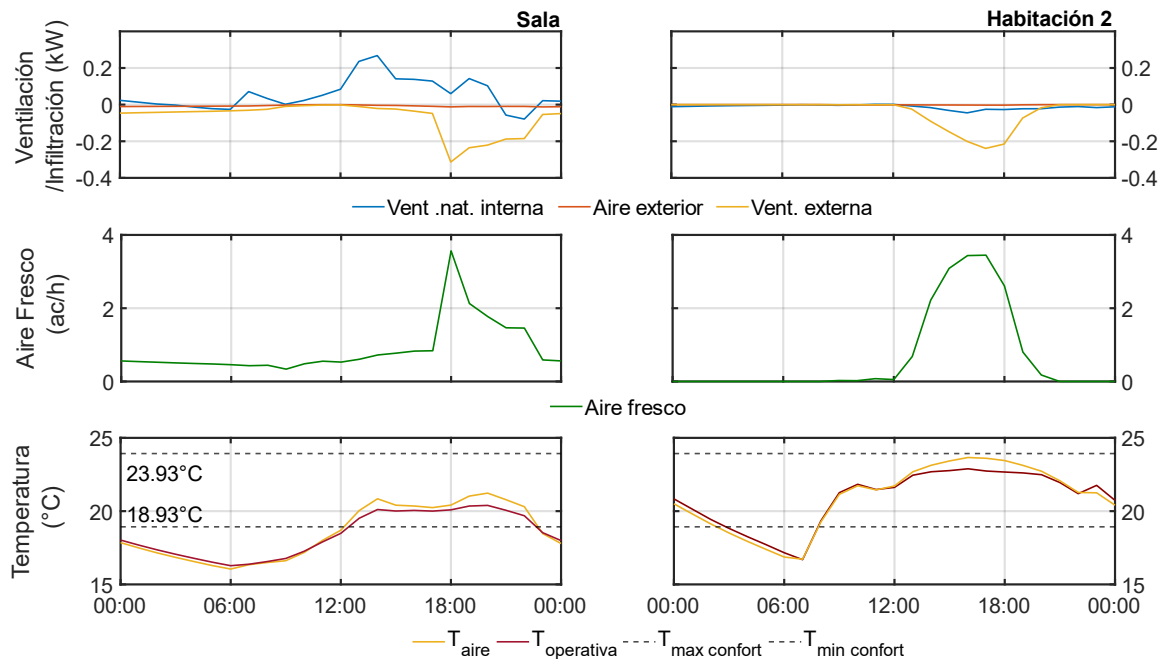


Figura 26. Ventilación natural de la sala (izq.) y la habitación 2 (der).

Fuente: Elaboración propia con resultados de simulación.

El aire fresco resulta como la suma de todos los flujos de aire por ventilación natural e infiltraciones. Este aire representa los cambios de aire por hora de la zona, lo que es fundamental para asegurar un entorno saludable, en ambos casos se acerca a los 4ac/h. En la habitación, se minimizó la cantidad de ventilación natural externa debido a las pérdidas de calor que puede experimentar la zona, afectando al confort térmico.

Para verificar la ventilación natural se obtiene el flujo de aire según la Ecuación (10).

$$OA = \frac{(5 \text{ cfm/persona}) \times (2 \text{ personas}) + (0.06 \text{ cfm/ft}^2) \times (265.826 \text{ ft}^2)}{0.8}$$

$$OA = 32.43 \text{ cfm}$$

$$AC/h = \frac{OA(\text{ cfm}) \times 60}{\text{Volumen}(\text{ ft}^3)} = 0.9 \text{ AC/h}$$

Véase el Anexo IX para los resultados de las zonas restantes.

Confort Térmico

Como se mencionó en la metodología, el principal indicador del confort térmico es la temperatura operativa y los rangos de confort adaptativo que se definieron en:

- 80% de aceptabilidad: 17.93 – 24.93°C
- 90% de aceptabilidad: 18.93 – 23.93°C

La Figura 27 muestra las temperaturas operativas de cada zona de la vivienda durante dos días de análisis, planteando el comportamiento térmico para las dos condiciones extremas de clima, el día más caluroso y el día más frío. En el día más caluroso se tiene la mayoría de las horas del día dentro del rango de confort porque a partir de las 07:00 horas las zonas tienen incremento de temperatura. En la noche la mayoría de las zonas están dentro del confort con 80% de aceptabilidad y un par de horas se encuentran fuera del confort, debido a las características del clima de Quito.

En el día más frío, la habitación 2, el baño 1 y la oficina tienen confort térmico del rango de 11:00 – 21:00 horas, pero las demás zonas están la mayoría del tiempo bajo el rango de confort. Todas las zonas están bajo el confort durante la noche.

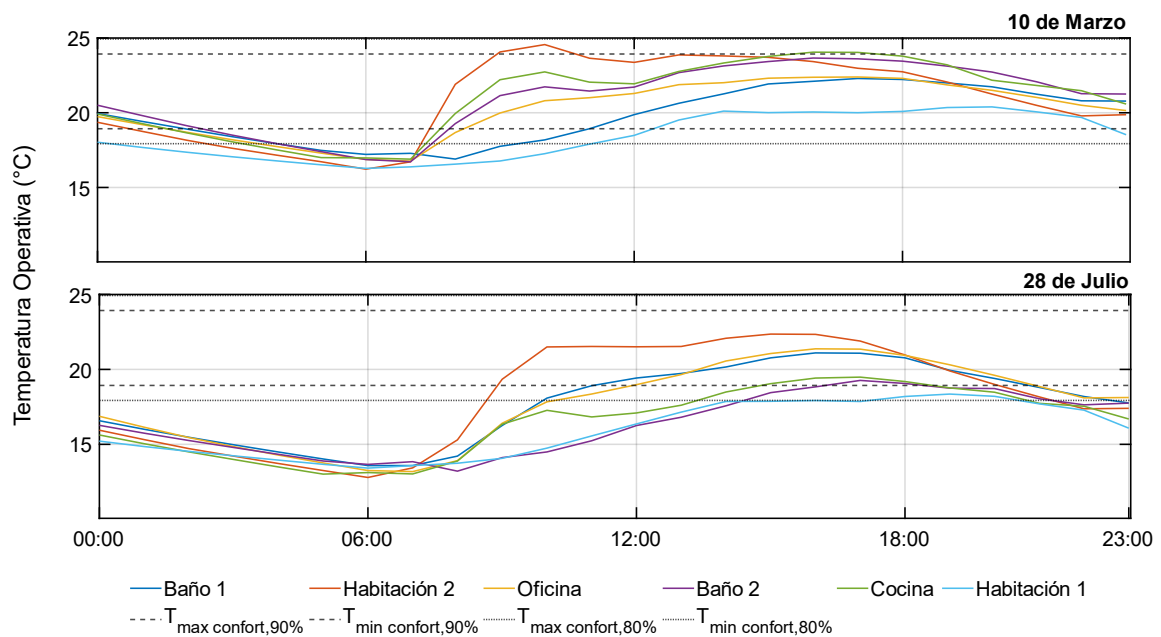


Figura 27. Temperatura operativa por zonas para el día más caluroso (10 de junio, gráfico superior) y el día más frío (28 de julio, gráfico inferior).

Fuente: Elaboración propia con resultados de simulación.

El otro indicador de importancia es el número y porcentaje de horas de disconfort por zona y de la vivienda en general, tal como menciona la Tabla 14.

Tabla 14. Número de horas de disconfort.

Rango	Horas	Cocina	Sala	Hab 1	Hab 2	Oficina	Baño 1	Baño 2	Confort	Disconfort
	Ocupación	2085	2665	3130	3390	2080	2555	990		
90	Total	5616	6164	4136	4302	4360	5104	4836	43.7%	56.3%
	Ocupadas	1091	974	2758	2596	566	1375	551	44.2%	55.8%
80	Total	4759	4917	3282	3335	3276	3948	3846	55.4%	44.6%
	Ocupadas	871	487	2307	2109	356	1119	797	51.8%	48.2%

Fuente: Elaboración propia con resultados de simulación.

La Figura 28 permite observar de manera clara los porcentajes de confort y desconfort de las zonas simuladas. En primera instancia se observa que, al analizar las 8760 horas del año, el confort no sobrepasa valores del 52%, indicando que casi la mitad del tiempo el ambiente está fuera del rango necesario. Luego se extrae el porcentaje de desconfort de las zonas solo considerando las horas en que estas son ocupadas, notando que en la mayoría de los casos el confort es mayor al desconfort, a excepción de la Habitación 1 y Habitación 2 que serán analizadas de manera particular.

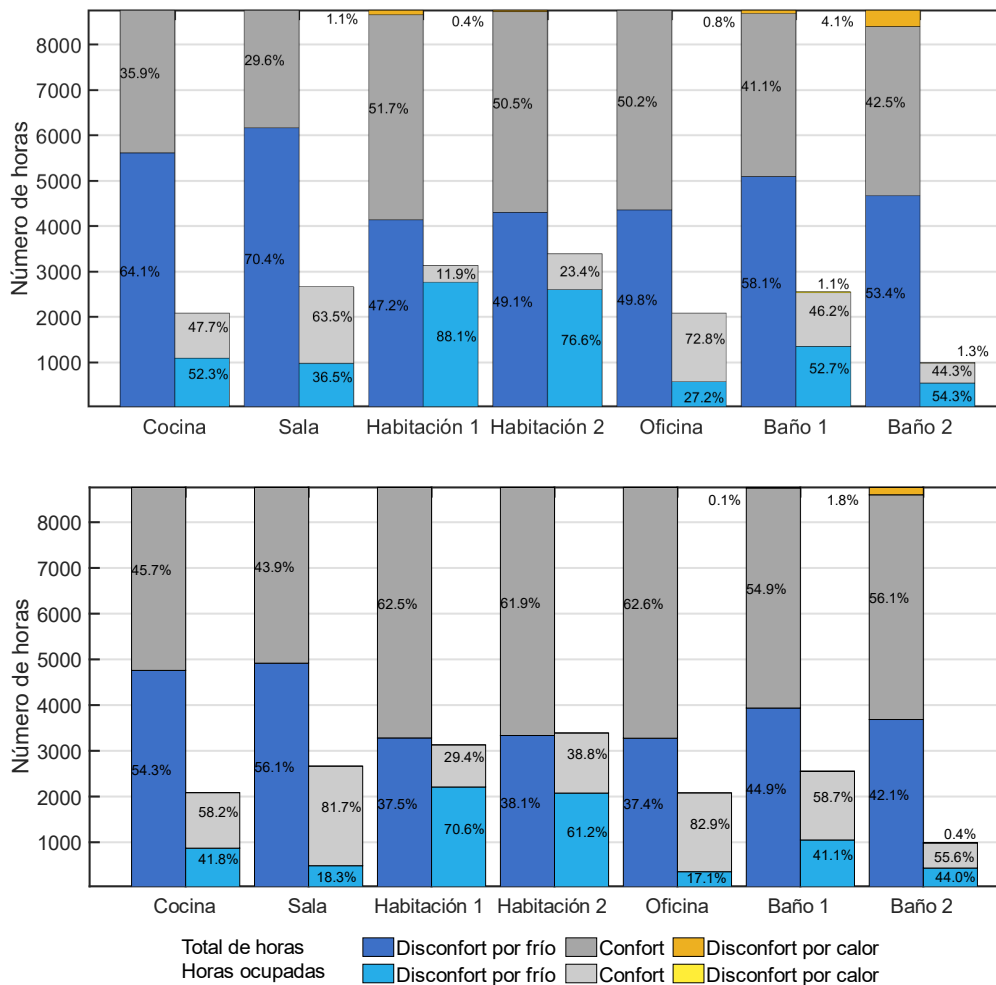


Figura 28. Confort térmico de la vivienda por zonas para el 90% de aceptabilidad (sup.) y el 80% de aceptabilidad (inf).

Fuente: Elaboración propia con resultados de simulación.

Además, se logra visualizar la influencia del rango de aceptabilidad, ya que al aplicar el 80% de aceptabilidad, en lugar del 90%, el confort aumenta en 8% aproximadamente, demostrando un mejor comportamiento de la vivienda. Cabe mencionar que los resultados pueden estar sobredimensionados debido a que en el tratamiento de datos se toma que las zonas son ocupadas durante toda la hora entera, aunque solo haya existido ocupación por pocos minutos, como es el caso de los baños. Para más detalle revisar el Anexo X.

Variación de parámetros

Con la finalidad de mejorar el confort térmico, se plantea la variación de algunos parámetros que fueron relevantes durante la simulación.

Set Point: La temperatura de consigna para la apertura de ventanas y puertas se configuró en 22.7°C y se plantea utilizar la temperatura máxima del rango de confort, es decir 23.93%. La Figura 29 indica que la mejora del confort es mínima (0.1 – 1.3 %) pero se mantiene esta configuración para los próximos resultados (véase el Anexo XI).

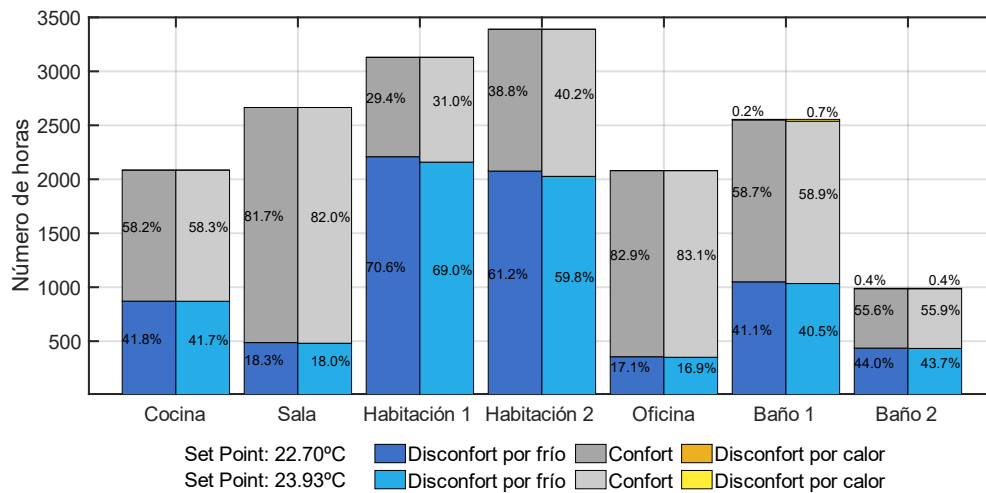


Figura 29. Confort térmico por zonas según Set Point (80% aceptabilidad).

Fuente: Elaboración propia con resultados de simulación.

Ventanas: Puesto que las habitaciones son las zonas con mayor desconfort, se procede a analizar la influencia de las ventanas en el confort térmico, planteando cuatro casos que se explican en la Tabla 15.

Tabla 15. Configuraciones de ventanas en habitaciones.

Variable	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
Habitación 1				
Nº Ventanas (1.2x1.1m ²)	2	2	2	0
Nº Ventanales (2.4x2.0m ²)	1	1	0.5	1
Tipo de vidrio	Ventanas simple	Simple y	Dobles	Doble
Simple: 4mm	Ventanal doble (6mm)	doble		
Doble: 2x4mm y aire				
Habitación 2				
Nº Ventanas (1.2x1.1m ²)	2	2	2	0
Nº Ventanales (2x2.0m ²)	1	1	0.5	1
Tipo de vidrio	Ventanas simple	Simple y	Dobles	Doble
	Ventanal doble (6mm)	doble		

Fuente: Elaboración propia con resultados de simulación.

Con las variaciones se obtiene el confort térmico mostrado en la Figura 30, solo para la Habitación 1 y 2. Para ambas habitaciones el mejor escenario es utilizar las ventanas con dos capas de 6mm y una capa de aire, mejorando el confort térmico en 1.6% para la habitación 1 y 3.3% para la habitación 2 con relación a la configuración actual (caso 2).

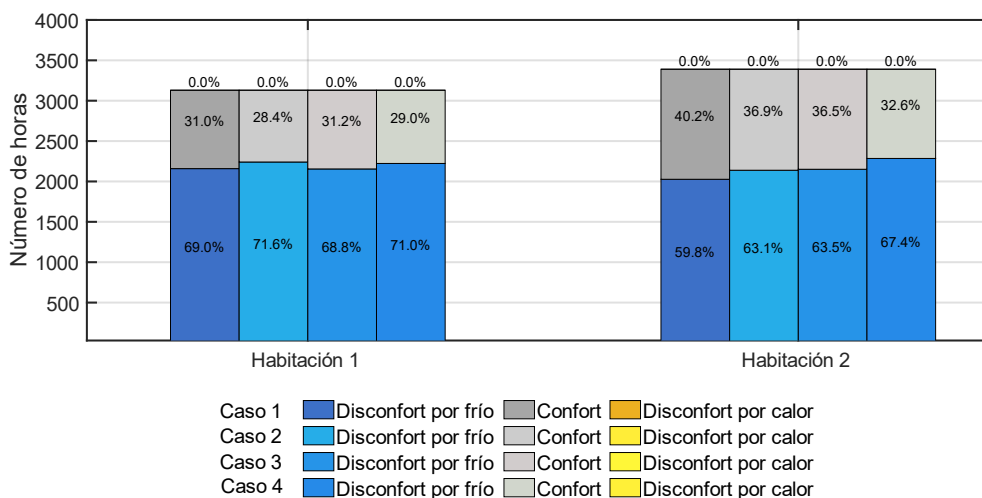


Figura 30. Confort térmico por zonas ventanas (80% aceptabilidad).

Fuente: Elaboración propia con resultados de simulación.

Orientación: Olaya M, propone en su trabajo “Soluciones Bioclimáticas” que las superficies donde se encuentren las ventanas se orienten hacia el norte en el hemisferio sur o hacia el sur en el hemisferio norte para asegurar el calentamiento solar pasivo, teniendo de frente al sol. Puesto que Quito se encuentra en la zona ecuatorial, este parámetro suele ser obviado. Con el caso 1 del resultado anterior, una rotación de 270°C y los ventanales orientados hacia el sur, los resultados del confort se muestran en la Figura 31.

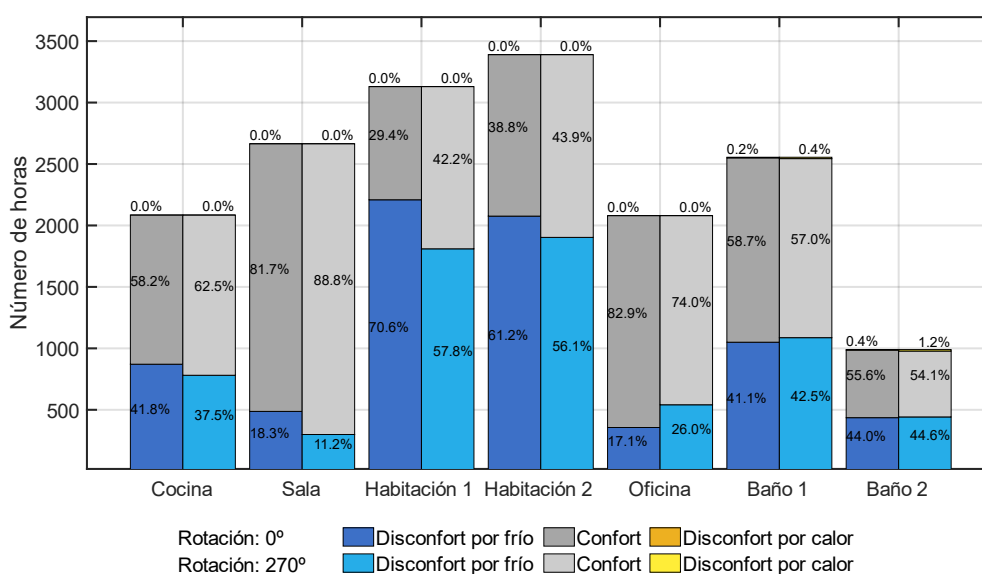


Figura 31. Confort térmico según rotación (80% aceptabilidad).

Fuente: Elaboración propia con resultados de simulación.

Envolvente: El modelo actual utiliza en su fachada ladrillo de 15mm de espesor, por lo que se propone utilizar un ladrillo de 25mm y estuco como recubrimiento interior para mejorar el aislamiento térmico de las superficies expuestas al entorno. El resultado del confort térmico en las zonas gracias a todas las variaciones mencionadas previamente, (con una configuración de ventanas correspondiente al caso 1 y un Set Point de 23.93°C, exceptuando la rotación de la vivienda ya que es una característica que se limita por el espacio y el terreno) se presenta en la Figura 32.

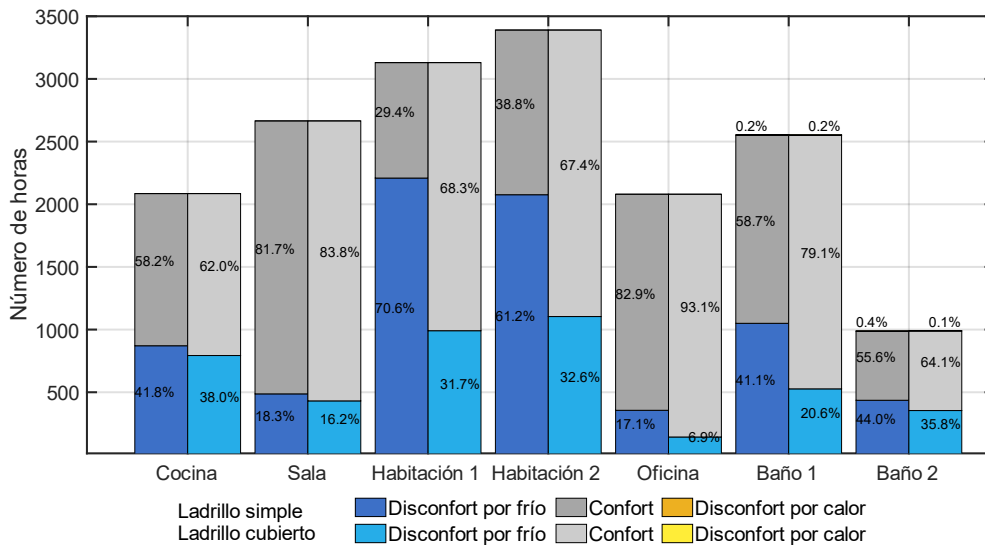


Figura 32. Confort térmico con nueva envolvente (80% aceptabilidad).

Fuente: Elaboración propia con resultados de simulación.

La gráfica evidencia el incremento del confort térmico en las zonas, logrando superar el 58% de confort en todas las zonas. Esta configuración optimiza el comportamiento de la vivienda, por lo que se toma como mejor caso posible y viable. Los valores de confort y disconfort se enlistan en la Tabla 16 y se complementa el resultado con la Figura 33 que muestra estos datos de manera dinámica.

Tabla 16. Porcentaje de confort por zona en horas ocupadas para el mejor caso.

Rango	Cocina	Sala	Hab 1	Hab2	Oficina	Baño 1	Baño 2	Confort
80%	62.00%	83.80%	68.30%	67.40%	93.10%	79.10%	64.10%	73.97%
90%	42.50%	53.90%	37.20%	41.10%	85.00%	57.40%	48.40%	52.21%

Fuente: Elaboración propia con resultados de simulación.

Con el 73.97% de confort térmico posible en la vivienda, los ocupantes tendrían que adaptarse al entorno en los momentos no acondicionados a través de acciones personales y adecuaciones a la vivienda como: utilizar vestimenta para el frío durante las noches y adecuar persianas a las ventanas y ventanales para mantener el calor dentro de las habitaciones.

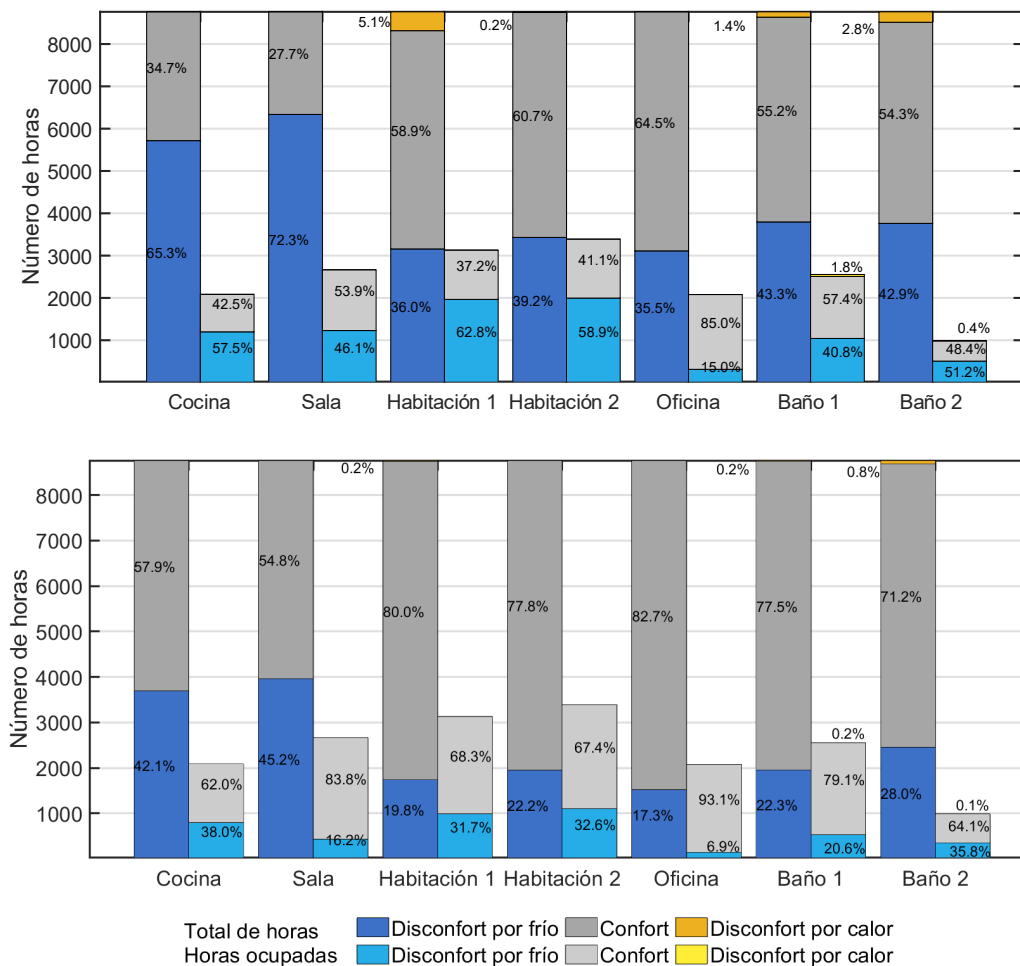


Figura 33. Confort térmico de la vivienda por zonas en el mejor caso para el 90% de aceptabilidad (sup.) y el 80% de aceptabilidad (inf).

Fuente: Elaboración propia con resultados de simulación.

Las horas de desconfort por calentamiento son mínimas y aparecen debido al tiempo que toma la ventilación natural en hacer efecto dentro de una zona luego de que las ventanas fueron abiertas de forma programada.

3.2 Discusión

El diseño térmico de viviendas resilientes en climas templados a fríos, como el de Quito, es crucial en el contexto actual de cambio climático. La simulación dinámica ofrece soluciones sostenibles que optimizan el uso de recursos naturales y mejoran la calidad de vida. Los resultados confirman la efectividad de criterios de diseño bioclimático, especialmente orientando superficies y aperturas hacia el este para maximizar las ganancias solares.

La ventilación natural es esencial para regular la temperatura interior y minimizar el discomfort por sobrecalentamiento, permitiendo mantener espacios confortables sin depender de sistemas HVAC. Esto puede aplicarse no solo a viviendas, sino también a oficinas y centros educativos.

A pesar de las limitaciones constructivas relacionadas con los materiales y su disponibilidad, es fundamental continuar desarrollando ambientes confortables y resilientes en diversas regiones como la Costa y Amazonia ecuatoriana. Aunque el proyecto actual alcanza un 73.97% de confort térmico, es posible mejorar este índice variando parámetros y complementando el análisis con la evaluación evaluando la viabilidad y costos asociados.

3.3 Conclusiones

El presente trabajo es un avance significativo en el diseño térmico de viviendas resilientes en Quito, Ecuador, aplicando simulación dinámica para optimizar el confort térmico y la eficiencia energética.

La recopilación a detalle de los datos sobre las características del diseño de la vivienda permitió establecer una base sólida para el análisis térmico. Se evidencia que la elección de materiales como el ladrillo, ofrece ventajas notables en términos de propiedades térmicas y sostenibilidad. Estos materiales no solo mejoran el rendimiento energético, sino que también contribuyen a una construcción más ecológica y responsable.

El análisis del confort térmico reveló que se puede alcanzar el 73.97% de confort cuando el diseño considera la importancia de la orientación de las superficies, la ubicación de las aperturas y ventanas, la incidencia de la ventilación natural y el impacto de los materiales de la envolvente en la temperatura interior de las zonas.

La simulación dinámica demuestra ser invaluable en el desarrollo del diseño y evaluación térmica de edificios por la dificultad de analizar convencionalmente los fenómenos físicos como la ventilación natural y la transferencia de calor.

Este estudio ha logrado integrar el diseño bioclimático con técnicas avanzadas de simulación, proporcionando un detalle del funcionamiento térmico de la vivienda. Esto no solo confirman la viabilidad de los objetivos planteados, sino que también establecen un precedente para futuras investigaciones y desarrollos en el campo de las ciudades resilientes.

3.4 Recomendaciones

Trabajos Futuros

Es fundamental implementar sistemas de monitoreo continuo para validar los datos de simulación con las condiciones reales de la vivienda una vez habitada, lo que permitirá ajustar y optimizar los modelos utilizados en la simulación. Además, se debe continuar explorando y probando materiales alternativos que ofrezcan mejores propiedades térmicas y de sostenibilidad.

Desarrollar estrategias más avanzadas de ventilación natural, como la incorporación de chimeneas solares o sistemas de ventilación pasiva que puedan adaptarse dinámicamente a las condiciones climáticas, es otro paso importante. Fomentar la capacitación de profesionales en diseño bioclimático y simulación dinámica es importante para cambiar la perspectiva de la construcción en la ciudad.

Ampliar el uso de energías renovables, como paneles solares y sistemas de recolección de agua de lluvia, puede reducir aún más el impacto ambiental y mejorar la autosuficiencia de la vivienda. El desarrollo de viviendas resilientes y sostenibles no solo responde a las necesidades inmediatas de confort y eficiencia energética, sino que también contribuye a la creación de comunidades más sostenibles.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] The Copernicus Atmosphere Monitoring Service, “Copernicus: 2023 is the hottest year on record, with global temperature close to the 1.5°C limit,” 2024.
- [2] “The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023_Spanish”.
- [3] “Greenhouse Gas Emissions from Energy 2022 Database documentation.” Accessed: Jun. 30, 2024. [Online]. Available: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/greenhouse-gas-emissions-from-energy>
- [4] Ottmar. Edenhofer *et al.*, *Renewable energy sources and climate change mitigation : special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 2012.
- [5] M. J. Holmes and J. N. Hacker, “Climate change, thermal comfort and energy: Meeting the design challenges of the 21st century,” *Energy Build*, vol. 39, no. 7, pp. 802–814, Jul. 2007, doi: 10.1016/j.enbuild.2007.02.009.
- [6] “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy,” 2004, [Online]. Available: www.ashrae.org
- [7] N. Djongyang, R. Tchinda, and D. Njomo, “Thermal comfort: A review paper,” 2010, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.rser.2010.07.040.
- [8] Z. Lin and S. Deng, “A study on the thermal comfort in sleeping environments in the subtropics-Developing a thermal comfort model for sleeping environments,” *Build Environ*, vol. 43, no. 1, pp. 70–81, Jan. 2008, doi: 10.1016/j.buildenv.2006.11.026.
- [9] L. Lan, P. Wargocki, and Z. Lian, “Quantitative measurement of productivity loss due to thermal discomfort,” in *Energy and Buildings*, May 2011, pp. 1057–1062. doi: 10.1016/j.enbuild.2010.09.001.
- [10] F. Ordóñez, F. Jácome, P. Castro, and C. Naranjo-Mendoza, “Sensitivity analysis of the variables affecting indoor thermal conditions on unconditioned dwellings in equatorial high-altitude regions from an experimentally validated model,” *Advances in Building Energy Research*, vol. 15, no. 4, pp. 442–465, 2021, doi: 10.1080/17512549.2019.1582437.
- [11] J. F. Nicol and M. A. Humphreys, “Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings,” in *Energy and Buildings*, Jul. 2002, pp. 563–572. doi: 10.1016/S0378-7788(02)00006-3.
- [12] “UNDERSTANDING AND MEASURING CITY RESILIENCE C I T Y R E S I L I E N C E I N D E X ACKNOWLEDGEMENTS.”
- [13] “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy,” 2013, [Online]. Available: www.ashrae.org/technology.
- [14] A. S. H. Al-Ammari, Y. S. M. Altarazi, A. R. Abu Talib, and M. I. Nadiir Bheekhun, “CFD simulation of local exhaust ventilation for aviation fire-test lab,” *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, vol. 7, no. 4, pp. 188–194, 2018, doi: 10.14419/ijet.v7i4.13.21353.

- [15] “Introducción al diseño solar pasivo SOLUCIONES BIOCLIMÁTICAS.”
- [16] M. Aguila, “PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO PARA IDENTIFICAR RECURSOS NATURALES DISPONIBLES PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EN BASE AL PROYECTO GeVi”, doi: 10.13140/RG.2.1.2935.0008.
- [17] X. Berisha and B. Dragusha, “THE INFLUENCE OF THE OUTSIDE TEMPERATURE DURING THE DESIGN OF A HEATING SYSTEM,” 2015. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/311949488>
- [18] V. Masson-Delmotte *et al.*, *Resumen para responsables de políticas*. 2019. [Online]. Available: www.ipcc.ch
- [19] “Tracking breaches of the 1.5°C global warming threshold | Copernicus.” Accessed: Jun. 23, 2024. [Online]. Available: <https://climate.copernicus.eu/tracking-breaches-150c-global-warming-threshold>
- [20] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), “Technical Summary,” in *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis*, Cambridge University Press, 2021, pp. 35–144. doi: 10.1017/9781009157896.002.
- [21] “The Value of Sustainable Urbanization.”
- [22] M. Quigley, N. Blair, and K. Davison, “Articulating a social-ecological resilience agenda for urban design,” *J Urban Des (Abingdon)*, vol. 23, no. 4, pp. 581–602, Jul. 2018, doi: 10.1080/13574809.2018.1440176.
- [23] L. H. Gunderson and C. S. Holling, *Panarchy : understanding transformations in human and natural systems*.
- [24] S. Davoudi *et al.*, “Resilience: A Bridging Concept or a Dead End?,” Jul. 01, 2012, *Routledge*. doi: 10.1080/14649357.2012.677124.
- [25] *Sustainable Ecological Engineering Design*. Springer International Publishing, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-44381-8.
- [26] “Trends_in_Urban_Resilience_2017_smallest”.
- [27] “ISO 37120:2018 Sustainable cities and communities-Indicators for city services and quality of life Performance Indicators.”
- [28] M. Poku-Boansi and P. B. Cobbinah, “Are we planning for resilient cities in Ghana? An analysis of policy and planners’ perspectives,” *Cities*, vol. 72, pp. 252–260, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.cities.2017.09.005.
- [29] M. Córdova and J. Menoscal, “Políticas públicas para ciudades sostenibles. El caso Puertas del Sol en la ciudad de Quito-Ecuador,” *L’Ordinaire des Amériques*, no. 227, Nov. 2021, doi: 10.4000/orda.6365.
- [30] “ESTRATEGIA DE RESILIENCIA Distrito Metropolitano de Quito.” [Online]. Available: www.quito.gob.ec

- [31] “Earthquake resilience of high-rise buildings: Case study of the 2011 Tohoku (Japan) earthquake,” in *Springer Series in Reliability Engineering*, vol. 62, Springer London, 2013, pp. 7–42. doi: 10.1007/978-1-4471-4144-0_2.
- [32] F. Klijn, H. Kreibich, H. de Moel, and E. Penning-Rowsell, “Adaptive flood risk management planning based on a comprehensive flood risk conceptualisation,” *Mitig Adapt Strateg Glob Chang*, vol. 20, no. 6, pp. 845–864, Aug. 2015, doi: 10.1007/s11027-015-9638-z.
- [33] H. Performance and B. C. Study, “Living Proof,” 2014.
- [34] “MEDIATECA DE SENDAI, TOYO ITO.”
- [35] R. Yao, *Design and management of sustainable built environments*, vol. 9781447147817. Springer-Verlag London Ltd, 2013. doi: 10.1007/978-1-4471-4781-7.
- [36] D. Q. R. Mckoy, R. C. Tesiero, Y. T. Acquaaah, and B. Gokaraju, “Review of HVAC Systems History and Future Applications,” Sep. 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/en16176109.
- [37] C. J. Hopfe and R. S. McLeod, “The Passivhaus Designer’s Manual.”
- [38] I. Yükses and T. T. Karadayi, “Energy-Efficient Building Design in the Context of Building Life Cycle,” in *Energy Efficient Buildings*, InTech, 2017. doi: 10.5772/66670.
- [39] F. Harkouss, F. Fardoun, and P. H. Biwole, “Passive design optimization of low energy buildings in different climates,” *Energy*, vol. 165, pp. 591–613, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.09.019.
- [40] “Thermal Design of Buildings UNDERSTANDING HEATING, COOLING AND DECARBONIZATION.”
- [41] R. Pacheco, J. Ordóñez, and G. Martínez, “Energy efficient design of building: A review,” Aug. 2012. doi: 10.1016/j.rser.2012.03.045.
- [42] “Guide for bioclimatic design.” [Online]. Available: www.accion.es
- [43] HUNGRIA JIMÉNEZ MADELYNE MARÍA, *ANÁLISIS DEL POTENCIAL SOLAR PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA MEDIANTE ANALISIS ESPACIAL EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO*. Select Vestry, Taney Parish, 2023.
- [44] R. D. Garreaud, “The Andes climate and weather,” 2009. [Online]. Available: www.adv-geosci.net/22/3/2009/
- [45] A. C. ; Seijmonsbergen, M. G. G. ; De Jong, B. ; Hagendoorn, J. G. B. ; Oostermeijer, and K. F. Rijsdijk, “UvA-DARE (Digital Academic Repository) Geodiversity mapping in alpine areas.” [Online]. Available: <https://dare.uva.nl>
- [46] D. Sietz and G. Feola, “Resilience in the rural Andes: critical dynamics, constraints and emerging opportunities,” Dec. 01, 2016, *Springer Verlag*. doi: 10.1007/s10113-016-1053-9.

- [47] R. Teresa Muñoz, A. Vera, P. Claudia Encalada Diego Escobar, F. Rivera Braulio Lahuatte Paola Fuentes Enrique Quinteros Wilson Vega, and E. Claudia Encalada, "ANUARIO HIDROMETEOROLÓGICO 2021." [Online]. Available: <http://www.fonag.org>. <http://sedc.fonag.org>.
- [48] T. Lawrence, A. K. Darwich, and J. K. Means, *ASHRAE GreenGuide : design, construction, and operation of sustainable buildings*.
- [49] E. Massimo Palme Danny Lobos Carlos Robles, *Libro de Artículos*. [Online]. Available: <https://sites.google.com/view/ibpsachile>
- [50] "DesignBuilder 2.1," 2009.
- [51] "DesignBuilder Software Ltd - EnergyPlus Simulation." Accessed: Jul. 20, 2024. [Online]. Available: <https://designbuilder.co.uk/35-support/tutorials/96-designbuilder-online-learning-materials>
- [52] D. B. Crawley and L. K. Lawrie, "RETHINKING THE TMY: IS THE 'TYPICAL' METEOROLOGICAL YEAR BEST FOR BUILDING PERFORMANCE SIMULATION?"
- [53] "Climate Calculations: Engineering Reference — EnergyPlus 9.2." Accessed: Jul. 20, 2024. [Online]. Available: <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/9-2/engineering-reference/climate-calculations.html#climate-calculations>
- [54] "Outside Surface Heat Balance: Engineering Reference — EnergyPlus 9.2." Accessed: Jul. 20, 2024. [Online]. Available: <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/9-2/engineering-reference/outside-surface-heat-balance.html#outside-surface-heat-balance>
- [55] "Inside Heat Balance: Engineering Reference — EnergyPlus 9.2." Accessed: Jul. 20, 2024. [Online]. Available: <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/9-2/engineering-reference/inside-heat-balance.html#inside-heat-balance>
- [56] "Simulation Detailed Results." Accessed: Jul. 22, 2024. [Online]. Available: https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/Content/Simulation_Detailed_Results.htm
- [57] "Zone Internal Gains: Engineering Reference — EnergyPlus 9.2." Accessed: Jul. 20, 2024. [Online]. Available: <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/9-2/engineering-reference/zone-internal-gains.html>
- [58] "Solar Radiation Distribution." Accessed: Jul. 21, 2024. [Online]. Available: https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/Content/Solar_Radiation_Distribution.htm
- [59] "Group – Advanced Surface Concepts: Input Output Reference — EnergyPlus 8.8." Accessed: Jul. 25, 2024. [Online]. Available: <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-8/input-output-reference/group-advanced-surface-concepts.html>

5 ANEXOS

Anexo I. Indicadores de resiliencia según la Norma ISO ISO 37120:2018.

Parámetro	Indicadores Principales
Economía	<ul style="list-style-type: none"> • Tasa de desempleo de la ciudad
Educación	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de la población escolar femenina inscrita en la escuela • Porcentaje de estudiantes que completan la educación primaria: tasa de supervivencia • Porcentaje de estudiantes que completan la educación secundaria: tasa de supervivencia • Relación alumno-maestro en educación primaria
Energía	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo total de energía final por habitante (GJ/año) • Porcentaje del total de energía final derivada de fuentes renovables • Porcentaje de la población de la ciudad con servicio eléctrico autorizado (residencial) • Número de conexiones de servicio de distribución de gas por cada 100,000 habitantes (residencial) • Consumo final de energía de edificios públicos por año (GJ/m²)
Medio ambiente y cambio climático	<ul style="list-style-type: none"> • Concentración de Material Particulado Fino (PM2.5) • Concentración de Material Particulado (PM10) • Emisiones de gases de efecto invernadero medidas en toneladas per cápita
Recreación	<ul style="list-style-type: none"> • Metros cuadrados de espacio público cubierto para recreación por persona • Metros cuadrados de espacio público al aire libre para recreación por persona
Seguridad	<ul style="list-style-type: none"> • Número de bomberos por cada 100,000 habitantes • Número de muertes relacionadas con incendios por cada 100,000 habitantes • Número de muertes relacionadas con desastres naturales por cada 100,000 habitantes • Número de policías por cada 100,000 habitantes • Número de homicidios por cada 100,000 habitante
Residuo sólido	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de la población de la ciudad con recolección regular de residuos sólidos (residencial) • Total de residuos sólidos municipales recolectados por persona • Porcentaje de residuos sólidos de la ciudad que se reciclan • Porcentaje de residuos sólidos de la ciudad que se disponen en vertederos sanitarios • Porcentaje de residuos sólidos de la ciudad tratados en plantas de energía a partir de residuos
Deporte y cultura	<ul style="list-style-type: none"> • Número de instituciones culturales e instalaciones deportivas por cada 100,000 habitantes
Finanzas	<ul style="list-style-type: none"> • Relación de servicio de la deuda (gasto en servicio de la deuda como porcentaje de los ingresos propios de la ciudad) • Gasto de capital como porcentaje del gasto total
Gobernanza	<ul style="list-style-type: none"> • Mujeres como porcentaje del total elegido para cargos a nivel de ciudad
Salud	<ul style="list-style-type: none"> • Expectativa de vida promedio • Número de camas de hospital para pacientes internados por cada 100,000 habitantes • Número de médicos por cada 100,000 habitantes • Mortalidad infantil menor de cinco años por cada 1,000 nacidos vivos
Vivienda	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de la población de la ciudad que vive en viviendas inadecuadas • Porcentaje de la población que vive en viviendas asequibles
Población y Condición Social	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de la población de la ciudad que vive por debajo de la línea de pobreza internacional
Transporte	<ul style="list-style-type: none"> • Kilómetros del sistema de transporte público por cada 100,000 habitantes • Número anual de viajes en transporte público por persona
Agricultura urbana/local y seguridad alimentaria.	<ul style="list-style-type: none"> • Área agrícola urbana total por cada 100,000 habitantes
Planificación urbana	<ul style="list-style-type: none"> • Área verde (hectáreas) por cada 100,000 habitantes
Aguas residuales	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de la población de la ciudad servida por la recolección de aguas residuales • Porcentaje de aguas residuales de la ciudad que reciben tratamiento centralizado • Porcentaje de la población con acceso a saneamiento mejorado

Agua	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de la población de la ciudad con servicio de suministro de agua potable • Porcentaje de la población de la ciudad con acceso sostenible a una fuente de agua mejorada • Consumo total de agua doméstica por persona (litros/día) • Tasa de cumplimiento de la calidad del agua potable
Telecomunicaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Número de conexiones a internet por cada 100,000 habitantes • Número de conexiones telefónicas móviles por cada 100,000 habitantes
Elaboración de informes y mantenimiento de registros.	

Anexo II. Indicadores de resiliencia según la Fundación Rockefeller.

Indicador	Componentes específicos
1. Vulnerabilidad humana mínima	1.1 Vivienda segura y asequible
	1.2 Suministro de energía asequible y adecuado
	1.3 Acceso inclusivo a agua potable segura
	1.4 Saneamiento efectivo
	1.5 Suministro suficiente y asequible de alimentos
2. Medios de vida y empleo diversificados	2.1 Políticas laborales inclusivas
	2.2 Capacitación y formación relevante
	2.3 Desarrollo empresarial local e innovación
	2.4 Mecanismos de financiamiento de apoyo
	2.5 Protección diversificada de medios de vida tras un shock
3. Salvaguardas efectivas para la salud humana	3.1 Sistemas de salud pública robustos
	3.2 Acceso adecuado a atención médica de calidad
	3.3 Atención médica de emergencia efectiva
	3.4 Servicios efectivos de respuesta ante emergencias
4. Identidad colectiva y apoyo comunitario	4.1 Apoyo comunitario local
	4.2 Comunidades cohesionadas
	4.3 Identidad y cultura sólidas a nivel ciudadano
	4.4 Ciudadanos activamente comprometidos
5. Seguridad integral y estado de derecho	5.1 Sistemas efectivos para disuadir el crimen
	5.2 Prevención proactiva de la corrupción
	5.3 Policía competente
	5.4 Acceso a la justicia penal y civil accesible
6. Economía sostenible	6.1 Finanzas públicas bien gestionadas
	6.2 Planificación integral de la continuidad empresarial
	6.3 Base económica diversificada
	6.4 Ambiente empresarial atractivo
	6.5 Integración sólida con economías regionales y globales
7. Reducción de la exposición y fragilidad	7.1 Cartografía integral de riesgos y exposición
	7.2 Códigos, normas y aplicación adecuados
	7.3 Gestión efectiva de ecosistemas protectores
	7.4 Infraestructura protectora robusta
8. Provisión efectiva de servicios críticos	8.1 Gestión efectiva de ecosistemas
	8.2 Servicios de infraestructura flexibles
	8.3 Capacidad de reserva mantenida
	8.4 Mantenimiento diligente y continuidad
	8.5 Continuidad adecuada para activos y servicios críticos
9. Movilidad y comunicaciones confiables	9.1 Redes de transporte diversas y asequibles
	9.2 Operación y mantenimiento efectivos del transporte
	9.3 Tecnología de comunicaciones confiable
	9.4 Redes tecnológicas seguras
10. Liderazgo y gestión efectivos	10.1 Toma de decisiones gubernamentales apropiadas
	10.2 Coordinación efectiva con otros organismos gubernamentales
	10.3 Colaboración proactiva de múltiples partes interesadas
	10.4 Monitoreo exhaustivo de riesgos y evaluación de riesgos
	10.5 Gestión gubernamental integral de emergencias
11. Actores empoderados	11.1 Educación adecuada para todos
	11.2 Concienciación y preparación comunitaria generalizada

	11.3 Mecanismos efectivos para que las comunidades se involucren con el gobierno
12. Planificación integrada para el desarrollo	12.1 Monitoreo integral de la ciudad y gestión de datos
	12.2 Proceso de planificación consultativo
	12.3 Uso apropiado del suelo y zonificación
	12.4 Proceso robusto de aprobación de planificación

Anexo III. Código IDF a modificar.

Ejemplo de modificación a IDF file, el siguiente script debe ser integrado al final del documento y simulado en EnergyPlus

```

OutputControl:IlluminanceMap:Style,
    Comma;                                !- Column separator

Output:Variable, *, Zone Operative Temperature, hourly, On;
Output:Variable, *, Surface Heat Storage Rate, hourly;
Output:Variable, *, Surface Inside Face Convection Heat Gain Rate, hourly;
Output:Variable, *, Surface Outside Face Convection Heat Gain Rate, hourly;
Output:Variable, *, Surface Inside Face Net Surface Thermal Radiation Heat Gain Rate, hourly;
Output:Variable, *, Surface Outside Face Net Thermal Radiation Heat Gain Rate, hourly;
Output:Variable, *, Surface Inside Face Conduction Heat Transfer Rate, hourly;
Output:Variable, *, Surface Outside Face Conduction Heat Transfer Rate, hourly;
Output:Surfaces:Drawing, DXF, Triangulate3DFace;
Output:Surfaces:List, Details;
Output:Constructions, Constructions;
Output:VariableDictionary, IDF;
Output:EnergyManagementSystem, Verbose, Verbose, None;
Output:Variable, *, Zone Air Generic Air Contaminant Concentration, hourly;
Output:Variable, *, Zone Air Generic Air Contaminant Concentration, daily;
Output:Variable, *, Zone Air Generic Air Contaminant Concentration, monthly;
Output:Variable, *, Zone Air Generic Air Contaminant Concentration, runperiod;
OutputControl:ReportingTolerances, 1.11, 1.11;
! *** included file ***

Output:Diagnostics, DisplayAdvancedReportVariables;

```

Anexo IV. Requerimiento de aire fresco según la ASHRAE 62.0

TABLE 6.2.2.1 Minimum Ventilation Rates in Breathing Zone (Continued)
(This table is not valid in isolation; it must be used in conjunction with the accompanying notes.)

Occupancy Category	People Outdoor Air Rate R_p		Area Outdoor Air Rate R_a		Notes	Default Values			Air Class
	cfm/person	L/s-person	cfm/ft ²	L/s-m ²		Occupant Density (see Note 4)	Combined Outdoor Air Rate (see Note 5)		
						#/1000 ft ² or #/100 m ²	cfm/person	L/s-person	
Freezer and refrigerated spaces (<50°F)	10	5	0	0	E	0	0	0	2
General manufacturing (excludes heavy industrial and processes using chemicals)	10	5.0	0.18	0.9		7	36	18	3
Pharmacy (prep. area)	5	2.5	0.18	0.9		10	23	11.5	2
Photo studios	5	2.5	0.12	0.6		10	17	8.5	1
Shipping/receiving	10	5	0.12	0.6	B	2	70	35	2
Sorting, packing, light assembly	7.5	3.8	0.12	0.6		7	25	12.5	2
Telephone closets	—	—	0.00	0.0		—			1
Transportation waiting	7.5	3.8	0.06	0.3		100	8	4.1	1
Warehouses	10	5	0.06	0.3	B	—			2
Public Assembly Spaces									
Auditorium seating area	5	2.5	0.06	0.3		150	5	2.7	1
Places of religious worship	5	2.5	0.06	0.3		120	6	2.8	1
Courtrooms	5	2.5	0.06	0.3		70	6	2.9	1
Legislative chambers	5	2.5	0.06	0.3		50	6	3.1	1
Libraries	5	2.5	0.12	0.6		10	17	8.5	1
Lobbies	5	2.5	0.06	0.3		150	5	2.7	1
Museums (children's)	7.5	3.8	0.12	0.6		40	11	5.3	1
Museums/galleries	7.5	3.8	0.06	0.3		40	9	4.6	1
Residential									
Dwelling unit	5	2.5	0.06	0.3	F,G	F			1
Common corridors	—	—	0.06	0.3					1

Anexo V. Características extras de la vivienda

Bloque Concreto	Bloque Terreno	Pared externa	Muro enterrado
		 150.00mm Brick EV	 50.00mm POLIURETANO 150.00mm CONCRETO REFORZADO
Pared interna	Suelo con terreno	Suelos internos	Techo
 20.00mm Gypsum Plasterboard CBSE 20.00mm EPSA REFORZADO 20.00mm Gypsum Plasterboard CBSE	 100.00mm Cast Concrete 50.00mm POLIURETANO	 20.00mm EUCALIPTO 20.00mm SERRALHE LINDO 20.00mm SERRALHE LINDO 20.00mm EUCALIPTO	 25.00mm BALDOSA CONCRETO 20.00mm OSB 20.00mm SERRALHE LINDO 20.00mm EUCALIPTO

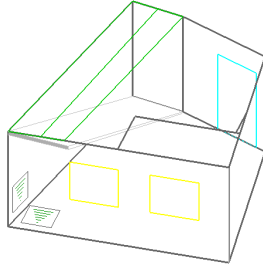
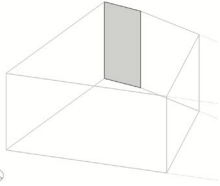
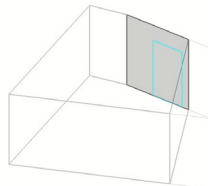
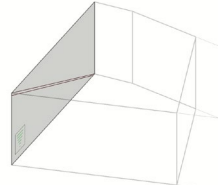
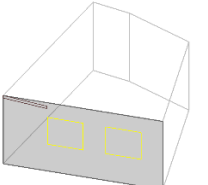
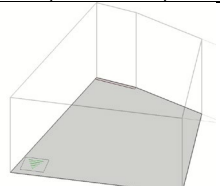
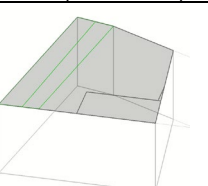
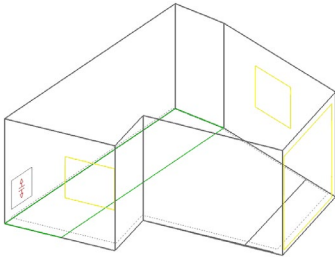
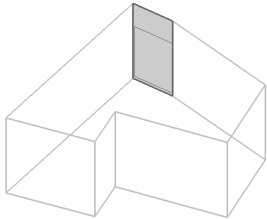
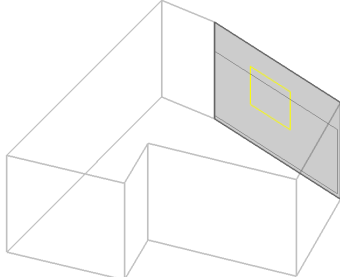
Superficie	Construcción	Reflectancia	Factor U con Película [W/m2-K]	Factor U sin Película [W/m2-K]	Área Bruta [m2]	Área Neta [m2]	Azimut [deg]	Inclinación [deg]	Dirección Cardinal
Superficies opacas externas									
PISO2:BAÑO1_WALL_6_0_0	PARED EXTERNA	0.4	3.046	5.6	8.83	7.52	179.4	90	S
PISO2:HABITACION1_WALL_2_0_0	PARED EXTERNA	0.4	3.046	5.6	8.68	2.94	89.46	90	E
PISO2:HABITACION1_WALL_3_0_0	PARED EXTERNA	0.4	3.046	5.6	9.66	8.34	23.96	90	N
PISO2:HABITACION1_WALL_7_0_0	PARED EXTERNA	0.4	3.046	5.6	6.97	5.66	179.4	90	S
PISO2:HABITACION1_ROOF_1_2_0	TECHO	0.4	0.904	1.033	8.37	8.37	179.4	0	
PISO2:OFICINA_WALL_4_0_0	PARED EXTERNA	0.4	3.046	5.6	7.88	6.56	23.96	90	N
PISO2:OFICINA_WALL_5_0_0	PARED EXTERNA	0.4	3.046	5.6	3.76	3.76	11.84	90	N
PISO2:OFICINA_WALL_7_0_0	PARED EXTERNA	0.4	3.046	5.6	7.5	6.22	179.4	90	S
PISO3:HABITACION2_WALL_4_0_0	PARED EXTERNA	0.4	3.046	5.6	7.65	3.27	89.4	90	E
PISO3:HABITACION2_WALL_5_0_0	PARED EXTERNA	0.4	3.046	5.6	10.65	9.59	23.96	90	N
PISO3:HABITACION2_WALL_6_0_0	PARED EXTERNA	0.4	3.046	5.6	3.76	3.76	11.84	90	N
PISO3:HABITACION2_WALL_8_0_0	PARED EXTERNA	0.4	3.046	5.6	7.5	6.48	179.4	90	S
PISO3:HABITACION2_ROOF_1_0_0	TECHO	0.4	0.904	1.033	3.76	3.76	179.4	0	
PISO3:HABITACION2_ROOF_1_0_1	TECHO	0.4	0.904	1.033	20.93	20.93	180	0	
PISO3:BAÑO2_WALL_2_0_0	PARED EXTERNA	0.4	3.046	5.6	3.89	1.76	89.4	90	E
PISO3:BAÑO2_WALL_5_0_0	PARED EXTERNA	0.4	3.046	5.6	9.55	8.51	179.4	90	S
PISO3:BAÑO2_ROOF_1_0_0	TECHO	0.4	0.904	1.033	4.96	4.96	179.4	0	
PISO1:SALA_WALL_3_0_0	PARED EXTERNA	0.4	3.046	5.6	7.11	4.63	23.96	90	N
PISO1:SALA_WALL_4_0_0	PARED EXTERNA	0.4	3.046	5.6	3.76	3.76	11.84	90	N
PISO1:SALA_WALL_5_0_0	MURO ENTERRADO	0.4	0.421	0.444	17.18	17.18	281.84	90	W
PISO1:SALA_WALL_6_0_0	PARED EXTERNA	0.4	3.046	5.6	15.11	12.47	179.41	90	S
PISO1:SALA_GROUNDFLOOR_0_0_0	SUELO CON TERRENO	0.4	0.412	0.442	25.53	25.53	359.41	180	
PISO1:COCINA_WALL_2_0_0	PARED EXTERNA	0.4	3.046	5.6	20.71	18.07	23.96	90	N
PISO1:COCINA_WALL_4_0_0	PARED EXTERNA	0.4	3.046	5.6	17.57	14.94	179.41	90	S
PISO1:COCINA_WALL_5_0_0	PARED EXTERNA	0.4	3.046	5.6	4.4	4.4	89.41	90	E
PISO1:COCINA_GROUNDFLOOR_0_0_0	SUELO CON TERRENO	0.4	0.412	0.442	20.59	20.59	359.41	180	
PISO1:COCINA_ROOF_1_3_0	TECHO	0.4	0.904	1.033	8.09	8.09	179.42	0	
Superficies opacas internas									
PISO2:BAÑO1_PARTITION_2_0_0	PAREDES INTERNAS BAÑOS	0.4	2.296	5.1	3.99	3.99	89.87	90	E
PISO2:BAÑO1_PARTITION_3_0_0	PAREDES INTERNAS BAÑOS	0.4	2.296	5.1	1.92	1.92	359.4	90	N
PISO2:BAÑO1_PARTITION_4_0_0	PAREDES INTERNAS	0.5	0.756	0.923	6.9	6.9	359.4	90	N
PISO2:BAÑO1_PARTITION_5_0_0	PAREDES INTERNAS	0.5	0.756	0.923	3.99	2.19	269.98	90	W
PISO2:BAÑO1_FLOOR_0_0_0	SUELOS INTERNOS	0.4	0.658	0.8	3.9	3.9	359.4	180	
PISO2:BAÑO1_FLOOR_0_1_0	SUELOS INTERNOS	0.4	0.658	0.8	0.76	0.76	359.4	180	
PISO2:BAÑO1_CEILING_1_0_0	SUELOS INTERNOS REVERSED	0.4	0.658	0.8	0.05	0.05	180	0	
PISO2:BAÑO1_CEILING_1_1_0	SUELOS INTERNOS REVERSED	0.4	0.658	0.8	4.6	4.6	179.4	0	
PISO2:HABITACION1_PARTITION_6_0_10004	PAREDES INTERNAS BAÑOS REV	0.4	2.296	5.1	3.99	3.99	269.87	90	W
PISO2:HABITACION1_PARTITION_5_0_10005	PAREDES INTERNAS BAÑOS_REV	0.4	2.296	5.1	1.92	1.92	179.4	90	S
PISO2:HABITACION1_PARTITION_4_0_0	PAREDES INTERNAS	0.5	0.756	0.923	8.7	6.9	270	90	W
PISO2:HABITACION1_FLOOR_0_0_0	SUELOS INTERNOS	0.4	0.658	0.8	0.05	0.05	359.4	180	
PISO2:HABITACION1_FLOOR_0_1_0	SUELOS INTERNOS	0.4	0.658	0.8	3.67	3.67	359.4	180	
PISO2:HABITACION1_FLOOR_0_1_1	SUELOS INTERNOS	0.4	0.658	0.8	7.78	7.78	359.4	180	
PISO2:HABITACION1_CEILING_1_0_0	SUELOS INTERNOS REVERSED	0.4	0.658	0.8	2.09	2.09	179.4	0	
PISO2:HABITACION1_CEILING_1_0_1	SUELOS INTERNOS REVERSED	0.4	0.658	0.8	0.67	0.67	180	0	
PISO2:HABITACION1_CEILING_1_1_0	SUELOS INTERNOS REVERSED	0.4	0.658	0.8	0.36	0.36	179.4	0	
PISO2:OFICINA_PARTITION_2_0_10006	PAREDES INTERNAS REV	0.5	0.756	0.923	6.9	6.9	179.4	90	S
PISO2:OFICINA_PARTITION_8_0_10007	PAREDES INTERNAS REV	0.5	0.756	0.923	3.99	2.19	89.98	90	E
PISO2:OFICINA_PARTITION_3_0_10015	PAREDES INTERNAS REV	0.5	0.756	0.923	8.7	6.9	90	90	E
PISO2:OFICINA_PARTITION_6_0_0	PAREDES INTERNAS	0.5	0.756	0.923	17.18	17.18	281.84	90	W
PISO2:OFICINA_FLOOR_0_0_0	SUELOS INTERNOS	0.4	0.658	0.8	2.21	0.45	359.4	180	
PISO2:OFICINA_FLOOR_0_0_1	SUELOS INTERNOS	0.4	0.658	0.8	0.21	0.21	359.4	180	
PISO2:OFICINA_FLOOR_0_0_2	SUELOS INTERNOS	0.4	0.658	0.8	3.75	3.75	359.4	180	
PISO2:OFICINA_FLOOR_0_0_3	SUELOS INTERNOS	0.4	0.658	0.8	3.01	3.01	359.4	180	
PISO2:OFICINA_FLOOR_0_0_4	SUELOS INTERNOS	0.4	0.658	0.8	6.1	6.1	0	180	
PISO2:OFICINA_FLOOR_0_0_5	SUELOS INTERNOS	0.4	0.658	0.8	0.34	0.34	23.96	180	
PISO2:OFICINA_FLOOR_0_0_6	SUELOS INTERNOS	0.4	0.658	0.8	0.15	0.15	11.84	180	
PISO2:OFICINA_FLOOR_0_0_7	SUELOS INTERNOS	0.4	0.658	0.8	2.21	0.57	0	180	
PISO2:OFICINA_FLOOR_0_0_8	SUELOS INTERNOS	0.4	0.658	0.8	3.6	0.04	359.4	180	
PISO2:OFICINA_FLOOR_0_1_0	SUELOS INTERNOS	0.4	0.658	0.8	0.29	0.29	83.83	180	
PISO2:OFICINA_CEILING_1_0_0	SUELOS INTERNOS REVERSED	0.4	0.658	0.8	1.5	1.5	179.4	0	
PISO2:OFICINA_CEILING_1_0_1	SUELOS INTERNOS REVERSED	0.4	0.658	0.8	5.27	5.27	179.4	0	
PISO2:OFICINA_CEILING_1_0_2	SUELOS INTERNOS REVERSED	0.4	0.658	0.8	0.4	0.4	179.4	0	
PISO2:OFICINA_CEILING_1_0_3	SUELOS INTERNOS REVERSED	0.4	0.658	0.8	0.14	0.14	179.4	0	
PISO2:OFICINA_CEILING_1_0_4	SUELOS INTERNOS REVERSED	0.4	0.658	0.8	0.13	0.13	180	0	
PISO2:OFICINA_CEILING_1_0_5	SUELOS INTERNOS REVERSED	0.4	0.658	0.8	0.15	0.15	191.84	0	
PISO2:OFICINA_CEILING_1_0_6	SUELOS INTERNOS REVERSED	0.4	0.658	0.8	0.05	0.05	203.96	0	
PISO2:OFICINA_CEILING_1_0_7	SUELOS INTERNOS REVERSED	0.4	0.658	0.8	6.56	6.56	180	0	
PISO2:OFICINA_CEILING_1_0_8	SUELOS INTERNOS REVERSED	0.4	0.658	0.8	7.67	0.04	179.4	0	
PISO3:HABITACION2_PARTITION_2_0_0	PAREDES INTERNAS BAÑOS	0.4	2.296	5.1	3.99	3.99	89.98	90	E
PISO3:HABITACION2_PARTITION_3_0_0	PAREDES INTERNAS BAÑOS	0.4	2.296	5.1	9.51	9.51	180	90	S
PISO3:HABITACION2_PARTITION_7_0_0	PAREDES INTERNAS	0.5	0.756	0.923	17.18	17.18	281.84	90	W
PISO3:HABITACION2_FLOOR_0_0_10002	SUELOS INTERNOS REVERSED REV	0.4	0.658	0.8	0.05	0.05	0	180	
PISO3:HABITACION2_FLOOR_0_0_10012	SUELOS INTERNOS REVERSED REV	0.4	0.658	0.8	2.09	2.09	359.4	180	
PISO3:HABITACION2_FLOOR_0_0_10013	SUELOS INTERNOS REVERSED REV	0.4	0.658	0.8	0.67	0.67	0	180	
PISO3:HABITACION2_FLOOR_0_0_10034	SUELOS INTERNOS REVERSED REV	0.4	0.658	0.8	1.5	1.5	359.4	180	
PISO3:HABITACION2_FLOOR_0_0_10035	SUELOS INTERNOS REVERSED REV	0.4	0.658	0.8	5.27	5.27	359.4	180	
PISO3:HABITACION2_FLOOR_0_0_10036	SUELOS INTERNOS REVERSED REV	0.4	0.658	0.8	0.4	0.4	359.4	180	
PISO3:HABITACION2_FLOOR_0_0_10037	SUELOS INTERNOS REVERSED REV	0.4	0.658	0.8	0.14	0.14	359.4	180	
PISO3:HABITACION2_FLOOR_0_0_10038	SUELOS INTERNOS REVERSED REV	0.4	0.658	0.8	0.13	0.13	0	180	
PISO3:HABITACION2_FLOOR_0_0_10039	SUELOS INTERNOS REVERSED REV	0.4	0.658	0.8	0.15	0.15	11.84	180	

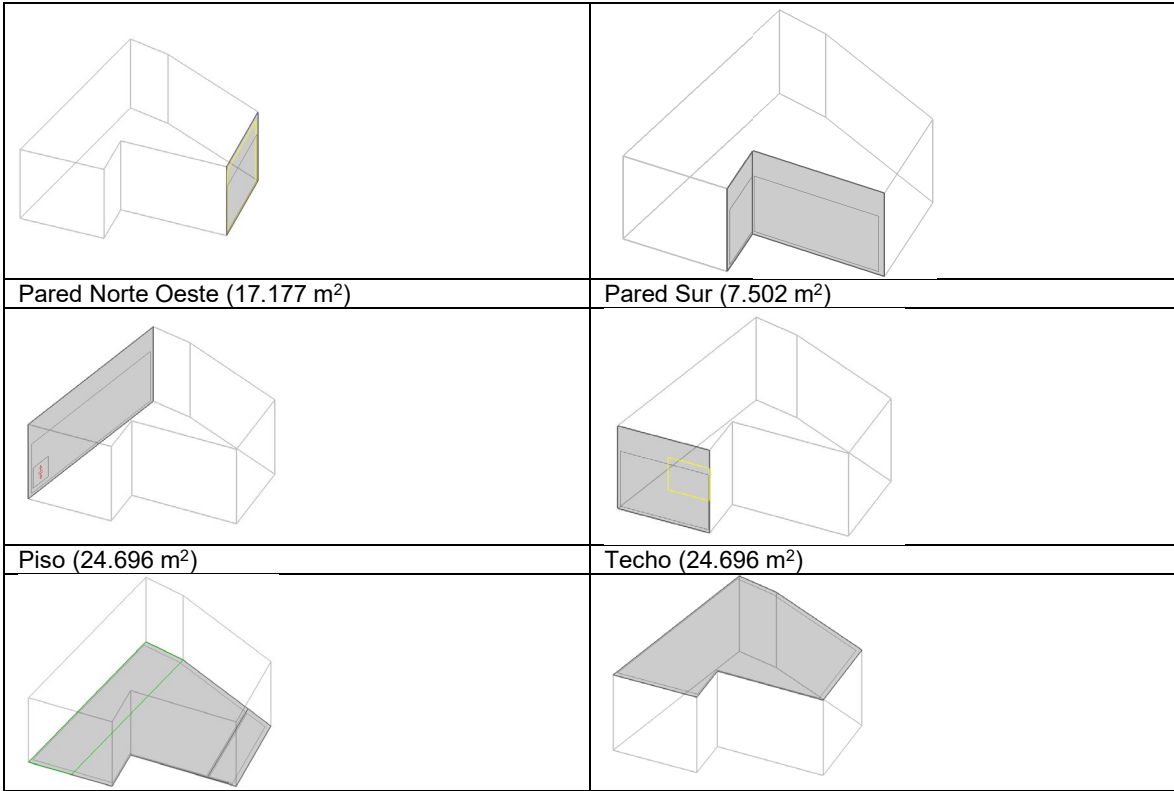
PISO3:HABITACION2 FLOOR 0 0 10040	SUELOS INTERNOS REVERSED REV	0.4	0.658	0.8	0.05	0.05	23.96	180	
PISO3:HABITACION2 FLOOR 0 0 10041	SUELOS INTERNOS REVERSED REV	0.4	0.658	0.8	6.56	6.56	0	180	
PISO3:HABITACION2 FLOOR 0 0 10042	SUELOS INTERNOS REVERSED REV	0.4	0.658	0.8	7.67	0.04	359.4	180	
PISO3:BANO2 PARTITION 4 0 10047	PAREDES INTERNAS BAÑOS REV	0.4	2.296	5.1	3.99	3.99	269.98	90	W
PISO3:BANO2 PARTITION 3 0 10048	PAREDES INTERNAS BAÑOS REV	0.4	2.296	5.1	9.51	9.51	0	90	N
PISO3:BANO2 FLOOR 0 0 10003	SUELOS INTERNOS REVERSED REV	0.4	0.658	0.8	4.6	4.6	359.4	180	
PISO3:BANO2 FLOOR 0 0 10014	SUELOS INTERNOS REVERSED REV	0.4	0.658	0.8	0.36	0.36	359.4	180	
PISO1:SALA PARTITION 2 0 0	PAREDES INTERNAS	0.5	0.756	0.923	13.07	2.9	83.83	90	E
PISO1:SALA CEILING 1 0 10000	SUELOS INTERNOS REV	0.4	0.658	0.8	3.9	3.9	179.4	0	
PISO1:SALA CEILING 1 0 10009	SUELOS INTERNOS REV	0.4	0.658	0.8	0.05	0.05	179.4	0	
PISO1:SALA CEILING 1 0 10017	SUELOS INTERNOS REV	0.4	0.658	0.8	2.21	0.45	179.4	0	
PISO1:SALA CEILING 1 0 10020	SUELOS INTERNOS REV	0.4	0.658	0.8	0.21	0.21	179.4	0	
PISO1:SALA CEILING 1 0 10021	SUELOS INTERNOS REV	0.4	0.658	0.8	3.75	3.75	179.4	0	
PISO1:SALA CEILING 1 0 10022	SUELOS INTERNOS REV	0.4	0.658	0.8	3.01	3.01	179.4	0	
PISO1:SALA CEILING 1 0 10023	SUELOS INTERNOS REV	0.4	0.658	0.8	6.1	6.1	180	0	
PISO1:SALA CEILING 1 0 10024	SUELOS INTERNOS REV	0.4	0.658	0.8	0.34	0.34	203.96	0	
PISO1:SALA CEILING 1 0 10025	SUELOS INTERNOS REV	0.4	0.658	0.8	0.15	0.15	191.84	0	
PISO1:SALA CEILING 1 0 10026	SUELOS INTERNOS REV	0.4	0.658	0.8	2.21	0.57	180	0	
PISO1:SALA CEILING 1 0 10029	SUELOS INTERNOS REV	0.4	0.658	0.8	3.6	0.04	179.4	0	
PISO1:COCINA PARTITION 3 0 10050	PAREDES INTERNAS REV	0.5	0.756	0.923	13.07	2.9	263.83	90	W
PISO1:COCINA CEILING 1 0 10001	SUELOS INTERNOS REV	0.4	0.658	0.8	0.76	0.76	179.4	0	
PISO1:COCINA CEILING 1 0 10010	SUELOS INTERNOS REV	0.4	0.658	0.8	3.67	3.67	179.4	0	
PISO1:COCINA CEILING 1 0 10011	SUELOS INTERNOS REV	0.4	0.658	0.8	7.78	7.78	179.4	0	
PISO1:COCINA CEILING 1 0 10033	SUELOS INTERNOS REV	0.4	0.658	0.8	0.29	0.29	90	0	

Aperturas exteriores	Construction	Glass Area [m2]	Frame Area [m2]	Divider Area [m2]	Area of One Opening [m2]	Area of Multiplied Openings [m2]	Glass U-Factor [W/m2-K]	Glass SHGC	Glass Visible Transmittance	
PISO2:BANO1 WALL 6 0 0 0 0 0 WIN	VENTANAS - 1001	1.1	0.18	0.04	1.32	1.32	5.871	0.847	0.892	
PISO2:HABITACION1 WALL 2 0 0 0 0 0 WIN	VENTANAS - 1001	5.74	0	0	5.74	5.74	5.871	0.847	0.892	
PISO2:HABITACION1 WALL 3 0 0 0 0 0 WIN	DBL LOE (E2= .1) TINT 6MM/6MM AIR - 1002	1.09	0.18	0.04	1.31	1.31	2.429	0.398	0.444	
PISO2:HABITACION1 WALL 7 0 0 0 0 0 WIN	DBL LOE (E2= .1) TINT 6MM/6MM AIR - 1002	1.09	0.18	0.04	1.31	1.31	2.429	0.398	0.444	
PISO2:OFICINA WALL 4 0 0 0 0 0 WIN	VENTANAS - 1001	1.1	0.18	0.04	1.32	1.32	5.871	0.847	0.892	
PISO2:OFICINA WALL 7 0 0 0 0 0 WIN	VENTANAS - 1001	1.06	0.17	0.04	1.28	1.28	5.871	0.847	0.892	
PISO3:HABITACION2 WALL 4 0 0 0 0 0 WIN	VENTANAS HABITACIONES - 1003	3.97	0.33	0.08	4.38	4.38	3.482	0.738	0.801	
PISO3:HABITACION2 WALL 5 0 0 0 0 0 WIN	VENTANAS - 1001	0.85	0.16	0.04	1.05	1.05	5.871	0.847	0.892	
PISO3:HABITACION2 WALL 8 0 0 0 0 0 WIN	VENTANAS HABITACIONES - 1003	0.82	0.16	0.04	1.02	1.02	3.482	0.738	0.801	
PISO3:BANO2 WALL 2 0 0 0 0 0 WIN	VENTANAS - 1001	1.84	0.23	0.06	2.12	2.12	5.871	0.847	0.892	
PISO3:BANO2 WALL 5 0 0 0 0 0 WIN	VENTANAS - 1001	0.85	0.16	0.04	1.05	1.05	5.871	0.847	0.892	
PISO1:SALA WALL 6 0 0 0 0 1 WIN	VENTANAS - 1001	1.1	0.18	0.04	1.32	2.63	5.871	0.847	0.892	
PISO1:COCINA WALL 2 0 0 0 0 1 WIN	VENTANAS - 1001	1.1	0.18	0.04	1.33	1.33	5.871	0.847	0.892	
PISO1:COCINA WALL 2 0 0 1 0 0 WIN	VENTANAS - 1001	1.1	0.18	0.04	1.32	1.32	5.871	0.847	0.892	
PISO1:COCINA WALL 4 0 0 0 0 1 WIN	VENTANAS - 1001	1.1	0.18	0.04	1.32	1.32	5.871	0.847	0.892	
PISO1:COCINA WALL 4 0 0 1 0 0 WIN	VENTANAS - 1001	1.1	0.18	0.04	1.32	1.32	5.871	0.847	0.892	
Total or Average							29.81	5.135	0.787	0.836
North Total or Average							6.33	5.156	0.753	0.799
Non-North Total or Average							23.48	5.129	0.797	0.846

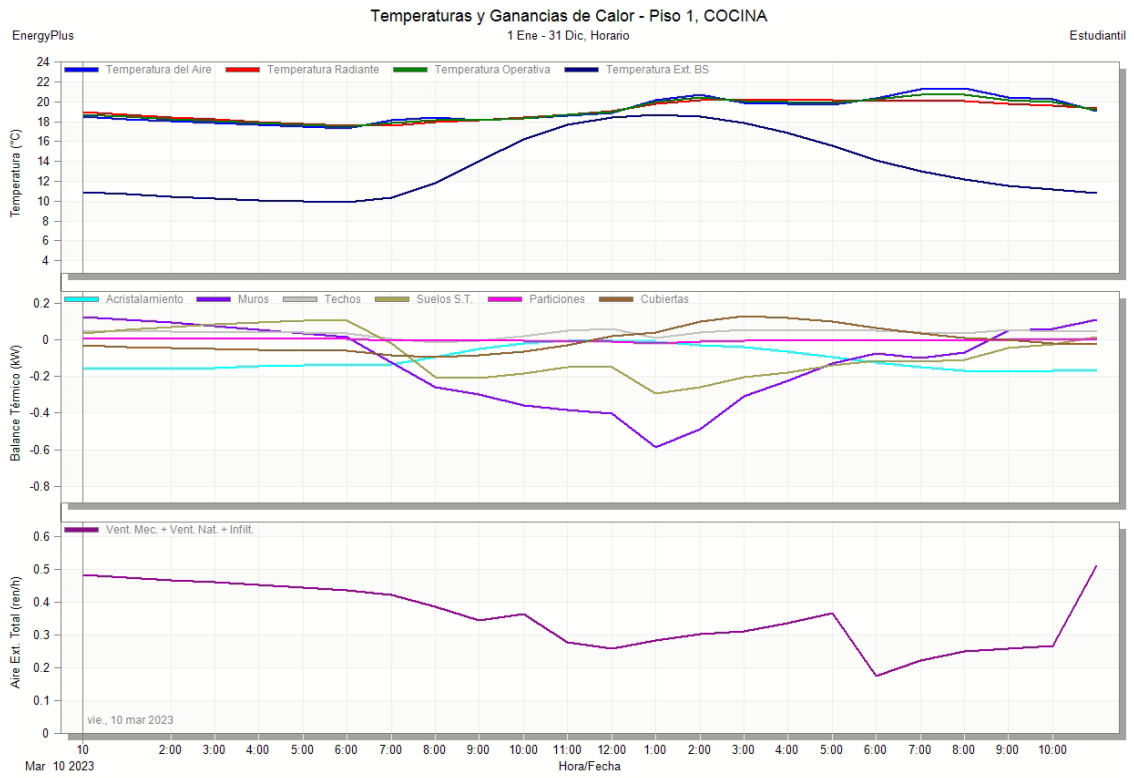
Exterior Door	Construction	U-Factor [W/m2-K]	U-Factor [W/m2-K]	Gross Area [m2]	Parent Surface
PISO1:SALA_WALL_3_0_0_0_0_DOOR	PUERTA EXTERIOR DEL PROYECTO	2.995	5.429	2.48	PISO1:SALA_WALL_3_0_0
Interior Door					
PISO2:BANO1 PARTITION 5 0 0 0 0 0 DOOR	PUERTA INTERIOR	2.36	5.429	1.8	PISO2:BANO1 PARTITION 5 0 0
PISO2:HABITACION1 PARTITION 4 0 0 0 0 0 HOLE	IRTSURFACE	4.008	100	1.8	PISO2:HABITACION1 PARTITION 4 0 0
PISO2:OFICINA PARTITION 8 0 0 0 0 0 DOOR 10009	PUERTA INTERIOR	2.36	5.429	1.8	PISO2:OFICINA PARTITION 8 0 10007
PISO2:OFICINA PARTITION 3 0 0 0 0 0 HOLE 10017	IRTSURFACE	4.008	100	1.8	PISO2:OFICINA PARTITION 3 0 10015
PISO2:OFICINA FLOOR 0 0 0 0 0 1 HOLE	IRTSURFACE	4.008	100	0.92	PISO2:OFICINA FLOOR 0 0 0
PISO2:OFICINA FLOOR 0 0 0 1 0 1 HOLE	IRTSURFACE	4.008	100	0.84	PISO2:OFICINA FLOOR 0 0 0
PISO2:OFICINA FLOOR 0 0 7 0 7 1 HOLE	IRTSURFACE	4.008	100	0.88	PISO2:OFICINA FLOOR 0 0 7
PISO2:OFICINA FLOOR 0 0 7 1 7 1 HOLE	IRTSURFACE	4.008	100	0.77	PISO2:OFICINA FLOOR 0 0 7
PISO2:OFICINA FLOOR 0 0 8 0 8 0 HOLE	IRTSURFACE	4.008	100	1.38	PISO2:OFICINA FLOOR 0 0 8
PISO2:OFICINA FLOOR 0 0 8 1 8 0 HOLE	IRTSURFACE	4.008	100	0.52	PISO2:OFICINA FLOOR 0 0 8
PISO2:OFICINA FLOOR 0 0 8 2 8 0 HOLE	IRTSURFACE	4.008	100	1.67	PISO2:OFICINA FLOOR 0 0 8
PISO2:OFICINA CEILING 1 0 8 0 8 0 HOLE	IRTSURFACE	4.008	100	2.69	PISO2:OFICINA CEILING 1 0 8
PISO2:OFICINA CEILING 1 0 8 1 8 0 HOLE	IRTSURFACE	4.008	100	1.02	PISO2:OFICINA CEILING 1 0 8
PISO2:OFICINA CEILING 1 0 8 2 8 0 HOLE	IRTSURFACE	4.008	100	3.93	PISO2:OFICINA CEILING 1 0 8
PISO3:HABITACION2 FLOOR 0 0 0 0 0 0 HOLE 10044	IRTSURFACE	4.008	100	2.69	PISO3:HABITACION2 FLOOR 0 0 10042
PISO3:HABITACION2 FLOOR 0 0 0 0 0 0 HOLE 10045	IRTSURFACE	4.008	100	1.02	PISO3:HABITACION2 FLOOR 0 0 10042
PISO3:HABITACION2 FLOOR 0 0 0 0 0 0 HOLE 10046	IRTSURFACE	4.008	100	3.93	PISO3:HABITACION2 FLOOR 0 0 10042
PISO1:SALA PARTITION 2 0 0 0 0 0 HOLE	IRTSURFACE	4.008	100	10.17	PISO1:SALA PARTITION 2 0 0
PISO1:SALA CEILING 1 0 0 1 0 1 HOLE 10019	IRTSURFACE	4.008	100	0.92	PISO1:SALA CEILING 1 0 10017
PISO1:SALA CEILING 1 0 0 1 0 1 HOLE 10020	IRTSURFACE	4.008	100	0.84	PISO1:SALA CEILING 1 0 10017
PISO1:SALA CEILING 1 0 0 1 0 1 HOLE 10028	IRTSURFACE	4.008	100	0.88	PISO1:SALA CEILING 1 0 10026
PISO1:SALA CEILING 1 0 0 1 0 1 HOLE 10029	IRTSURFACE	4.008	100	0.77	PISO1:SALA CEILING 1 0 10026
PISO1:SALA CEILING 1 0 0 0 0 0 HOLE 10031	IRTSURFACE	4.008	100	1.38	PISO1:SALA CEILING 1 0 10029
PISO1:SALA CEILING 1 0 0 0 0 0 HOLE 10032	IRTSURFACE	4.008	100	0.52	PISO1:SALA CEILING 1 0 10029
PISO1:SALA CEILING 1 0 0 0 0 0 HOLE 10033	IRTSURFACE	4.008	100	1.67	PISO1:SALA CEILING 1 0 10029
PISO1:COCINA PARTITION 3 0 0 0 0 0 HOLE 10052	IRTSURFACE	4.008	100	10.17	PISO1:COCINA PARTITION 3 0 10050

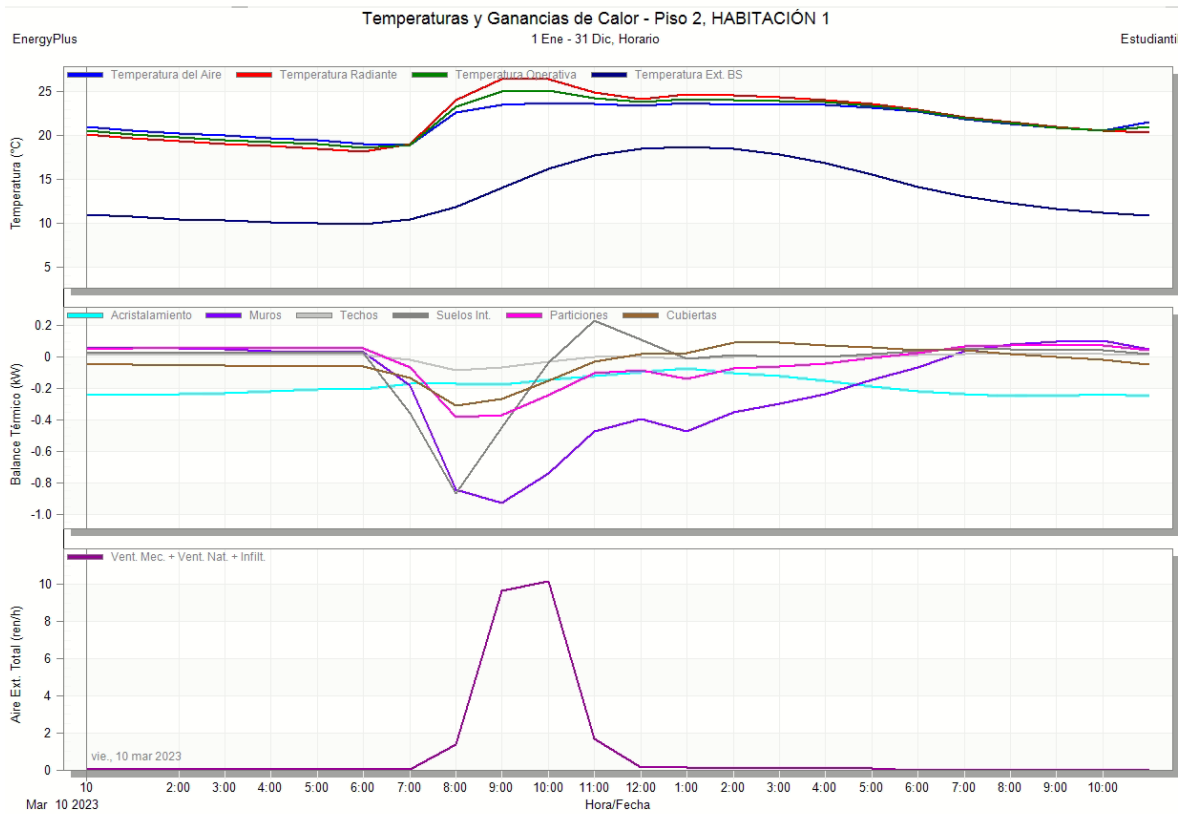
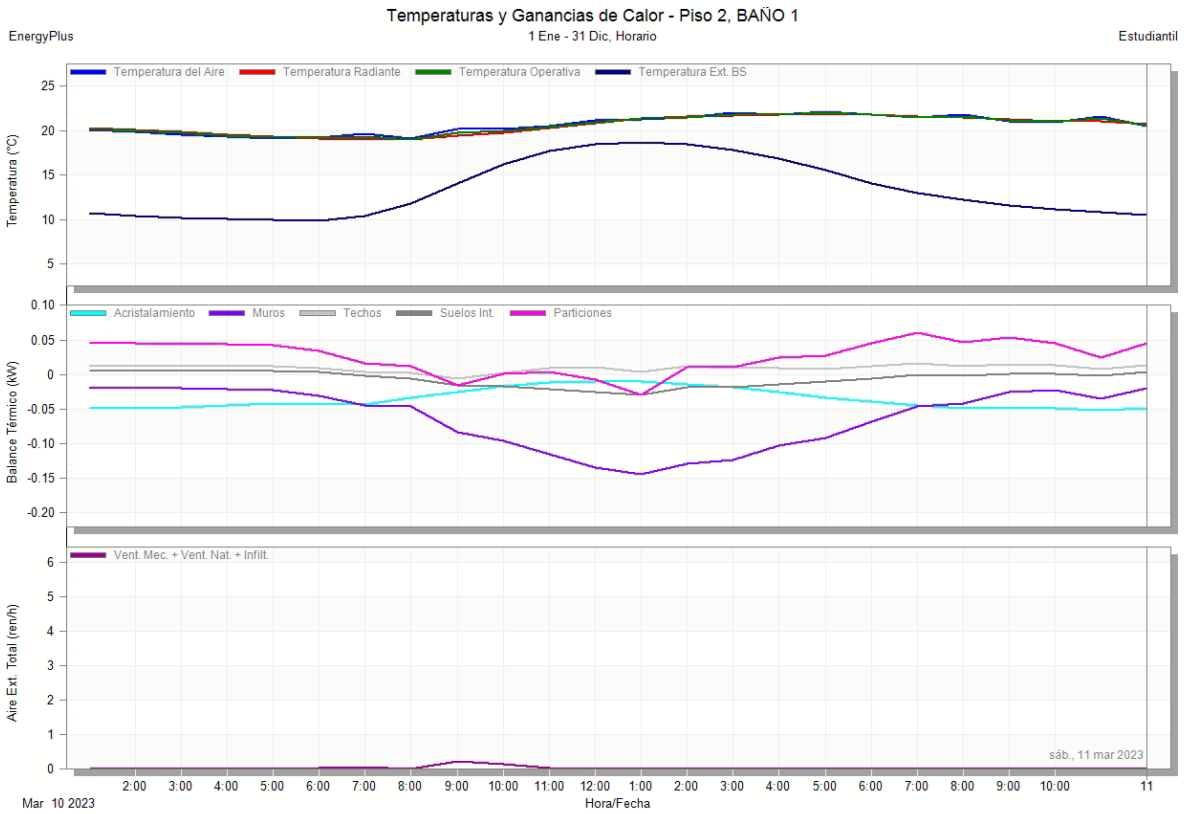
Anexo VI. Superficies de la zona a analizar.

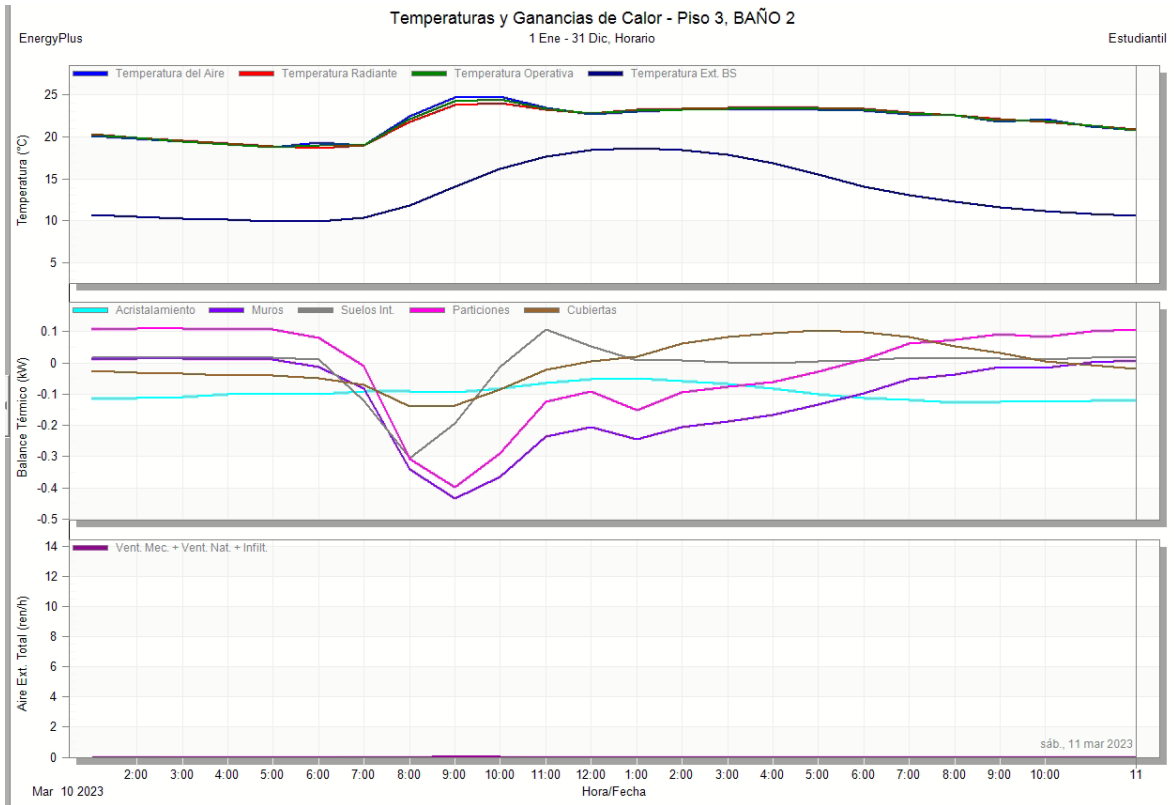
Zona: Sala	
<p>Paredes: 3u, bloque de 0.15 m de espesor Muro enterrado: 1u, poliuretano de 0.05 m de espesor y concreto reforzado de 0.15 m de espesor. Particiones: 1u, virtual con la zona Cocina Ventanas: 2u, área = 1.316 m² cada una, espesor de 4 mm. Puerta: 1u, área = 2.638 m², madera de 0.035 m. Agujeros: 1 (escaleras) Actividad: Descanso, actividades sociales.</p>	
Pared Norte Oeste (3.761 m ²)	Pared Norte Este (7.108 m ²)
	
Pared Norte Oeste (17.177 m ²)	Pared Sur (15.105 m ²)
	
Piso (25.527 m ²)	Techo (25.527 m ²)
	
Zona: Habitación 2	
<p>Paredes: 3u, bloque de 0.15 m de espesor Muro adiabático: 1u Particiones: 2, la zona Baño Ventanas: 2u, área = 1.316 m² cada una, espesor de 4 mm. Ventanal: 1u, área = 6.147 m² cada una, espesor de 4 mm. Agujeros: 1 (escaleras) Actividad: Descanso.</p>	
Pared Norte Oeste (3.761 m ²)	Pared Norte Este (10.647 m ²)
	
Pared Este (7.651 m ²)	Particiones (13.502 m ²)



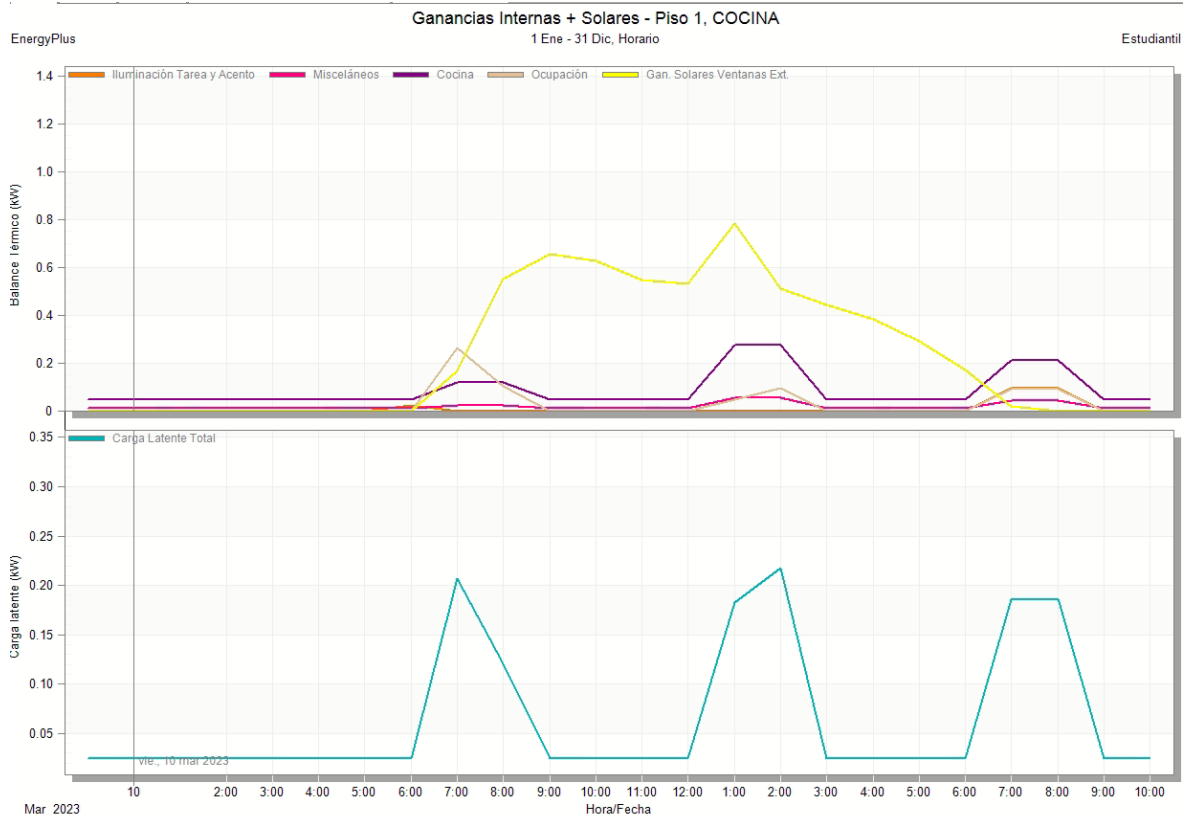
Anexo VII. Balance de calor en zonas

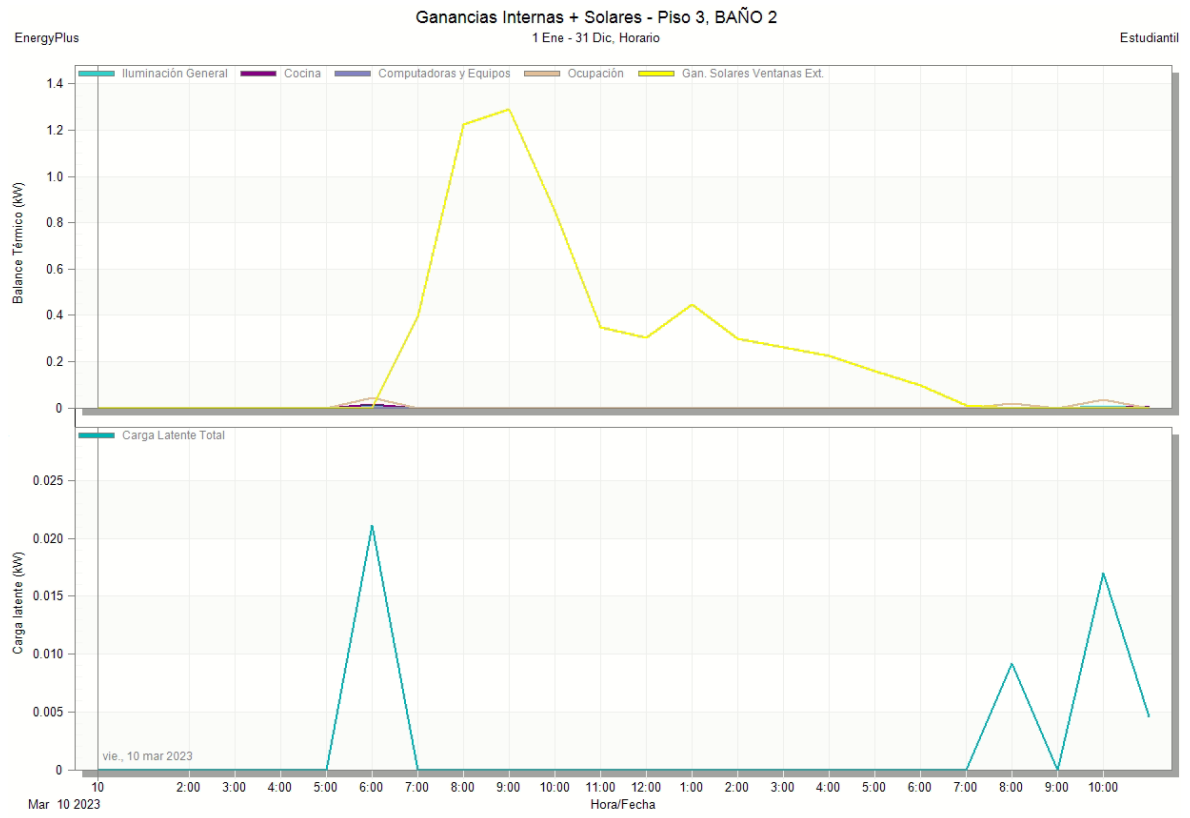
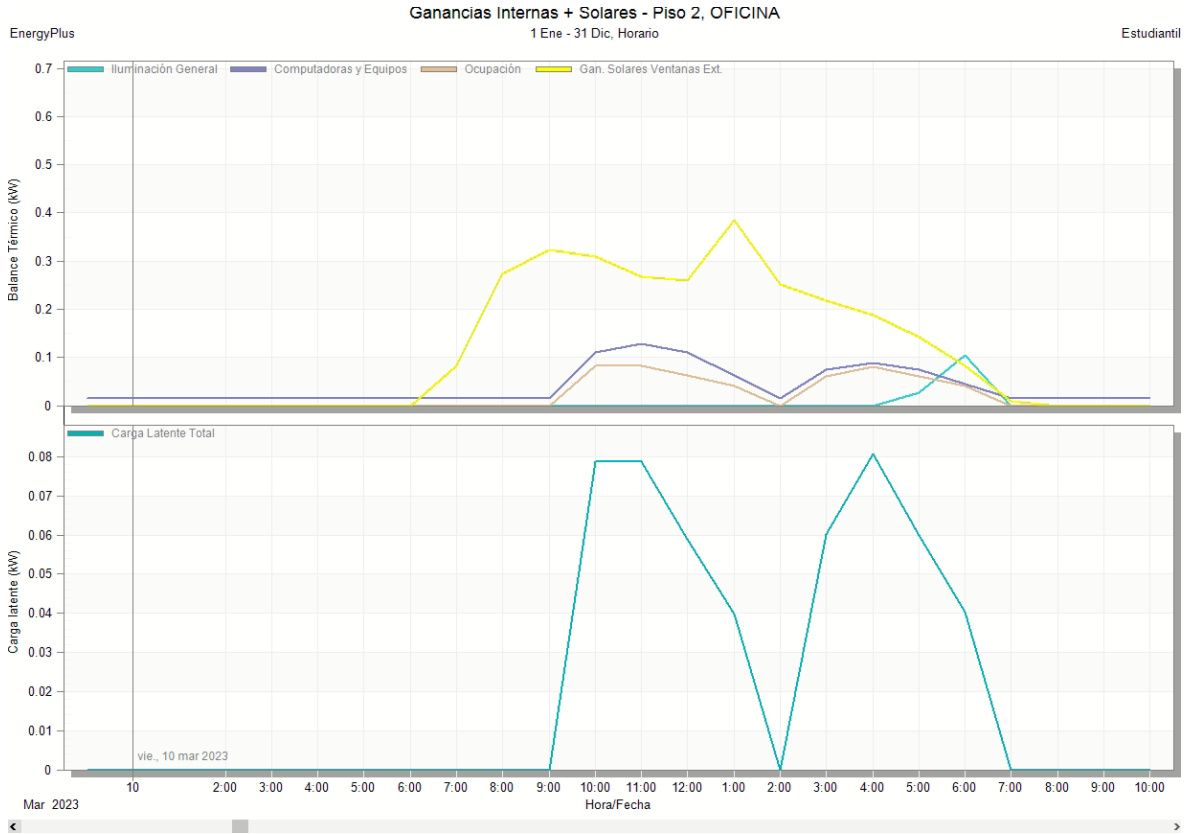


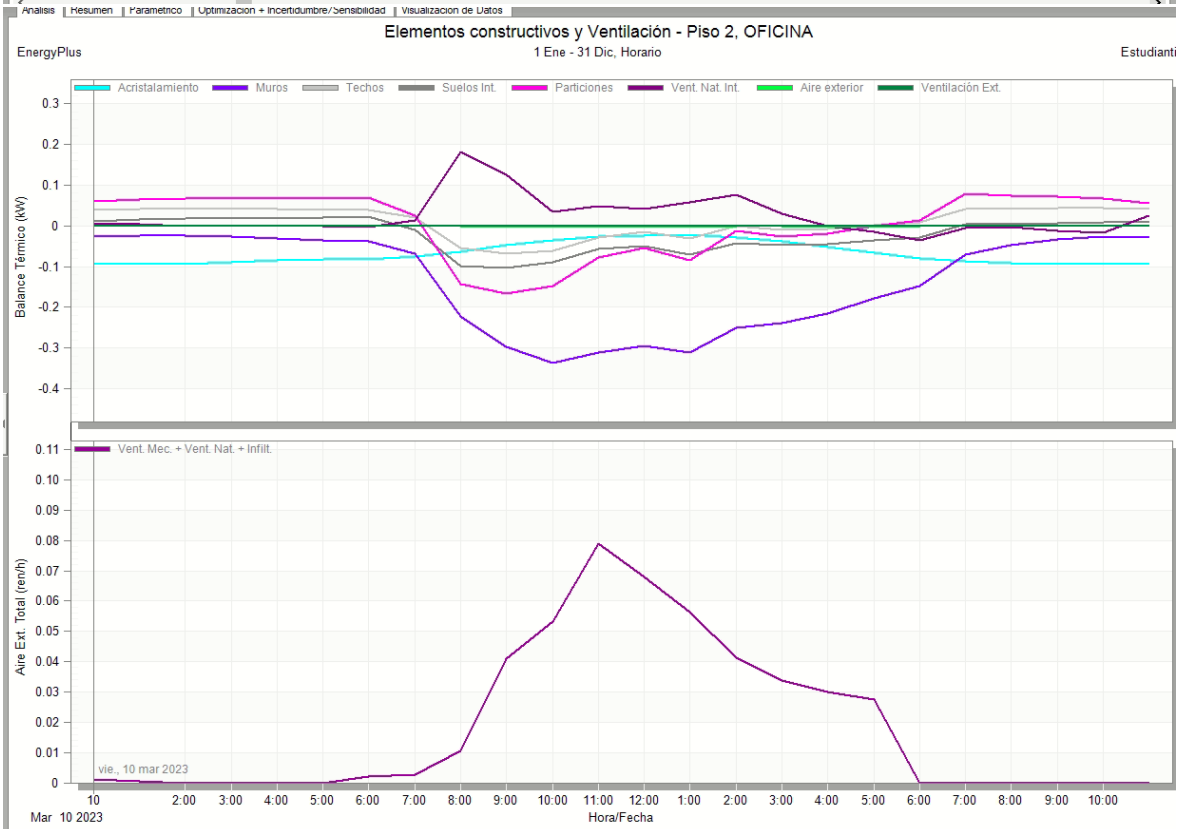
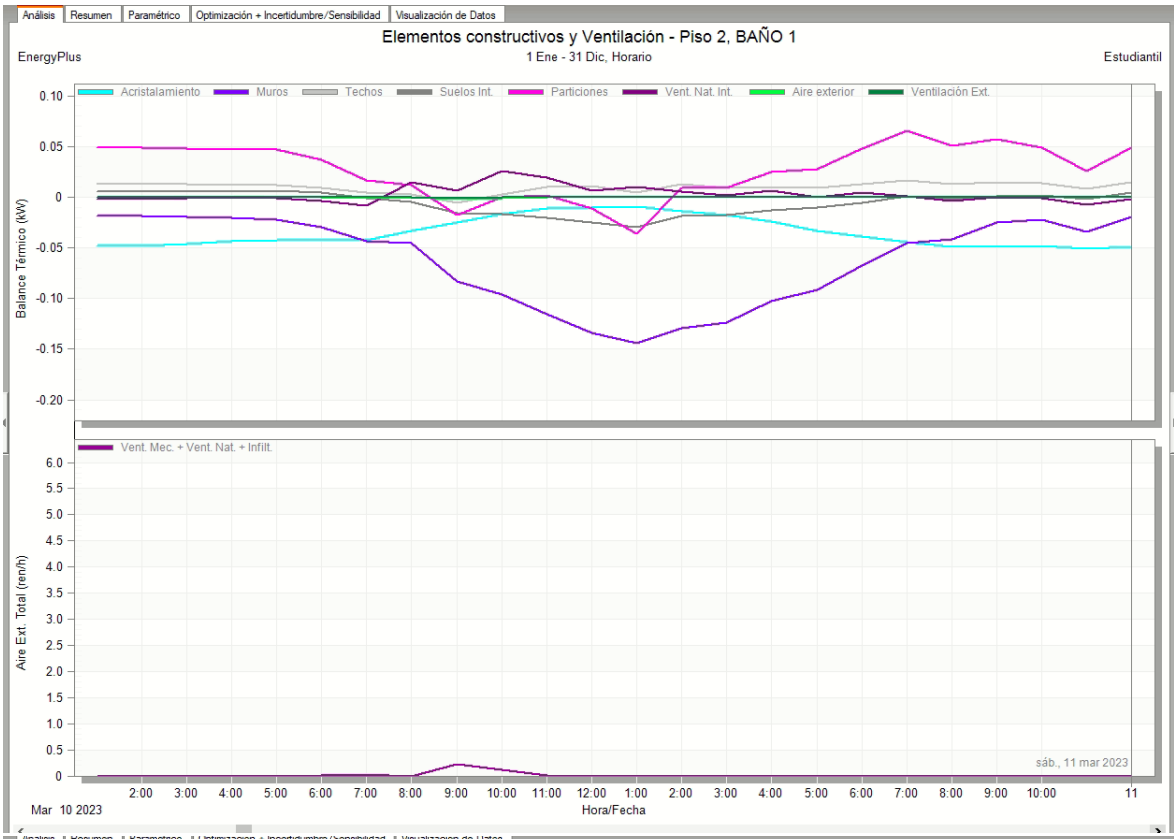


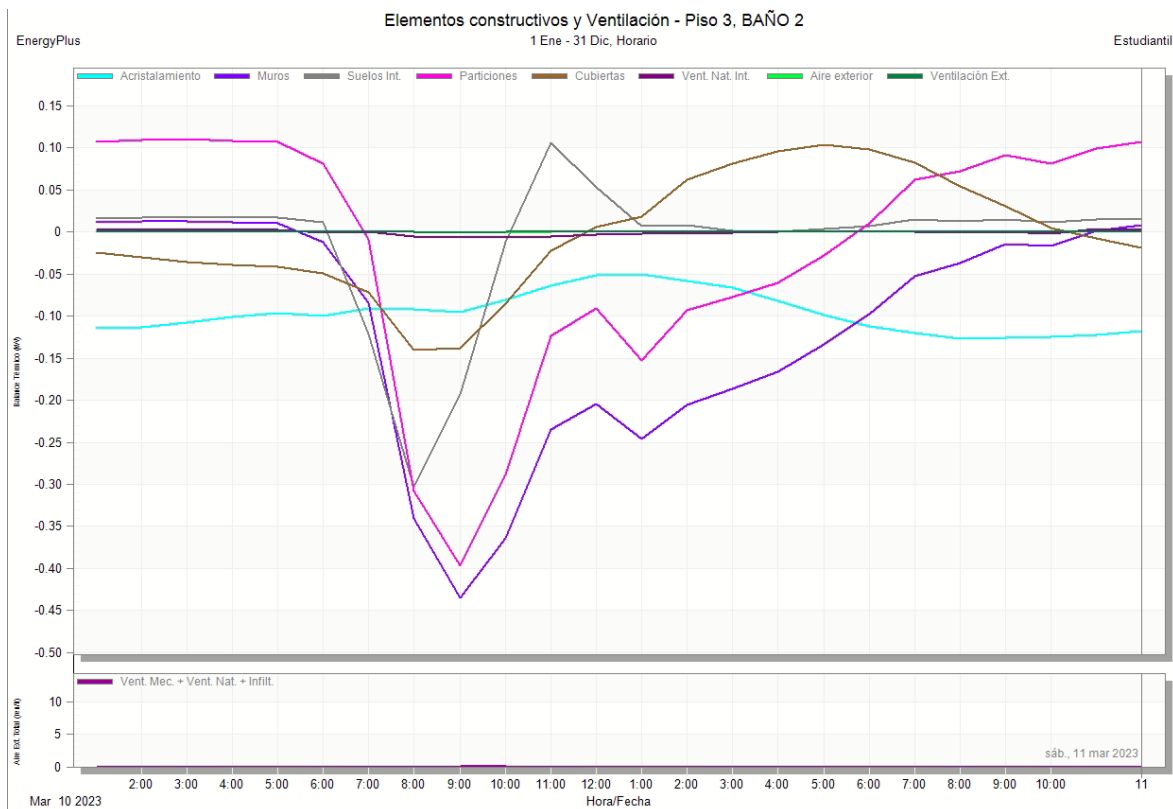


Anexo VIII. Ganancias internas en zonas









Anexo X. Horas de desconfort simuladas y calculadas.

Zona	ASHRAE55 90% Acceptability Limits [Hours]			ASHRAE55 80% Acceptability Limits [Hours]		
	Simuladas	Calculadas	Diferencia (%)	Simuladas	Calculadas	Diferencia (%)
Baño 1	547.85	551	0.57%	410.35	1119	63.33%
Habitación 1	2989.55	2758	-8.40%	2740.15	2307	-18.78%
Oficina	757.6	566	-33.85%	496.95	356	-39.59%
Habitación 2	2925.3	2596	-12.68%	2621	2109	-24.28%
Baño 2	276.75	551	49.77%	213.1	797	73.26%
Sala	980.4	974	-0.66%	462.05	487	5.12%
Cocina	873.6	1091	19.93%	719.45	871	17.40%

La Tabla indica que el error entre resultados llega a ser significativo ya que el tiempo de ocupación es una variable esencial para medir el confort térmico de los ocupantes. Las mayores diferencias se dan en las zonas donde la ocupación es corta pero repetitiva por pequeños lapsos de tiempo como los baños. También existen diferencias debido al rango de confort tomado para la simulación considera unos rangos de confort diarios para cada porcentaje de aceptabilidad, mientras que en el análisis manual se toman como valores constantes las temperaturas máximas y mínimas de los rangos de confort.

Anexo XI. Confort térmico por zonas según Set Point (90% aceptabilidad).

