



**Pontificia Universidad
Católica del Ecuador**

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

SEDE MANABÍ

CARRERA DE ARQUITECTURA

TRABAJO DE TITULACIÓN

**EVALUACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR EN LA FACHADA NORTE- SUR POR
MEDIO DE DESIGNBUILDER. CASO DE ESTUDIO: BLOQUE DE ALIMENTOS Y
ARQUITECTURA DE LA PUCE, MANTA.**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

**DISEÑO, INFRAESTRUCTURA Y SISTEMAS SOCIALES Y AMBIENTALES PARA
UN HÁBITAT SOSTENIBLE**

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN

**PLANIFICACIÓN URBANO - ARQUITECTÓNICA PARA TERRITORIOS EN
DESARROLLO**

PREVIO AL TÍTULO DE

ARQUITECTA

AUTORA

SOPHIA GABRIELA GALÁRRAGA CORRAL

TUTORA

ARQ. AIMEE DEL ROCIO DELGADO CRUZ

PORTOVIEJO, ABRIL 2025

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de integración curricular, certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, cumpliendo la Normativa del Trabajo de Integración Curricular; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación.

En la ciudad de Portoviejo a los 01 días del mes de abril de dos mil veinte y cinco.

Arq. Aimee del Rocio Delgado Cruz.

1105632358

Tutora

ACTA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador aprueba el presente trabajo de integración curricular en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí.

En la ciudad de Portoviejo a los 01 días del mes de abril de dos mil veinte y cinco.

Arq. Jorge Leonardo Cevallos Carrillo.
C.C. 1309490850
Lector Revisor(a)

Arq. César Andrés Cabrera Andrade.
C.C. 1315606408
Lector Revisor (a)

Arq. Aimee del Rocio Delgado Cruz.
C.C. 1105632358
Tutora

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Este manuscrito no contiene ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en forma de información de soporte que ha sido debidamente citada en mi trabajo.

Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de este trabajo de integración curricular infringe los derechos de autor de nadie.

En la ciudad de Portoviejo a los 01 días del mes de abril de dos mil veinte y cinco.

Sophia Gabriela Galárraga Corral.

C.C. 1312460908

Autora

DECLARACIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos con el fin de promover la divulgación de mis resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo.

En la ciudad de Portoviejo a los 01 días del mes de abril de dos mil veinte y cinco.

Sophia Gabriela Galárraga Corral.

C.C. 1312460908

Autora

DEDICATORIA

A mi familia.

Sophia Gabriela Galárraga Corral.

C.C. 1312460908

Autora

AGRADECIMIENTOS

A Dios, mi Padre Celestial, por ser mi fortaleza y guía en cada paso de este camino. Gracias por darme la vida y la oportunidad de alcanzar esta meta. A mi familia, por su apoyo incondicional en todo momento. A mis padres, por su esfuerzo, dedicación y por estar siempre ahí, impulsándome a seguir adelante. A mi hermana, por su compañía y por ser un gran apoyo en los momentos más difíciles. A mis docentes, por compartir sus conocimientos y enseñanzas a lo largo de mi formación. A la arquitecta Patricia Vargas, por su paciencia durante la carrera y en los días de crisis en taller. A mi tutora de tesis, Aimee Delgado, por su orientación, paciencia y por haberme acompañado con dedicación en este proceso. Y a todas las personas especiales que forman parte de mi vida y que, de una u otra manera, me han ayudado a salir adelante.

Sophia Gabriela Galárraga Corral.

C.C. 1312460908

Autora

Resumen

El trabajo de titulación presenta un análisis de la radiación solar directa en la fachada nortesur del bloque de alimentos y arquitectura de la PUCE, campus Manta; con el objetivo de diseñar una propuesta de control solar pasivo en la fachada para reducir la incidencia de radiación solar y mejorar el confort térmico. El bloque se caracteriza por el uso predominante de vidrio traslúcido; lo que genera sobrecalentamiento interior y una alta dependencia de sistemas mecánicos activos como el aire acondicionado, debido a la falta de estrategias de diseño bioclimático. Con un enfoque cuantitativo, se utilizaron simulaciones en el software *DesignBuilder* para evaluar el rendimiento térmico; considerando la materialidad y configuración geométrica del edificio en la fachada más expuesta a la radiación solar. A partir de los resultados obtenidos, se propone dos estrategias de control solar pasivo: una consiste en aleros horizontales extendidos; y la otra, en celosías combinadas horizontales y verticales; concluyendo que la segunda propuesta es más eficiente y aporta la mejora del confort térmico. El estudio finaliza con conclusiones y recomendaciones para optimizar el confort térmico del espacio.

Palabras clave: radiación solar, confort térmico, diseño pasivo, protección solar, envolvente arquitectónica, bioclimática

Abstract

The thesis presents an analysis of direct solar radiation on the north-south facade of the food and architecture block at PUCE, Manta campus, with the aim of designing a passive solar control proposal for the facade to reduce solar radiation incidence and improve thermal comfort. The block is characterized by the predominant use of translucent glass, which generates interior overheating and a high dependence on active mechanical systems such as air conditioning, due to the lack of bioclimatic design strategies. With a quantitative approach, simulations were used in *DesignBuilder* software to evaluate thermal performance, considering the materiality and geometric configuration of the building on the facade most exposed to solar radiation. Based on the results obtained, two passive solar control strategies are proposed: one consists of extended horizontal eaves, and the other, of combined horizontal and vertical louvers, concluding that the second proposal is more efficient and improves thermal comfort. The study concludes with recommendations to optimize the thermal comfort of the space.

Keywords: solar radiation, thermal comfort, passive design, solar protection, architectural envelope, bioclimatic.

Tabla de Contenidos

Introducción	1
Planteamiento del problema.....	1
Problema General.....	1
Hipótesis Central.....	1
Justificación	1
Estado de la cuestión.....	2
Formulación	4
Problema Especifico	4
Pregunta de Investigación	5
Marco Teórico.....	5
Objetivos	8
Métodos.....	9
Diseño del Objeto	9
Modelo de Análisis	9
Unidad de Análisis.....	10
Variables y Dimensiones	10
Fuentes de Datos (Recolección).....	10
Diseño de los Procedimientos.....	11
Campo de Análisis	11

Unidad de Observación.....	12
Técnicas (Simulación)	14
Instrumentos y Recursos	14
Indicadores.....	15
Resultados.....	15
Recolección y Procesamiento	15
Tratamiento y Análisis.....	25
Propuesta 1: aleros horizontales extendidos.	25
Propuesta 2: celosías combinadas verticales y horizontales	28
Discusión.....	31
Conclusiones.....	34
Recomendaciones	36
Referencias Bibliográficas.....	37
Anexos	39

Índice de Tablas

Tabla 1 Zona climática de la ciudad.....	16
Tabla 2 Datos de temperatura mensual	17
Tabla 3 Datos de humedad relativa mensual.....	17
Tabla 4 Datos de bulbo seco mensual.....	18
Tabla 5 Datos de bulbo húmedo mensual	18
Tabla 6 Datos de temperatura de suelo mensual.....	18
Tabla 7 Propiedades de los materiales	21

Índice de Figuras

Figura 1 Irradiancia espectral.....	6
Figura 2 Modelo de análisis, mapa térmico	10
Figura 3 Implantación, PUCE, Manta.....	11
Figura 4 Planta nivel +0.00.....	12
Figura 5 Planta nivel +3.91	13
Figura 6 Planta nivel +7.82.....	13
Figura 7 Fachada del bloque alimentos y arquitectura	14
Figura 8 Escala de radiación solar	15
Figura 9 Escala de radiación de temperatura	15
Figura 10 Zonas climáticas de algunas ciudades	16
Figura 11 Radiación solar	19

Figura 12 Proyección estereográfica.....	19
Figura 13 Esquema de impacto de rayos solares	20
Figura 14 Esquema del campus Manta, materiales.....	21
Figura 15 Levantamiento del bloque.	22
Figura 16 Configuración de plantilla.	22
Figura 17 Render del estado actual, PUCE, Manta.	24
Figura 18 Mapa térmico de radiación.	24
Figura 19 Mapa térmico de temperatura.....	24
Figura 20 Render de la propuesta 1.	25
Figura 21 Mapa térmico de radiación.	26
Figura 22 Mapa térmico de temperatura.....	27
Figura 23 Axonometría y anclaje de la propuesta 1	27
Figura 24 Render de la propuesta 2.	28
Figura 25 Mapa térmico de radiación.....	29
Figura 26 Mapa térmico de temperatura.....	29
Figura 27 Axonometría y anclaje de la propuesta 2.	30

Introducción

Planteamiento del problema

Problema General

La radiación solar directa constituye uno de los mayores retos. desafíos para los edificios en climas cálidos, especialmente en aquellos donde las envolventes no han sido diseñadas con criterios bioclimáticos. Al incidir sobre la envolvente, genera un aumento considerable en las temperaturas interiores debido a la transferencia de calor a través de materiales con alta transmisividad térmica, como el vidrio y otros de características similares.

El diseño contemporáneo de las fachadas suele priorizar la estética sobre la función de la envolvente, incorporando amplios acristalamientos sin considerar sus implicaciones térmicas. La ausencia de estrategias de control solar pasivo, como protecciones fijas y móviles, o materiales de baja transmitancia, incrementa la ganancia de calor, exponiendo los interiores a una alta radiación solar y afectando el confort térmico. Esto no solo compromete el bienestar de los usuarios, sino que también aumenta la demanda de climatización artificial, reduciendo la sostenibilidad del edificio.

Hipótesis Central

La integración de estrategias de diseño de control solar pasivo ayuda a la envolvente arquitectónica a mejorar los efectos de la radiación solar, minimizan el sobrecalentamiento interior, mejoran el confort térmico de los ocupantes de los edificios en climas cálidos.

Justificación

La envolvente de un edificio juega un papel crucial, funcionando como un sistema tridimensional dinámico que regula la relación entre las condiciones externas e internas. Comprender la radiación solar permite optimizar la orientación del edificio, seleccionar

materiales con propiedades térmicas adecuadas y diseñar fachadas que controlen la incidencia solar directa, promoviendo estrategias pasivas para mejorar el confort térmico.

Los hallazgos de esta investigación pueden contribuir tanto teórica como prácticamente al diseño arquitectónico bioclimático. En la práctica, ofrecen soluciones aplicables a proyectos actuales y futuros, mientras que, en el ámbito teórico, aportan información sobre el desempeño de la envolvente ante la radiación solar. Estos resultados pueden servir de base para la implementación de diseños más eficientes, minimizando la climatización artificial y fomentando un enfoque arquitectónico equilibrado entre funcionalidad y bioclimática.

Estado de la cuestión

Espinosa et al. (2011) resalta la importancia de utilizar simulaciones solares para mejorar el diseño de viviendas sociales, tomando en cuenta factores como la radiación solar y las condiciones climáticas locales. Este enfoque busca optimizar el rendimiento térmico y energético de las viviendas, utilizando estrategias pasivas que pueden reducir el consumo de energía y mejorar el confort de los habitantes.

Aguillón et al. (2019) analizaron el impacto de la radiación solar en viviendas sociales en Guanajuato, evaluando cómo la exposición solar afecta la temperatura interior y la eficiencia energética de estas viviendas. El análisis incluye el uso de estrategias pasivas para mitigar los efectos térmicos y mejorar el confort, promoviendo la implementación de soluciones sostenibles en el diseño de viviendas de interés social.

Fernández et al. (2021) examinan el desempeño térmico de los edificios en una región específica, considerando el clima y los materiales de construcción. Los autores analizan cómo las características edilicias afectan la eficiencia energética en un entorno particular, utilizando herramientas de simulación y análisis para evaluar el confort térmico y el consumo

energético. Este estudio contribuye a mejorar las condiciones de diseño en áreas con clima similar, promoviendo prácticas arquitectónicas más sostenibles.

Por otro lado, Gómez et al. (2009) desarrollaron un índice de desempeño para evaluar edificaciones en climas cálidos. Este índice destacó que la orientación, geometría pueden reducir el calentamiento interno hasta en un 35%, reforzando la efectividad de soluciones pasivas en diseño arquitectónico.

Martínez et al. (2016) abordan cómo la tecnología LiDAR se utiliza para analizar la irradiación solar en fachadas de edificios altos. LiDAR proporciona datos precisos sobre las formas de los edificios y su entorno, lo que permite realizar simulaciones detalladas de la incidencia solar en áreas urbanas densas. Este enfoque es útil para optimizar el diseño arquitectónico, mejorar la eficiencia energética y reducir el consumo de recursos en zonas con estructuras de gran altura.

Santamaría et al. (2023) analizaron el diseño de elementos de protección solar en fachadas acristaladas en Mexicali, Baja California. Mediante simulaciones en *EnergyPlus*, evaluaron la reducción del consumo energético y el impacto térmico. Los resultados muestran que los dispositivos de sombreado reducen la temperatura operativa hasta 5°C, aumentan el confort térmico anual y disminuyen el consumo energético, destacando la importancia del diseño basado en geometría solar.

Ahmed et al. (2017) evaluaron estrategias pasivas utilizando el programa especializado *EnergyPlus* en edificios de oficinas de Karachi. Su estudio demostró que las ventanas orientadas al sur reducen la ganancia de calor en verano y maximizan la captación de energía solar en invierno, ilustrando la importancia de la orientación de las aberturas en el rendimiento térmico.

Villamar et al. (2015) estudiaron la incidencia de la radiación solar en un bloque de la Universidad Estatal de Milagro. Identificaron que la alta radiación solar durante ciertas horas genera incrementos en la temperatura interna, afectan el confort térmico y la productividad. Por eso proponen mejoras en los sistemas de ventilación y acondicionamiento.

En ámbitos más cercanos, Pérez et al. (2020) evalúa las condiciones climáticas de Manta y cómo impactan en el diseño de edificios públicos. Se centra en el uso de estrategias pasivas para mejorar la eficiencia energética y el confort térmico, considerando factores como la orientación, ventilación natural y protección solar. Este análisis proporciona una base para optimizar el rendimiento energético y la sostenibilidad en la arquitectura local.

En cuanto a lo metodológico, Villalba et al. (2016) realizaron un análisis comparativo de *DesignBuilder* y *EnergyPlus*. que demostró que *DesignBuilder* proporciona mayor precisión en simulaciones avanzadas al incorporar variables climáticas, físicas y energéticas. Su capacidad para modelar estrategias pasivas y activas optimiza el diseño sostenible.

En síntesis, los estudios revisados subrayan que la integración de estrategias pasivas sobre orientación y selección de materiales con herramientas de simulación permite diseñar estrategias de confort térmico para los edificios. La precisión de los programas *EnergyPlus* y *DesignBuilder* permite tomar decisiones en el diseño sostenible, poniendo de relieve la importancia de combinar estrategias bioclimáticas y herramientas de simulación para abordar retos en la sostenibilidad arquitectónica.

Formulación

Problema Especifico

El edificio del Bloque de Alimentos y Arquitectura posee una infraestructura que responde a las condicionantes especiales para las que fue diseñado, pero el uso extensivo de vidrio sin control solar en su envolvente provoca alta exposición a la radiación solar directa

en la fachada norte-sur. Esto genera un sobrecalentamiento interior, una mayor dependencia de los sistemas de aire acondicionado y confort térmico deficiente para los ocupantes.

Esta problemática se ve agravada por el clima cálido y húmedo de Manta, caracterizado por temperaturas elevadas durante gran parte del año y una intensa radiación solar. Estas condiciones hacen aún más evidente la necesidad de evaluar el rendimiento térmico del edificio, considerando las limitaciones de su diseño actual y la importancia de implementar estrategias pasivas que mejoren su comportamiento térmico.

Pregunta de Investigación

Con lo anterior, surge la pregunta: ¿cuál es la estrategia de control solar pasivo más efectiva para reducir la incidencia de la radiación solar en la fachada del Bloque de Alimentos y Arquitectura de la PUCE, sede Manabí, campus Manta: aleros horizontales extendidos o celosías combinadas horizontales y verticales?

Marco Teórico

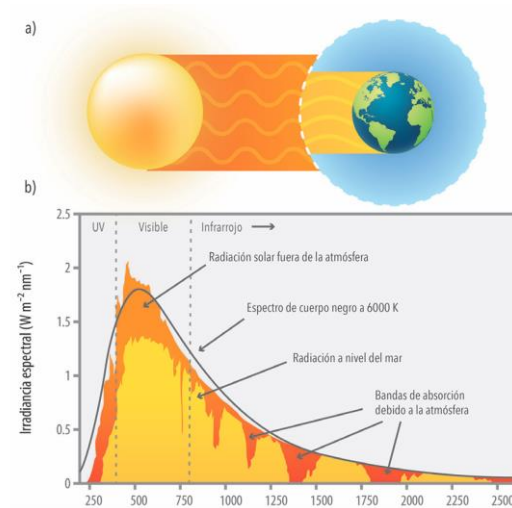
La radiación solar es la energía que el sol emite en forma de ondas electromagnéticas, abarcando distintos tipos de radiación, como la luz visible, la infrarroja y la ultravioleta. Es la principal fuente de energía del planeta y tiene un impacto directo en el clima, la temperatura y el desempeño térmico de las edificaciones.

Los primeros análisis sobre la radiación térmica surgieron a finales del siglo XIX, cuando científicos como Joseph Stefan y Ludwig Boltzmann desarrollaron la Ley de Stefan-Boltzmann en 1879. Esta ley explica que un cuerpo negro, es decir, un objeto que absorbe toda la radiación que recibe, emite energía térmica en proporción a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. Gracias a este principio, se comprende mejor cómo los cuerpos celestes, incluyendo planetas y estrellas, emiten radiación. Lo anterior se visualiza en la Figura 1, donde se puede ver en la sección “a” el paso y absorción por la atmósfera terrestre y

la sección “b” son las curvas espectrales de la intensidad solar, las bandas de absorción y las curvas de cuerpo negro equivalente a la radiación solar.

Figura 1

Irradancia espectral



Nota. Tomado de Lira (2017).

La ley de desplazamiento de Wien establece que la longitud de onda en la que la radiación emitida por un cuerpo alcanza su máximo se desplaza hacia longitudes de onda más cortas cuando la temperatura del cuerpo aumenta. Por ejemplo, cuando un objeto se calienta, puede pasar de emitir luz azul (temperatura baja) a luz amarilla, verde o incluso roja (temperaturas más altas). En otras palabras, a medida que un objeto se calienta, emite más radiación en frecuencias más altas.

Posteriormente, los científicos clasificaron la radiación solar según cómo interactúa con la atmósfera terrestre. La radiación directa llega directamente a la tierra sin ser alterada por la atmósfera, lo que aumenta la intensidad de la luz y el calor. Este tipo de radiación es más evidente en áreas despejadas y en lugares con pocas nubes, y ayuda a entender el fenómeno del sobrecalentamiento de los edificios. En cambio, la radiación difusa se produce

cuando la radiación solar se dispersa en la atmósfera por la presencia de partículas y moléculas. Esta radiación llega a la superficie terrestre desde varias direcciones y tiene una menor intensidad que la radiación directa. Cuando ambas, la directa y la difusa, se combinan, se forma la radiación global, que es la cantidad total de energía solar que incide sobre una superficie.

Después de entender cómo se distribuye la radiación solar, es crucial evaluar su impacto sobre la Tierra, especialmente en lo que respecta a su efecto en la envolvente de los edificios. Es esencial tener en cuenta la radiación solar al diseñar un proyecto arquitectónico, ya que, aunque no siempre sea visible, el arquitecto debe considerarla al planificar la construcción. Científicos y arquitectos han estudiado cómo responden los materiales y las envolventes de los edificios a la radiación, un fenómeno que se hace especialmente evidente en áreas de altas temperaturas, donde la radiación solar directa provoca un calentamiento excesivo en el interior de los edificios.

La envolvente se entiende como el conjunto de elementos que separan el interior de un edificio de su entorno exterior, abarcando elementos como fachadas, techos y suelos. Su función principal es actuar como una barrera que regula el paso de luz, calor y aire hacia el interior del edificio.

El término fachada hace referencia a la superficie exterior que delimita el espacio arquitectónico. Según el principio de Wien, cuando la temperatura de la superficie terrestre o de los materiales en las fachadas de los edificios se eleva, la longitud de onda de la radiación que emiten cambia, lo que influye en su comportamiento térmico.

La medición de la radiación solar se realiza a través de un piranómetro, este proporciona datos precisos sobre la cantidad de radiación solar que incide sobre una superficie. Estos instrumentos miden la radiación global, difusa y directa, facilitando el diseño de edificios que maximicen la luz natural y minimicen la ganancia de calor.

Sin embargo, para evaluar el impacto de la radiación en una edificación, no solo se debe considerar la cantidad de energía incidente, sino también su efecto en las superficies expuestas. En este sentido, un parámetro relevante es la temperatura superficial interior, la cual se ve influenciada por la radiación solar absorbida y por las condiciones térmicas del entorno.

La temperatura superficial interior de un material puede calcularse mediante la ecuación.

$$T_x = T_{x-1} - [(T_i - T_e) \cdot R_{(x, x.1)} / R_t], \text{ donde:}$$

T_x = Temperatura en la posición "x" del cerramiento (°C).

T_{x-1} = Temperatura en la posición anterior "x-1" dentro del cerramiento (°C).

T_i = Temperatura interior. (°C).

T_e = Temperatura exterior (°C).

$R_{(x, x-1)}$ = Resistencia térmica (m^2K/W).

R_t = Resistencia térmica total del cerramiento (m^2K/W).

Esta ecuación permite estimar la temperatura en la cara interna de un cerramiento a partir de un balance térmico entre el ambiente exterior e interior.

Objetivos

Objetivo General.

Diseñar una propuesta de control solar pasivo para la fachada en dirección norte-sur del bloque de alimentos y arquitectura de la PUCE, sede Manabí, campus Manta, y validarla mediante simulaciones en *Design Builder*, con el fin de reducir la incidencia de radiación solar y mejorar el confort térmico.

Objetivos Específicos.

Analizar las condiciones climatológicas que inciden en el bloque de alimentos y arquitectura de la PUCE, sede Manabí, campus Manta.

Evaluar el comportamiento térmico de la fachada norte-sur del bloque de alimentos y arquitectura.

Métodos

Diseño del Objeto

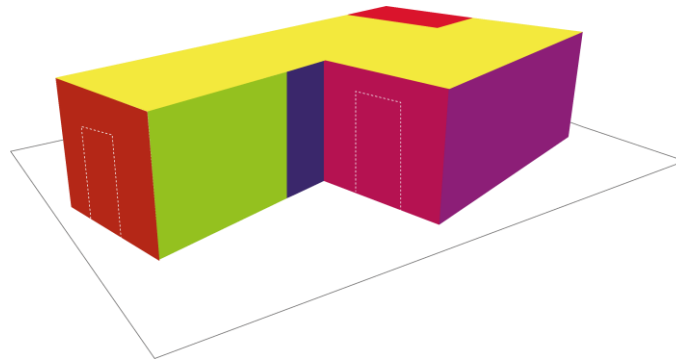
El presente estudio fue llevado a cabo a través de un enfoque cuantitativo, mientras que el campo de estudio se sitúa en el ámbito del diseño arquitectónico. El propósito principal de la investigación es proyectual, es decir, que busca desarrollar y proponer estrategias de diseño aplicables al bloque de alimentos y arquitectura de la PUCE, sede Manabí, campus Manta. El alcance de la investigación es descriptivo, ya que se pretende identificar cómo las estrategias de diseño influyen en la incidencia de la radiación solar y el confort térmico interior. Finalmente, el método empleado en esta investigación es proyectual, dado que se centra en el desarrollo y la implementación de propuestas de diseño basadas en los principios analizados.

Modelo de Análisis

El modelo de análisis consiste en un mapa térmico en el que los colores diferencian las superficies según su exposición a la radiación solar. Esto permite identificar las áreas con mayor y menor incidencia térmica, como se observa en la Figura 2, donde el objeto presenta distintas tonalidades.

Figura 2

Modelo de análisis, mapa térmico.



Nota. Adaptado de Aguillón et al. (2019)

Unidad de Análisis

La unidad de análisis, son las condiciones climáticas de la ciudad de Manta y la envolvente, específicamente la fachada del bloque de alimentos y arquitectura de la PUCE, sede Manabí del campus Manta.

Variables y Dimensiones

Para la unidad de análisis condiciones climáticas, la variable única es el clima, cuyas dimensiones son: temperatura, humedad, radiación y soleamiento. En cuanto a la unidad de análisis envolvente, la variable única son los materiales.

Fuentes de Datos (Recolección)

Para la investigación, se utilizaron diversas fuentes de datos. Para la variable clima, se emplearon los datos proporcionados por la NEC-HS-EE, el fichero del *Climate One Building*, que fue introducido en el software *Climate Consultant*, y la carta solar obtenida del sitio web *SunEarthTools*. Por otro lado, en relación con la envolvente del edificio, se consultaron la documentación proyectista de la PUCE, así como el levantamiento planimétrico y el registro correspondiente.

Diseño de los Procedimientos

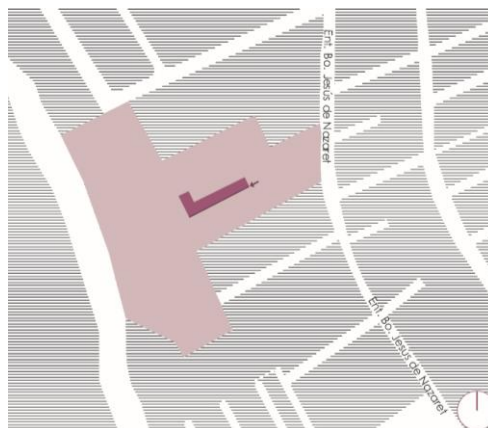
Campo de Análisis

La Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE), campus Manta, está ubicada en la provincia de Manabí, específicamente en el sector de Los Gavilanes, en el barrio Jesús de Nazareth. El área del terreno es de 37.360,57 m² y se encuentra en una zona residencial rodeada de viviendas de baja y media densidad, lo que hace que sea un sitio propicio para proyectos académicos y de emprendimiento social. Además, las pequeñas empresas locales contribuyen a satisfacer las necesidades en su entorno inmediato.

El bloque de estudio se emplaza con su lado más largo orientado en sentido norte-sur, como se observa en la Figura 3. Esta orientación influye en la cantidad de radiación solar recibida, con ángulos e intensidades de luz variables a lo largo del día y según las estaciones. Además, el terreno tiene acceso a través de calles residenciales, aunque varias aceras son estrechas, lo que dificulta la movilidad peatonal y la conectividad con el tejido urbano más amplio.

Figura 3

Implantación, PUCE, Manta.



Nota. Adaptado de Pontificia Universidad Católica del Ecuador [PUCE], (2022).

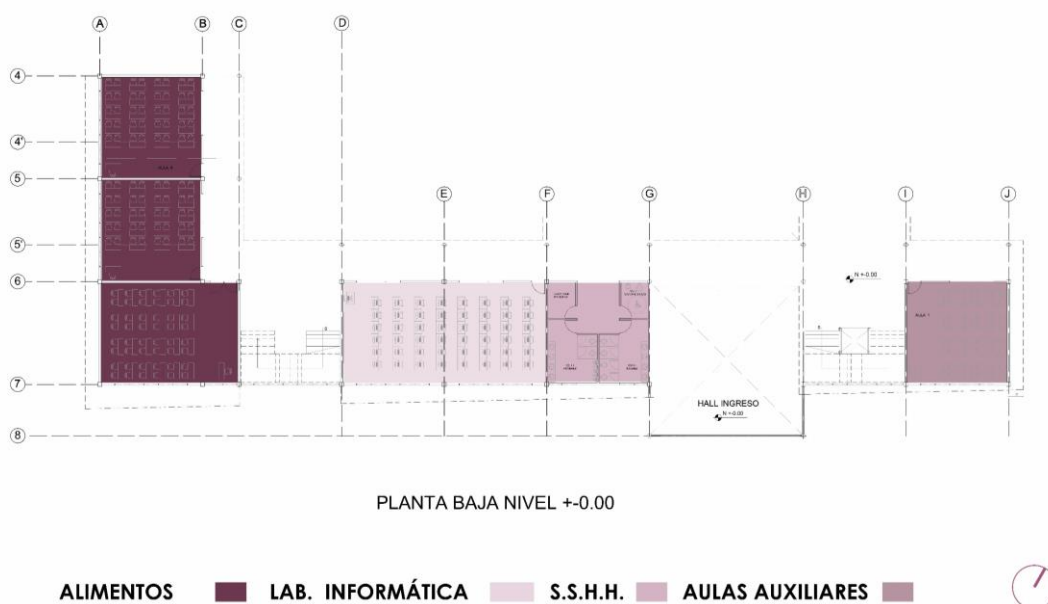
Implantación. Manta.

Unidad de Observación

El estudio se centra en el clima general de la ciudad de Manta y en la envolvente arquitectónica, específicamente en la fachada norte-sur del bloque de alimentos y arquitectura, la cual se compone principalmente de hormigón y vidrio, con amplios ventanales que permiten la entrada de luz natural. El vidrio, al estar expuesto a la radiación solar, influye en el aumento de calor en el interior. El proyecto consta de diferentes espacios que conforman el edificio, entre ellos: aulas de la carrera de alimentos, arquitectura, laboratorios, áreas de circulación y baños generales, lo que da un total de 2839,7 m² de construcción de dicho bloque. El edificio, que se puede visualizar en el anexo 1, tiene una altura de 11,70 metros, desde el nivel de piso terminado hasta la losa. A continuación, se puede observar en las Figuras 4, 5 y 6 la división de los espacios del bloque de alimentos y arquitectura.

Figura 4

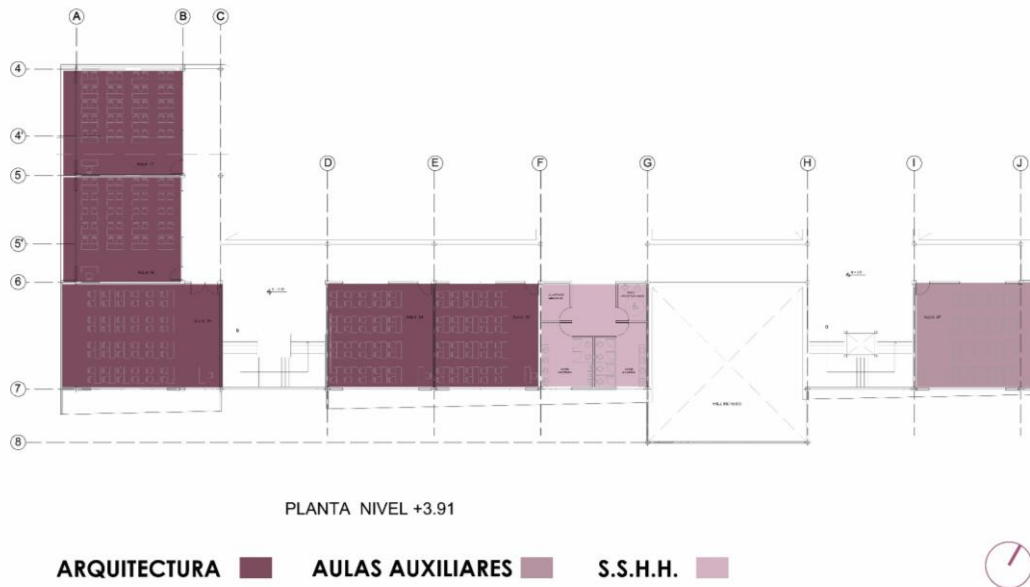
Planta nivel +0.00 del bloque de alimentos y arquitectura.



Nota. Adaptado de PUCE (2022).

Figura 5

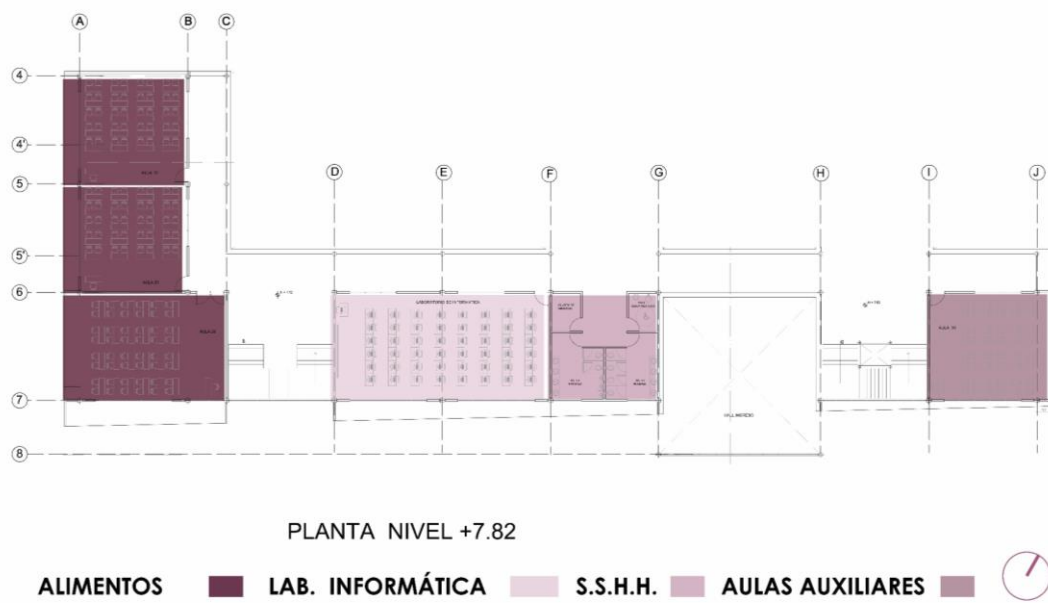
Planta nivel +3.91 del bloque de alimentos y arquitectura.



Nota. Adaptado de PUCE (2022).

Figura 6

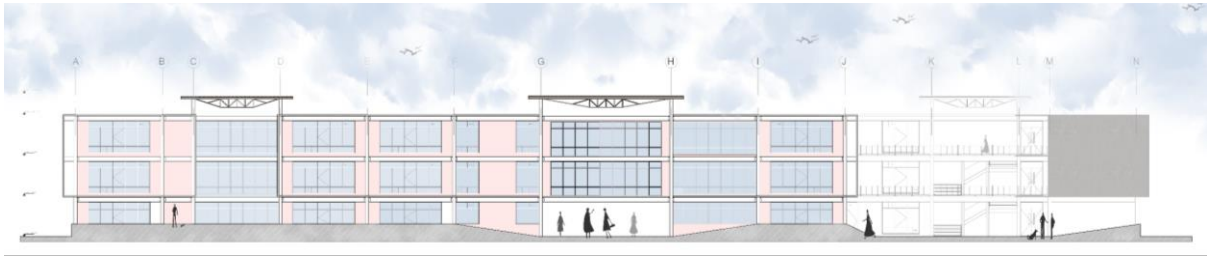
Planta nivel +7.82 del bloque de alimentos y arquitectura.



Nota. Adaptado de PUCE (2022).

Figura 7

Fachada del bloque de alimentos y arquitectura.



Nota. Adaptado de PUCE (2022).

Técnicas (Simulación)

Para la simulación del bloque de alimentos y arquitectura, se utiliza el software *DesignBuilder*, el cual permite realizar análisis detallados basados en las propiedades térmicas de los materiales y las condiciones climáticas locales. El proceso comienza con el modelado geométrico, donde se desarrolla un modelo 3D del bloque en *DesignBuilder*, incorporando las dimensiones y especificaciones de los materiales empleados en las fachadas norte-sur. Las propiedades térmicas de estos materiales se asignan a partir de fichas técnicas de referencia. Posteriormente, se lleva a cabo la simulación computacional, en la que se evalúa la radiación solar incidente en la fachada y se aplican análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD) para examinar la distribución de la temperatura interna. Finalmente, los resultados obtenidos se analizan con el propósito de identificar patrones de radiación solar y su impacto en el confort térmico interior. En caso de detectar niveles elevados de radiación, se proponen estrategias de control solar pasivo, para reducir tanto la radiación incidente como la temperatura interna.

Instrumentos y Recursos

Se emplea el software *DesignBuilder* y *Climate Consultant* como herramientas principales para el análisis y evaluación de los datos.

Indicadores

En este estudio, el indicador utilizado corresponde a las condiciones térmicas, representadas por la escala de radiación solar y la escala de temperatura. Los datos se determinan a partir de estas escalas, donde las áreas con mayor radiación se representan en rojo, verde y amarillo, mientras que las de menor incidencia aparecen en cian y azul. Esta información se visualiza en las Figuras 8 y 9, que muestran la escala de radiación solar en kWh/m² y la escala de temperatura en °C.

Figura 8

Escala de radiación solar.

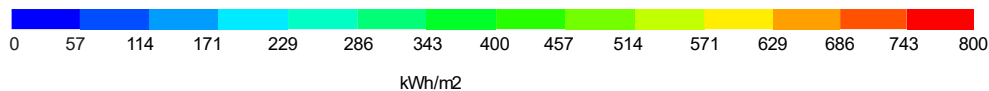
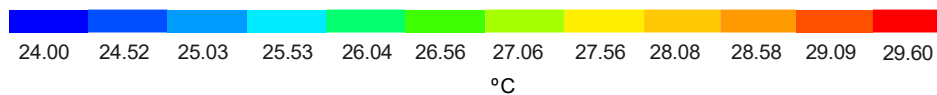


Figura 9

Escala de radiación de temperatura.



Resultados

Recolección y Procesamiento

La información extraída e introducida en el software de simulación se divide en dos secciones: clima y envolvente.

En cuanto al clima, la determinación de la zona climática se basa en la información de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), específicamente del subgrupo de Eficiencia Energética (EE). Para complementar este análisis, se descarga un archivo *EnergyPlus Weather* (EPW) desde el sitio web *Climate.OneBuilding*, el cual se importa al software *Climate Consultant*. A partir de este archivo, se obtienen datos climatológicos de Manta, como los rangos de temperatura mínima y máxima, la radiación y la humedad, los cuales se

procesan en el software *DesignBuilder*. Además, se extrae la carta solar de Ecuador, Manabí, Manta, desde el sitio web *SunEarthTools* con el fin de determinar la altitud del sol, un factor influyente en la propuesta.

Como primer paso, es necesario determinar la zona climática en la que se ubica la edificación. En la Figura 10 se presentan distintas ciudades junto con sus respectivas zonas climáticas. En este caso, Manta se encuentra en una zona climática húmeda muy calurosa.

Figura 10

Zonas climáticas de algunas ciudades.

Provincia	Ciudad	Zona climática
REGIÓN COSTA		
El Oro	Machala	Húmeda muy calurosa
	Zaruma	Húmeda muy calurosa
	Santa Rosa	Húmeda muy calurosa
Esmeraldas	Esmeraldas	Húmeda muy calurosa
	Quinindé	Húmeda muy calurosa
Guayas	Guayaquil	Húmeda muy calurosa
	Balzar	Húmeda muy calurosa
Los Ríos	Babahoyo	Húmeda muy calurosa
	Quevedo	Húmeda muy calurosa
Manabí	Puerto López	Húmeda muy calurosa
	Portoviejo	Húmeda muy calurosa
	Manta	Húmeda muy calurosa
	Chone	Húmeda muy calurosa
	El Carmen	Húmeda muy calurosa
	Pedernales	Húmeda muy calurosa
REGIÓN SIERRA		
Azuay	Cuenca	Continental lluviosa

Nota. Tomado de *NEC-HS-EE* (2018).

Tabla 1

Zona climática de la ciudad.

ZONA CLIMÁTICA (Ecuador)	ZONA CLIMÁTICA (ASHRAE 90.1)	NOMBRE
1	1A	HÚMEDA MUY CALUROSA
2	2A	HÚMEDA CALUROSA
3	3C	CONTINENTAL LLUVIOSA
4	4C	CONTINENTAL TEMPLADO
5	5C	FRÍA
6	6B	MUY FRÍA

Nota. Adaptado de *NEC-HS-EE* (2018).

Una vez determinada la zona climática, se ingresa el fichero *EnergyPlus Weather* (EPW), donde se obtienen demás datos de la ciudad de Manta, caracterizada por tener un clima húmedo muy caluroso (ASHRAE 1A). La temperatura media anual oscila entre 24°C y 26°C, con máximos de hasta 31°C en enero y mínimos de 21°C en meses como febrero, mayo, julio, agosto y septiembre, según la Tabla 2. La humedad relativa, indicada en la Tabla 3, varía entre un mínimo del 65% y un máximo del 92% en los meses más húmedos, marzo y abril. Además, las temperaturas de bulbo seco y húmedo, según las Tablas 4 y 5, muestran una relativa estabilidad a lo largo del año, con ligeras variaciones estacionales. En cuanto a la temperatura del suelo, reflejada en la Tabla 6, se observa mayor estabilidad a 2 metros de profundidad, con valores entre 25°C y 28°C.

A continuación, se presentan las tablas correspondientes que muestran los datos mencionados:

Tabla 2

Datos de temperatura mensual.

TEMPERATURA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Mínima	23	23	23	23	21	21	21	21	21	22	23	23
Promedio	26	26	27	27	26	25	24	24	25	26	26	26
Máxima	31	30	31	31	30	29	28	28	29	30	30	30

Nota. Adaptado de *NEC-HS-EE* (2018).

Tabla 3

Datos de humedad relativa mensual.

HUMEDAD	ENE	FEB	MARZO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Mínima	70	70	70	70	70	65	65	65	65	70	70	70
Promedio	80	80	82	82	80	78	78	78	78	80	80	80
Máxima	90	90	92	92	90	88	88	88	88	90	90	90

Nota. Adaptado de *NEC-HS-EE* (2018).

Tabla 4*Datos de bulbo seco mensual.*

BULBO SECO	ENE	FEB	MARZO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Mínima	22	22	23	23	22	21	20	20	21	22	22	22
Promedio	27	27	27	27	26	28	28	28	26	26	26	26
Máxima	29	29	29	29	29	28	28	28	28	27	28	28

Nota. Adaptado de *NEC-HS-EE* (2018).**Tabla 5***Datos de bulbo húmedo mensual.*

BULBO HUMEDO	ENE	FEB	MARZO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Mínima	22	22	22	21	20	19	19	19	19	20	21	22
Promedio	24	24.5	24.5	23.5	22.5	21.5	21.5	21.5	21.5	22.5	23	24
Máxima	26	27	27	26	25	24	24	24	24	25	25	26

Nota. Adaptado de *NEC-HS-EE* (2018).**Tabla 6***Temperatura de suelo mensual.*

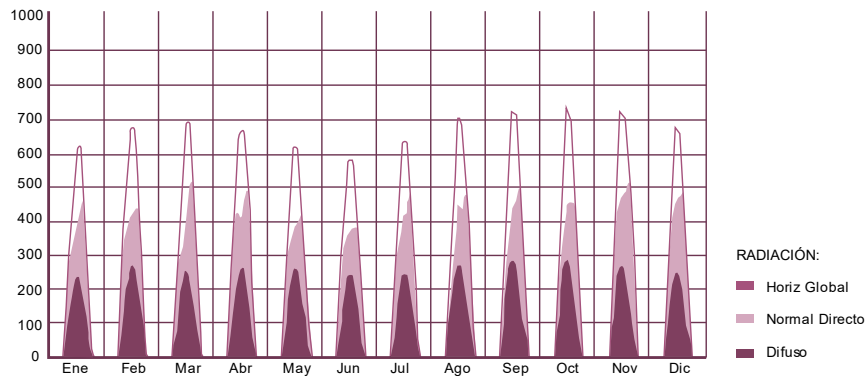
TEM. SUELO (°C)	ENE	FEB	MARZO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Profundidad 0.5m	26	26	27	27	26	25	24	24	25	26	26	26
Profundidad 2m	27	27	28	28	27	26	25	25	26	27	27	27

Nota. Adaptado de *NEC-HS-EE* (2018).

Por otro lado, la radiación solar, presentada en la Figura 11, sigue un patrón estacional. Los valores máximos de radiación global horizontal, aproximadamente 700 Wh/m², se registran entre los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre. La radiación directa normal varía entre 300 y 500 Wh/m², destacándose los meses de marzo, agosto, septiembre, octubre y noviembre. Por su parte, la radiación difusa se encuentra entre 200 y 300 Wh/m², con sus puntos más altos entre los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre.

Figura 11

Radiación solar

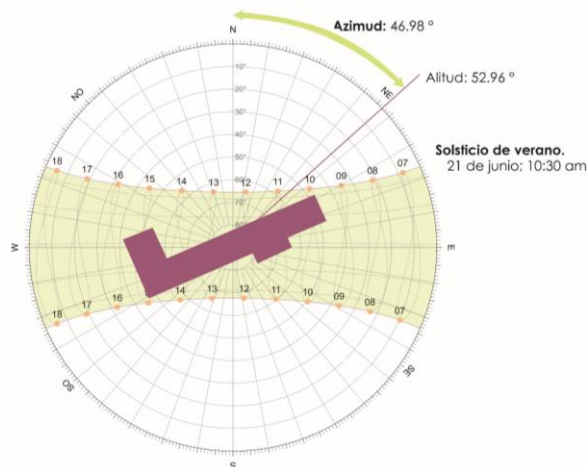


Nota: Adaptado de *NEC-HS-EE* (2018).

El asoleamiento es un punto relevante ya que necesitamos el dato de la posición del sol en una ubicación y hora específica para poder complementar el apartado de la propuesta, por lo que se procede a realizar una proyección estereográfica la cual se visualiza en la Figura 12.

Figura 12

Proyección estereográfica, solsticio de verano.



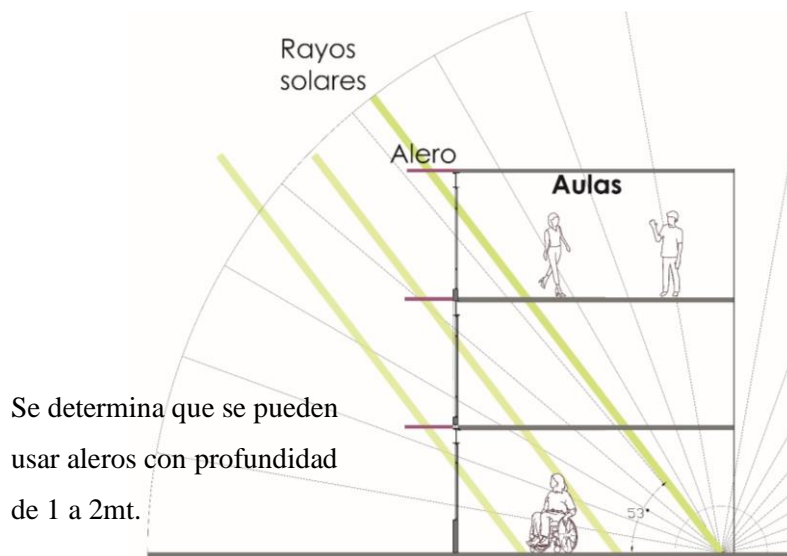
Para conformar el diseño de los elementos de protección solar se tomó el ángulo de la posición del sol (latitud), del solsticio de verano, a las 10:30, en este caso es de 53°. Se opto

por tomar en consideración esta fecha ya que los rayos solares inciden de forma más perpendicular sobre la superficie terrestre debido a que el hemisferio inclinado hacia el sol recibe la máxima cantidad de radiación solar.

En la Figura 13, se puede observar la incidencia de los rayos del sol con la fecha y hora establecida anteriormente en la Figura 12, esto nos ayuda a sacar de mejor manera la longitud de la propuesta a desarrollar.

Figura 13

Esquema de impacto de rayos solares.



En cuanto a la envolvente, se analiza la composición de los materiales. La fachada principal cuenta con una superficie acristalada de 447,43 m², lo que representa aproximadamente el 50,3% de la superficie total de la fachada. El sistema de construcción empleado en el caso de estudio es el más utilizado a nivel nacional; consiste en bloques huecos de hormigón de 0,10 x 0,20 x 0,40 metros, unidos con mortero, dejando una junta de 0,01 m de espesor entre cada pieza. Las especificaciones de los materiales necesarios se pueden observar en la Tabla 7, y la Figura 12 muestra un esquema de su ubicación para su posterior incorporación al programa.

Tabla 7

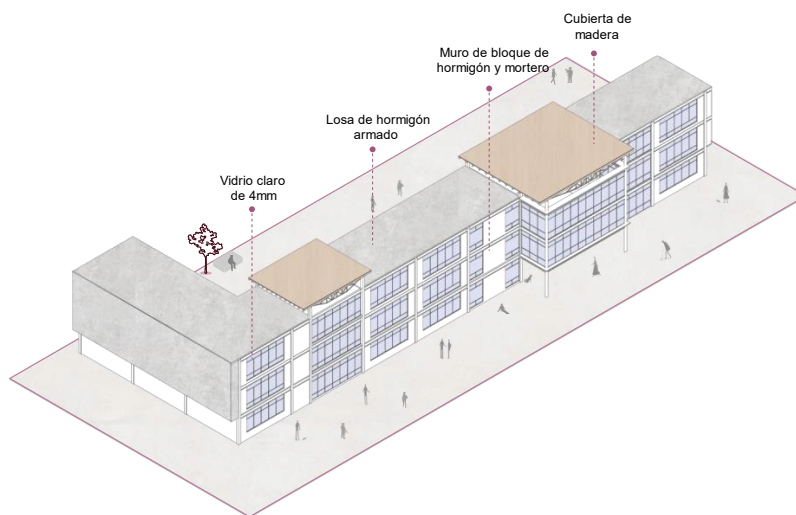
Propiedades de los materiales.

Ubicación	Material	Conductividad térmica (W/m -k)	Calor específico (J/kg-k)	Densidad kg/m3
Muro	Bloque de concreto	0,1900	1000	600
	Mortero	0,8800	896,00	2800
Losa	Hormigón armado	2,3000	1000	2400
Cubierta	Madera	0,1600	1260,00	720,00
Aleros	Madera	0,1600	1260,00	720,00
Celosías	Perfil de aluminio	160	880	2800
Ventanas	Vidrio sin recubrimiento claro de 4mm de espesor, con transmisión de luz del 90% . U= 5,88 W/m2-K, SHGC= 0,85			

Nota. Adaptado de Aguirre. (2023)., Bioparquet. (2019)., Covinhar. (2017)., Selvalegre (2023).

Figura 14

Esquema del campus Manta, ubicación de materiales.



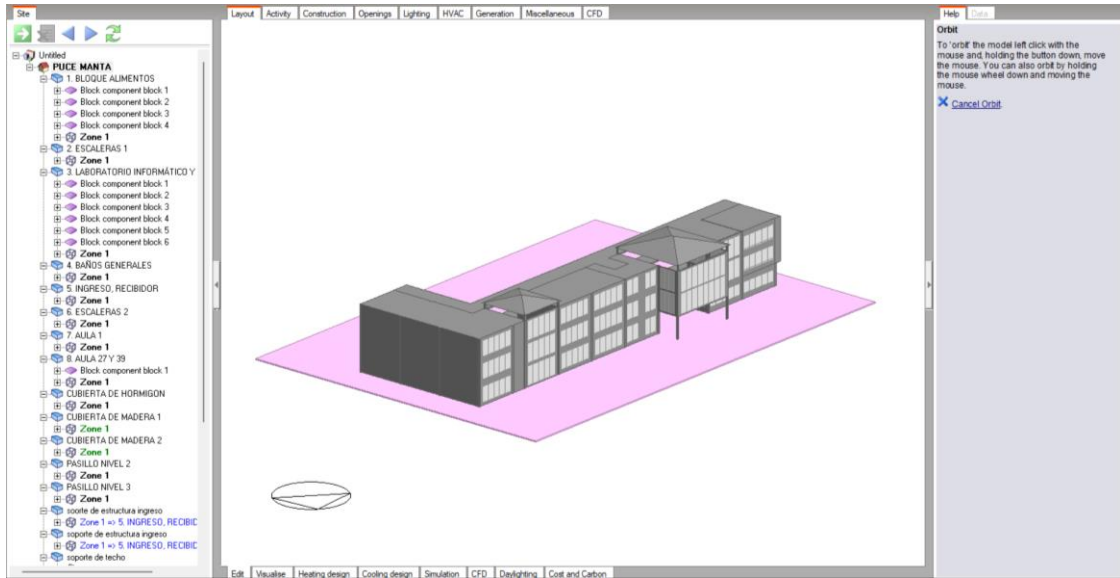
Nota. Adaptado de PUCE (2022).

Una vez obtenidos todos los datos necesarios, se realiza el modelado 3D del bloque de alimentos y arquitectura en el software *DesignBuilder*, como se muestra en la Figura 15.

Luego, se introduce toda la información recopilada, como se observa en la Figura 16.

Figura 15.

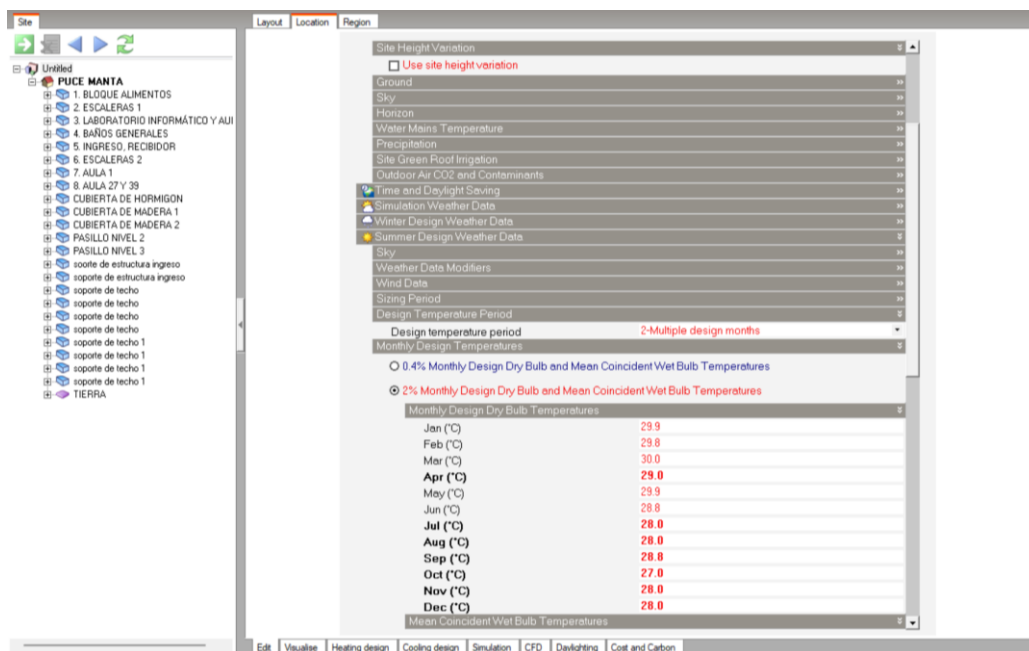
Levantamiento del bloque de alimentos y arquitectura.



Nota. Adaptado de DesignBuilder.

Figura 16.

Configuración de plantilla con datos climáticos.



Nota. Adaptado de DesignBuilder.

Después de realizar el modelado 3D (Figura 15) y configurar la plantilla y los materiales (Figura 16), se procede con la simulación del estado actual de la PUCE, campus Manta que se muestra en la Figura 17.

Para determinar la influencia de la radiación solar y la transferencia de calor al interior, los datos obtenidos demuestran cómo la intensidad de la radiación afecta distintas partes del edificio, evidenciada mediante mediciones en kWh/m². En este análisis, el bloque de alimentos y arquitectura se codifica del 1 al 7 para identificar las zonas con mayor intensidad de radiación y temperatura.

En la Figura 18, se observa que la fachada registra valores superiores a 600 kWh/m², representados en tonalidades rojas. Esta acumulación de calor provoca un incremento significativo en las temperaturas interiores, generando un desequilibrio térmico que impacta negativamente en el confort de los ocupantes.

A diferencia del primer gráfico, que muestra la cantidad de radiación solar incidente, la Figura 19 evidencia el efecto térmico que esta radiación genera en la envolvente del edificio. La escala de colores indica temperaturas entre 24 °C y 29.6 °C, donde las áreas más fuertes se representan en tonos rojizos y anaranjados. Estos valores corresponden a un promedio calculado entre la temperatura exterior, la temperatura interior y la transferencia térmica del vidrio, cuyos datos se obtuvieron de su ficha técnica (Tabla 7).

En las zonas con tonalidades más rojizas (especialmente en las áreas 3, 4 y 7, con mayor incidencia en la zona 7), se evidencia una mayor exposición a la radiación solar. Esto se debe a que en esta área la radiación incide de manera más directa en comparación con el resto del edificio.

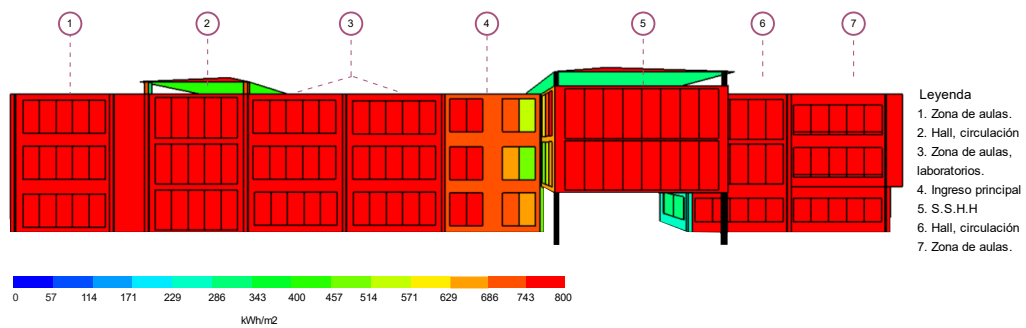
Figura 17.

Render del estado actual, PUCE, Manta.



Figura 18.

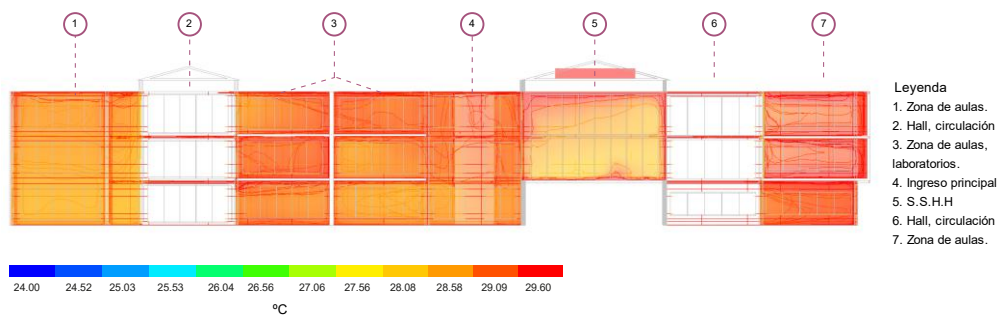
Mapa térmico de radiación – alzado frontal.



Nota. Adaptado de DesignBuilder.

Figura 19.

Mapa térmico de temperatura – alzado frontal.



Nota. Adaptado de DesignBuilder.

Tratamiento y Análisis

Las propuestas buscan reducir la radiación solar mediante aleros horizontales extendidos (propuesta 1) y celosías combinadas verticales y horizontales (propuesta 2). Se realizó una nueva simulación para evaluar su efectividad, obteniendo los siguientes resultados.

Propuesta 1: aleros horizontales extendidos.

Figura 20.

Render de propuesta con aleros horizontales extendidos.



Con la implementación de la propuesta 1, visualizada en la Figura 20, basada en la instalación de aleros horizontales extendidos, se observa una reducción significativa de la radiación solar incidente en la fachada, lo que conlleva una disminución de la temperatura en el espacio interior. Estos aleros, cuya estructura está fabricada en aluminio con un revestimiento de madera, tienen una profundidad de 1,50 m con un ángulo de 15°, que incorporan aperturas estratégicas que generan un juego de luz y sombra. Su diseño puede consultarse en la Figura 23 y el anexo 2.

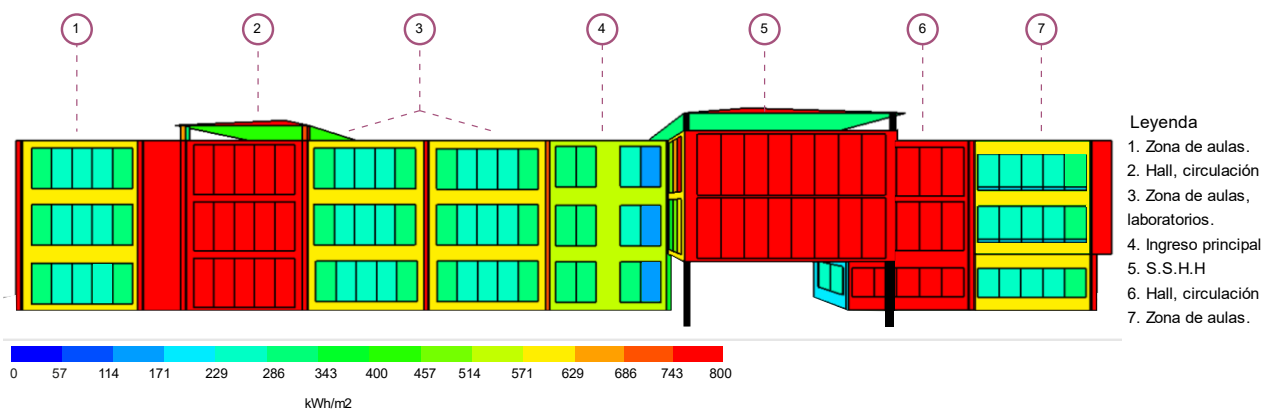
Los aleros fueron aplicados en las zonas 1, 3, 4 y 7, correspondientes a aulas. Inicialmente, la radiación en estas áreas alcanzaba valores de hasta 800 kWh/m², como se

observa en la Figura 18, pero con la estrategia implementada se redujo a un rango de 229 kWh/m² a 600 kWh/m², según la Figura 21. En contraste, las áreas marcadas con tonos de rojo intenso en los mapas térmicos corresponden a zonas de circulación, donde no se implementó ninguna estrategia de protección solar, ya que el objetivo principal era mejorar las condiciones en los espacios ocupados.

En cuanto a la temperatura, los resultados mostrados en la Figura 22 reflejan un rango de 27 °C a 28 °C en las zonas 1, 3 y 4, evidenciando una reducción respecto al estado actual. Sin embargo, esta mejora no alcanza niveles óptimos en todas las áreas, ya que la zona 7 sigue presentando temperaturas elevadas debido a la incidencia directa del sol. Esto indica que, si bien la estrategia implementada contribuye a reducir el impacto térmico, no logra eliminar por completo el sobrecalentamiento en ciertas áreas expuestas. A continuación, se presentan las imágenes que ilustran los resultados obtenidos.

Figura 21.

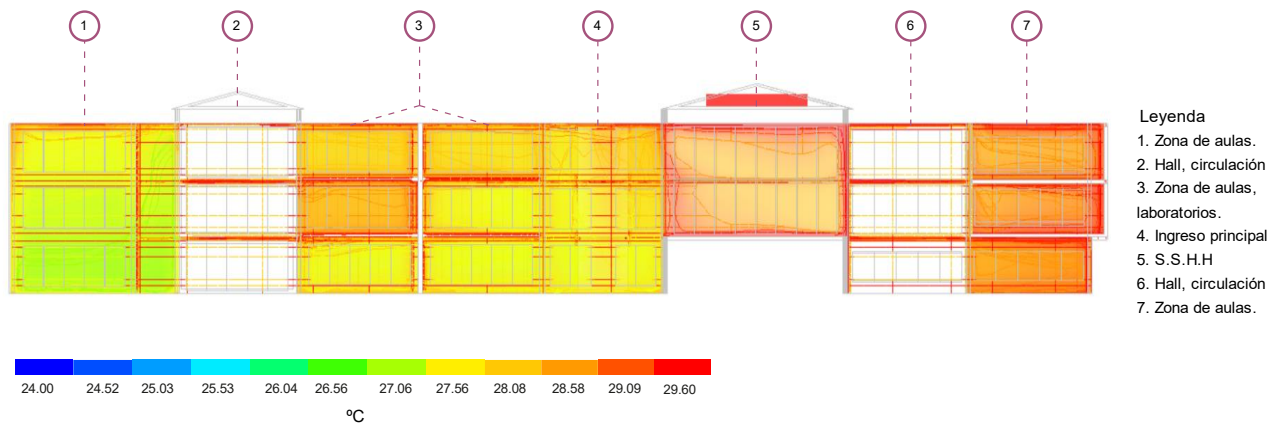
Mapa térmico de radiación – alzado frontal.



Nota. Adaptado de DesignBuilder.

Figura 22.

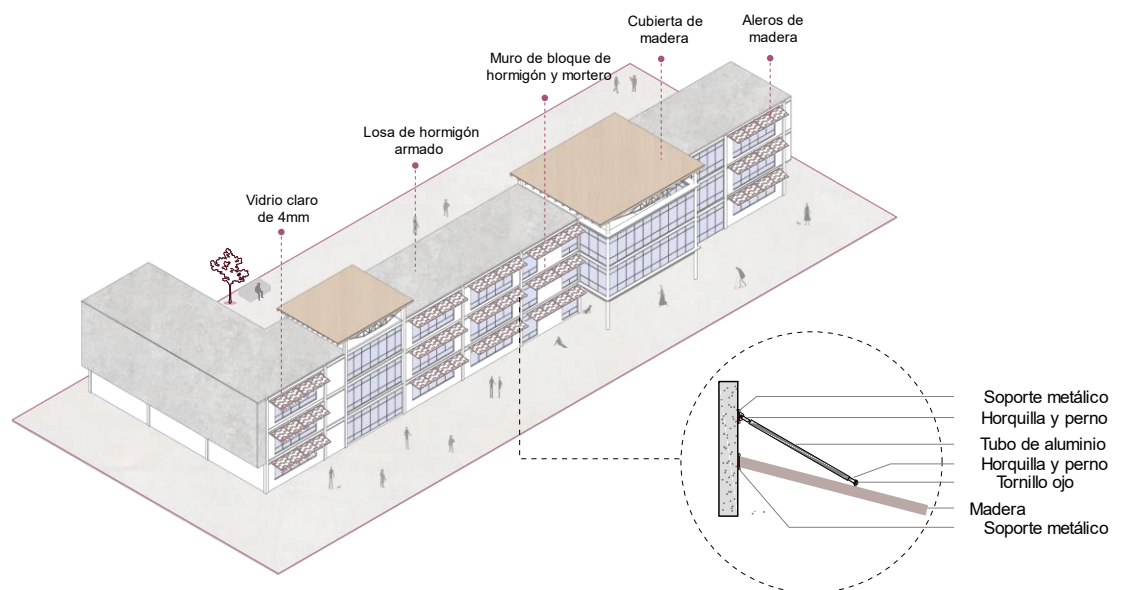
Mapa térmico de temperatura – alzado frontal.



Nota. Adaptado de DesignBuilder.

Figura 23.

Axonometría y anclaje de la propuesta 1.



Propuesta 2: celosías combinadas verticales y horizontales

Figura 24.

Render de propuesta con celosías combinadas.



Con la implementación de la propuesta 2, representada en la Figura 23, se incorporan celosías combinadas en disposición vertical y horizontal, a 90°, fabricadas con un marco de hormigón y un revestimiento de madera. Este diseño logra un equilibrio entre protección solar y estética arquitectónica, además de generar un juego de luz y sombra que favorece el confort térmico sin comprometer la iluminación natural. Su diseño puede consultarse en la Figura 27 y el anexo 3.

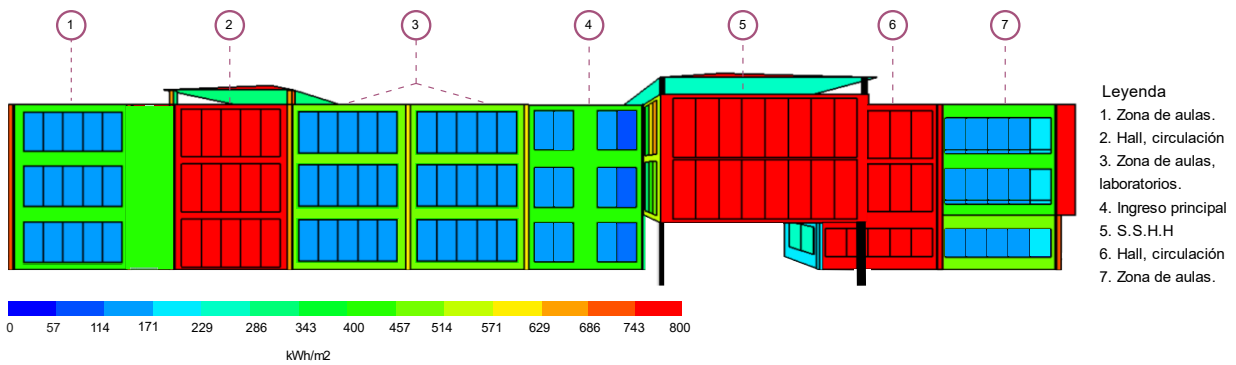
Las celosías se aplican en las zonas 1, 3, 4 y 7, correspondientes a aulas. Inicialmente, la radiación solar en estas áreas alcanzaba valores de hasta 800 kWh/m², como se observa en la Figura 18. Sin embargo, tras la implementación de esta estrategia, los valores se reducen a un rango de 114 kWh/m² a 400 kWh/m², según la Figura 25.

En cuanto a la temperatura, la Figura 26 muestra que el mapa térmico refleja una reducción significativa en las zonas 1, 3 y 4, con valores entre 26 °C y 27 °C, logrando incluso una mayor disminución en comparación con la propuesta 1, representada en la Figura

16. En la zona 7, la incorporación de celosías combinadas permite reducir la temperatura a un rango de 27 °C a 28 °C, mientras que en la propuesta 1 se registraban valores entre 28.5 °C y 29.2 °C. Esto evidencia que la estrategia aplicada en la propuesta 2 ofrece un mejor desempeño térmico en todas las áreas intervenidas.

Figura 25.

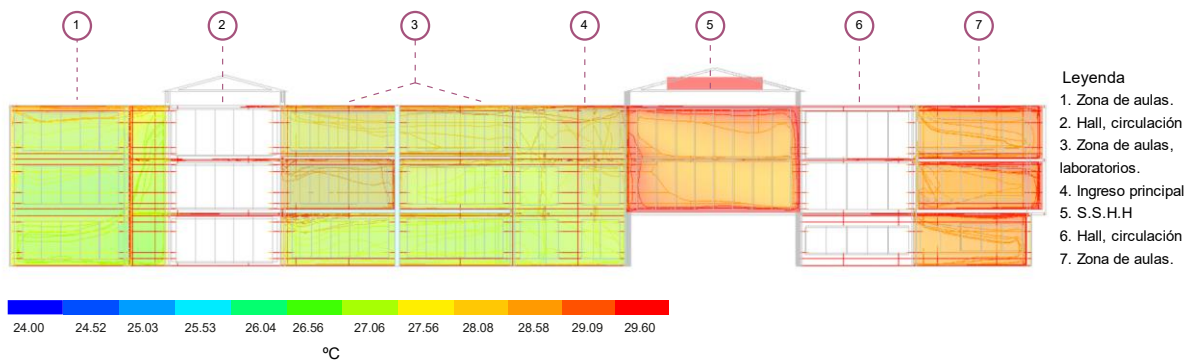
Mapa térmico de radiación – alzado frontal.



Nota. Adaptado de *DesignBuilder*.

Figura 26.

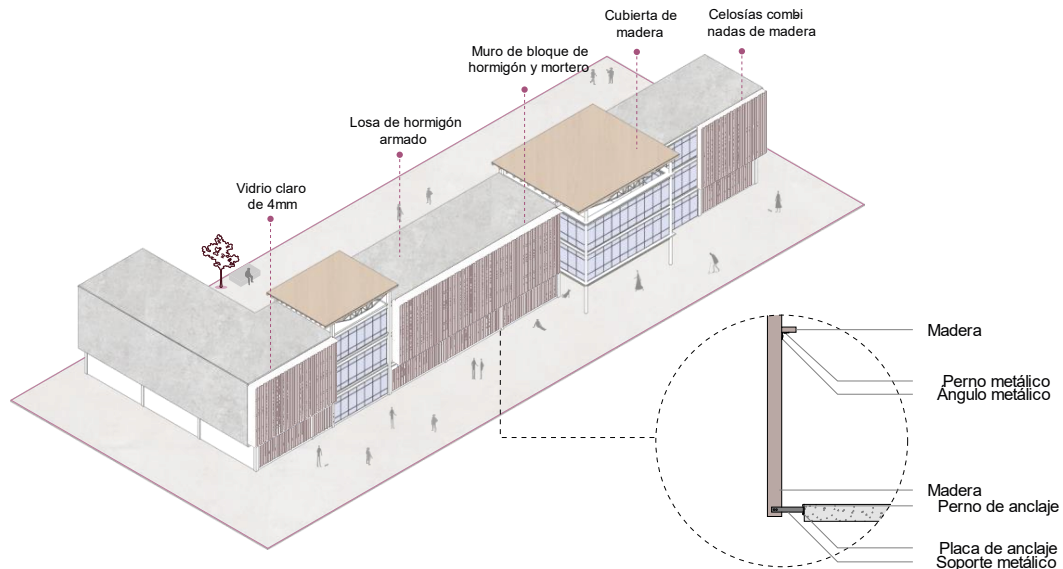
Mapa térmico de temperatura – alzado frontal



Nota. Adaptado de *DesignBuilder*.

Figura 27.

Axonometría y anclaje de la propuesta 2.



En resumen, la propuesta 2 (celosías combinadas, Figura 24) demuestra ser más efectiva que la propuesta 1 (aleros horizontales extendidos, Figura 20) para un clima como el de Manta, húmedo muy caluroso, caracterizado por altas temperaturas y una fuerte incidencia solar. Si bien los aleros pueden proporcionar sombra eficaz en determinados momentos del día, su desempeño depende en gran medida del ángulo de inclinación, profundidad y la orientación de la fachada. En este caso, la profundidad del alero se realizó de 1,50 m 15° , lo que puede optimizar la protección solar en las horas centrales del día, pero su efectividad disminuye cuando el sol cambia de posición.

En contraste, las celosías combinadas verticales y horizontales ofrecen una solución más versátil, ya que bloquean la radiación en diferentes ángulos a lo largo del día. Además, su capacidad de adaptación a diversas condiciones de radiación solar las convierte en una estrategia más eficiente para reducir la temperatura en todas las zonas intervenidas, logrando un mayor equilibrio entre protección solar y confort térmico.

Discusión

En este estudio se evaluó el impacto de la radiación solar sobre las fachadas norte-sur del bloque de alimentos y arquitectura de la PUCE campus Manta. Los resultados muestran que la exposición directa a la radiación solar afecta significativamente la transferencia de calor hacia el interior, lo que incrementa las temperaturas internas. Además, se resalta la importancia de implementar estrategias pasivas para la protección solar, en línea con lo planteado por Espinosa et al. (2011), quienes destacan el valor de las simulaciones solares para mejorar el rendimiento térmico, especialmente en viviendas sociales. En mi caso, las simulaciones también evidencian cómo estrategias pasivas como aleros horizontales y celosías combinadas pueden reducir la radiación solar incidente, mejorando el confort térmico en los espacios interiores.

Esta reducción de la radiación solar y la mejora de las condiciones térmicas internas validan el enfoque adoptado por Espinosa et al. (2011), quienes usan simulaciones para prever los efectos de intervenciones arquitectónicas en el confort de los usuarios. Sin embargo, mi estudio va más allá de las soluciones tradicionales. En la Propuesta 1 (aleros horizontales extendidos), los resultados muestran que, aunque los aleros proporcionan sombra y mejoran las condiciones térmicas en ciertas zonas, su efectividad depende del ángulo de inclinación, la profundidad de los aleros y la orientación de la fachada. Su rendimiento disminuye a medida que cambia la posición del sol, lo cual limita su eficacia a lo largo del día, especialmente en climas como el de Manta. Este aspecto no se aborda siempre en estudios previos, como el de Espinosa et al. (2011), que no consideran la variabilidad de la radiación solar durante el día.

Por otro lado, la Propuesta 2 (celosías combinadas horizontales y verticales), muestra un desempeño térmico superior, adaptándose mejor a la radiación solar cambiante durante el día. Los resultados de esta propuesta indican una mayor reducción de la radiación solar y una

mejora general en las condiciones térmicas. Este hallazgo resalta la versatilidad de las celosías combinadas y coincide con lo planteado por Fernández et al. (2021), quienes subrayan la necesidad de adaptar las estrategias de protección solar a las condiciones climáticas locales y a las características de los edificios. A diferencia de los aleros, las celosías bloquean la radiación solar en distintos ángulos durante el día, lo que las convierte en una estrategia más eficiente para mantener el confort térmico sin comprometer la iluminación natural.

Gómez et al. (2009) desarrollaron un índice de desempeño que muestra cómo la orientación y geometría de los edificios pueden reducir el calentamiento interno hasta en un 35%. En este estudio, tanto los aleros horizontales (Propuesta 1) como las celosías combinadas (Propuesta 2) cumplen con esta premisa, demostrando que un diseño adecuado, que considere la geometría y la orientación de la fachada, tiene un impacto significativo en la reducción de la radiación solar. No obstante, aunque los aleros horizontales ofrecen una reducción notable en ciertas zonas, su efectividad depende del ángulo de inclinación y la orientación, lo que limita su capacidad para reducir el calentamiento interno de manera uniforme. Este hallazgo refuerza la importancia de considerar la orientación de las fachadas y la geometría del edificio, tal como sugiere Gómez et al. (2009), para optimizar el rendimiento térmico.

Por su parte, la Propuesta 2 con las celosías combinadas muestra un rendimiento térmico superior, lo que se alinea con los estudios de Santamaría et al. (2023), quienes evaluaron dispositivos de sombreado en fachadas acristaladas en Mexicali, Baja California. Su investigación, que utilizó simulaciones en *EnergyPlus*, reportó una reducción de hasta 5°C en la temperatura operativa y una mejora significativa en el confort térmico anual. Esta reducción de la radiación solar a lo largo del día, proporcionada por las celosías, mejora las

condiciones térmicas en las aulas, lo que es clave en el diseño de edificios sostenibles, tal como lo indican Santamaría et al. (2023).

Comparando estos resultados con estudios previos, como el análisis de Aguillón et al. (2019), se observan importantes coincidencias. Este estudio también concluyó que las fachadas son elementos críticos en la acumulación de calor, especialmente aquellas expuestas a radiación directa. Sin embargo, a diferencia de nuestro estudio, Aguillón et al. (2019) señala que la inclinación de la cubierta es un factor clave en la protección solar. Aunque en nuestro caso, la orientación y el diseño de la fachada del bloque de alimentos y arquitectura muestra una mayor influencia de la radiación solar en el confort térmico, lo que refuerza la necesidad de tomar en cuenta el diseño de la fachadas al enfrentar este desafío.

En relación con la propuesta de control solar mediante aleros horizontales y celosías combinadas, los resultados de las simulaciones muestran una mejora significativa en la reducción de la temperatura interna. Si bien los aleros horizontales ofrecen cierta protección, su rendimiento no es completo, ya que estos están diseñados para proteger a un ángulo específico de incidencia solar. Para un clima como el de Manta, húmedo muy caluroso, el ángulo y la profundidad de los aleros deben diseñarse para proteger eficazmente las ventanas de la radiación directa del sol, con profundidades entre 1 y 2 metros durante las horas centrales del día.

Los hallazgos coinciden con el estudio de Ahmed et al. (2017), que propuso aletas a 90° y voladizos de 1 metro para reducir la radiación solar directa, aunque con menor efectividad que las estrategias de control solar analizadas en este estudio. Dado que la protección solar depende de la variabilidad en el ángulo de incidencia solar, ninguna de las estrategias proporciona una protección total. No obstante, las celosías combinadas (Propuesta 2) resultan ser más efectivas, ya que se adaptan mejor a los cambios en la incidencia solar,

ofreciendo mayor protección a la fachada. En comparación con la investigación de Villamar y Silva (2015), que optaron por instalar aire acondicionado como solución para mitigar el impacto térmico, nuestra propuesta se enfoca en estrategias pasivas que promueven una sostenibilidad a largo plazo, alineándose con el objetivo de optimizar el confort térmico mediante control solar adaptado al clima local.

En el estudio de Pérez et al. (2020), se evalúan las condiciones climáticas de Manta y su impacto en el diseño de edificios públicos. El enfoque de este análisis coincide con el objetivo de mi investigación, que también busca optimizar el rendimiento térmico y energético en la arquitectura local a través de estrategias pasivas. Al igual que en mi estudio, Pérez et al. (2020) destacan la importancia de la orientación y la protección solar para mejorar la eficiencia energética y el confort térmico, lo que establece un vínculo directo con las soluciones pasivas que estoy analizando, como los aleros horizontales y las celosías combinadas, lo cual se demuestra que la Propuesta 2 (celosías combinadas) es más eficiente que la Propuesta 1 (aleros horizontales), ya que proporciona una protección solar más versátil y adaptativa. Este estudio también destaca la importancia de considerar la orientación, geometría y la combinación de dispositivos de sombreado para optimizar el confort térmico, tal como lo sugieren estudios previos de Gómez et al. (2009), Santamaría et al. (2023) y Ahmed et al. (2017).

Conclusiones

En conclusión, los resultados de esta investigación destacan la importancia del control solar pasivo para reducir la incidencia de radiación solar sobre las fachadas norte-sur del bloque de alimentos y arquitectura de la PUCE, sede Manabí, campus Manta. A lo largo del estudio, se identificaron las condiciones climáticas locales, caracterizadas por altas temperaturas y una fuerte radiación solar, lo que confirmó la necesidad de soluciones específicas para mejorar el confort térmico en las aulas y otras zonas del bloque.

La evaluación térmica de la fachada mostró que la radiación solar directa afectaba negativamente la temperatura interna de los espacios. Las simulaciones iniciales reflejaron altos niveles de radiación y temperaturas elevadas, lo que evidenció la necesidad de aplicar medidas correctivas para optimizar el confort térmico. Las soluciones propuestas, como los aleros horizontales extendidos y las celosías combinadas, demostraron ser efectivas. Los aleros redujeron significativamente la radiación solar en las aulas, disminuyendo la temperatura interna de 28 °C a 27 °C. Sin embargo, algunas áreas, como la zona 7, continuaron presentando temperaturas más altas debido a la exposición directa al sol. Por otro lado, las celosías combinadas fueron más eficientes, logrando reducir la radiación solar a niveles más bajos y manteniendo las temperaturas en las áreas clave entre 26 °C y 27 °C, lo que mejoró considerablemente el confort térmico, especialmente en comparación con los aleros.

En cuanto al objetivo general, se puede concluir que la investigación alcanzó con éxito la meta de diseñar una propuesta de control solar pasivo para la fachada del bloque de alimentos y arquitectura. Ambas soluciones, aleros horizontales y celosías combinadas, fueron eficaces para reducir la radiación solar y mejorar el confort térmico. Sin embargo, las celosías fueron más eficientes, adaptándose mejor a los ángulos de incidencia solar a lo largo del día, lo que las hace más adecuadas para el clima de Manta.

Finalmente, esta investigación subraya la necesidad de integrar estrategias bioclimáticas en el diseño arquitectónico de edificaciones en climas cálidos. Los hallazgos obtenidos pueden servir de referencia para futuras intervenciones en infraestructuras académicas, promoviendo un mejor confort térmico en dichos entornos.

Se recomienda realizar un estudio más detallado con el uso de instrumentos de medición específicos, como termómetros de precisión, ya que, en este caso, debido a la falta

de dichos instrumentos, se utilizó una fórmula matemática para estimar las temperaturas de los espacios internos. Aunque este método permitió obtener resultados aproximados, la precisión podría mejorarse significativamente con el empleo de tecnología avanzada, lo cual permitiría obtener datos más exactos y representativos de las condiciones térmicas dentro de los espacios evaluados.

Recomendaciones

En relación con la geometría solar, se recomienda analizar un sistema constructivo que permita una oscilación entre 10° y 30° , ya que este rango es óptimo respecto a la incidencia solar. En la propuesta 1, aleros horizontales, se utiliza un ángulo de 15° , como se observa en la Figura 23.

Para complementar este estudio, se sugiere evaluar la viabilidad económica de implementar las estrategias propuestas, considerando los costos de materiales, mano de obra y mantenimiento, así como su impacto financiero en la universidad.

También se recomienda investigar el efecto de materiales de alta reflectancia o baja emisividad en el desempeño térmico de las fachadas y comparar estrategias pasivas adicionales, como fachadas ventiladas, muros trombe o doble piel, que podrían optimizar el confort térmico y la eficiencia energética.

Además, se plantea la posibilidad de realizar pruebas experimentales en campo mediante sensores de temperatura para validar los resultados obtenidos en las simulaciones y medir con mayor precisión el comportamiento térmico de las envolventes arquitectónicas.

Asimismo, replicar la metodología en edificaciones con diferentes orientaciones, usos y tipologías constructivas permitiría validar la eficacia de las soluciones en diversos contextos arquitectónicos y climáticos.

Por último, se sugiere llevar a cabo un estudio comparativo que analice distintos tipos de materiales y estrategias pasivas, considerando su desempeño térmico, impacto ambiental y viabilidad económica, lo que permitirá enriquecer la propuesta y aportar conocimientos aplicables a proyectos similares en el futuro.

Referencias Bibliográficas

Aguillón, J., Granados, G. (2019). Impacto de la radiación solar en la envolvente arquitectónica en viviendas de interés social en San Luis de la Paz, Guanajuato. *Proyecciones en Arquitectura y Urbanismo*, 3(5), páginas.

<https://www.researchgate.net/publication/337567230>

Ahmed, A., Ahmed, B. (2017). Impact of solar radiation on building envelope using EnergyPlus Software. *Energy and Buildings*, 259, 111907.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111907>

Aguirre. (2023). Roble. *Maderas Aguirre*.

https://www.maderasaguirre.com/materia_prima/roble.html

Bustamante, D. (2020). El dominio de la envolvente. *Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM)*. <https://doi.org/10.22430/9789585122079>

Bioparquet. (2019). Ficha técnica madera roble europeo. *Bioparquet*.

<https://www.bioparquet.es/wp-content/uploads/2019/05/BIOPARQUET-FICHA-TECNICA-MADERA-ROBLE-EUROPEO.pdf>

Covinhar. (2017). Vidrio Claro. *Covinhar Cia. Ltda*.

<https://www.covinhar.com/vidrio-claro/>

Espinosa, S., Aguillón, J., González, G. (2011). Simulación solar para el diseño de vivienda de interés social en las zonas media y centro de San Luis Potosí. *H+D Hábitat Más Diseño*, 3(5), páginas. <https://www.researchgate.net/publication/337631893>

Fernández, A., Saez, V., Garzon, S. (2021). Evaluación del comportamiento térmico edilicio: un caso en el Valle Calchaquí Tucumano. *Revista de Arquitectura y Energía*, 5(1), 56–65. <http://dx.doi.org/10.30972/arq.0174983>

Gómez, V., Porta, M. (2009). Índice para evaluar el desempeño solar de edificaciones en clima cálido. *Ingeniería mecánica, tecnología y desarrollo*, 3(3), 77-83. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-73812009000200002&lng=es&tlng=es.

Martínez, A., Sanz, F., Santamaría, J., Martínez, A. (2016). Evaluación de la irradiación solar sobre fachadas en ciudades con edificios altos, basada en tecnología LiDAR. *Applied Energy*, 183, 100–110. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.08.199>

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2023). *Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-HS: Eficiencia Energética*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/4.-NEC-HS-Eficiencia-Energetica.pdf>

Oliver, A. (2017). Radiación solar invisible y arquitectura. *Bitácora Arquitectura*, 35, 116–124. <https://doi.org/10.22201/fa.14058901p.2017.35.59713>

Pérez, J. y Ramírez, L. (2020). Estrategias de diseño pasivo para la eficiencia energética en edificios de viviendas. *Ciencia Latina: Revista Latinoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 4(9), 142–151. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4523

Santamaria, G., León, L., Alzati, A. (2023). Diseño de elementos de protección solar para fachadas acristaladas como mejora al confort térmico: caso estudio en la ciudad de

Mexicali, Baja California. *Revista Mexicana de Ingeniería Civil*, 37(3), 45–56.

https://www.researchgate.net/publication/375780420_Disenio_de_elementos_de_proteccion_solar_para_fachadas_acristaladas_como_mejora_al_confort_termico_caso_estudio_en_la_ciudad_de_Mexicali_Baja_California

Selvalegre. (2023). Hormigón Convencional. *Selva Alegre*.

<https://selvalegre.com.ec/wp-content/uploads/2025/02/HORMIGON-CONVENCIONAL.pdf>

Villamar, B., Silva, F., Guerrero, M. (2015). Estudio de la influencia de la radiación solar en el diseño de fachadas. *Revista de Arquitectura y Urbanismo*, 11(2), 23–34.

<http://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/2617>

Villalba, C., Ortiz, N. (2016). Análisis del impacto de la radiación solar en las envolventes arquitectónicas. *Revista de Energías Renovables y Arquitectura Sostenible*, 3(1), 20–35. <https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/9bcf899c-99fc-4162-90aa-73aa6643068e/content>

Anexos

Anexo 1

PUCE, sede Manabí, campus Manta.



Anexo 2

Propuesta 1: Aleros horizontales extendidos.



Anexo 3

Propuesta 2: Celosías combinadas.

