

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Rediseño sustentable de un edificio existente basado en la
comparativa de transmitancia térmica entre materiales
locales y comerciales mediante herramientas BIM

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por Jorge Gerardo
Nichols Ramírez para optar grado académico de Licenciado en Ingeniería
Civil Arquitectónica

Guatemala,

2025

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Rediseño sustentable de un edificio existente basado en la comparativa de transmitancia térmica entre materiales locales y comerciales mediante herramientas BIM

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por Jorge Gerardo Nichols Ramírez para optar grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil Arquitectónica

Guatemala,

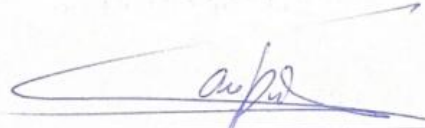
2025

Vo.Bo.:

(f) 
Arq. Ana Valentina Leal Ordoñez

Tribunal Examinador

(f) 
Arq. Ana Valentina Leal Ordoñez

(f) 
Arq. Marco Vinicio Sampuel Oliva

(f) 
Arq. Juan Pablo Blas Arias

Fecha de aprobación: Guatemala, 8 de diciembre de 2025.

Prefacio

Realizar esta tesis fue un camino con muchos retos. Me permitió afianzar mis aprendizajes, corregir errores, levantarme cuando algo no salía como esperaba y confirmar que la constancia hace diferencia. Este trabajo resume horas de estudio, pruebas y ajustes, y el compromiso de cerrar un proceso académico con responsabilidad.

Agradezco a la Universidad del Valle de Guatemala y a la Facultad de Ingeniería por las herramientas y el acompañamiento que hicieron posible esta investigación.

A mi familia, gracias por su apoyo incondicional, por creer en mí y celebrar cada avance. A mis amigos, gracias por estar presentes en el proceso; su compañía y ánimo ayudaron a mantener el ritmo en los momentos exigentes.

También reconozco mi propio esfuerzo: organizar tiempos, sostener la disciplina y mantener el objetivo hasta el final. Este logro es especial para mí y para quienes me acompañaron. Fue hecho con dedicación y ganas de aprender. Muchas gracias a todos.

ÍNDICE GENERAL

Prefacio	V
LISTA DE CUADROS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
I. INTRODUCCIÓN	I
II. JUSTIFICACIÓN	2
III. OBJETIVOS	3
IV. MARCO TEÓRICO	4
A. Eficiencia energética en viviendas existentes	4
1. Conceptos clave	4
2. Importancia en el edificio existente	5
3. Normativas aplicables.....	6
B. Clima en Guatemala	6
C. Fundamentos de aislamiento térmico	7
D. Materiales Aislantes	8
1. Clasificación: locales vs comerciales	8
2. Propiedades térmicas.....	9
3. Impacto Ambiental y vida útil	10
4. Costos	10
E. Diseño sustentable y arquitectura pasiva	11
1. Estrategias bioclimáticas	11
2. Voladizos y parteluces	11
3. Equinoccios y solsticios.....	12
F. Herramientas BIM para análisis energético	12
1. Autodesk Revit	12
2. Autodesk Forma.....	13
V. METODOLOGÍA	14

A.	Análisis de sitio	14
B.	Análisis de materiales locales y comerciales	14
C.	Modelado BIM de edificio existente	14
D.	Rediseño arquitectónico a partir de simulaciones	15
E.	Cálculos de transmitancia térmica sobre la comparativa de materiales	15
F.	Documentación y conclusiones	15
VI.	RESULTADOS	16
A.	Información de la edificación y análisis de sitio	16
B.	Hipótesis sobre aspectos a mejorar	17
C.	Escenarios modelados en Revit dentro de Forma	17
D.	Análisis térmico: comparación de transmitancia térmica	33
VII.	DISCUSIÓN	36
VIII.	CONCLUSIONES	38
IX.	RECOMENDACIONES	39
X.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
XI.	ANEXOS	44

LISTA DE CUADROS

<i>Cuadro No. 1:</i> Transmitancia térmica Ladrillo MOC.....	9
<i>Cuadro No. 2:</i> Transmitancia térmica Ladrillo Morgan Insalcor	9
<i>Cuadro No. 3:</i> Costos de los ladrillos	10
<i>Cuadro No. 4:</i> Solsticios y equinoccios en 2025	12
<i>Cuadro No. 5:</i> Resultados de longitudes de voladizos.....	19
<i>Cuadro No. 6:</i> Comparativa económica de ladrillos locales vs comerciales	36

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura No. 1: Carta solar</i>	5
<i>Figura No. 2: Regiones climáticas de Guatemala</i>	6
<i>Figura No. 3: El tiempo por mes en Ciudad de Guatemala</i>	7
<i>Figura No. 4: Planta típica de la edificación</i>	16
<i>Figura No. 5: Ubicación del proyecto</i>	16
<i>Figura No. 6: Camino del sol en el equinoccio de primavera</i>	20
<i>Figura No. 7: Camino del sol en el solsticio de verano</i>	20
<i>Figura No. 8: Camino del sol en el equinoccio de otoño</i>	21
<i>Figura No. 9: Sun Hours (equinoccio de primavera) – Elevación Oeste</i>	21
<i>Figura No. 10: Sun Hours (equinoccio de primavera) – Elevación Norte</i>	22
<i>Figura No. 11: Sun Hours (equinoccio de primavera) – Elevación Sur</i>	22
<i>Figura No. 12: Sun Hours (equinoccio de primavera) – Elevación Este</i>	23
<i>Figura No. 13: Sun Hours (solsticio de verano) – Elevación Oeste</i>	23
<i>Figura No. 14: Sun Hours (solsticio de verano) – Elevación Norte</i>	24
<i>Figura No. 15: Sun Hours (solsticio de verano) – Elevación Sur</i>	24
<i>Figura No. 16: Sun Hours (solsticio de verano) – Elevación Este</i>	25
<i>Figura No. 17: Sun Hours (equinoccio de otoño) – Elevación Oeste</i>	25
<i>Figura No. 18: Sun Hours (equinoccio de otoño) – Elevación Norte</i>	26
<i>Figura No. 19: Sun Hours (equinoccio de otoño) – Elevación Sur</i>	26
<i>Figura No. 20: Sun Hours (equinoccio de otoño) – Elevación Este</i>	27
<i>Figura No. 21: Sun Hours (equinoccio de primavera) – Elevación Oeste</i>	27
<i>Figura No. 22: Sun Hours (equinoccio de primavera) – Elevación Norte</i>	28
<i>Figura No. 23: Sun Hours (equinoccio de primavera) – Elevación Este</i>	28
<i>Figura No. 24: Sun Hours (equinoccio de primavera) – Elevación Sur</i>	29
<i>Figura No. 25: Sun Hours (solsticio de verano) – Elevación Oeste</i>	29
<i>Figura No. 26: Sun Hours (solsticio de verano) – Elevación Norte</i>	30
<i>Figura No. 27: Sun Hours (solsticio de verano) – Elevación Este</i>	30
<i>Figura No. 28: Sun Hours (solsticio de verano) – Elevación Sur</i>	31
<i>Figura No. 29: Sun Hours (equinoccio de otoño) – Elevación Oeste</i>	31
<i>Figura No. 30: Sun Hours (equinoccio de otoño) – Elevación Norte</i>	32
<i>Figura No. 31: Sun Hours (equinoccio de otoño) – Elevación Este</i>	32
<i>Figura No. 32: Sun Hours (equinoccio de otoño) – Elevación Sur</i>	33
<i>Figura No. 33: Rangos de temperatura operativa aceptables para espacios acondicionados naturalmente (los límites del 80% son normativos, los límites del 90% son informativos)</i>	34

RESUMEN

La investigación se orienta en que el desarrollo de un rediseño arquitectónico sustentable aplicado a un edificio de apartamentos existente, mediante la integración comparativa de materiales locales y comerciales. El caso de estudio será el edificio Astorga, ubicado en la zona 13 de la Ciudad de Guatemala, el cual será modelado digitalmente para simular distintos escenarios de mejora energética y ambiental.

La propuesta se centra en analizar el desempeño térmico, económico y ambiental de dos materiales constructivos: basado en el material ladrillo local y comercial. La evaluación se realizará utilizando herramientas BIM como Autodesk Revit y Forma, con el objetivo de demostrar como la adecuada selección de materiales, en conjunto con estrategias de diseño pasivo, puede mejorar significativamente la eficiencia energética de la edificación.

Además, se implementarán estrategias bioclimáticas como parteluces, los voladizos, la orientación solar y la ventilación cruzada, con el fin de alcanzar un mayor confort térmico y reducir la demanda energética sin depender de sistemas activos de climatización.

Por último, por medio de modelado y simulaciones, se presentará una comparativa detallada entre ambos tipos de materiales, siempre tomando en cuenta las variables como el costo de implementación y el impacto ambiental. Se busca el ofrecer una propuesta replicable para viviendas similares en entornos urbanos que se promueven para la construcción sostenible a partir de los recursos locales y de las decisiones técnicas fundamentales.

ABSTRACT

The research aims to develop a sustainable architectural redesign for an existing apartment building by comparatively integrating local and commercial materials. The case study is the Astorga building, located in Zone 13 of Guatemala City, which will be digitally modeled to simulate different scenarios for energy and environmental improvement.

The proposal focuses on analyzing the thermal, economic, and environmental performance of two masonry materials local brick and commercial brick. The assessment will be conducted using BIM tools such as Autodesk Revit and Forma, with the aim of demonstrating how appropriate material selection, together with passive design strategies, can significantly improve the building's energy efficiency.

In addition, bioclimatic strategies such as sun-shading fins (brise-soleil), overhangs, solar orientation, and cross-ventilation will be implemented to achieve greater thermal comfort and reduce energy demand without relying on active HVAC systems.

Finally, through modeling and simulations, a detailed comparison between both material types will be presented, taking into account variables such as implementation cost and environmental impact. The goal is to offer a replicable proposal for similar dwellings in urban settings, promoting sustainable construction grounded in local resources and sound technical decision-making.

I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación se centra en el rediseño sustentable de un edificio de apartamentos existente, con el objetivo de evaluar el impacto de la arquitectura pasiva y la selección de materiales locales y comerciales en la mejora del confort térmico y la eficiencia energética. El caso de estudio corresponde al edificio Astorga, ubicado en la zona 13 de la Ciudad de Guatemala, cuya localización geográfica y condiciones climáticas lo convierten en un escenario idóneo para aplicar estrategias de optimización ambiental.

En un contexto donde el sector de la construcción en Guatemala enfrenta el desafío de reducir su impacto ambiental y adaptarse a criterios de sostenibilidad, surge la necesidad de intervenir edificaciones existentes mediante soluciones técnicas viables, accesibles y contextualizadas. En este sentido, la arquitectura pasiva representa una alternativa estratégica, al aprovechar elementos como la orientación solar, la ventilación natural, los voladizos y la masa térmica para disminuir la demanda energética sin recurrir a sistemas activos de climatización.

La investigación integra además un análisis comparativo entre el ladrillo MOC de producción local y el ladrillo Morgan Insalcor de origen comercial internacional, evaluando sus propiedades térmicas, económicas y ambientales. A través de herramientas BIM como Revit y Forma se desarrollaron modelos y simulaciones que permitieron cuantificar la incidencia solar, calcular la transmitancia térmica y estimar la viabilidad técnica y financiera de cada material en escenarios arquitectónicos originales y rediseñados.

El propósito de este trabajo no solo es proponer mejoras aplicables al edificio de estudio, sino también ofrecer un modelo replicable para proyectos similares, que impulse el uso de materiales locales, fomente la reducción de emisiones asociadas a la construcción y promueva prácticas de diseño más sostenibles en el contexto urbano guatemalteco.

II. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, el sector de la construcción enfrenta una presión creciente para adaptarse a criterios de sostenibilidad que permitan reducir el impacto ambiental de las edificaciones. En países como Guatemala, donde una gran parte del parque habitacional fue construido sin criterios térmicos o energéticos, existe una oportunidad significativa para optimizar edificios existentes mediante soluciones técnicas viables, de bajo costo y adaptadas al contexto local.

Este proyecto de tesis se justifica por su enfoque en el análisis comparativo de materiales constructivos locales y comerciales en función de su transmitancia térmica, un parámetro clave en el desempeño energético de la envolvente arquitectónica. La selección de materiales adecuada permite reducir las cargas térmicas, mejora el confort interior y la dependencia de sistemas activos de climatización, lo que se traduce en ahorro energético y menor impacto ambiental. En particular, la transmitancia térmica permite cuantificar que tanto calor se transfiere a través de un elemento constructivo, lo cual es crítico en el diseño o mejora de edificaciones en climas como el de Ciudad de Guatemala, donde la radiación solar y la temperatura se mantiene elevada durante buena parte del año.

Además, se justifica la aplicación de herramientas BIM como Revit y Forma, ya que estas permiten realizar simulaciones energéticas con base en datos georreferenciados y parámetros técnicos reales, lo cual otorga objetividad al proceso de toma de decisiones. En contextos urbanos donde la demolición no es viable, el rediseño sustentable mediante modelado BIM representa una estrategia eficiente para la vida útil de las edificaciones y reducir su huella ecológica.

Este estudio ofrece un modelo replicable para la intervención de edificios residenciales existentes, promoviendo soluciones sustentables basadas en decisiones técnicas informadas, aprovechando los recursos locales y el potencial de la tecnología BIM para evaluar y valor propuestas antes de su implementación real.

III. OBJETIVOS

A. Objetivo general

- Evaluar el desempeño térmico del ladrillo local guatemalteco y de un material comercial importado aplicado en soluciones constructivas para un edificio residencial existente, mediante simulaciones con herramientas BIM, con el fin de desarrollar una propuesta de rediseño arquitectónico sustentable basada en criterios técnicos, económicos y ambientales.

B. Objetivos específicos

- Modelar el edificio existente en Revit, incorporando dos escenarios constructivos: uno con su configuración arquitectónica original y el otro incorporado con estrategias pasivas como parteluces, voladizos y ventilación cruzada.
- Simular el comportamiento térmico de los modelos generados mediante Autodesk Insight y Forma, bajo condiciones climáticas reales de la Ciudad de Guatemala.
- Analizar los valores de transmitancia térmica, resistencia y ganancia térmicas de ambos materiales (ladrillo local y material comercial), así como su impacto térmico.
- Comparar los resultados térmicos, económicos y ambientales de cada combinación (material y diseño), evaluando ventajas, limitaciones y beneficios de implementar estrategias pasivas.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Eficiencia energética en viviendas existentes

La eficiencia energética se define como la práctica para un uso menos de energía para realizar las mismas funciones. En el contexto de los edificios contiene un amplio campo respecto a las estrategias por implementar, las tecnologías y prácticas que tienen el objetivo de reducir el consumo de energía manteniendo o a la vez el poder mejorar el rendimiento general.

Además, esto solo reduce los costos operativos, sino que realiza que haya una disminución en el impacto medioambiental al querer disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, el consumo de recursos naturales, la reducción de residuos y contaminación, la reducción de la huella ecológica del edificio y etc. (Workero, 2023).

1. Conceptos clave

La eficiencia energética en edificios es la relación entre la energía útil obtenida lo cual entra lo que es el confort térmico y la energía total consumida, esto implica el reducir la demanda por medio de un diseño y envolvente y el poder optimizar sistemas donde puedan el cubrir esta demanda. Se evalúa habitualmente por medio de la transmitancia térmica (U) de elementos, calculada con la conductividad térmica (k) de los materiales según ISO 6946 e ISO 10456.

Estas definiciones normalizadas de magnitudes están en la ISO 7345 la cual menciona sobre la conductividad térmica (λ), la resistividad térmica (r), resistencia térmica areal (R), conductancia térmica areal (L), transmitancia térmica areal (U), transmitancia térmica lineal (Ψ), coeficiente superficial de transferencia de calor (h), capacidad calorífica (C), capacidad calorífica específica (c) y difusividad térmica (b).

(ISO, s.f.)

La carta solar es una representación gráfica que nos permite el poder obtener la posición del sol en el cielo respecto a nuestra ubicación, debido a que es considerando una latitud específica, eligiendo una fecha y hora donde se pueda obtener el ángulo solar y el azimut correspondiente.

(Castillo, 2025)

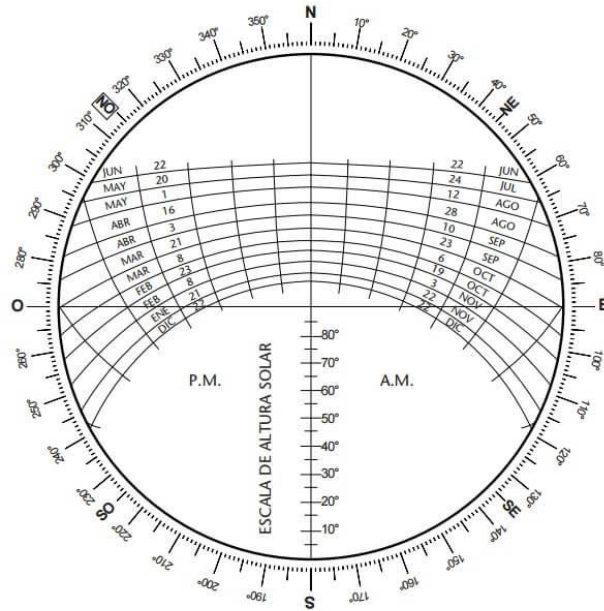


Figura No. 1: Carta solar
Fuente: (Castillo, 2025)

2. Importancia en el edificio existente

La Ciudad de Guatemala presenta un clima templado, en estos climas la gestión solar (voladizos, sombreados), ventilación cruzada, masa térmica y aislamiento reducen las ganancias de calor diurnas y estabilizan la temperatura en el interior sin alto gasto energético mecánico, esto hace que sea muy pertinente priorizar medidas pasivas sobre el edificio existente (M. C. Peel, 2007).

Respecto al control solar con voladizos es un impacto directo en la carga de enfriamiento, dado que el sombreado bien dimensionado hace que se reduzca el enfriamiento anual entre un 5% y 15% es por eso por lo que es importante la orientación y control estacional (Piccardo, 2023).

La ventilación natural cruzada y el aprovechamiento del viento dominante pueden llegar a sustituir horas de enfriamiento mecánico, de hecho, hay estudios que reportan ahorros de 13-44 kWh/m² * año y las aberturas para potenciar el flujo natural, en Astorga, esto guía aberturas se encuentran secciones de aberturas altas/bajas, patios y ventanas opuestas en niveles aptos (Yong, 2022).

La iluminación natural reduce significativamente el uso de la iluminación eléctrica y puede recortar cargas internas de calor, hay métodos como tragaluces, tubos de luz y estantes los cuales demuestran configuraciones optimizadas los cuales equilibran autonomía de luz diurna y el confort visual (Wong, 2017).

El confort térmico de por sí en climas como de la Ciudad de Guatemala los cuales son tropicales y templados de por sí los diseños pasivos limitan el sobrecalentamiento, estabilizan la temperatura operativa y mejoran la percepción de confort sin tener la dependencia de un aire acondicionado. De por sí al bajar la demanda mediante los diseños pasivos se reducen las emisiones operativas (Bulbaai, 2021).

3. Normativas aplicables

La aplicación de estas normativas resulta fundamental como base técnica y a la vez como una metodología para orientar a la vez el desarrollo del estudio, ya que proporciona los lineamientos necesarios para evaluar y valor los resultados obtenidos, por otro lado, la implementación es indispensable al momento de utilizar las herramientas de simulación y modelado, porque permiten el establecer criterios uniformes y confiables para analizar los efectos de las distintas estrategias aplicadas sobre la eficiencia energética de los edificios. La siguiente normativa por aplicar es la siguiente:

ANSI/ASHRAE 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Es una norma nacional estadounidense que establece las condiciones ambientales interiores necesarias para poder lograr un confort térmico aceptable para cada uno de los ocupantes del edificio. Esta norma define los parámetros ambientales y personales que influyen en la percepción de confort térmico, como la temperatura, humedad, la velocidad del aire, actividad y ropa (ASHRAE, 2012).

B. Clima en Guatemala

El clima en Guatemala se da a partir de los fenómenos que se generan con el efecto de la circulación general de la atmosfera, la influencia oceánica y adquiere características particulares por medio de la posición geográfica y la topografía del país. Las cuatros estaciones que normalmente se marcan en el hemisferio Norte, no están en Guatemala, sin embargo, se marcan dos épocas particulares, siendo la época lluviosa entre los meses de mayo a octubre y la época seca que es entre noviembre a abril (FUNCAGUA, 2024).

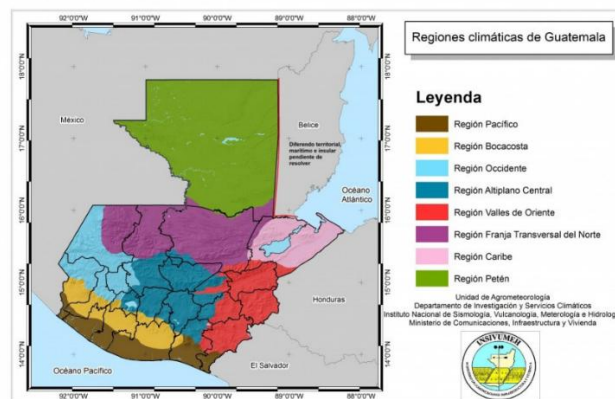


Figura No. 2: Regiones climáticas de Guatemala
Fuente: (es.weatherspark.com, s.f.)

En la Ciudad de Guatemala, la temporada de la lluvia es nublada y la temporada seca es mayormente despejada y es caliente durante todo el año. Durante el lapso del año, la temperatura generalmente varía de 13 °C a 27 °C y rara vez baja por lo menos 11 °C o sube a más de 29 °C. (es.weatherspark.com, s.f.)

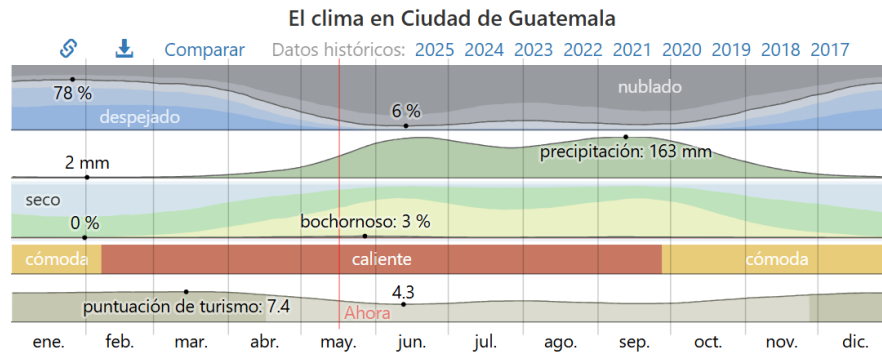


Figura No. 3: El tiempo por mes en Ciudad de Guatemala

Fuente: (es.weatherspark.com, s.f.)

C. Fundamentos de aislamiento térmico

Aislamiento térmico

El aislamiento térmico es la propiedad de los materiales para resistir la transferencia de calor por conducción, reduciendo el flujo de energía térmica entre dos medios a distinta temperatura.. Se considera un material aislante térmico cuando se caracteriza por tener un bajo coeficiente de conductividad térmica (λ) (Erica, s.f.).

Propiedades térmicas en materiales

- Conductividad térmica: Es la capacidad de un material para transferir calor, la conducción térmica en si es un fenómeno por el cual el calor se transporta de regiones de una alta temperatura a regiones de una baja temperatura dentro de un mismo material o entre diferentes cuerpos de por sí. El coeficiente de conductividad térmica se caracteriza por la cantidad de calor necesaria por m².
- Resistividad térmica: Capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor, es lo contrario a la conductividad térmica.
- Dilatación térmica: Es el aumento de tamaño que sufre un material cuando se eleva a una temperatura de este, dentro de las juntas de dilatación separadoras en la construcción se hacen para que con los aumentos de temperaturas y el consiguiente aumento de volumen de un material se puedan llegar a expandir o el poder alargarse de una manera libre.
- Contracción térmica: Es lo contrario a la dilatación térmica en el sentido de que es

la reducción de tamaño que experimenta un material para reducir la temperatura.

- Fusibilidad: Es la capacidad de que un material para fundirse, de pasar a ser un sólido a líquido o viceversa, esto se determina por medio del punto de fusión, lo cual da a entender la temperatura en la cual llega a fundir.
- Soldabilidad: Un material tiene la capacidad para soldarse, consigo mismo o con otro material, de por sí los materiales que contienen una buena fusibilidad por lógica tienen buena soldabilidad.

(MaterialesDe, 2012)

D. Materiales Aislantes

1. Clasificación: locales vs comerciales

- Ladrillo MOC Guatemala (local): Fabrican eco ladrillos modular y productos de materiales de construcción reciclados, que buscan el innovar y concientizar la manera que conocemos de construir. De por sí el eco ladrillo utiliza distintas materias primas, como la tierra y una mezcla de estabilizante hecha de ripios recolectados por toda Guatemala, la cual permite compactarlo y el obtener las resistencias que se requieren. De por sí la elaboración del ladrillo común, son elaborados a base de máquinas de compresión, el proceso de horneado al que el ladrillo tradicional es sometido no existe dentro de este material.

También demuestra mejoras en aislamiento, resistente a los sismos, contra fuego y el uso mínimo de cemento. Las ventajas de este eco ladrillo es que regula la humedad, se adapta al clima el cual será sometido, contiene un aislamiento acústico, es sismo resistente, buen confort y sostenibilidad en soporte de cargas y esfuerzos estructurales. El ladrillo MOC garantiza ahorros notables en función al método constructivo el cual refleja un 65% de otros productos, tales como mano de obra, materiales, acabados finales, revocamientos, encofrados, acero, grout y lo más importante fácil de trabajar, de por sí no requiere de una mano calificada respecto a un método de anclaje es rápido de aprender el rendimiento de levantamiento ya que es notable y eficiente.

(MOC, 2023)

- Los ladrillos aislantes Morgan son piezas diseñadas para trabajar donde casi ningún otro material resiste: hornos, calderas, hornillas y cámaras de combustión con temperaturas de trabajo que superan con holgura los 1,000 °C. Su principal aporte es el poder conservar la energía dentro del equipo: al tener una muy baja conductividad térmica y bajo almacenamiento de calor, minimizan la disipación de calor a través de las paredes y permiten alcanzar y mantener la temperatura con menos combustible o electricidad. Dentro de la operación cíclica contiene baja

inercia térmica ya que se traduce en calentamientos más rápidos y menor tiempo improductivo lo que impacta directamente en lo que son costos y productividad.

Otro valor diferencial es la confiabilidad: Morgan intrínsecamente fabrica sus ladrillos con tolerancias estrechas, alta uniformidad de poros y pureza controlada, lo que ofrece un desempeño consistente y facilita el montaje preciso de los revestimientos. Esa consistencia ayuda a que los hornos mantengan una isoterma más estable a que las juntas cierren mejor, reduciendo puntos calientes o fugas térmicas. Para el usuario final esto se traduce a una vida útil más predecible, el mantenimiento más simple y sobre todo los costos de operación más bajos gracias al ahorro de energía.

(Materials M. A., s.f.)

2. Propiedades térmicas

- Ladrillo MOC Guatemala

Dado que la ficha técnica del ladrillo MOC no publica la transmitancia térmica del ladrillo, se recurrió a la bibliografía de bloques de tierra comprimida estabilizados (CSEB) que a la vez también utilizan materiales estabilizadores (como el ripio y el cemento) para estimar el desempeño térmico de referencia. Con valores representativos de la transmitancia térmica reportados para CSEB y aplicando el método de ISO 6946 (incluyendo resistencias superficiales estándar) a un espesor de 15cm.

Medidas del ladrillo: 15cm x 35cm x 12cm

Transmitancia térmica (K)	1.83 W/m ² -K
----------------------------------	--------------------------

Cuadro No. 1: Transmitancia térmica Ladrillo MOC
Fuente: Elaboración propia

(Real, 2024)

- El ladrillo Morgan Insalcor a 1370°C

Medidas del ladrillo: 11.43cm x 22.86cm x 7.62cm

Transmitancia térmica (K)	1.33 W/m ² -K
----------------------------------	--------------------------

Cuadro No. 2: Transmitancia térmica Ladrillo Morgan Insalcor
Fuente: Elaboración propia

(Materials M. A., 2025)

3. Impacto Ambiental y vida útil

El ladrillo MOC tiene un análisis de ciclo de vida (ACV) la cual trata sobre una metodología estandarizada que cuantifica insumos, emisiones y efectos potenciales sobre el ambiente a lo largo de todas las etapas del producto, desde la extracción de materias primas hasta el fin de vida del producto, de por sí consiste en 4 fases la definición del objetivo y alcance, inventario del ciclo de vida, evaluación de impactos e interpretación según las normas ISO 14040/14044 y este permite comparar materiales bajo un mismo marco funcional y supuestos coherentes, además dentro de edificios el ACV es ampliamente utilizado para apoyar sobre las decisiones del diseño, por otro lado el termino CEB (Compressed Earth Block) designa bloques de tierra comprimida fabricados por prensado de suelos adecuados en estado húmedo, cuando esos bloques incorporan un estabilizante el cual puede ser de un 5-10% de cemento para el poder mejorar la resistencia y la durabilidad una vez se le aplica esos insumos se denominan CSEB (Compressed Stabilized Earth Block). Este material en sí al evitar la cocción y el usar recursos locales, suele mostrar menor energía incorporada y de menor huella de carbono que el ladrillo cocido, haciendo que se mantenga las prestaciones mecánicas y propiedades térmicas adecuadas para climas cálidos de altura (ISO, 2006) (Real, 2024).

Además, sobre la afirmación de CO₂ del Ladrillo MOC Guatemala tiene 65% menos que el ladrillo cocido es una afirmación sobre el fabricante, de por sí los ACV de tierra comprimida si muestran reducciones relevantes frente a ladrillo cocido, si el cemento se mantiene bajo y que no sean tan largas distancias respecto al transporte.

Respecto al Ladrillo Morgan su fabricación implica cocción a altas temperaturas (de por sí más energía incorporada por unidad) pero entrega una larga vida útil en hornos y resistencia a un choque térmico y álcalis, de por sí no es un material típico para envolvente habitadas sino para fuego directo.

4. Costos

Costos por m ²	
Ladrillo	Precio x m ²
Ladrillo MOC Guatemala	Q154.00
Ladrillo Morgan Insalcor	Q1,600.00

Cuadro No. 3: Costos de los ladrillos

Fuente: Elaboración propia

E. Diseño sustentable y arquitectura pasiva

Un diseño sustentable es el que integra el reducir impactos ambientales, sociales y económicos a lo largo del ciclo de vida del activo, haciendo que garantice al mismo tiempo salud, confort y viabilidad económica. Durante la práctica combina lo que son decisiones sobre los materiales y la construcción de este siempre considerando los impactos con el desempeño operativo donde entra lo que es la energía, agua, residuos y la calidad ambiental interior (Rashid, 2015).

La arquitectura pasiva es la primera línea de acción donde se optimiza la demanda antes de pensar en equipos, aprovechando condiciones climáticas locales como el sol, viento, cielo, temperatura y humedad ya que, mediante la forma, orientación, la envolvente térmica, el control solar, ventilación natural y la luz diurna. Para lo que es climas cálidos o templados, la combinación de sombreado, ventilación natural y aislamiento selectivo es especialmente efectiva (Anand, Lakshmi Kadiri, & Putcha, 2023).

1. Estrategias bioclimáticas

- Orientación y forma para evitar sol según clima respecto con relación a las ventanas y muros optimizados (Xue, 2021).
- Ventilación natural y ventilación nocturna mejoraron lo que es el confort y reducen picos de temperatura donde hay síntesis recientes de su eficacia y límites (Mahgoub, 2025).
- Masa térmica de por sí amortigua y desfasa oscilaciones lo cual dentro de su efectividad depende del régimen de día y noche y humedad del clima (M. Hamada, Al-Attar, Kamal Askar, Beddu, & Majdi, 2025).

2. Voladizos y parteluces

- Voladizos son elementos horizontales que bloquean radiación alta en verano y permiten sol bajo en invierno, de por sí hay estudios paramétricos que muestran reducciones de energía primaria hasta un 29% y de refrigeración con profundidades optimas por fachada, de por sí el diseño debe de evitar sobre sombreado (Nazari, Mohammadi, & Sareh, 2023).
- Tragaluces aportan luz cenital muy eficaces es importante su geometría y control debido a que son calve para evitar el sobrecalentamiento y las optimizaciones multi-objeto ya que logran simultáneamente UDI adecuada y menor energía (Fakhr, 2023).

3. Equinoccios y solsticios

El equinoccio es el momento del año en el que el sol se encuentra en su cenit en el ecuador terrestre y la Tierra se encuentra dentro de un ángulo recto siempre incluyendo los polos con respecto a los rayos solares, de por sí el día y la noche tienen entonces la misma duración.

Los solsticios son el momento del año en que los rayos solares inciden sobre la Tierra en el ángulo más inclinado. El solsticio de verano representa el día más largo y la noche más corta del año, mientras que el solsticio de invierno representa el día más corto y la noche más larga.

Solsticios y equinoccios en 2025	
Equinoccio de primavera	jueves 20 de marzo de 2025
Solsticio de verano	sábado 21 de junio de 2025
Equinoccio de otoño	lunes 22 de septiembre de 2025

Cuadro No. 4: Solsticios y equinoccios en 2025

Fuente: Elaboración propia

(Calendario, s.f.)

F. Herramientas BIM para análisis energético

1. Autodesk Revit

Autodesk Revit es un software de BIM el cual permite que arquitectos, ingenieros y profesionales de la construcción puedan diseñar y modelar edificios e infraestructuras en 3D, ofreciendo herramientas para la creación de los modelos con la información paramétrica, así como la gestión y documentación de proyectos, en sí facilita la colaboración entre los equipos multidisciplinarios y también permite la gestión de proyectos de una forma más eficiente. Las ventajas que contiene este software son las siguientes:

- **Modelado BIM:** El crear modelos 3D que contiene información sobre el diseño, los materiales, las cantidades, las instalaciones y etc.
- **Diseño paramétrico:** Los elementos de Revit son paramétricos en el sentido de que contiene propiedades que pueden ser modificadas fácilmente y los cambios que se reflejan en todas las vistas y los elementos de los modelos.
- **Documentación:** En sí Revit permite el generar de una manera automática los planos, alzados, secciones, detalles y otras vistas del proyecto, haciendo que se creen informes y tablas de planificación.
- **Colaboración:** Revit permite que varios usuarios puedan trabajar en el mismo modelo, utilizando herramientas de gestión de versiones y resolución de conflictos.

- **Gestión de proyectos:** El software facilita el que haya una gestión de proyectos haciendo que permita a los usuarios el controlar los cambios, las revisiones y a la información del proyecto.
- **Integración:** Revit se integra con las herramientas de software Autodesk como los softwares conocidos como AutoCAD y BIM 360 permitiendo el que haya una colaboración y una gestión de los proyectos de una forma mucho más eficientes.
- **Software multidisciplinar:** Por último, Revit ofrece herramientas para el diseño arquitectónico, estructural, de la ingeniería MEP y la construcción en sí.

(Arcux, s.f.)

2. Autodesk Forma

Es un software en la nube el cual utiliza inteligencia artificial para poder ayudar a arquitectos en las etapas iniciales de diseño, desde la planificación hasta el modelado en 3D. Ofrece varias herramientas intuitivas para desarrollar y evaluar diferentes conceptos de diseño haciendo que se dé dentro de la ubicación, en el impacto ambiental y en la sostenibilidad. Las herramientas que ofrece Autodesk Forma son las siguientes:

- **Facilita el diseño conceptual:** Permite crear los modelos 3D de manera rápida y sencilla haciendo que contenga datos geolocalizados y contextuales.
- **Analiza y simula:** Unos de los puntos más importantes es el análisis que realiza en el impacto ambiental como el análisis de luz solar, viento y ruido, para evaluar la sostenibilidad de las propuestas de diseño.
- **Apoya a la toma de decisiones:** En el momento que se realiza el diseño ayuda a elegir la mejor opción de diseño basados en datos y análisis.
- **Acelera el proceso de diseño:** Permite el desarrollar y evaluar múltiples conceptos de forma rápida, ahorrando el tiempo y los recursos.

(Editeca, 2023)

V. METODOLOGÍA

A. Análisis de sitio

El primer paso para el desarrollo de este trabajo de graduación consistió en la realización de un análisis detallado del sitio donde se encuentra ubicada la edificación. Este análisis incluyó la identificación de las características geográficas del proyecto, la posición exacta mediante coordenadas, así como el estudio del recorrido solar y las horas de incidencia directa del sol sobre el edificio. El propósito de este procedimiento fue conformar una base de datos inicial del emplazamiento, la cual sirvió como fundamento para los análisis posteriores y para la propuesta de estrategias de optimización energética mediante arquitectura pasiva.

B. Análisis de materiales locales y comerciales

El segundo paso consistió en la evaluación comparativa de materiales de construcción. En primer lugar, se analizaron los materiales locales disponibles en Guatemala, con el objetivo de identificar sus características térmicas y constructivas relevantes para la simulación energética. Posteriormente, se realizó un análisis de un material comercial de distribución internacional, a fin de obtener información técnica que permitiera establecer una comparación objetiva entre ambos. Este proceso tuvo como finalidad recopilar los parámetros necesarios para la modelación y los cálculos de desempeño térmico, garantizando una base sólida para los escenarios de simulación planteados en la investigación.

C. Modelado BIM de edificio existente

El tercer paso consistió en la elaboración del modelo BIM a partir de los planos originales del edificio. Este procedimiento permitió definir con precisión la volumetría del diseño existente, lo cual resultaba indispensable para posteriormente desarrollar un rediseño basado en principios de arquitectura pasiva. La creación del modelo incluyó la incorporación de las principales características arquitectónicas y constructivas necesarias para realizar las simulaciones energéticas. Finalmente, el modelo fue exportado en formato IFC, garantizando su compatibilidad con el software de simulación empleado en el análisis comparativo.

D. Rediseño arquitectónico a partir de simulaciones

El cuarto paso consistió en someter el modelo original a simulaciones energéticas y de asoleamiento, con el objetivo de analizar el comportamiento del edificio frente a la incidencia solar a lo largo del año. A partir de los resultados obtenidos, se plantearon estrategias de rediseño arquitectónico pasivo orientadas a mejorar el confort térmico y reducir la ganancia de calor al interior. Posteriormente, el modelo rediseñado fue nuevamente evaluado mediante simulaciones, lo que permitió comparar los resultados con el diseño original y determinar el grado de mejora alcanzado.

E. Cálculos de transmitancia térmica sobre la comparativa de materiales

Una vez obtenidos los datos necesarios sobre la conductividad térmica de cada material, se procedió a realizar los cálculos de transmitancia térmica en muros, con el fin de evaluar la cantidad de ganancia térmica proveniente del exterior que generan. Este análisis permitió establecer una comparación del desempeño térmico entre los materiales locales y comerciales, identificando cuál resulta más eficiente en términos de confort interior. Paralelamente, se llevó a cabo una comparativa económica, considerando el costo de adquisición de cada material frente a los beneficios energéticos obtenidos, lo que permitió valorar su viabilidad técnica y financiera dentro del proyecto.

F. Documentación y conclusiones

Finalmente, se elaboraron los informes y reportes técnicos correspondientes, en los que se presentan los resultados obtenidos a partir de las simulaciones realizadas con la arquitectura pasiva integrada. Asimismo, se expone la comparativa de los valores de transmitancia térmica entre materiales locales y comerciales, junto con el análisis de viabilidad económica de cada alternativa. Este proceso permitió consolidar los hallazgos de la investigación y formular las conclusiones, enfocadas en determinar el impacto de las estrategias de arquitectura pasiva y la selección de materiales en la mejora del confort térmico y la eficiencia energética del edificio objeto de estudio.

VI. RESULTADOS

A. Información de la edificación y análisis de sitio

En esta investigación, la edificación objeto de estudio corresponde al edificio de apartamentos Astorga, ubicado en la zona 13 de la Ciudad de Guatemala, cuyas coordenadas geográficas son $14^{\circ}34'16.99''$ N y $90^{\circ}31'34.85''$ O. El propósito principal es demostrar las mejoras que se pueden alcanzar mediante la aplicación de estrategias de arquitectura pasiva. El edificio cuenta con seis niveles, distribuyendo un total de 17 apartamentos: cuatro por planta en los primeros cinco niveles y un apartamento adicional en el sexto nivel. Además, dispone de 32 parqueos bajo techo, con previsión para incorporar opciones adicionales mediante car-lifts. La localización del proyecto resulta particularmente favorable para la implementación de estas mejoras, debido a la incidencia solar directa que recibe durante el año. Por tal motivo, se analizó el sitio y sus condiciones climáticas con el fin de identificar y evaluar las oportunidades de optimización pasiva que contribuyan al confort térmico y a la eficiencia energética de la edificación.

(Astorga, s.f.)

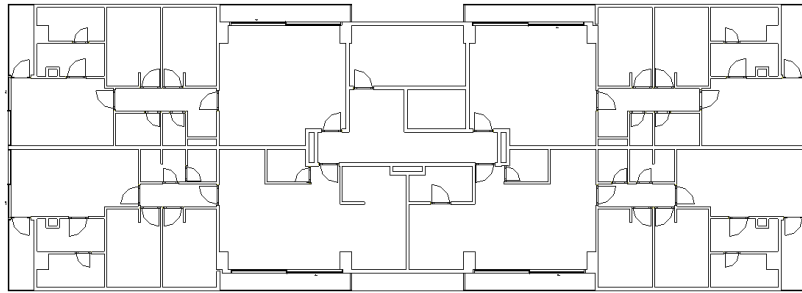


Figura No. 4: Planta típica de la edificación
Fuente: Elaboración propia.

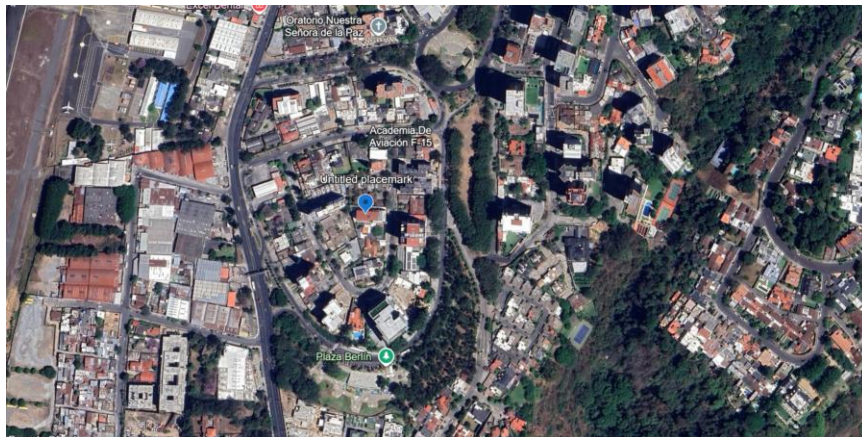


Figura No. 5: Ubicación del proyecto
Fuente: Elaboración propia.

B. Hipótesis sobre aspectos a mejorar

En relación con el edificio Astorga, se plantea que la ubicación en la que se encuentra ofrece la oportunidad de rediseñar la arquitectura bajo criterios pasivos, con el fin de disminuir la incidencia solar directa. Durante el análisis solar se observó que la mayoría de las elevaciones resultan afectadas en las fechas de los equinoccios y solsticios, lo que provoca un impacto directo en el confort térmico interior. Asimismo, se identificó la posibilidad de optimizar los materiales constructivos empleados en los muros, con el objetivo de mejorar el desempeño térmico de la edificación.

En este sentido, las posibles soluciones no implican una transformación radical de la edificación existente, sino la implementación de estrategias puntuales que validen las siguientes hipótesis:

- Implementación de voladizos. La incorporación de voladizos puede generar la sombra necesaria para reducir la ganancia térmica en el interior, al mismo tiempo que permite aprovechar la iluminación natural en determinadas horas del día, contribuyendo a un mejor confort térmico.
- Sustitución de materiales en muros de ladrillo. La selección de materiales con menor transmitancia térmica puede representar una mejora significativa en el confort de los apartamentos y del edificio en general. Además, esta estrategia puede evaluarse en términos de viabilidad económica, considerando tanto la inversión inicial como el beneficio energético y de confort a mediano y largo plazo.

C. Escenarios modelados en Revit dentro de Forma

La arquitectura original de la edificación presentaba cargas térmicas determinadas a partir de la incidencia solar, las cuales se mantuvieron en un rango promedio de 2 a 3.5 horas de exposición en cada una de las elevaciones. No obstante, se identificó que este comportamiento podía optimizarse mediante la aplicación de estrategias de arquitectura pasiva. Para ello, se analizaron las condiciones solares correspondientes a los equinoccios y solsticios de 2025, con el fin de establecer criterios de diseño adecuados. Como resultado, se implementaron voladizos dimensionados en función de dichas fechas, lo que permitió controlar el asoleamiento y mejorar el desempeño térmico de la edificación. Para el cálculo de estos elementos se emplearon los siguientes cálculos:

- Fórmula de elevación y declinación solares

$$\sin(\theta) = \sin(\varphi)\sin(\delta) + \cos(\varphi)\cos(\delta)\cos(H)$$

Donde:

θ : Ángulo de elevación solar

φ : Latitud

δ : Declinación solar

H : Ángulo horario

(Duffie & Beckman, 2013)

Respecto a la declinación solar, este valor varía a lo largo del año debido a la inclinación del eje terrestre, el cual se encuentra inclinado aproximadamente 23.5° respecto al plano de su órbita. Esta inclinación provoca que el ángulo entre el plano ecuatorial de la Tierra y la línea Tierra-Sol cambie diariamente, definiendo así la posición aparente del Sol en el cielo.

Este ángulo conocido como declinación solar (δ) alcanza un valor máximo de $+23.45^\circ$ durante el solsticio de verano (alrededor del 22 de junio), un valor mínimo de -23.45° durante el solsticio de invierno (alrededor del 22 de diciembre), y un valor de 0° durante los equinoccios de primavera y otoño (alrededor del 21 de marzo y 22 de septiembre).

En los presentes cálculo se utiliza precisamente el día del equinoccio de primavera (21 de marzo), por lo que la declinación solar adoptada es $\delta = 0^\circ$ al igual para el equinoccio de otoño, ya que en esa fecha el Sol se encuentra alineado con el plano ecuatorial terrestre, resultando en una distribución equitativa de radiación solar entre ambos hemisferios.

(Szokolay, 2014)

- Fórmula de ángulo horario

$$H = 15^\circ \times (\text{hora solar} - 12) = 15^\circ \times (15 - 12) = 45^\circ$$

Donde:

H : Ángulo horario

Hora solar: Se tomó como referencia la hora solar de las 15:00 (3:00 p.m.), momento que generalmente presenta las temperaturas más elevadas del día.

(Szokolay, 2014)

Sustituyendo la fórmula de ángulo horario:

$$H = 15^\circ \times (15 - 12) = 45^\circ$$

Sustituyendo la fórmula de elevación y declinaciones solares (θ):

- Solsticio de verano

$$\sin(\theta) = \sin(14.6^\circ)\sin(23.45^\circ) + \cos(14.6^\circ)\cos(23.45^\circ)\cos(45^\circ)$$

$$\sin(\theta) = 0.252 \times 0.398 + 0.970 \times 0.917 \times 0.707$$

$$\sin(\theta) = 0.100 + 0.630 = 0.730$$

$$\theta = \arcsin(0.730) = 47.6^\circ$$

- Fórmula de longitud de voladizo

$$L = \frac{h}{\tan(\theta)} = \frac{2.40m}{\tan(47.6^\circ)} = 2.22m$$

Donde:

L : Longitud del voladizo (m)

h : Altura a sombrear (m)

θ : Ángulo de elevación solar

Sustituyendo fórmula de longitud de voladizo:

$$L = \frac{2.40m}{\tan(47.6^\circ)} = 2.22m$$

Longitudes de voladizos (L)			
Equinoccio o solsticios	h	θ	L
Equinoccio de primavera	2.40m	45.4°	2.37m
Solsticio de verano	2.40m	47.6°	2.22m
Equinoccio de otoño	2.40m	42.1°	2.66m

Cuadro No. 5: Resultados de longitudes de voladizos.

Fuente: Elaboración propia

- Escenario 1 (modelo versión original)

Software: Revit

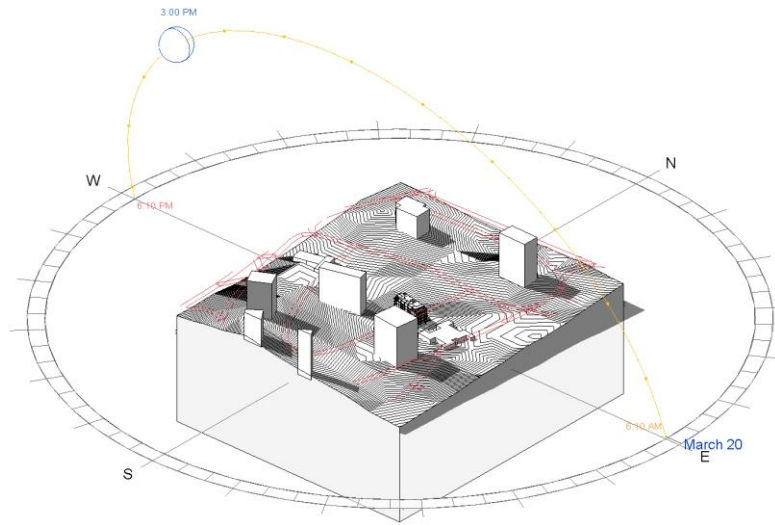


Figura No. 6: Camino del sol en el equinoccio de primavera
Fuente: Elaboración propia.

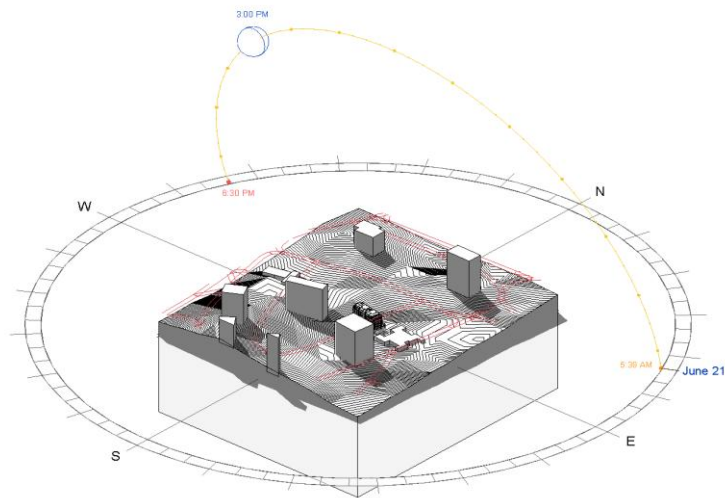


Figura No. 7: Camino del sol en el solsticio de verano
Fuente: Elaboración propia.

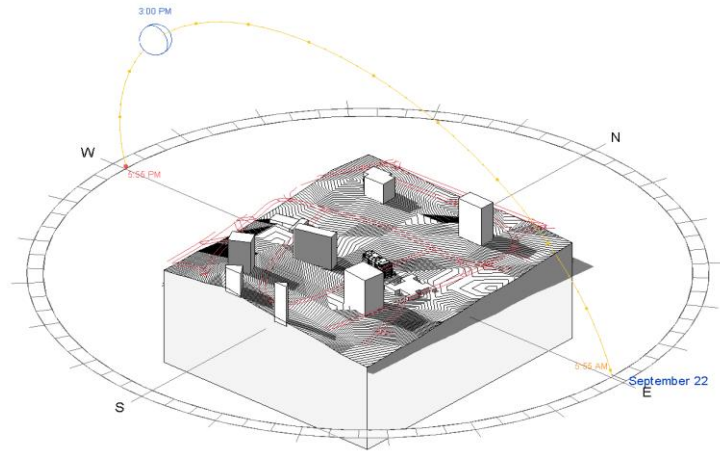


Figura No. 8: Camino del sol en el equinoccio de otoño
 Fuente: Elaboración propia.

Software: Forma



Figura No. 9: Sun Hours (equinoccio de primavera) – Elevación Oeste
 Fuente: Elaboración propia.



Figura No. 10: Sun Hours (equinoccio de primavera) – Elevación Norte
Fuente: Elaboración propia.



Figura No. 11: Sun Hours (equinoccio de primavera) – Elevación Sur
Fuente: Elaboración propia.

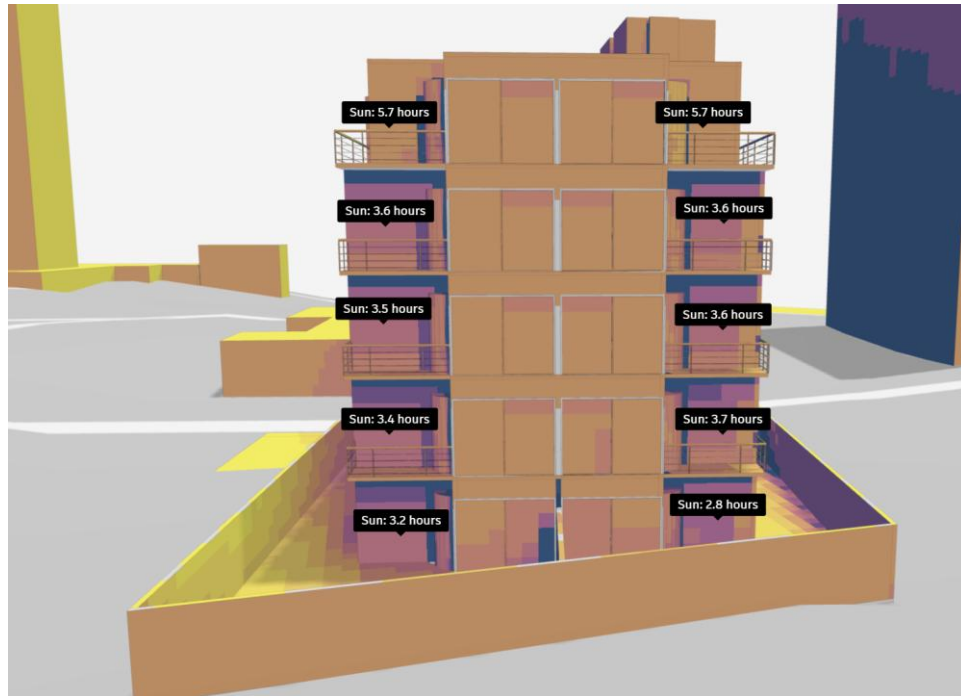


Figura No. 12: Sun Hours (equinoccio de primavera) – Elevación Este
Fuente: Elaboración propia.

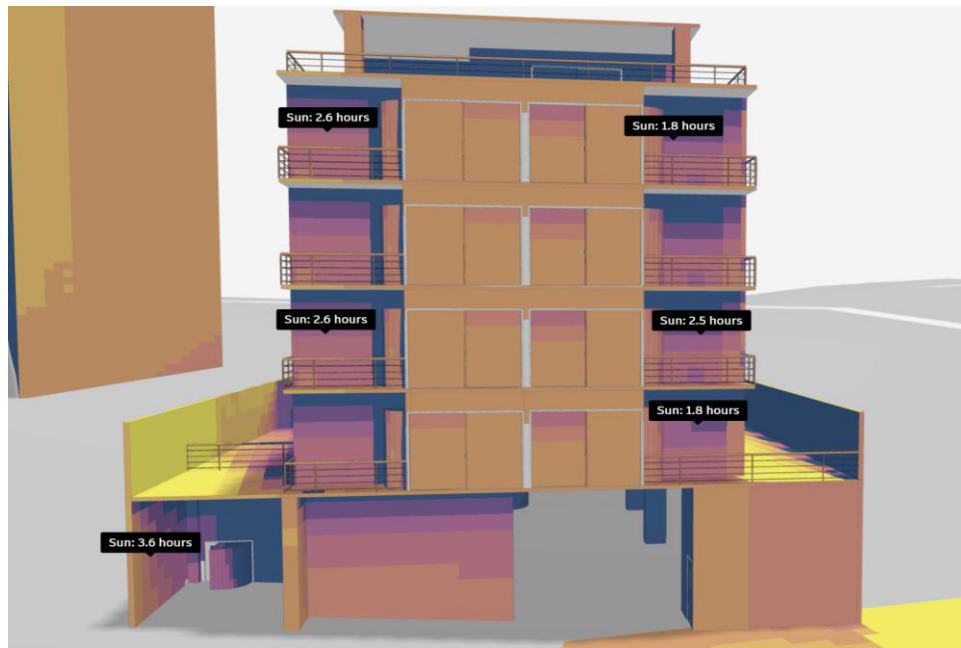


Figura No. 13: Sun Hours (solsticio de verano) – Elevación Oeste
Fuente: Elaboración propia.

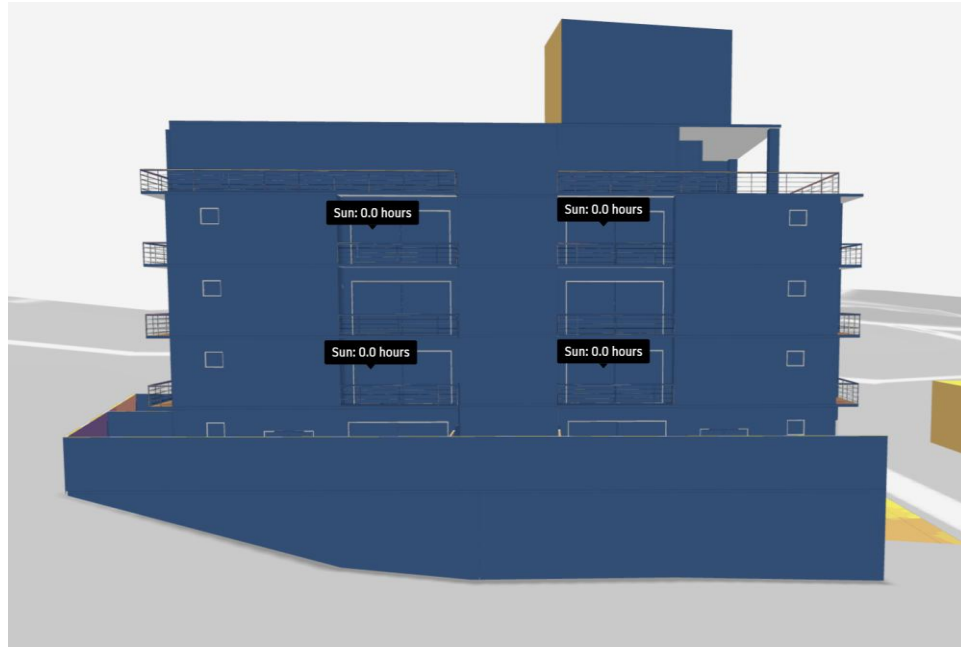


Figura No. 14: Sun Hours (solsticio de verano) – Elevación Norte
Fuente: Elaboración propia.



Figura No. 15: Sun Hours (solsticio de verano) – Elevación Sur
Fuente: Elaboración propia.

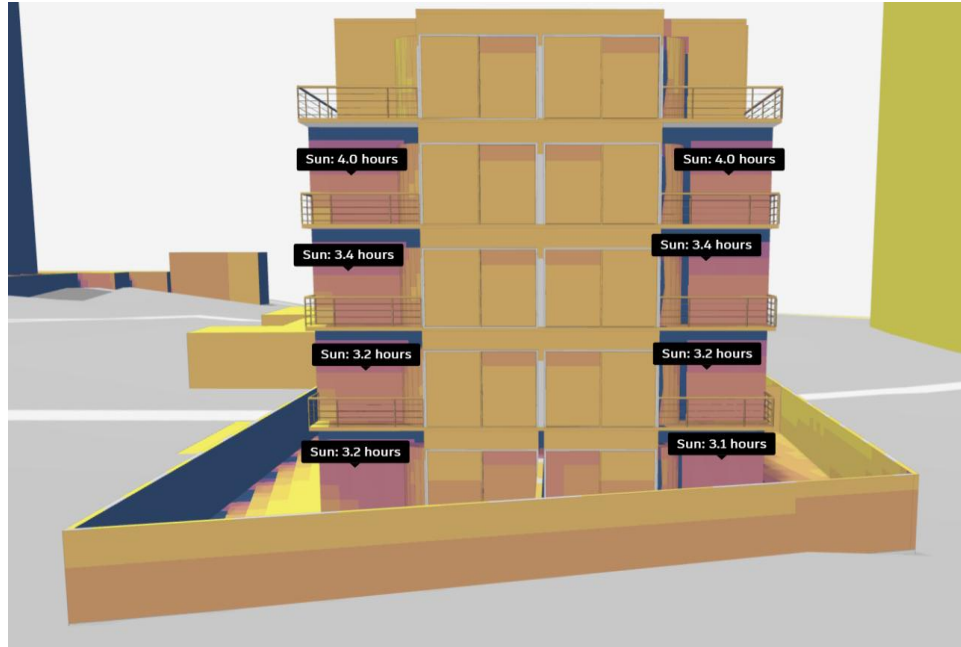


Figura No. 16: Sun Hours (solsticio de verano) – Elevación Este
Fuente: Elaboración propia.



Figura No. 17: Sun Hours (equinoccio de otoño) – Elevación Oeste
Fuente: Elaboración propia.



Figura No. 18: Sun Hours (equinoccio de otoño) – Elevación Norte
Fuente: Elaboración propia.



Figura No. 19: Sun Hours (equinoccio de otoño) – Elevación Sur
Fuente: Elaboración propia.

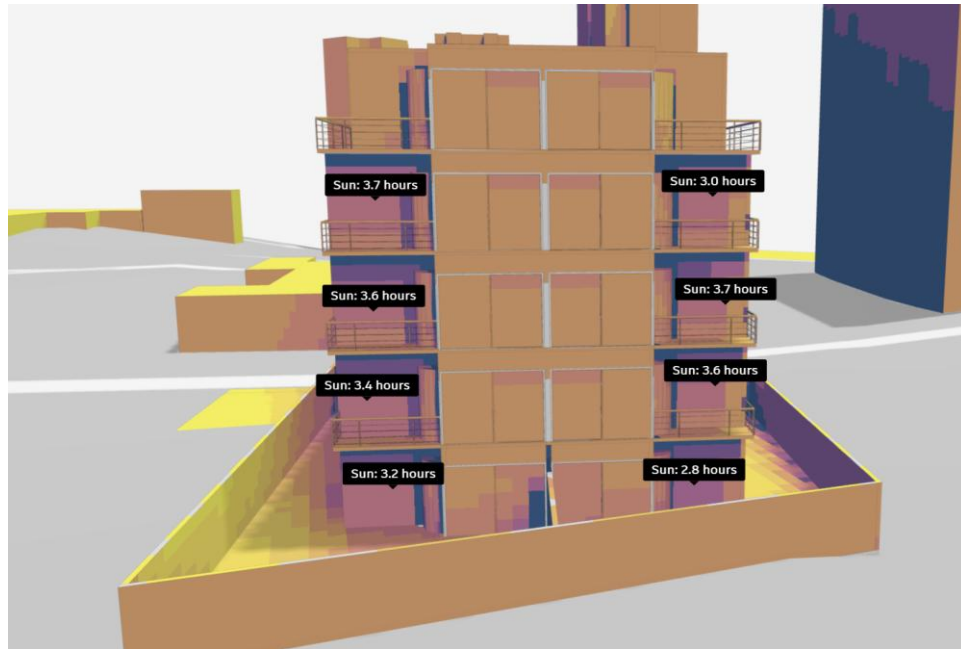


Figura No. 20: Sun Hours (equinoccio de otoño) – Elevación Este
Fuente: Elaboración propia.

- Escenario 2 (modelo respecto al equinoccio de primavera)

Software: Forma

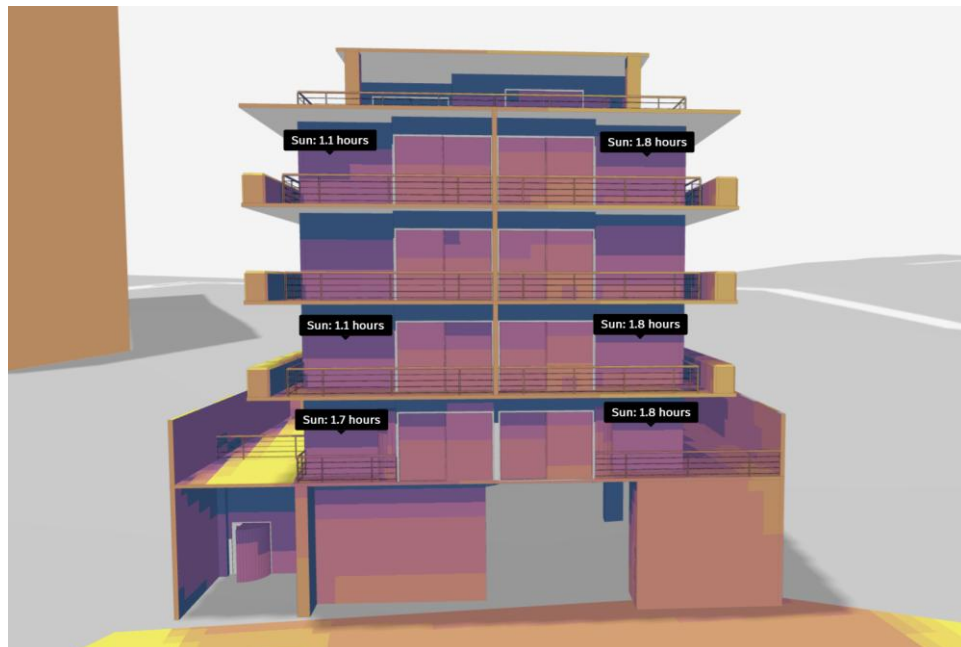


Figura No. 21: Sun Hours (equinoccio de primavera) – Elevación Oeste
Fuente: Elaboración propia.



Figura No. 22: Sun Hours (equinoccio de primavera) – Elevación Norte
Fuente: Elaboración propia.

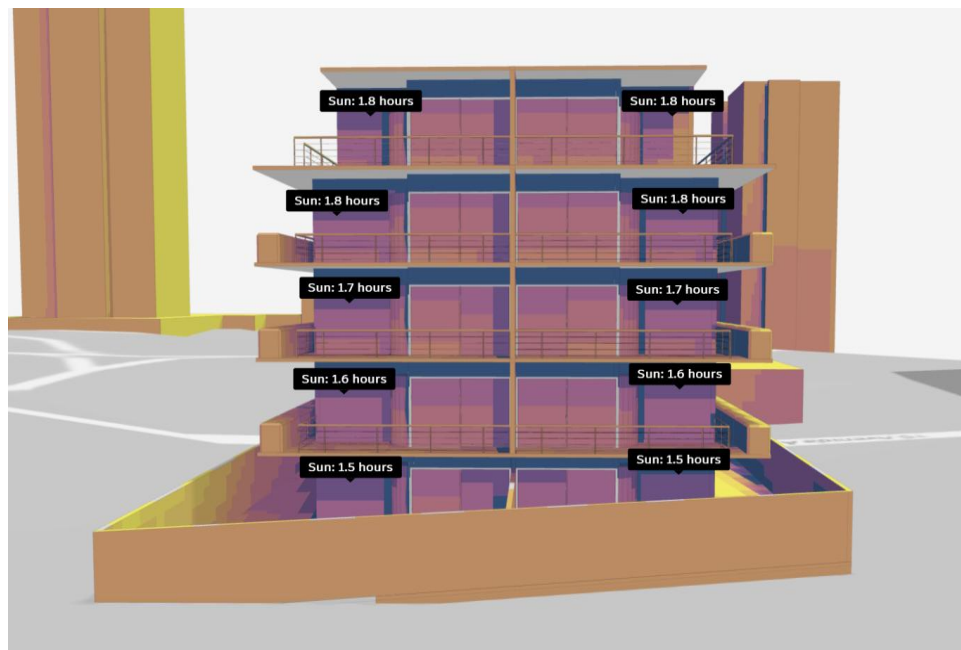


Figura No. 23: Sun Hours (equinoccio de primavera) – Elevación Este
Fuente: Elaboración propia.

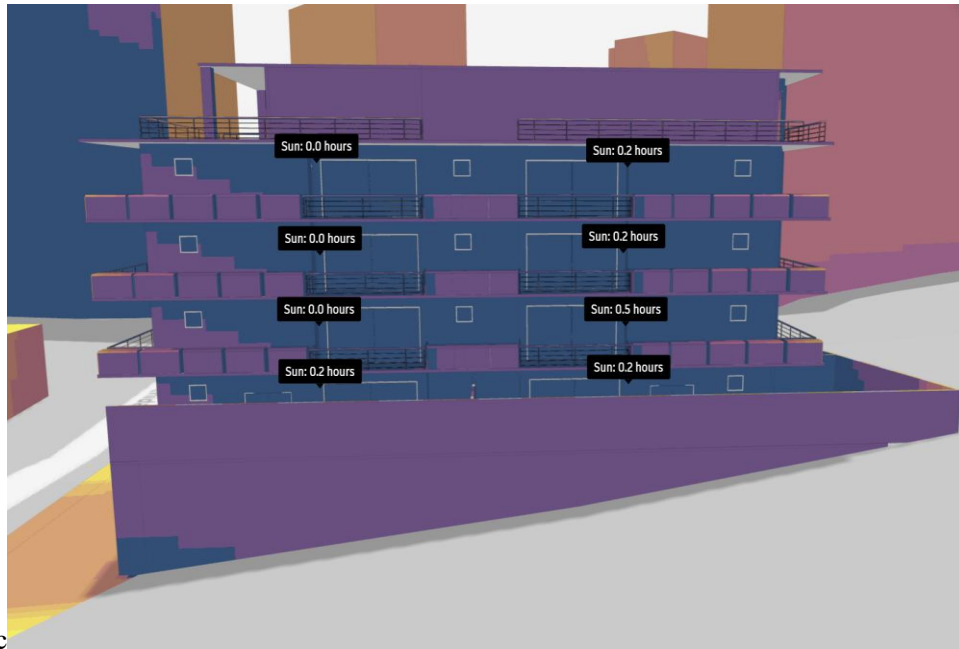


Figura No. 24: Sun Hours (equinoccio de primavera) – Elevación Sur
Fuente: Elaboración propia.

- Escenario 3 (modelo respecto al solsticio de verano)

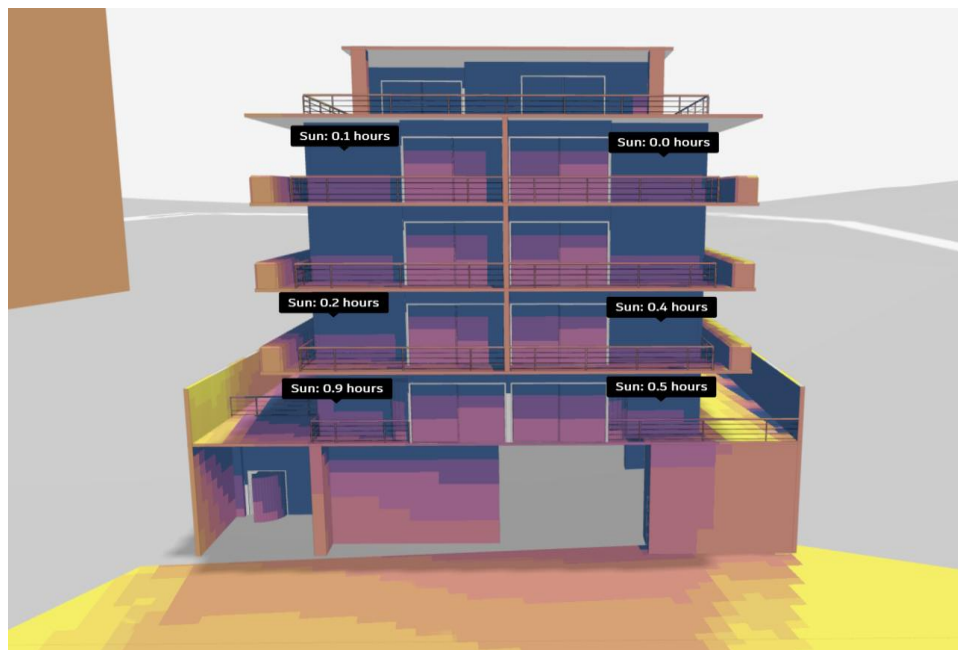


Figura No. 25: Sun Hours (solsticio de verano) – Elevación Oeste
Fuente: Elaboración propia.

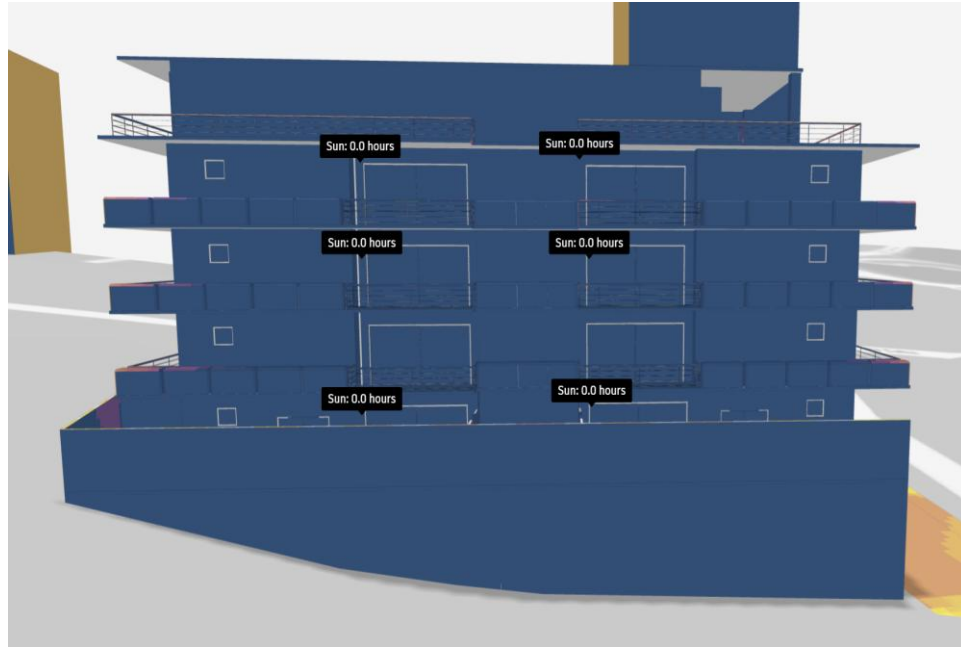


Figura No. 26: Sun Hours (solsticio de verano) – Elevación Norte
Fuente: Elaboración propia.

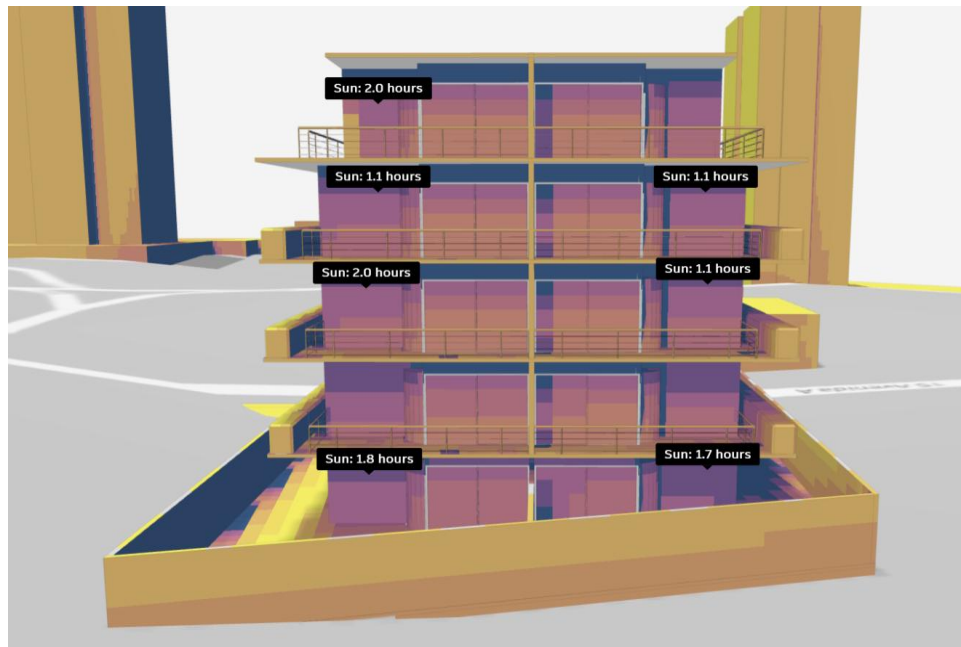


Figura No. 27: Sun Hours (solsticio de verano) – Elevación Este
Fuente: Elaboración propia.



Figura No. 28: Sun Hours (solsticio de verano) – Elevación Sur
 Fuente: Elaboración propia.

- Escenario 4 (modelo respecto al equinoccio de otoño)

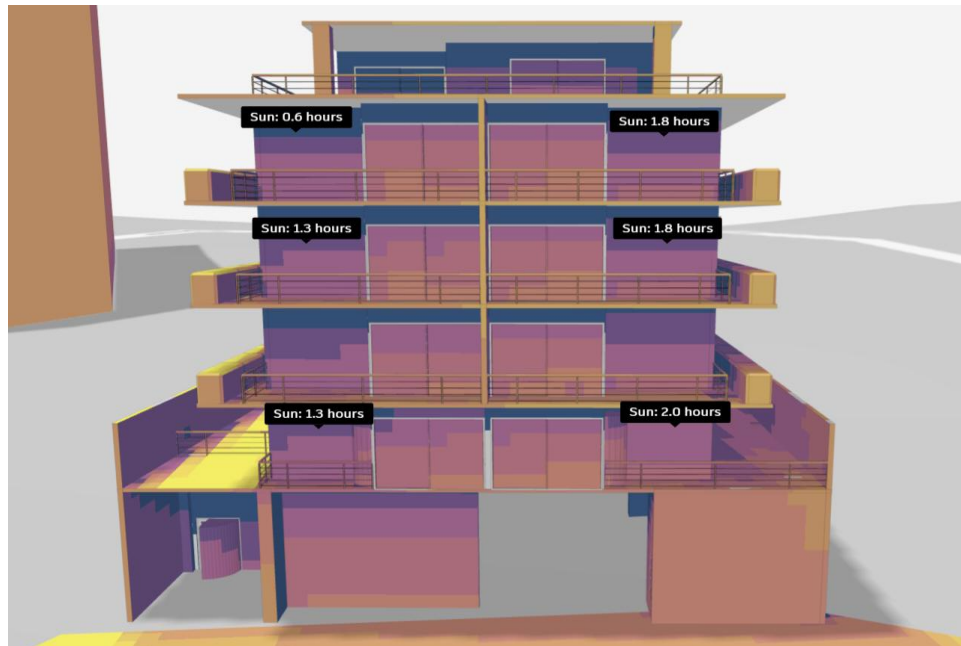


Figura No. 29: Sun Hours (equinoccio de otoño) – Elevación Oeste
 Fuente: Elaboración propia.

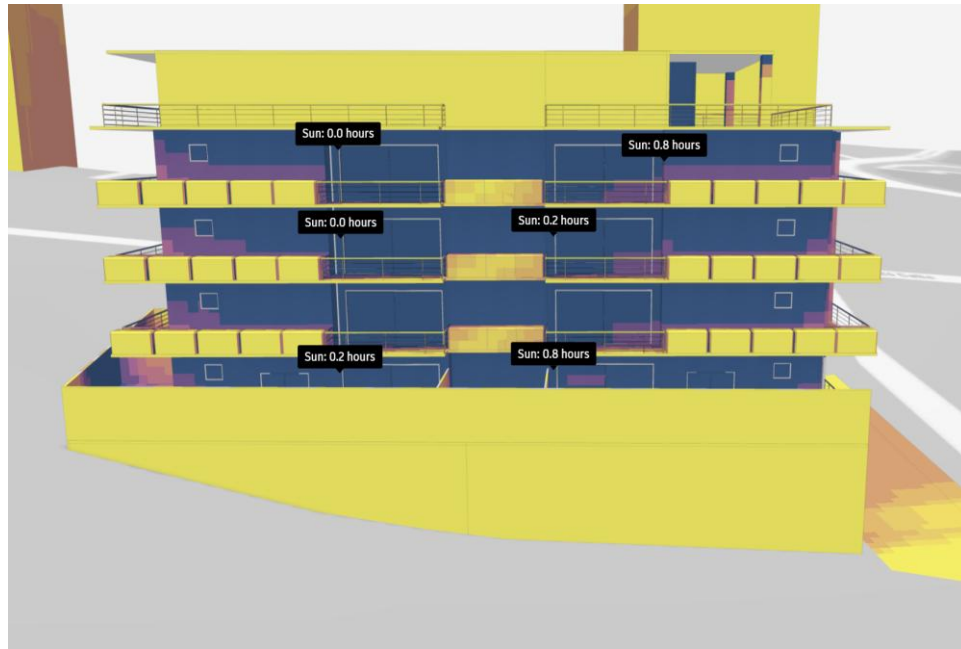


Figura No. 30: Sun Hours (equinoccio de otoño) – Elevación Norte
Fuente: Elaboración propia.

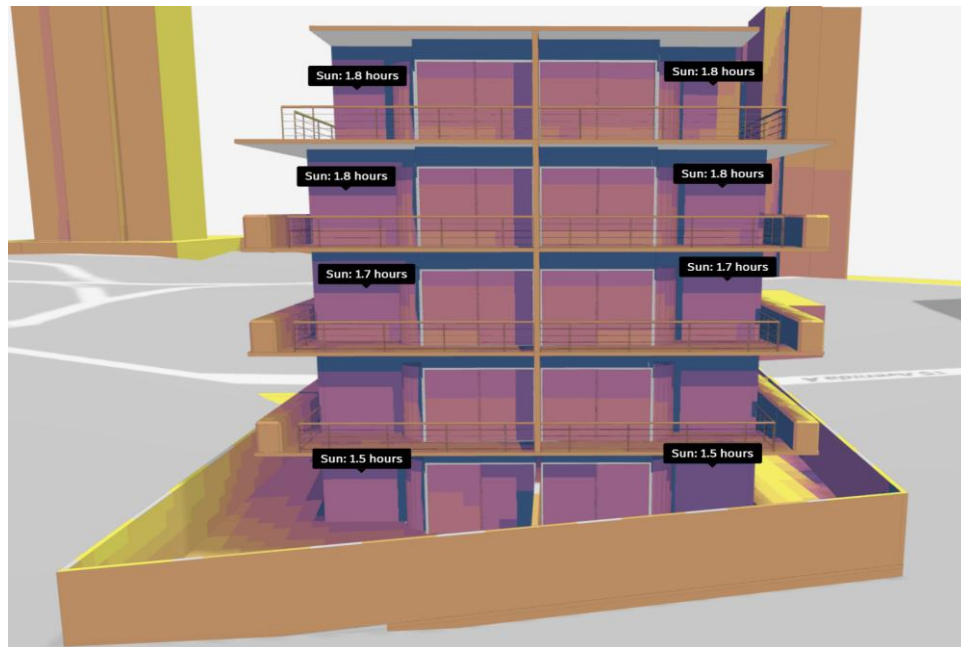


Figura No. 31: Sun Hours (equinoccio de otoño) – Elevación Este
Fuente: Elaboración propia.



Figura No. 32: Sun Hours (equinoccio de otoño) – Elevación Sur
Fuente: Elaboración propia.

D. Análisis térmico: comparación de transmitancia térmica

- Transmisión térmica a través de paredes

Para llevar a cabo el análisis térmico comparativo entre el ladrillo local y el ladrillo comercial, se empleará la siguiente fórmula:

$$Q_{str} = K * S * (T_{ec} - T_i)$$

Donde:

Q_{str} : Transmisión térmica a través de paredes

K : Coeficiente de transmisión térmica ($W/m^2\text{°C}$)

S : Superficie del cerramiento (m^2)

T_{ec} : Temperatura exterior (°C)

T_i : Temperatura interior

(s.a., Cálculo de cargas térmicas: conceptos básicos y métodos, 2025)

Para determinar la temperatura interior, de acuerdo con la norma ANSI/ASHRAE Standard 55-2020, sección 5.3.2.2, el punto neutro de confort en espacios ventilados de manera natural se establece mediante la siguiente fórmula:

$$T_{comfort} = 0.31 * T_o + 17.8$$

Donde:

$T_{comfort}$: Temperatura interior

T_o : Temperatura exterior

La constante de 17.8 se obtiene a partir de una representación gráfica, dado que esta fórmula se aplica sobre el límite superior de aceptabilidad del 80 %, expresado en grados Celsius (°C), el cual se define de la siguiente manera:

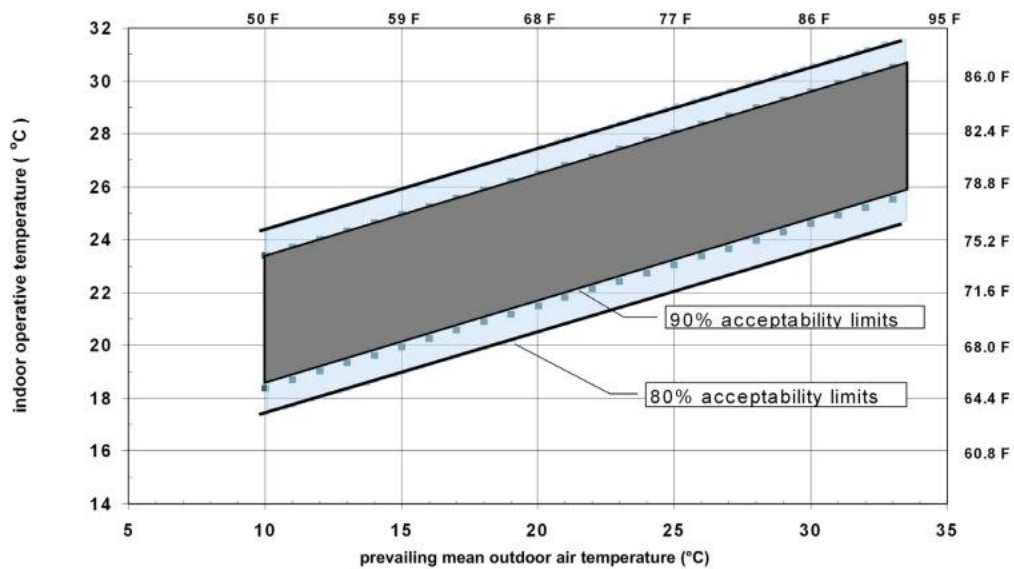


Figura No. 33: Rangos de temperatura operativa aceptables para espacios acondicionados naturalmente (los límites del 80% son normativos, los límites del 90% son informativos)
Fuente: ANSI/ASHRAE Standard 55-2010

(ASHRAE, 2012)

(s.a., Occupant Thermal Comfort, 2021)

En la ciudad de Guatemala, la temperatura exterior oscila entre 13 °C y 27 °C, tal como se muestra en la Figura No. 2. Para el presente análisis se considerará el valor más alto, correspondiente a 27 °C.

Sustituyendo la fórmula para encontrar la temperatura interior:

$$T_{comfort} = 0.31 * 27^{\circ}\text{C} + 17.8 \sim 26^{\circ}\text{C}$$

La temperatura interior considerada para el análisis es de 26 °C. A continuación, este valor se sustituirá en la fórmula correspondiente para calcular la transmisión térmica a través de las paredes, comparando el desempeño del ladrillo local frente al ladrillo comercial:

- Ladrillo MOC Guatemala

$$Q_{str} = 1.83W / m^2\text{°C} * 866m^2 * (27\text{°C} - 26\text{°C}) = 1584.78W$$

- El ladrillo Morgan Insalcor a 1370°C

$$Q_{str} = 1.33W / m^2\text{°C} * 866m^2 * (27\text{°C} - 26\text{°C}) = 1151.78W$$

VII. DISCUSIÓN

Respecto a los escenarios analizados, se observa que existieron variaciones significativas en las horas de asoleamiento sobre cada una de las elevaciones, evidenciando los efectos de la incorporación de estrategias de control solar. En el equinoccio de primavera, se identificó una diferencia notable en comparación con el diseño original, con un rango de reducción entre 1.1 y 1.8 horas de exposición solar. Asimismo, en la elevación norte se percibe una variación significativa: mientras en el diseño original la exposición era mayor, tras la implementación de voladizos el rango se redujo a valores mínimos de entre 0 y 0.2 horas, lo que evidencia un control más eficiente del ingreso solar en esa fachada.

En el solsticio de verano, los resultados muestran también una mejora importante. En la elevación este se evidenció una disminución en las horas de incidencia solar que oscila entre 1.1 y 2 horas respecto al diseño original, lo que refleja el efecto de los dispositivos de sombreado en una de las fachadas más expuestas durante esa estación. Del mismo modo, en la elevación sur, donde históricamente la radiación solar directa es considerable, se presentó una reducción entre 0.4 y 0.6 horas, lo cual contribuye a disminuir la carga térmica interior en esa orientación.

Finalmente, en el equinoccio de otoño se identificaron también diferencias significativas, particularmente en la elevación oeste, donde se registró una reducción de entre 0.3 y 1.8 horas de asoleamiento. Cabe destacar que esta fachada fue diseñada con un voladizo de mayor longitud en comparación con las demás, lo que explica en gran medida la efectividad observada en la disminución de la radiación solar directa. En el caso de la elevación norte, también se observaron cambios relevantes, con reducciones en un rango de 0.2 a 0.8 horas, resultado directamente vinculado a la mayor longitud del voladizo implementado en esa orientación. Estos resultados confirman que las modificaciones introducidas no solo mejoraron el desempeño térmico de la edificación, sino que también validan la pertinencia de diseñar elementos diferenciados en función de la orientación solar de cada fachada.

Comparativa económica			
Ladrillo	Precio x m2	Área (m2)	Total
Ladrillo MOC Guatemala	Q154.00	866	Q133,364.00
Ladrillo Morgan Insalcor	Q1600.00	866	Q1,385,600.00

Cuadro No. 6: Comparativa económica de ladrillos locales vs comerciales

Fuente: Elaboración propia

Al analizar los resultados obtenidos, se observa que la transmitancia térmica del ladrillo MOC es ligeramente superior a la del ladrillo Morgan Insalcor, con una diferencia de aproximadamente 433 W. Este resultado responde al objetivo principal de la comparación, que consistía en evaluar cuál de los dos materiales presentaba una menor ganancia térmica proveniente del exterior.

Sin embargo, como se aprecia en el Cuadro No. 5, la diferencia entre ambos no resulta ser tan significativa en términos prácticos. Esto permite concluir que, considerando las características intrínsecas del ladrillo MOC y su precio en el mercado local, dicho material representa una alternativa viable, especialmente desde el punto de vista económico, sin comprometer de manera considerable el desempeño térmico.

Cabe resaltar que el ladrillo MOC es un producto fabricado en Guatemala, lo que favorece tanto la accesibilidad como la reducción de costos asociados al transporte e importación. Además, su uso puede contribuir a fortalecer la industria nacional. Por otra parte, el ladrillo Morgan Insalcor, aunque mostró un mejor desempeño en cuanto a la reducción de la ganancia térmica, implica un costo significativamente más elevado, tanto en su fabricación como en los procesos de importación, lo que limita su viabilidad en términos de inversión.

En este sentido, la elección final del material dependerá de las prioridades de la desarrolladora: optar por el ladrillo MOC, que ofrece un balance entre economía y eficiencia térmica aceptable, o seleccionar el ladrillo Morgan Insalcor, cuyo mayor rendimiento térmico puede justificar su costo en proyectos donde la eficiencia energética sea el factor determinante.

VIII. CONCLUSIONES

- La aplicación de estrategias de arquitectura pasiva principalmente voladizos y control solar demostró ser efectiva en la reducción de la incidencia solar en las fachadas más expuestas, alcanzando reducciones de hasta 1.8 horas diarias de asoleamiento en ciertas elevaciones durante los equinoccios y solsticios.
- En el análisis comparativo de materiales, se comprobó que el ladrillo Morgan Insalcor presentó un mejor desempeño térmico al reducir la ganancia de calor en aproximadamente 433 W frente al ladrillo MOC. Sin embargo, esta diferencia resulta poco significativa en términos prácticos, considerando la inversión económica requerida.
- El ladrillo MOC, al ser un material local, representa una opción económica y sostenible, con un costo 10 veces menor que el material comercial. Aunque su transmitancia térmica es ligeramente más alta, ofrece un balance adecuado entre confort, desempeño y viabilidad económica, lo que lo convierte en una alternativa competitiva para proyectos residenciales urbanos.
- Las simulaciones realizadas validaron que el rediseño sustentable no requiere transformaciones radicales del edificio existente, sino la incorporación estratégica de elementos arquitectónicos pasivos y la adecuada selección de materiales, lo cual permite mejorar el confort térmico sin incrementar significativamente los costos de construcción.

IX. RECOMENDACIONES

- Implementar estrategias pasivas diferenciadas por orientación, ajustando la longitud y diseño de voladizos en función del asoleamiento específico de cada fachada.
- Fomentar el uso de materiales locales como el ladrillo MOC, priorizando su aplicación en proyectos residenciales, ya que permiten reducir costos, impulsar la economía nacional y disminuir la huella de carbono asociada al transporte e importación.
- Considerar evaluaciones multicriterio (energéticas, económicas y ambientales) en la selección de materiales, de modo que las decisiones no se basen únicamente en el desempeño térmico, sino también en la relación costo-beneficio y sostenibilidad a largo plazo.
- Promover el uso del ladrillo de fabricación local, como el producido por INMACO Guatemala, como alternativa viable frente a ladrillos importados, ya que ofrece un desempeño mecánico y térmico comparable, con ventajas en disponibilidad, menor costo y reducción del impacto ambiental asociado al transporte, resultando adecuado para proyectos de edificación en el contexto local.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anand, V., Lakshmi Kadiri, V., & Putcha, C. (11 de Enero de 2023). *Vishwajit Anand*. Obtenido de Springer Open: <https://jipr.springeropen.com/articles/10.1186/s43065-022-00068-z?>
- Arcux. (s.f.). *¿Qué es Revit de Autodesk y para qué sirve?* Obtenido de Arcux: <https://arcux.net/blog/que-es-revit-de-autodesk-y-para-que-sirve/>
- ASHRAE. (15 de Enero de 2012). *ANSI/ASHRAE 55*. Obtenido de ASHRAE: https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/standards%20and%20guidelines/standards%20addenda/55_2010_d_published.pdf
- Astorga. (s.f.). *Astorga Apartamentos*. Obtenido de Astorga: <https://apartamentosastorga.com/#modelos>
- Bulbaai, R. (2021). *Energy-Efficient Building Design for a Tropical Climate: A Field Study on the Caribbean Island Curaçao*. Obtenido de MDPI: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/23/13274>
- Calendario. (s.f.). *Fechas de los equinoccios y solsticios*. Obtenido de Calendario: <https://icalendario.net/herramientas/equinoccios-solsticios#anchor-2025>
- Castillo, S. (2025). *¿Qué es una Carta Solar?* Obtenido de Arquitecto: <https://scsarquitecto.cl/carta-solar/>
- Duffie, J., & Beckman, W. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Obtenido de <https://www.sku.ac.ir/Datafiles/BookLibrary/45/John%20A.%20Duffie%2C%20William%20A.%20Beckman%28auth.%29-Solar%20Engineering%20of%20Thermal%20Processes%2C%20Fourth%20Edition%20%282013%29.pdf>
- Editeca. (10 de Mayo de 2023). *¿Qué es Autodesk Forma y para qué se utiliza?* Obtenido de Editeca: <https://editeca.com/que-es-autodesk-forma-y-para-que-se-utiliza/>
- Erica. (s.f.). *Aislamiento Térmico*. Obtenido de Erica: <https://www.eric.es/aislamiento-termico/>
- es.weatherspark.com. (s.f.). Obtenido de Weather Spark: <https://es.weatherspark.com/y/11693/Clima-promedio-en-Ciudad-de-Guatemala-Guatemala-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Fakhr, B. V. (9 de Marzo de 2023). *Design Optimization of the Skylight for Daylighting and Energy Performance Using NSGA-II*. Obtenido de Solarlits: <https://solarlits.com/jd/10-72>
- FUNCAGUA. (2024). *Clima en Guatemala*. Obtenido de FUNCAGUA: <https://funcagua.org.gt/clima-en-guatemala/>
- Granda, C. (23 de Agosto de 2023). *Estrategias de eficiencia del agua en la certificación LEED*. Obtenido de Leaf: <https://leaflatam.com/estrategias-de-eficiencia-del-agua-en-la-certificacion-leed/#:~:text=Este%20enfoque%20involucra%20el%20uso,evitar%20el%20derroche%20de%20agua.>
- <https://www.iso.org>. (s.f.). *ISO 10456:2007*. Obtenido de Hygrothermal properties—Tabulated design values.
- <https://www.iso.org>. (s.f.). *ISO 6946:2017*. Obtenido de Building components—Thermal resistance and transmittance—Calculation method.
- ISO. (2006). *ISO 14040:2006*. Obtenido de ISO: <https://www.iso.org/standard/37456.html?>
- ISO. (s.f.). *Thermal performance of buildings—Physical quantities and definitions*. Obtenido de ISO: <https://www.iso.org>
- M. C. Peel, B. F. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*.
- M. Hamada, H., Al-Attar, A., Kamal Askar, M., Beddu, S., & Majdi, A. (1 de Septiembre de 2025). *Research Progress on Improving the Water Resistance of Magnesium Oxide*

- Cement (MOC)*. Obtenido de Springer Open:
<https://ijcsm.springeropen.com/articles/10.1186/s40069-025-00808-x>
- Mahgoub, M. H. (5 de Enero de 2025). *Advancing hybrid ventilation in hot climates: a review of current research and limitations*. Obtenido de Frontiers:
<https://www.frontiersin.org/journals/built-environment/articles/10.3389/fbuil.2024.1502941/full?>
- Martínez, B. (3 de Febrero de 2021). *GUATEMALA: Disponibilidad de agua potable se reduce en la región metropolitana*. Obtenido de LADYR: <https://aladyr.net/guatemala-disponibilidad-de-agua-potable-se-reduce-en-la-region-metropolitana/#:~:text=Seg%C3%BAAn%20datos%20de%20la%20Empresa,208%20litros%20diarios%20por%20persona.>
- MaterialesDe. (22 de Abril de 2012). *Propiedades Termicas de los Materiales*. Obtenido de MaterialesDe: <https://www.materialesde.com/propiedades-termicas-de-los-materiales/>
- Materials, M. A. (Enero de 2025). *K Insulating Firebrick*. Obtenido de Morgan Advanced Materials: <https://www.morganthermalceramics.com/en-gb/resources/industry-and-product-brochures/>
- Materials, M. A. (s.f.). *Insulating Firebricks, Firebricks and Mortars*. Obtenido de Morgan Advanced Materials: <https://www.morganthermalceramics.com/en-gb/products-systems/insulating-firebricks-firebricks-and-mortars/>
- MOC. (2023). *Ladrillo MOC*. Obtenido de MOC: <https://mocguatemala.com/ladrillo-moc/>
- Nazari, S., Mohammadi, P., & Sareh, P. (19 de Julio de 2023). *A multi-objective optimization approach to designing window and shading systems considering building energy consumption and occupant comfort*. Obtenido de Wiley:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/eng2.12726>
- Piccardo, C. (15 de Octubre de 2023). *Deep energy retrofits using different retrofit materials under different scenarios: Life cycle cost and primary energy implications*. Obtenido de Science Direct:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544223015256>
- Rashid, A. F. (Mayo de 2015). *A review of life cycle assessment method for building industry*. Obtenido de Science Direct:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032115000532>
- Real, S. (1 de Julio de 2024). *Thermal performance of compressed earth blocks stabilised with thermoactivated recycled cement*. Obtenido de Science Direct:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778824004043?via%3Dihub>
- s.a. (2019). *ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2019: Energy standard for buildings except low-rise residential buildings*. Obtenido de ASHRAE: https://www.ashrae.org.translate.google/technical-resources/bookstore/standard-90-1?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge#:~:text=Acerca%20de%20la%20Norma%2090.1&text=Esta%20norma%20establece%20los%20requisitos,edificios%20residenciales%20de%20b
- s.a. (2020). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2020: Thermal environmental conditions for human occupancy*. Obtenido de ASHRAE: <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-55-thermal-environmental-conditions-for-human-occupancy>
- s.a. (2021). *Occupant Thermal Comfort*. Obtenido de Bigladder:
<https://bigladdersoftware.com/epx/docs/9-6/engineering-reference/occupant-thermal-comfort.html>
- s.a. (2024 de Octubre de 2024). *Repsol*. Obtenido de Sistemas de iluminación para conseguir la eficiencia energética: <https://www.repsol.es/particulares/asesoramiento-consumo/eficiencia-energetica-iluminacion/>
- s.a. (2024). *Thermal Ceramics*. Obtenido de Morgan Advanced Materials:

- <https://www.morganthermalceramics.com/es-mx/productos-y-sistemas/ladrillos-y-morteros/>
- s.a. (28 de Febrero de 2025). *Cálculo de cargas térmicas: conceptos básicos y métodos*. Obtenido de S&P: <https://www.solerpalau.com/blog/es-es/calculo-cargas-termicas/>
- s.a. (2025). *Temperaturas*. Obtenido de Windy: <https://www.windy.com/es/-Temperatura-temp?temp,14.571,-90.525,16,m:d3sadEi>
- s.a. (s.f.). *¿Qué es el cambio climático?* Obtenido de Naciones Unidas: <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change#:~:text=El%20cambio%20clim%C3%A1tico%20se%20refiere,encuentran%20entre%20los%20principales%20emisores.>
- s.a. (s.f.). *¿Qué es la eficiencia energética?* Obtenido de Repsol: <https://www.repsol.com/es/sostenibilidad/ejes-sostenibilidad/cambio-climatico/eficiencia-energetica/que-es-la-eficiencia-energetica/index.cshtml#:~:text=Nos%20permite%20reducir%20el%20consumo,energ%C3%ADa%20hasta%20su%20consumo%20final.>
- s.a. (s.f.). *Arquitectura Sustentable*. Obtenido de Universidad ORT Uruguay: <https://fa.ort.edu.uy/blog/arquitectura-sustentable>
- s.a. (s.f.). *Autodesk Insight 360: Software para el análisis energético en proyectos BIM*. Obtenido de Espacio BIM: <https://www.espaciobim.com/autodesk-insight-360#:~:text=Autodesk%20Insight%20es%20un%20software%20que%20te%20permitir%C3%A1%20como%20profesional,todo%20su%20ciclo%20de%20vida.>
- s.a. (s.f.). *Unidad 1: Elementos económico-financieros para proyectos ambientales*. Obtenido de Universidad Abierta y a Distancia de México: https://dmd.unadmexico.mx/contenidos/DCSBA/BLOQUE1/TA/08/TEEPT/unidad_01/descargables/TEEPT_U1_Contenido.pdf#:~:text=Identifica%20los%20elementos%20econ%C3%B3micos%20financieros%20para%20relacionar%20cu%C3%A1l,requerimientos%20y%20elementos%20de%20un%20pro
- s.a. (s.f.). *Ventilación cruzada o cómo frenar al calor en verano*. Obtenido de Siber: <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/ventilacion-cruzada/>
- s.a. (s.f.). *Ventilación y eficiencia energética: Una relación imprescindible*. Obtenido de Soler & Palau: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/ventilacion-eficiencia-energetica/>
- s.a. (s.f.). *Voladizo: 3.3 Eficiencia energética*. Obtenido de Steelframly: <https://steelframly.com/wiki/voladizo/#:~:text=de%20los%20balcones,-,3.3%20Eficiencia%20Energ%C3%A9tica,m%C3%A1s%20eficiente%20de%20la%20energ%C3%ADa.>
- Samayoa, O. (2008). *Estudio de materiales de construcción utilizados en Guatemala*. Obtenido de Universidad de San Carlos de Guatemala: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2606_C.pdf#:~:text=Los%20materiales%20com%C3%BAnmente%20encontrados%20en%20Guatemala%20son:,block%20y%20adobe%20existiendo%20muchos%20m%C3%A1s%20tipos.&text=Los%20aspectos%20centrales%20a%20considerar%20
- Szokolay, S. V. (2014). *Introduction to ARCHITECTURAL SCIENCE the basis of sustainable design*. Obtenido de https://ia601708.us.archive.org/0/items/Introduction_to_Architectural_Science_The_Basis_of_Sustainable_Design/Introduction_to_Architectural_Science_The_Basis_of_Sustainable_Design.pdf
- Wong, I. L. (Julio de 2017). *A review of daylighting design and implementation in buildings*. Obtenido de Science Direct: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117303775>
- Workero. (6 de Octubre de 2023). *Eficiencia Energética en los Edificios*. Obtenido de Workero: <https://www.workero.com/es/eficiencia-energetica-en-los-edificios-guia->

XI. ANEXOS

K™ Insulating Firebrick Series

Product Data Sheet



Properties	K23 IFB	K25 IFB	K26 IFB	Insalcor
ISO 2245 Classification	-	-	-	180 1.3L
Classification Temperature, °C (°F)	1315 (2400)	1370 (2500)	1430 (2600)	1790 (3250)
Brick markings	23	25	26	-
Density, kg/m ³ (pcf), ASTM C134	513 (32.0)	617 (38.5)	657 (41)	1314 (82)
Modulus of rupture, MPa (psi), ASTM C133	0.79 (114.5)	0.95 (137.7)	0.9 (130.5)	2.4 (350)
Cold Crushing strength, MPa (psi), ASTM C133	1 (145)	1.3 (188.5)	1.3 (188.5)	6.9 (1000)
Reversible Linear Thermal Expansion, max. %	0.7	0.8	0.8	1.2
Linear Shrinkage, % after 24 hours soaking, ASTM C210				
1230°C (2246°F)	-0.1	-	-	-
1350°C (2462°F)	-	-0.3	-	-
1400°C (2552°F)	-	-	-1.00	-
5 hours, 1730°C (3146°F)	-	-	-	0.4
Chemical Analysis, %				
Alumina, Al ₂ O ₃	38.3	47	51	77
Silica, SiO ₂	44.3	38	35	21
Iron Oxide, Fe ₂ O ₃	0.3	0.2	0.4	0.4
Titania, TiO ₂	1.6	1.4	1.4	0.6
Lime, CaO	15	13.5	11.0	0.1
MgO + Na ₂ O + K ₂ O	0.5	0.5	0.4	0.4
Thermal Conductivity, W/m·K, ASTM C-182				
260°C	0.13	0.15	0.2	0.79
540°C	0.17	0.18	0.23	0.8
815°C	0.2	0.2	0.26	0.91
1100°C	0.24	0.22	0.29	1.09
1370°C	-	-	0.31	1.33
Thermal Conductivity, BTU·in/hr·ft²·°F, ASTM C-182				
500°F	0.90	1.04	1.39	5.48
1004°F	1.18	1.25	1.60	5.55
1499°F	1.39	1.39	1.80	6.31
2012°F	1.67	1.53	2.01	7.56
2498°F	-	-	2.15	9.23

The product(s) represented are intended for industrial refractory applications. The values and application information in this datasheet are given for guidance only. The values and the information given are subject to normal manufacturing variation and may be subject to change without notice. Morgan Advanced Materials – Thermal Ceramics makes no guarantees and gives no warranties about the suitability of a product, and you should seek advice to confirm the product's suitability for use with Morgan Advanced Materials.

Publication Date: 01 January 2025
Code: BR.02
2 of 2

www.morganthermalceramics.com
Email: marketing.tc@morganplc.com

Thermal Ceramics is a business of Morgan Advanced Materials

Anexo A: Ficha técnica de ladrillo Morgan.



Anexo B: Render Elevación Norte.



Anexo C: Render Elevación Oeste.



Anexo D: Render Elevación Sur.



Anexo E: Render Elevación Este.