

UNIVERSIDAD PANAMERICANA

CAMPUS GUADALAJARA

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA INCENTIVAR PROYECTOS QUE INTEGREN ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS Y DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN VIVIENDA HORIZONTAL EN EL MUNICIPIO DE CHAPALA, JALISCO, MÉXICO.

NEREYDA MORGAN TORRES

DR. LEONARDO DE JESÚS RAMOS GUTIÉRREZ

Director de tesis

Tesis presentada para optar por el grado de
Maestro en Administración de la Construcción
con Reconocimiento de Validez Oficial de Estudios
de la SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA,
según acuerdo número 994188 con fecha 09-VII-99.

Zapopan, Jal., julio de 2024

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a todos aquellos que de alguna u otra manera contribuyeron en esta experiencia, en particular a aquellos profesores y compañeros que con su esmero y real interés en nuestra formación profesional nos compartieron herramientas valiosas.

Gracias especiales a las siguientes personas por quienes tengo aprecio y admiración en lo personal y profesional y que contribuyeron en la realización de la presente investigación:

Mtro. José Solís López

Grupo TAMYCCC | Administrador de empresas.

Por todas las facilidades otorgadas para la aplicación de estos análisis en el proyecto caso de estudio, por el ánimo, confianza y colaboración.

Mtro. en Arq. Bioclimática Gabriel Gómez Álvarez

LEED Green Associate of Green Business Certification Inc. (GBCI)

EDGE Expert

Programa Interinstitucional de Doctorado en Arquitectura (PIDA), México

Escuela de Arquitectura y Diseño ISTHMUS, Panamá

Dr. Luis Gabriel Gómez Azpeitia

Profesor investigador del Programa Nacional de Posgrados de Calidad Conacyt, SNI

III

Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad de Colima, México

Programa Interinstitucional de Doctorado en Arquitectura (PIDA), México

Escuela de Arquitectura y Diseño ISTHMUS, Panamá

Dr. Carlos Javier Esparza López

Comité directivo de PLEA (*Passive and Low Energy Architecture*) - *Sustainable*

Architecture & Urban Design Latinoamérica

Profesor investigador del Programa Nacional de Posgrados de Calidad Conacyt, SNI

I

Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad de Colima, México

Programa Interinstitucional de Doctorado en Arquitectura (PIDA), México

Escuela de Arquitectura y Diseño (ISTHMUS), Panamá

Mtro. José Álvaro Aceves Ascencio

Profesor de posgrado Universidad Panamericana

Experto en Finanzas para la Construcción

ÍNDICE

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.1. Justificación	10
1.2. Preguntas de investigación	10
1.3. Delimitación de la investigación	11
1.4. Hipótesis	12
1.5. Definición de objetivos	12
2. MARCO TEÓRICO	12
2.1. Marco teórico de referencia	12
2.1.1. Antecedentes del cambio climático y desarrollo sostenible.....	13
2.2. Estado del Arte.....	21
2.2.1. Confort térmico y eficiencia energética.	21
2.2.2. Normas de confort térmico (relacionadas a la eficiencia energética)	24
2.2.3. Recomendaciones metodológicas para análisis bioclimático en	
México	28
2.2.4. Metodología recomendada para el análisis de eficiencia energética	
en edificios	34
2.2.5. Metodología propuesta por la NOM-020-ENER-2011	37
2.2.6. Modelado energético de Edificios BEM (BEM: <i>Building Energy</i>	
<i>Modeling</i>)	39
2.2.7. Estudios de evaluación de estrategias bioclimáticas y eficiencia	
energética en edificios en México.	41
2.3. Resumen del Marco Teórico	48
3. METODOLOGÍA	53
3.1. Análisis del caso de estudio: vivienda horizontal en el municipio de Chapala,	
Jalisco, México	53
3.1.1. Descripción del proyecto	53
3.1.2. Metodología de análisis bioclimático del proyecto	54
3.1.3. Propuesta de vivienda incluyendo estrategias bioclimáticas.....	57

3.2.	Método de selección de estrategias bioclimáticas más eficientes.....	58
3.2.1.	Diseño del experimento.....	58
3.2.2.	Medición de desempeño térmico y consumo energético de los prototipos de vivienda por simulación (<i>Design Builder</i>).....	62
3.3.	Análisis Rentabilidad de cada prototipo de Vivienda.....	66
3.4.	Resumen de Metodología a utilizar.....	67

4. ANÁLISIS 68

4.1.	Resultado de consumo energético por acondicionamiento térmico en prototipos	68
4.2.	Análisis de desempeño térmico y consumo energético por acondicionamiento térmico de prototipos con mayor vs menor consumo energético	69
4.3.	Selección del prototipo de vivienda con mayor eficiencia energética.....	76
4.4.	Análisis de presupuesto de las variaciones constructivas en la envolvente arquitectónica de los prototipos de vivienda	79
4.5.	Selección de prototipo de Vivienda con estrategias más eficientes y rentables	80
4.6.	Resumen de análisis del experimento	86

5. CONCLUSIONES 87

5.1.	Comprobación de hipótesis mediante objetivos	87
5.2.	Validación de la hipótesis.....	88
5.3.	Recomendaciones y futuras investigaciones.....	88

REFERENCIAS..... 89

APÉNDICES Y ANÉXOS 96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparación de ecuaciones de confort térmico obtenidas de estándares existentes	28
Tabla 2. Consumo anual de agua y energía por prototipo analizado, incluyendo el efecto de la Ventilación Nocturna (NC)	44
Tabla 3. Análisis de costo de ciclo de vida de casa escenario.....	47
Tabla 4. Resumen de artículos de investigación sobre conceptos básicos y antecedentes sobre Arquitectura Bioclimática, confort térmico y eficiencia energética.....	49
Tabla 5. Resumen del marco normativo sobre confort y desempeño térmico en edificación, y certificaciones sobre sostenibilidad	50
Tabla 6. Artículos de investigación con casos de estudios relacionados a la evaluación de desempeño térmico en edificaciones existentes en México.....	50
Tabla 7. Resumen de artículos de investigación sobre simulación energética y rentabilidad de estrategias bioclimáticas en edificación.....	51
Tabla 8 Datos de variables climáticas para las dos temporadas en Chapala, Jalisco. Fuente: Elaboración propia obtenidas de (Gómez-Azpeitia, G. y Tejeda Martínez, A., 2023)....	55
Tabla 9. Estrategias pasivas y activas consideradas en el diseño del prototipo de vivienda.	57
Tabla 10 Variación de sistemas constructivos en la envolvente según prototipos. Fuente: elaboración propia.....	60
Tabla 11 Datos de propiedades de materiales de la envolvente.....	60
Tabla 12 Datos a obtener como variables dependientes. Fuente: elaboración propia	61
Tabla 13. Consumo energético de prototipos de control. Fuente: elaboración propia con información generada en Design Builder.....	65
Tabla 14 Consumo energético de cada prototipo de vivienda. Fuente: elaboración propia con información generada en Design Builder	68
Tabla 15 Selección de prototipos de vivienda Típica y Oeste más eficientes.....	77
Tabla 16 Importe de Costo Directo de los sistemas constructivos variables en la envolvente arquitectónica	79
Tabla 17 Presupuesto de cada prototipo de Vivienda Tipo según su variación del sistema constructivo de la envolvente arquitectónica	80
Tabla 18 Ahorro energético en la vida útil de cada prototipo de Vivienda Tipo. Fuente: elaboración propia.....	80
Tabla 19 Ahorros de inversión inicial por sistema constructivo de cada prototipo de Vivienda Tipo. Fuente: elaboración propia.	81
Tabla 20 Cálculo del % inflación promedio de los últimos 10 años en México	82
Tabla 21 Ahorros económicos proyectados, por eficiencia energética en la vida útil de los prototipos de Vivienda Tipo. Fuente: elaboración propia.	83
Tabla 22 Resumen de ahorros energéticos y económicos de cada prototipo de vivienda	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Consumo de energía en México 2010 Fuente: (IPCC, 2014)	15
Figura 2. Impacto de estrategias de mitigación al medio ambiente Fuente: (IPCC, 2022) ...	16
Figura 3. Niveles de Certificación LEED Fuente: (JG Arq, 2024).....	17
Figura 4. Certificación EDGE Fuente: (EDGE, 2024).....	18
Figura 5. GRESB Fuente: (GBCI, 2024).....	18
Figura 6. Parksmart Fuente: (GBCI, 2024).....	19
Figura 7. PEER Fuente: (GBCI, 2024).....	19
Figura 8. SITIES Fuente: (GBCI, 2024)	19
Figura 9. TRUE Fuente: (GBCI, 2024).....	20
Figura 10. WELL Fuente: (GBCI, 2024).....	20
Figura 11. Mecanismos de pérdida de calor del cuerpo Fuente: Guyton, 2006.....	21
Figura 12. Interacción del ser humano con el ambiente térmico a través de la envolvente arquitectónica. Fuente: Elaboración propia	23
Figura 13 Ilustraciones de integración de estrategias bioclimáticas a propuestas de vivienda popular Fuente: (Fundación ICA, 2002).....	31
Figura 14 Tipología recomendada para viviendas en la que se integran estrategias bioclimáticas Fuente: (SEDATU & CONAVI, 2019).....	32
Figura 15 Comparativa de temperaturas interiores (TBS) y rango confort térmico al aplicar la NOM-020 (izquierda) con respecto de integrar estrategias bioclimáticas (derecha) para la eficiencia energética Fuente: (Ruíz, R., Castañeda, G., Arguello, M., Morillón, D., 2011).	39
Figura 16. Módulos de Design Builder. Fuente: (Desing Builder Lat, 2023)	40
Figura 17. Proyectos con certificaciones en sostenibilidad en Latinoamérica Fuente: (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, 2024).....	41
Figura 18. Consumo energético anual por acondicionamiento térmico Fuente: (Lucero-Álvarez, Rodríguez Muñoz, & Martín Domínguez, 2016)	43
Figura 19. Ahorros anuales de consumo energético más notorio, por aislamiento térmico de la envolvente arquitectónica Fuente: (Lucero-Álvarez, Rodríguez Muñoz, & Martín Domínguez, 2016).....	43
Figura 20. Costo de ciclo de vida de las distintas estrategias en un escenario histórico por aumento en costos de energía y agua Fuente: (Herrera Sosa, Arena Granados, & y Gómez-Azpeitia, 2019).	45
Figura 21. Oscilación térmica de la temperatura exterior e interior Fuente: (Torres-Aguilar, Serrano-Arellano, & Macías-Melo, 2020).....	46
Figura 22. Ahorro económico y tiempo de retorno de inversión de cada alternativa analizada Fuente: (Alba Gómez, Herrera Sosa, & y Esparza López, 2021).....	47

Figura 23. Reducción del costo de energía al utilizar aislamiento térmico en techo, considerando valores óptimos de RS y EI en edificio residencial Fuente: (Lucero-Álvarez, J., Hernández Quiroz, N., Estrada Ayub, J., 2022).....	48
Figura 24. Localización del proyecto caso de estudio en Chapala, Jalisco, México Fuente: (Google, 2013)	53
Figura 25. Caracterización climática anual para Chapala, Jalisco Fuente: datos generados en Bioclimarq (Gómez-Azpeitia, G. y Tejeda Martínez, A., 2023)	54
Figura 26. Rango de confort térmico para temporada fría y neutra en Chapala, Jalisco. Fuente: datos generados en Bioclimarq (Gómez-Azpeitia, G. y Tejeda Martínez, A., 2023)	55
Figura 27. Gráfica de caracterización con propuestas de estrategias bioclimáticas. Fuente: datos generados en Bioclimarq (Gómez-Azpeitia, G. y Tejeda Martínez, A., 2023)	56
Figura 28. Modelo del prototipo de vivienda para el caso de estudio. Fuente: Elaboración propia	57
Figura 29 Ubicación de los prototipos de vivienda. Fuente: Elaboración propia.....	58
Figura 30. Variables independientes para el análisis experimental. Fuente: elaboración propia.	59
Figura 31. Esquema de criterio de simulación y selección para Vivienda Tipo. Fuente: elaboración propia.....	62
Figura 32 Esquema de criterio de simulación y selección para Vivienda Oeste. Fuente: elaboración propia.....	62
Figura 33. Prototipo de Vivienda de disposición Tipo y Prototipo de Vivienda con disposición Oeste. Fuente: elaboración propia en Design Builder	63
Figura 34. Proceso de validación del experimento. Fuente: elaboración propia en Design Builder	64
Figura 35 Gráfica de ganancias térmicas del prototipo VBO_NE y VMT_S+C. Fuente: información generada en Design Builder.....	70
Figura 36 Gráfica de consumo energético anual por acondicionamiento térmico del prototipo VBO_NE (izquierda) y VMT_S+C (derecha). Fuente: información generada en Design Builder.	70
Figura 37 Ganancias térmicas de cada elemento de la envolvente arquitectónica durante la semana extrema de verano, en prototipos VBT_E+A (gráfica superior) y VMT_S+C (gráfica inferior). Fuente: información generada en Design Builder.	71
Figura 38 Máximas temperaturas operativas registradas el 07 de junio en VBT_E+A (gráfica superior) y VMT_S+C (gráfica inferior). Fuente: información generada en Design Builder.	72
Figura 39 Corte transversal de CFD al 07 junio a las 4:00 pm de los prototipos VBT_E+A (izquierda) y VMT_S+C (derecha). Fuente: información generada en Design Builder. .	73

Figura 40 Corte longitudinal de CFD al 07 junio a las 4:00 pm del prototipo VBT_E+A (izquierda) y VMT_S+C (derecha). Fuente: información generada en Design Builder. .	73
Figura 41 Ganancias térmicas de cada elemento de la envolvente arquitectónica durante la semana extrema de invierno, en prototipos VBT_E+A (gráfica superior) y VMT_S+C (gráfica inferior). Fuente: información generada en Design Builder.	74
Figura 42 Mínimas temperaturas operativas registradas el 07 de diciembre en VBT_E+A (gráfica superior) y VMT_S+C (gráfica inferior). Fuente: información generada en Design Builder.	75
Figura 43 Corte longitudinal de CFD al 07 diciembre a las 8 :00 am del prototipo VBT_E+A (izquierda) y VMT_S+C (derecha). Fuente: información generada en Design Builder. .	76
Figura 44 Corte transversal de CFD al 07 diciembre a las 8 :00 am del prototipo VBT_E+A (izquierda) y VMT_S+C (derecha). Fuente: información generada en Design Builder. .	76
Figura 45 Selección de prototipo de Vivienda Tipo con mayor eficiencia energética. Fuente: elaboración propia con datos de simulación generados en Design Builder	78
Figura 46 Selección de prototipo de Vivienda Oeste con mayor eficiencia energética. Fuente: elaboración propia con datos de simulación generados en Design Builder	78
Figura 47 Representación gráfica del ahorro energético en la vida útil de cada prototipo de Vivienda Tipo. Fuente: elaboración propia.	81
Figura 48 Representación gráfica del ahorro de inversión inicial de cada prototipo de Vivienda Tipo Fuente: elaboración propia.	82
Figura 49 Representación gráfica del ahorro proyectado por eficiencia energética de cada prototipo de Vivienda Tipo. Fuente: elaboración propia.	83
Figura 50 Representación gráfica de factibilidad económica de prototipos de Vivienda Tipo. Fuente: elaboración propia.	84
Figura 51 Factibilidad económica entre la Vivienda Base y la Vivienda Mejorada según su vida útil. Fuente: elaboración propia.....	85

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Fórmula para la Temperatura neutral (Auliciems & Szokolay)	30
Ecuación 2 Temperatura equivalente NOM-020-ENER-2011	37
Ecuación 3 Temperatura operativa ASHVE.....	37

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Justificación

En últimas décadas se ha estado alertando sobre los efectos del uso indiscriminado de los recursos naturales del medio ambiente y cada vez es más notorio su impacto.

Respecto del sector de la construcción, hay mucha investigación sobre criterios y estrategias bioclimáticas orientadas a desarrollar proyectos de construcción más sanos y eficientes, con beneficios al usuario y menor impacto al medio ambiente; sin embargo, en México, aunque hay cierta aplicación, aún hay mucho más que aplicar, y, más aún, al observar el aumento poblacional en zonas urbanas en las que se concentran desarrollos habitacionales, en los que, además de satisfacer una demanda, también debe cumplir con rendimientos económicos para quienes invierten en dichos desarrollos.

La principal aportación de la presente investigación, es presentar un análisis de factibilidad sobre la integración de estrategias bioclimáticas y eficiencia energética a un proyecto de vivienda horizontal en Chapala, Jalisco, como herramienta de análisis, que permita a los tomadores de decisiones considerar los beneficios de integrar tales estrategias, tanto a los inversionistas, como a los usuarios, además de la disminución de los efectos al medio ambiente y, así, incentivar la construcción de proyectos con un consumo energético más eficiente.

1.2. Preguntas de investigación

En esta investigación se determina:

- ¿Cuáles son las estrategias bioclimáticas y de eficiencia energética más adecuadas para el proyecto caso de estudio?
- ¿Cuál es la factibilidad económica de integrar estrategias bioclimáticas en este tipo de proyectos de construcción?

1.3. Delimitación de la investigación

La presente investigación tiene los siguientes enfoques:

- **cambio climático:** al proponer estrategias para la disminución de impacto al cambio climático, para ello se utilizan dos disciplinas:
 - Arquitectura Bioclimática, para el análisis adecuado de las condicionantes en las que se emplaza el proyecto caso de estudio, así como la disposición y propiedades de sus componentes, para seleccionar aquellas que propicien mejores condiciones de confort térmico por medios pasivos al usuario.
 - Utilización del software de simulación energética (*Design Builder*), para la cuantificación numérica del consumo energético por uso de sistemas activos de acondicionamiento térmico artificial, utilizados de manera complementaria, cuando las condiciones de confort térmico propiciadas por medios pasivos son rebasadas; lo que permite conocer la eficiencia energética de las estrategias bioclimáticas propuestas.
- **Factibilidad económica:** al analizar en términos económicos la rentabilidad de la inversión requerida para la integración de las estrategias bioclimáticas y de eficiencia energética al proyecto caso de estudio, para ello se requiere lo siguiente:
 - Determinación del costo de inversión inicial, de los sistemas constructivos propuestos.
 - Proyección financiera de la inversión y recuperación de beneficios económicos, en base a los ahorros por disminución de consumo energético, como consecuencia de la integración de las estrategias bioclimáticas y eficiencia energética.

Caso de estudio:

En esta investigación se utiliza como caso de estudio un proyecto de desarrollo habitacional de vivienda horizontal tipo medio-residencial localizado en Santa Cruz de la Soledad, del municipio de Chapala, Jalisco, México.

El análisis consiste en comparar prototipos de Vivienda Base que no incluyen estrategias bioclimáticas y que sí incluyen sistemas constructivos comúnmente utilizados en la construcción de viviendas en serie, contra prototipos de Vivienda Mejorada con estrategias bioclimáticas y eficiencia energética en su envolvente arquitectónica

Los aspectos a evaluar son los siguientes:

- Eficiencia energética por menor consumo energético relacionado a la utilización de sistemas activos de climatización térmica artificial.

- Rentabilidad económica de la inversión inicial y ahorros económicos por menor consumo energético durante la vida útil de la vivienda.

1.4. Hipótesis

La implementación de estrategias bioclimáticas y eficiencia energética en proyectos de vivienda horizontal en el municipio de Chapala, Jalisco, México es económicamente factible.

1.5. Definición de objetivos.

Objetivo general:

Demostrar que un proyecto de vivienda horizontal que integra estrategias bioclimáticas y eficiencia energética para el municipio de Chapala, Jalisco, México es económicamente factible.

Objetivos particulares:

- Determinar la factibilidad económica de los prototipos seleccionados del caso de estudio.
- Determinar la eficiencia energética por menor consumo, relacionado al uso de sistemas de acondicionamiento térmico artificial, de los prototipos del caso de estudio.

Objetivos específicos:

- Analizar el costo-beneficio de la integración de estrategias bioclimáticas y de eficiencia energética en los prototipos de vivienda del caso de estudio.
- Medir mediante software de simulación (*Design Builder*) el consumo energético de los prototipos con estrategias bioclimáticas del caso de estudio, para seleccionar el más eficiente.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco teórico de referencia

Así como la mayoría de los sectores productivos, la forma de diseñar, construir y operar espacios habitables también han tenido repercusiones al medio ambiente natural y el cambio climático, es por ello que la presente investigación se contextualiza

en el marco teórico del cambio climático y desarrollo sostenible, en el que se pretende que proyectos de vivienda incluyan, en su fase de diseño y análisis, la integración de estrategias bioclimáticas, eficiencia energética y factibilidad económica, con la intención de incentivar tales criterios que permitan un menor impacto al ambiente natural y el cambio climático.

En la primera sección, se presentan antecedentes del cambio climático y desarrollo sostenible, para conocer los orígenes de dicho fenómeno y cómo asociaciones, acuerdos e iniciativas han llevado a que, en últimas décadas, se enfatice la importancia de tomar acciones correctivas en el ámbito de la construcción, para disminuir tales efectos.

En una segunda sección, se resumen temas como confort térmico, normativas sobre confort térmico, arquitectura bioclimática y eficiencia energética, ya que son la base para analizar y proponer estrategias de diseño más adecuadas para propiciar mejores condiciones de confort térmico al usuario, así como de eficiencia energética en espacios habitables.

En la tercera sección, se presenta las metodologías recomendadas en la fase de diseño, medición, evaluación y análisis de proyectos similares; así como un resumen de los resultados obtenidos en artículos de investigación con características similares al caso de estudio de la presente investigación.

2.1.1. Antecedentes del cambio climático y desarrollo sostenible

Conferencias mundiales sobre cambio climático

Desde que el hombre ha existido sobre la tierra ha hecho uso de los recursos naturales de ésta, pero es en el siglo XVIII que hay un aumento en la explotación de tales recursos y es a mediados del siglo XIX cuando se comienzan a tomar medidas para la conservación de los recursos naturales, en este sentido, como narra Pierrri (2005), Inglaterra y Estados Unidos son considerados los pioneros en la creación de asociaciones y leyes en defensa de la naturaleza, posteriormente también lo hace Francia, Alemania y España, ejemplo de ello son el valle del Yosemite y la Mariposa Grove (1864) o el primer parque nacional de Yellowstone (1872). Para 1928, países europeos acordaron crear la Oficina Internacional de Protección de la Naturaleza

(Bruselas); en 1945 y con la creación de la ONU, en 1948, se forma la UNESCO (Pierri, 2005).

En años posteriores, la sociedad científica continúa compartiendo información respecto de los efectos perjudiciales en diferentes ámbitos, como la extinción de especies animales, vertederos contaminantes, la explosión demográfica, los efectos de la industrialización, entre otros más.

En 1949, la ONU realiza la primera conferencia sobre problemas ambientales en Nueva York y, en 1968, en París, con representantes de 60 países, se propone unir fuerzas de manera mundial, es así como en 1972 se realiza la *Conferencia Mundial sobre el Medio Humano* con representantes de 113 países, con el objetivo de cooperar para lograr un desarrollo con el menor impacto al ambiente.

En 1974 en Cocoyoc (México), tanto el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Conferencia de Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD), proponen el concepto de ecodesarrollo con un estilo de desarrollo alternativo, incitando a países desarrollados a disminuir su aporte contaminante y cooperar con países subdesarrollados, lo anterior sirvió para hacer conciencia al respecto, pero, debido a la falta de estrategias o un plan de implementación, se obtuvo poca implementación y aplicación entre los países y organismos.

En años posteriores, se presentan acontecimientos mundiales que dejan ver impactos importantes, tanto de aspectos ecológicos, sociales y económicos, como la catástrofe química-ecológica en Seveso, y la de Chernovyl, la segunda crisis del petróleo, el deterioro de la capa de ozono, entre otros, que propician que los países reconsideren la forma en que se consigue el desarrollo, ya sea por fines sociales, económicos o políticos, es así como se retoman iniciativas y acuerdos y, en 1987, se presenta el Informe *Blundtland* con la propuesta de lograr un desarrollo sostenible, en el que se pueda atender las necesidades presentes, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras (CMMAD (Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo), 1987).

Para 1992, en la conferencia de Río, se pretendía establecer compromisos, con aporte de recursos económicos y plazos para la implementación de estrategias, a los que una mayoría de países desarrollados no apoyaron por no convenir a sus

intereses; a pesar de ello, 178 países firman la *Agenda 21* para la gestión internacional, nacional y local para el desarrollo sostenible con miras al siglo XXI. En 1997, en la llamada Cumbre por la Tierra, se presenta una revisión de avances logrados por los países y organizaciones, así como adecuaciones necesarias; esto tiene seguimiento en 2002, con la aprobación del *Plan de Acción de Johannesburgo*; y en 2012 se renuevan los compromisos, tanto para los acuerdos anteriores, como los más recientes. (Naciones Unidas, 2023).

Panel Intergubernamental para el cambio climático (IPCC)

En 1988 el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM), crean el Panel Intergubernamental para el cambio climático (IPCC) como un organismo científico que investiga y difunde información sobre el cambio climático, así como sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta (IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2023).

Es así como en 1990 y 1992 publican el *Primer Informe de Evaluación* en el que presentan una primera evaluación científica sobre los impactos del cambio climático y estrategias de respuesta; para 1995 presenta el Segundo Informe en el que se incluye un análisis económico y social; en 2001 el Tercer Informe, y en 2007 el Cuarto Informe incluye información de los efectos que el cambio climático ha estado provocando sobre los glaciares del Himalaya.

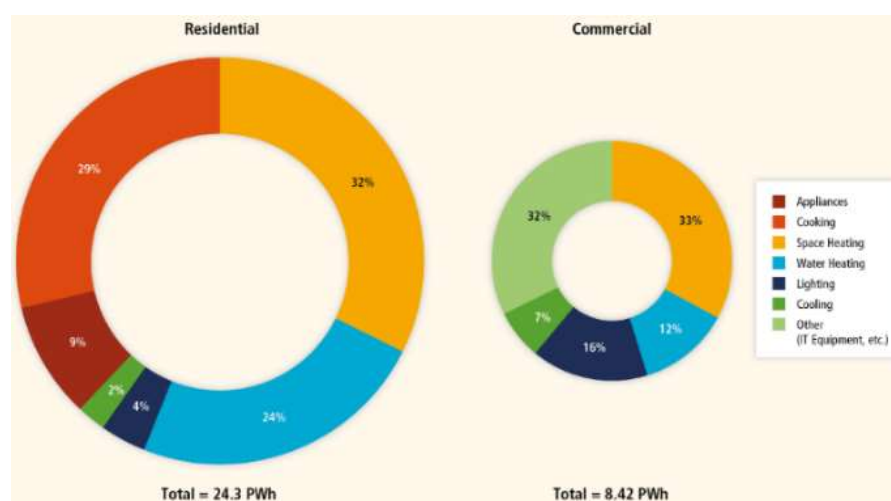


Figura 1. Consumo de energía en México 2010 Fuente: (IPCC, 2014)

Para el 2014, en el Quinto Informe, se insiste en la evaluación de aspectos socioeconómicos del cambio climático y sus consecuencias para el desarrollo sostenible; también incluye, de países principales, un análisis del consumo energético con emisiones de efecto invernadero, así como una proyección para las décadas siguientes. Procurando identificar aspectos estratégicos que atender en el 5° informe del IPCC, en su capítulo 9: 'Edificios' (figura 1), indica que para el 2010 el 32% del consumo total de energía estuvo relacionada a edificios (24% en uso residencial y 8% en uso comercial), el 19% de la energía relacionada con las emisiones de gases efecto invernadero, también expone que el uso de energía se puede duplicar o triplicar debido a tendencias de crecimiento poblacional, migración hacia ciudades, aumento en el tamaño de edificios, aumento de los niveles de salud y estilo de vida en general (promoviendo el uso aparatos electrodomésticos y/o electrónicos) (IPCC, 2014), esto último es coincidente con lo que informa la CEPAL en 2018, al indicar que del 7.4% de los hogares mexicanos que utilizaban equipos de aire acondicionado, para el 2015 fue duplicado con un 14.3% de los hogares, además de que “el consumo energético para aire acondicionado por metro cuadrado construido en las viviendas habitadas se incrementó 33.4% entre 2000 y 2015” (CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe), 2018).

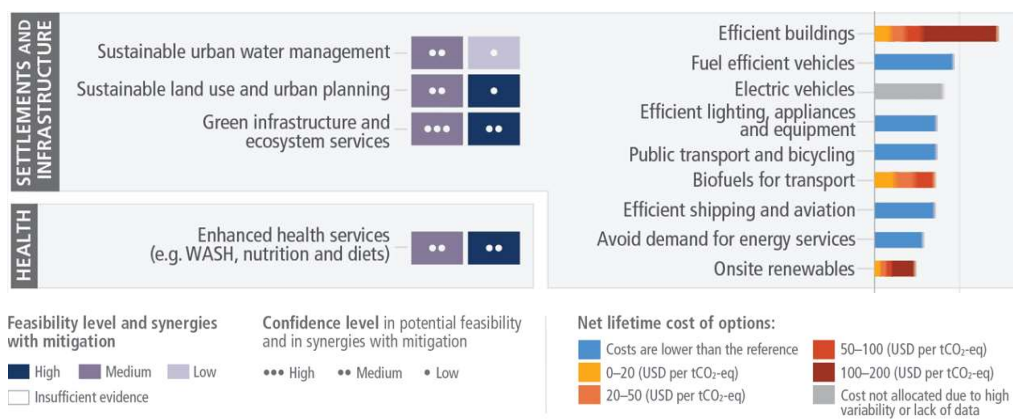


Figura 2. Impacto de estrategias de mitigación al medio ambiente Fuente: (IPCC, 2022)

En su más reciente informe el IPCC (IPCC, 2022), publica un análisis de estrategias de mitigación y su impacto en la reducción de emisiones de gases efecto invernadero, en la que se encuentra que la eficiencia energética es una de las opciones que tendrían mayor impacto, lo que indica que la mitigación en el impacto al medio ambiente, es altamente recomendable la integración de estrategias que permitan eficiencia y disminución de consumo energético en edificios (figura 2).

Por otro lado y hasta donde se conoce, a nivel mundial y, particularmente, en México, el sector de la construcción en masa ha ido en aumento y, aunque en años recientes se han estado desarrollando proyectos que incluyen estrategias bioclimáticas y eficiencia energética, lo cierto es que la gran mayoría de las construcciones nuevas siguen construyéndose sin estos criterios, y teniendo como parámetro principal el análisis económico, ya que, hasta cierto punto, es entendible que, tanto inversionistas como clientes y usuarios, tengan como parámetro de referencia y decisión el aspecto económico, dejando de lado el impacto que estas construcciones y su operación tendrán en los próximos 50 años al medio ambiente y su contribución al calentamiento global.

Certificaciones para la reducción del impacto en los recursos naturales

En 1993 se crea el *Consejo Mundial de Edificación Verde* (WGBC) organismo que, en 1998, crea la certificación LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) (*Green Group Sustainability Consulting, 2024*), con el propósito de certificar y reconocer aquellos proyectos que, desde su fase de diseño, construcción y operación, demuestren un uso más eficiente de energía y recursos naturales y, de acuerdo al porcentaje de cumplimiento, recibe algún nivel de certificación.



Figura 3. Niveles de Certificación LEED Fuente: (JG Arq, 2024)

Las categorías que evalúa son las siguientes:

- Ubicación y transporte
- Sitios sustentables
- Eficiencia del agua
- Energía y atmósfera
- Materiales y recursos
- Calidad del ambiente interior
- Innovación
- Prioridad regional

En 2014, la Corporación Financiera Internacional (IFC), miembro del Banco Mundial crea la certificación EDGE, que mediante una plataforma permite analizar proyectos que de acuerdo a su ubicación, métodos constructivos, uso y demás características, permite explorar, evaluar y proponer escenarios que permitan un mejor desempeño y eficiencia del mismo por medio de simulaciones de consumo, que además incluye un análisis de retorno de inversión de tales estrategias de construcción sustentable (EDGE, 2024).

Una vez elegido el proyecto, un auditor verifica el cumplimiento de los requerimientos; para obtener la certificación EDGE se requiere obtener ahorros del 20% en energía, agua y energía acumulada de los materiales. Existen tres niveles de certificación: *EDGE Certified*, *EDGE Advanced* y *Zero Carbon*.



Figura 4. Certificación EDGE Fuente: (EDGE, 2024)

La certificación EDGE también incluye acceso a convenios para incentivos económicos o de inversión para aquellos proyectos que cumplan con los criterios y contribuyan a la disminución del impacto al ambiente.

También existen otros programas de certificación con propósitos similares, a continuación, se enlistan algunos:



Figura 5. GRESB Fuente: (GBCI, 2024)

GRESB es una organización impulsada por inversionistas comprometidos con la evaluación del desempeño ambiental, social y de gobernanza (ESG), que promueve la certificación de los desarrollos inmobiliarios a nivel mundial (GBCI, 2024)



Figura 6. Parksmart Fuente: (GBCI, 2024)

El sistema de certificación *Parksmart*, ha sido diseñado para impulsar la movilidad sostenible a través de su ubicación, diseño y operación inteligente y que, al mismo tiempo, utilice menos recursos (GBCI, 2024).



Figura 7. PEER Fuente: (GBCI, 2024)

Sistema de certificación PEER en Estados Unidos, que mide y mejora el rendimiento de los sistemas de potencia y de suministro de electricidad (GBCI, 2024).



Figura 8. SITIES Fuente: (GBCI, 2024)

El Programa SITIES aborda el diseño, desarrollo y mantenimiento de paisajes sostenibles (GBCI, 2024).



Figura 9. TRUE Fuente: (GBCI, 2024)

El sistema de certificación TRUE, se esfuerza por cambiar la forma en que los residuos de los materiales fluyen a través de la cadena, para que todos los productos sean reutilizados, evitando así que lleguen a vertederos, sitios de incineración (conversión de residuos en energía) y al medio ambiente (GBCI, 2024).



Figura 10. WELL Fuente: (GBCI, 2024)

El *International Well Building Institute* propone un sistema de certificación basado en la medición del desempeño, con la finalidad de medir, certificar y monitorear las características del edificio que impactan directamente en la salud y el bienestar humanos (GBCI, 2024).

Los beneficios asociados al análisis y cumplimiento de requerimientos para la obtención de certificación de edificios, ha reportado beneficios y, cada vez se incentiva el diseño o reacondicionamiento de tales espacios construidos; aunque continúa siendo mayor la proporción de las construcciones que se continúan diseñando y construyendo, sin tomar en cuenta criterios de menor impacto al ambiente y mejor confort a usuarios, en muchos lugares en el mundo empieza a optarse por proyectos diseñados y construidos con una metodología que permita integrar estrategias para un menor impacto al ambiente y mejores condiciones confortables para el usuario.

2.2. Estado del Arte

2.2.1. Confort térmico y eficiencia energética.

La *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*, define el confort térmico como “aquella condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico” (ASHRAE American Society of Heating, Refrigerating and Air, 2023); según la norma ISO 7730, se define como “aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico” (ISO, 2005). Por otra parte, Givoni (1998) se refiere a “la ausencia de irritación o malestar térmico”.

De acuerdo al funcionamiento anatómico del cuerpo humano, cuando el cuerpo no experimenta confort térmico, éste inicia de manera automática un sistema de autorregulación térmica y, si el malestar persiste, el ser humano toma acciones para aliviar dicha incomodidad, es decir, hace lo que considere necesario para revertir o minimizar las condiciones que le son desagradables (Guyton, 2006).²

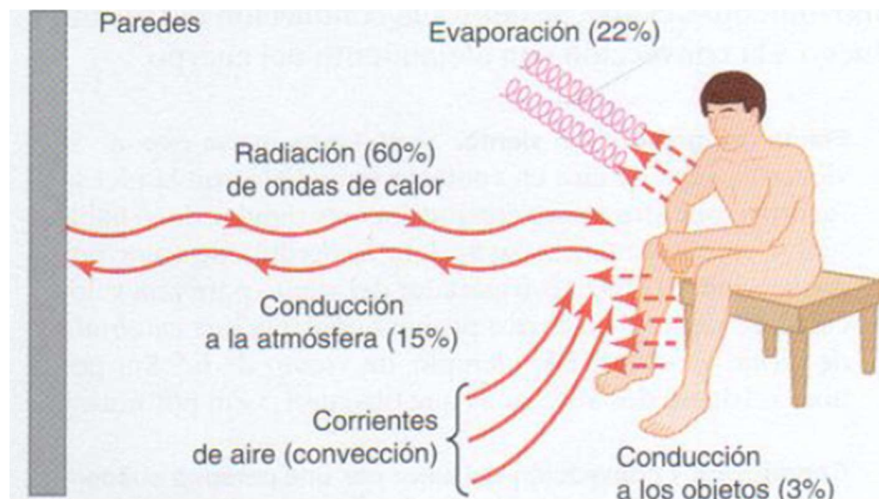


Figura 11. Mecanismos de pérdida de calor del cuerpo Fuente: Guyton, 2006

Lo anterior explica que, cuando el ser humano, después de que el cuerpo no logra por sus propios mecanismos de autorregulación restablecer las condiciones térmicas adecuadas, el ser humano procede de manera deliberada a realizar acciones como modificar su vestimenta, ingerir alimentos, moverse a otro espacio, abrir o cerrar

ventanas y, en algún punto, puede llegar a accionar dispositivos que le permitan minimizar tales condiciones.

Dado lo anterior, se entiende que propiciar el confort térmico es un objetivo para lograr un ambiente sano y satisfactorio para quien lo habita; para determinar dichas condiciones la ASHRAE 55 considera principalmente factores ambientales y personales, y de manera adicional Auliciems y Szokolay (1997) consideran factores contribuyentes que a continuación se enlistan:

- factores ambientales
 - temperaturas medias mensuales (°C)
 - humedad relativa mensual (%)
 - vientos dominantes (m/s)
- factores personales
 - tasa metabólica (MET)
 - aislamiento por vestimenta (Clo)
- factores contribuyentes
 - comida y bebida
 - aclimatación
 - forma del cuerpo
 - grasa subcutánea
 - edad y género (sexo)
 - estado de salud.

De acuerdo a la literatura científica, se entiende que la envolvente arquitectónica es aquel elemento o interfaz que delimita el espacio habitable y protege al usuario de los factores ambientales externos; desde el punto de vista térmico, existe una interacción con tendencia al equilibrio entre las temperaturas del ambiente exterior e interior y la temperatura corporal del usuario, afectadas a su vez por las características propias de la envolvente, así como otros factores climáticos como la velocidad del viento, humedad, entre otros. Si se considera que las temperaturas del ambiente exterior y la temperatura corporal no pueden ser modificadas, deja como opción la integración de estrategias de mitigación y/o control a través de la envolvente, a fin de propiciar condiciones que permitan al usuario experimentar y expresar satisfacción o confort térmico en su ambiente térmico habitable (la siguiente imagen ilustra la interacción del ser humano con los factores ambientales).

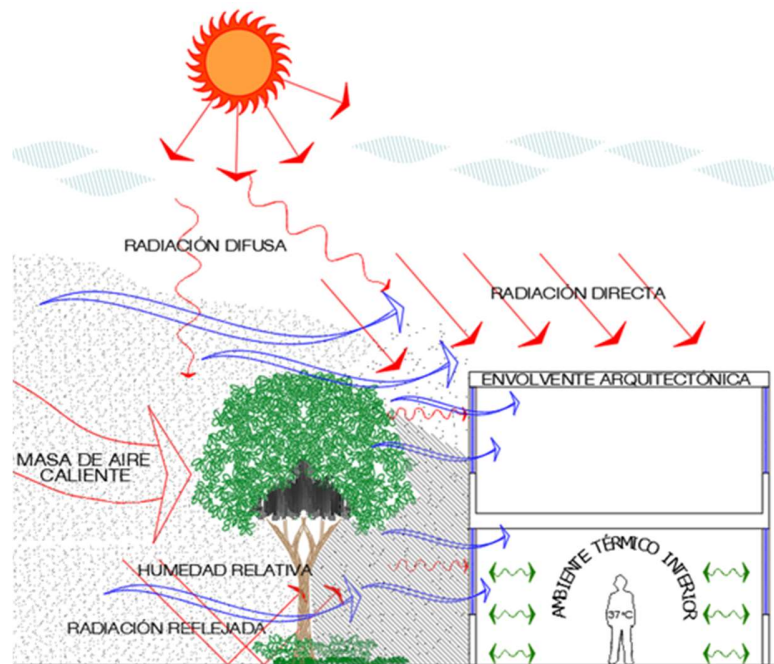


Figura 12. Interacción del ser humano con el ambiente térmico a través de la envolvente arquitectónica. Fuente: Elaboración propia

En cuanto al sector de la edificación, Auliciems y Szokolay citan a varios autores: indican que, para 1905, Haldane realizan el primer estudio serio sobre confort térmico, en 1920, Houghten y Yagloglou a través de la ASHVE (Sociedad Americana de Ingenieros para el Calentamiento y Ventilación) intentaron definir la zona de confort, en 1932, Vernonn y Warner realizaron estudios empíricos a trabajadores de fábricas, en 1937, Winslow, Herrington y Gagge realizan estudios analíticos en Estados Unidos (Auliciems, A., & Szokolay, S., 1997); por su parte, Bedford, en 1936, utiliza una escala de sensación térmica para traducir a valores numéricos la percepción subjetiva de usuarios (Bedford, 1936), dicha escala es ampliamente utilizada desde entonces para la evaluación de confort térmico.

En 1963, Víctor Olgyay es el primero en concentrar resultados de varias disciplinas e interpretarlos con propósitos prácticos arquitectónicos y urbanísticos, del que es conocida la primera gráfica bioclimática, donde se indica una zona de confort para la zona templada de Estados Unidos. Dentro de sus aportaciones, Olgyay, define la zona de confort como “un rango de temperatura, humedad y velocidad de viento en que la mayor parte de la energía humana se libera para dedicarse a la productividad”

(Olgay, 1963). En su libro ejemplifica el análisis particular para varias ciudades del mundo, en el caso de la zona templada de Estados Unidos, indicó:

[...] entre los 20.56 y los 26.7 °C; con una humedad relativa entre 30% y 70%.”, [...] con vestimenta normal para interiores, actividad sedentaria o con poco esfuerzo muscular y a una altura no muy superior de 1000 m de altitud sobre el nivel del mar, y una humedad relativa entre el 30% y 65%, de acuerdo a los valores de temperatura efectiva, oscila entre los 20.5 a 23.3 °C. Y para regiones climáticas en zonas alejadas de los 40° de latitud, la línea del perímetro de confort de verano debe elevarse aproximadamente 0.40 K cada 5 grados de latitud hacia latitudes más bajas, sin sobrepasar los 29.4 °C (Olgay, 1963)

También propone, en su manual, una metodología de análisis bioclimático y recomendaciones para el diseño en la envolvente arquitectónica y emplazamientos urbanísticos, dicha metodología ha sido ampliamente utilizada.

Desde los años setenta, Humphreys y Nicol (2013), realizaron diversas investigaciones de campo para conocer parámetros ambientales en las que los usuarios experimentan confort térmico, por lo que Nicol, indica que el confort térmico está estrechamente asociado con el consumo energético (Nicol, 1993); desde entonces, esto ha sido ampliamente corroborado mediante estudios de investigación científica por diversos investigadores, en diferentes regiones climáticas del mundo, de estos y muchos otros estudios al respecto, puede entenderse que es necesario propiciar condiciones óptimas de confort térmico en los espacios habitables lo que contribuye a lograr un menor consumo energético por acondicionamiento térmico artificial, cuanto mayor desviación del rango de confort térmico, es mayor el consumo energético asociado al acondicionamiento térmico.

Por cuestiones de enfoque y limitación del presente documento, se procede a mencionar brevemente las normativas cuya aplicación han estado relacionadas a determinar condiciones de confort térmico en espacios habitables, entendiendo que es el principal objetivo para lograr la disminución de consumo energético relacionados al acondicionamiento térmico del espacio habitable.

2.2.2. Normas de confort térmico (relacionadas a la eficiencia energética)

Por lo expuesto anteriormente, el diseño y sistemas constructivos de la envolvente arquitectónica, como delimitador del espacio habitable, juega una función importante

en las condiciones de confort térmico al interior de dicho espacio; con el propósito de determinar parámetros de confort térmico se han desarrollado varias normativas.

La mayoría de estas normas fueron basadas en investigaciones a partir de las que fueron desarrollando y proponiendo modelos matemáticos o índices con adecuaciones, con el propósito de encontrar un modelo matemático más completo y de fácil cálculo, con el que se logre entender y expresar numéricamente la temperatura de confort o también entendida como temperatura neutral. A continuación, se describen algunas de las más conocidas.

ISO 7730

En 1973, derivado de diversos estudios en cámaras de climatización controlada, bajo un enfoque predictivo o cuantitativo, Fanger (1973) propone el método PMV (*Predicted Mean Vote*) y PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*), en el que se basa la norma ISO 7730, cuyo objetivo es determinar las condiciones ambientales aceptables para lograr el confort térmico de los usuarios del espacio habitable (ISO, 2005), esta fue una de las primeras normativas ampliamente difundida, inicialmente propuesta para ser aplicada en cualquier parte del mundo, pero teniendo principal aplicación para regiones con climas fríos y templados, en ambientes controlados.

Dado que las recomendaciones de la norma ISO 7730 resultaron poco adecuadas para zonas climáticas calurosas, en revisiones posteriores, Fanger y Toftum (2002) propusieron un factor de corrección para el cálculo de PMV, que incorpora la expectativa de las personas según su grado de habituación a los sistemas de aire acondicionado, pero sin correlacionar la temperatura exterior con la temperatura de confort.

ANSI / ASHRAE Standard 55

La norma ASHRAE Standard 55: *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, su primera versión publicada en 1992 (ASHRAE, 2024) con posteriores actualizaciones y la más reciente en 2023, orientada a determinar un rango de confort térmico aceptable por una mayoría de ocupantes; inicialmente enfocada para edificios artificialmente ventilados en climas fríos o templados; pero resultando inadecuado para edificios naturalmente ventilados en especial en climas cálidos, por lo que en su versión del 2004 se integra un segundo apartado para edificios naturalmente ventilados, éste último bajo el enfoque adaptativo y como producto del proyecto

ASHRAE RP-884 liderado por de Dear, Brager y Cooper (1997), como resultado de un metaanálisis de datos de 21,000 encuestas y mediciones en investigaciones de campo en 160 edificios de diferentes zonas climáticas de cuatro continentes.

CEN / European Standard EN 15251

El Estándar Europeo desarrollado por el *European Committee for Standardization* (CEN, por sus siglas en francés) bajo el enfoque adaptativo, esta norma tiene como proporcionar un criterio de cálculo y recomendaciones para determinar parámetros de factores ambientales para propiciar condiciones de confort térmico, la calidad del aire, iluminación y acústica (CEN, 2006); el apartado de confort térmico está basado en el resultado del metaanálisis de datos de más de 20,000 encuestas y mediciones de 30 estudios de campo, en la que se encuentra una fuerte correlación entre la temperatura exterior y la temperatura neutral (como también se le conoce a la temperatura de confort) (Nicol, F., 1973) (Humphreys, M., 1975); inicialmente enfocada para espacios laborales, en ediciones posteriores se ha incluido una clasificación de edificios, según su uso y método de operación (climatizados de manera mecánica y de manera natural); a través de las décadas dicha norma la sido objeto de análisis y mejoras tanto de aplicación a la misma, como guía en otras normativas de este tipo (Nicol, F., Wilson, M., 2011), igualmente, la base de datos ha continuado ampliándose con más investigaciones de campo e incluyendo adecuaciones (Humphreys, M., Rijal, H., & Nicol, J., 2013).

India Model for Adaptive Comfort (IMAC)

En 2016, se publica el Modelo para confort térmico para la India, como resultado de estudios de campo realizados en cinco ciudades de las diferentes zonas climáticas de la India, en 16 edificios ventilados naturalmente, con un total de 6,330 encuestas, en la que sus datos fueron agrupados según su tipo de operación (naturalmente ventilados, artificialmente acondicionados y en modo mixto) y analizados, aplicando diferentes métodos de análisis (Sanyogita, M., Shukla, Y., Rawal, R., Thomas, L., & de Dear, R., 2016).

También en 2016, producto de investigaciones experimentales en 32 edificios naturalmente ventilados y un total de 2,610 muestras en clima compuesto (como identifican a climas calurosos, húmedos y fríos), en sus diferentes temporadas estacionales, con un enfoque adaptativo, se propone una zona de confort específica

para edificios naturalmente ventilados, como resultado se encuentra una zona de confort de hasta 32 °C con una humedad relativa de entre 20% a 80% y velocidades de aire entre 0 m/s y 0.2 m/s; dicha zona de confort puede extenderse hasta los 34.5°C con velocidades de 1 m/s (Kumar, S., Mathur, J., Mathur, S., Singh, M., Loftness, V., 2016).

Estándares de confort térmico en proceso

Varios países ya han iniciado estudios de campo sobre confort térmico, con dichos resultados han podido hacer comparaciones con lo recomendado en estándares internacionales y hacer las adecuaciones que se haya considerado necesarias; tal es el caso de Italia (d'Ambrosio Alfano, F., Ianniello, E., & Igor Palella, B., 2013), Corea (Yun, H., Nam, I., Kim, J., Yang, J., Lee, K., & Sohn, J., 2014), Chipre (Katafygiotou, M., & Serghides, D., 2014), Camerún (Nematchoua, M., Tchinda, R., & Orosa, J., 2014), Portugal (Almeida, R., Ramos, N., & de Freitas, V., 2016), Malasia y Japón (AhmadZaki, S., AisyahDamiaty, S., BahadurRijal, H., Hagishima, A., & Abd, A., 2017), así como otros estándares regionales.

En Latinoamérica, en Venezuela (Bravo, G., & González, E., 2006) y Chile (Trebilcock, M., Soto-Muñoz, J., Yañez, M., & Figueroa-San Martín, R., 2017) ya se han iniciado estudios para evaluar condiciones de confort en viviendas y espacios educativos respectivamente. Para 2013 ya se había iniciado el desarrollo de indicadores para un futuro estándar en Brasil, en base a estudios en ocho zonas climáticas en 330 ciudades brasileñas, incluyendo recomendaciones de estrategias bioclimáticas y de ventilación, con el objetivo de reducir el consumo de energía por el uso de mecanismos de acondicionamiento ambiental (Lamberts, R., Candido, C., de Dear, R., & De Vecchio, R., 2013).

Estándar Mexicano de Confort Térmico para Edificios Ventilados Naturalmente (EMCT_EVN)

En 2007, se publican los primeros resultados de investigaciones de campo (Ruíz, R., 2007) en varias ciudades de diferentes zonas climáticas en México (Rincón Martínez, J., 2015) (Herrera-Sosa, L., 2013), (Figueroa, C., 2016), (Alpuche M., Marincic, I., Ochoa, J., Duarte, E., Gutiérrez, L., 2015) (Gómez-Azpeitia, G., Bojórquez, R., Romero, J., Ochoa, M., Pérez, O., Reséndiz, A., Llamas, 2009) y, en 2018, se da a conocer el primer metaanálisis de 38 estudios realizados en 14 diferentes ciudades,

en diferentes temporadas, en el que se analizaron los datos de 8,018 encuestas, con lo que se obtuvo un modelo matemático para estimar la temperatura neutral para edificios ventilados de manera natural (Morgan, N.; Gomez-Azpeitia, G., 2018), con la asesoría metodológica de investigadores que participaron en el desarrollo de la norma europea EN 15251.

Las normas mencionadas anteriormente proponen un modelo matemático con el que calcular la temperatura del ambiente interior (temperatura de confort, temperatura neutral, temperatura operativa, temperatura efectiva, etc., según la normativa o índice a utilizar), que es el objetivo a conseguir para propiciar que una mayoría de usuarios de dicho espacio experimenten la sensación de confort térmico, es decir, esta temperatura fija el punto al que se deberá dirigir estrategias de diseño en la envolvente.

A continuación, se presenta un resumen de las ecuaciones o modelos matemáticos de los estándares anteriormente mencionados, esto es importante para seleccionar el modelo matemático para calcular el confort térmico en el proceso de simulación energética de los prototipos de vivienda del caso de estudio (tabla 1):

Tabla 1 Comparación de ecuaciones de confort térmico obtenidas de estándares existentes

Estándar	Tipo de Edificio	Modelo matemático	Índice
ASHRAE 55	Naturalmente Ventilado	$T_n = 17.80 + 0.31 * T. Ext$	Top
	Todo tipo	$T_n = 18.90 + 0.255 * CET Ext.$	CET
EN 15251	Naturalmente Ventilado	$T_n = 18.80 + 0.33 * T. Ext. Media$	Top
IMAC	Naturalmente Ventilado	$T_n = 12.83 + 0.54 * T. Ext. 30$	Top
Estándares para sostenibilidad	Naturalmente Ventilado	$T_n = 13.50 + 0.54 * T. Ext. Mensual$	Top
EMCT_EVN	Naturalmente Ventilado	$T_n = 13.07 + 0.52 * T. Ext.$	Top
		$T_n = 12.97 + 0.40 * T. Ext.$	CET

Fuente: elaboración propia con información de ASHRAE 55:2013, EN 15251:2007, Sanyogita, et al, 2016; Humphreys et al., 2016, Nicol y Humphreys 2002; Morgan, N.; Gomez-Azpeitia, G., 2018

2.2.3. Recomendaciones metodológicas para análisis bioclimático en México

Quando se habla de criterios bioclimáticos, se refiere a una serie de recomendaciones a considerarse durante la fase de análisis e integración de

estrategias bioclimáticas que, de acuerdo a lo que diversas investigaciones confirman, mediante una buena aplicación de estrategias bioclimáticas se puede mejorar sustancialmente el confort térmico en el espacio habitable.

Existe amplia información sobre criterios para el análisis bioclimático, desde las registradas por Vitruvio en el siglo I (Vitruvio, Polión, 1999), el manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas de Olgyay (1963, 1968), las consideraciones y recomendaciones hechas por Givoni (1969, 1991, 1992, 1994, 1998), las aportaciones de Szokolay (1983, 2014), por mencionar los más conocidos y aplicados en esta disciplina a nivel mundial. De acuerdo a una revisión sobre la arquitectura, sus alcances y enfoques, Gómez-Azpeitia, Tejeda-Martínez y Herrera-Sosa (2023) ponen en palabras lo que puede decirse de quienes desempeñan arquitectura, incluyendo técnicas bioclimáticas:

[...] el código ético de la bioclimática consiste en que la tarea de adaptación deba ser ejecutada por medios pasivos hasta donde sea posible, dejando los medios activos sólo para alguna tarea residual que no se haya logrado abatir, [es decir], donde la intensidad de los medios activos debe tender a cero (Gómez-Azpeitia, G, Tejeda-Martínez, A., Herrera-Sosa, L, 2023)

Desde el enfoque anteriormente mencionado, a continuación, se presenta una breve revisión de las recomendaciones hechas por algunas instituciones con aplicación a nivel nacional.

Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS)

En 1990, el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) publica un manual basado en estudios para establecer normativas y criterios sobre adecuación bioclimática en inmuebles institucionales (IMSS, 1990). Argumentando que la clasificación de zonas climáticas para entonces existentes, más conocidas, no están enfocadas para fines arquitectónicos con parámetros de confort y, derivado del análisis de datos climáticos de 236 localidades, establecen la agrupación de cerca de 500 ciudades de México en nueve bioclimas.

Utiliza la fórmula propuesta por Auliciems y Szokolay para el cálculo de la temperatura neutral (Auliciems, A., & Szokolay, S., 1997):

Ecuación 1 Fórmula para la Temperatura neutral (Auliciems & Szokolay)

$$T_n = 17.6 + 0.31 T$$

T= temperatura media anual

Con un rango de para la temporada fría de – 2.5 °C, y para temporada cálida de + 0.25 °C.

Siguiendo la metodología de Olgyay y Szokolay citados en (IMSS, 1990), para cada bioclima presenta gráficas de trayectoria solar, diagramas de zonificación de espacios habitables recomendables, según la integración de la envolvente arquitectónica con su microclima, en la que considera orientación, ventilación, iluminación, tipos de materiales y uso de vegetación; incluye también cartas psicométricas para la determinación de estrategias más adecuadas según las necesidades de cada bioclima (IMSS, 1990).

Este manual resume de manera práctica y entendible la aplicabilidad de conocimiento científico, hasta entonces disponible, como criterio a considerar en la fase de diseño de edificios, en los que se procura lograr el confort térmico de sus usuarios.

Fundación ICA

Como uno de los principales constructores reconocidos en México y América Latina, Ingenieros Civiles Asociados (ICA), mediante Fundación ICA, recopila, conserva y difunde información útil para el ejercicio profesional de la construcción, en una serie de publicaciones que son los Cuadernos FICA, entre ellos, el titulado *Procesos técnicos básicos para la construcción de vivienda popular* (Fundación ICA, 2002) presenta una serie de recomendaciones para una vivienda segura y confortable, en la que se incluyen, de acuerdo al clima, recomendaciones de orientación y zonificación de espacios habitables, así como aprovechamiento y control de flujos de vientos, control solar, iluminación, uso de vegetación, así como recomendaciones de materiales según sus características térmicas; también incluye, a manera de manual, una serie de recomendaciones para el proceso constructivo, mantenimiento y reparaciones (Fundación ICA, 2002).

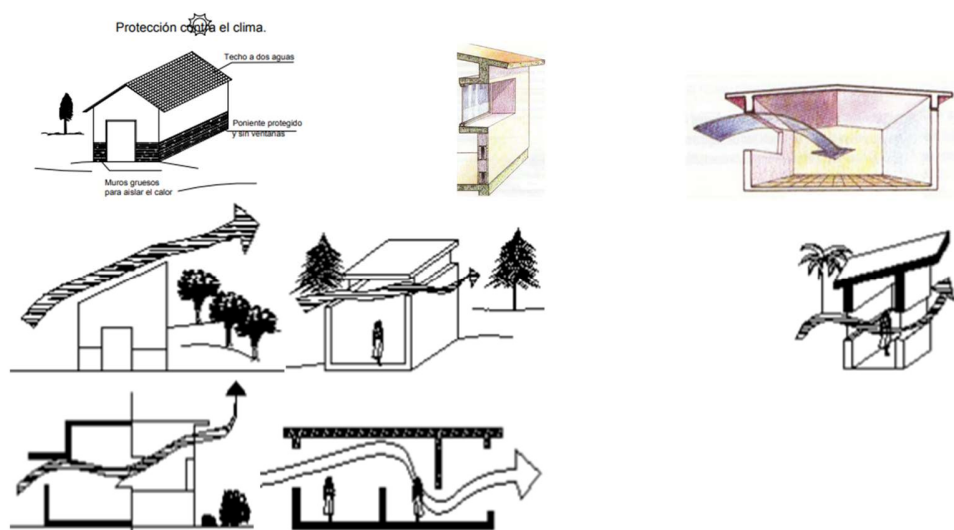


Figura 13 Ilustraciones de integración de estrategias bioclimáticas a propuestas de vivienda popular
Fuente: (Fundación ICA, 2002)

Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI)

En 2006, la Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda (CONAFOVI), presenta su *Guía para el uso eficiente de la energía en la vivienda* (CONAFOVI, 2006), en la que incluye como áreas de mejora, consideraciones de confort térmico y análisis bioclimático de los diferentes bioclimas, con recomendaciones de climatización pasiva; así como recomendaciones para la operación y mantenimiento de la vivienda (CONAFOVI, 2006).

En 2020, en el Diario Oficial de la Federación (DOF) al presentar el Programa Institucional derivado del Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024, la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI), en su apartado sobre Habitabilidad reconoce que

[...] los reglamentos y normas técnicas de construcción no consideran soluciones integrales, no responden a las condiciones del entorno específico y progresos en el conocimiento de la construcción, [lo que] redundan en un desbalance en los espacios habitables, la calidad, la seguridad física, costos y sostenibilidad de la vivienda (DOF, 2020).

Con el propósito de alinearse a la agenda 2030 con los Objetivos del desarrollo sostenible (ODS) en materia de vivienda, se impulsa dicho programa que está enfocado especialmente en atender a grupos en condiciones de vulnerabilidad, a través de varias modalidades y apoyos que incluyen sustitución de vivienda,

mejoramiento y ampliación por autoproducción, además de asistencia técnica integral en la que se incluye al beneficiario para construir una vivienda más adecuada a sus necesidades y subsidios económicos con esquemas de financiamiento.

En colaboración entre la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), CONAVI e INFONAVIT, se publica una herramienta para el diseño de viviendas *Criterios Técnicos para una Vivienda Adecuada* (SEDATU & CONAVI, 2019), en la que establece una metodología que incluye el análisis de las características físicas del terreno, integración al contexto, recomendaciones de diseño arquitectónico y espacios habitables, así como criterios de accesibilidad universal, características generales de construcción e integración de ecotecnologías.

Esta manual resalta que “las condiciones de confort que requiere el ser humano son importantes para el ahorro energético de la vivienda”, por lo que la estrategia es evitar la incomodidad térmica para que, en caso de que el usuario realice acciones de adaptación pasiva, sean suficientes y se evite que este “recurra a acciones activas que consumen energía, como encender un ventilador, la calefacción o lámparas, por ejemplo” (SEDATU & CONAVI, 2019). A continuación, ilustraciones de tipologías de vivienda en las que aplican los criterios propuestos:

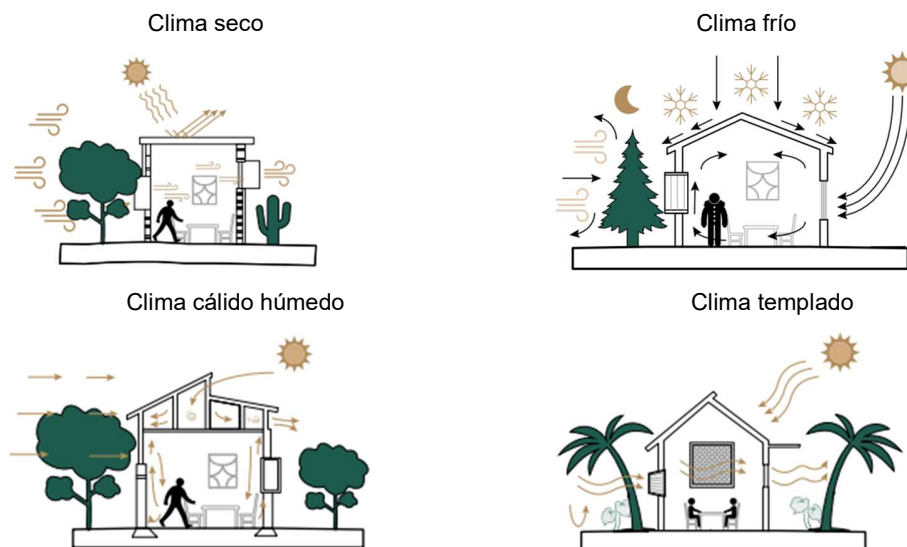


Figura 14 Tipología recomendada para viviendas en la que se integran estrategias bioclimáticas
Fuente: (SEDATU & CONAVI, 2019)

En entrevista con el Director de Desarrollo de Vivienda Sustentable y Diseño de CONAVI, menciona que: “La aplicación de estrategias bioclimáticas no es opcional, es un requisito que debe estar implícito en el diseño y propiciar condiciones de confort en la vivienda” (Pacheco Carranco, 2023), resaltando la importancia del análisis y aplicación de estrategias bioclimáticas dentro de la metodología de diseño de viviendas en las que ellos intervienen y también en la capacitación a prestadores de servicios relacionados.

INFONAVIT - GIZ

Dentro del Programa de Energía Sustentable en México (Componente Edificación) y en colaboración entre el Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT) y *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ), presentan un análisis de cuatro tipologías de vivienda de interés social más común, en seis regiones bioclimáticas (tomando como caso de estudio seis ciudades) (Estudio de Optimización de la Eficiencia Energética en Viviendas de Interés Social, 2011); mediante el software de simulación energética *Energy Plus* y la interfaz gráfica *Design Builder*, se modelan los prototipos de cada tipología de vivienda, se cargan los datos climáticos del lugar específico, se configura el uso y operación de la vivienda, de tal manera que, en una primera revisión, analizan las condiciones actuales, considerando el consumo energético asociado al acondicionamiento artificial del espacio habitable y, en un segundo proceso, se analizan y proponen estrategias en el diseño de la envolvente, que permitan mejores condiciones de confort térmico y menor consumo energético.

Al analizar el costo/beneficio de las estrategias consideradas (considerando los ahorros económicos asociados al consumo energético), presentan estrategias categorizada como “propuesta optima” (la de mayor eficiencia energética posible) y “propuesta económica” (la de mejor relación costo/beneficio), para cada tipología de vivienda según la región climática en que se ubica.

Como parte de los hallazgos reportados del estudio se indica que:

Esto comprueba la importancia de diseñar y construir con soluciones específicas para cada región y el riesgo que implica adoptar indistintamente los mismos sistemas constructivos y de diseño [...] Implementando las medidas de optimización de la

eficiencia energética analizadas en este documento se pueden conseguir, en algunos casos, reducciones de la demanda energética de casi 90%, aún en los climas más demandantes, como es el caso del clima cálido seco extremo. (INFONAVIT - GIZ, 2011)

2.2.4. Metodología recomendada para el análisis de eficiencia energética en edificios

La RAE define como eficiencia a la “capacidad de lograr los resultados deseados con el mínimo posible de recursos” (RAE, 2024); en cuanto a la eficiencia energética en este tipo de investigaciones, se refiere al mínimo consumo de energía para mantener condiciones de confort térmico en el espacio habitable, lo que implica una cuantificación numérica del déficit o exceso de energía calorífica para mantener tales condiciones y, en su caso, el consumo energético relacionado a la utilización de dispositivos mecánicos para la climatización artificial del ambiente térmico.

En el área de investigación científica, a fin de conocer si el diseño de la envolvente arquitectónica es eficiente (térmicamente hablando), principalmente, se realizan los siguientes procedimientos, el primero para evaluar edificios ya construidos, el segundo para aquellos edificios a reacondicionar y, el tercero para aquellos que aún están en la fase de diseño (Desing Builder, 2024) (Sol Arq, 2024).

1. Mediciones térmicas para evaluación de espacios construidos:

- a) Determinación del periodo a monitorear, normalmente se prefiere analizar los periodos con condiciones climáticas más representativas que, para el hemisferio norte del globo terráqueo, estadísticamente, la temporada calurosa registra máximas normales de temperaturas en abril y mayo y extremas en junio, para temporada fría, las temperaturas mínimas normales se presentan en octubre y máximas extremas entre diciembre y enero.
- b) Monitoreo y medición de las condiciones climáticas al exterior y mediciones térmicas al interior del espacio construido (de acuerdo con la metodología específica para la configuración y ubicación de los equipos).
- c) Descarga y análisis de los datos registrados.
- d) Cálculo de la temperatura neutral y rango de confort, según la zona climática del lugar en que se ubica el edificio.

- e) Comparativa de los datos de medición térmica, con respecto del rango de confort.
- f) Determinación de la diferencia de temperatura fuera del rango de confort y la cantidad de horas con superávit térmico, para conocer la intensidad y periodo en que se requiere disminuir la ganancia térmica.

2. *Mediciones térmicas y simulación de espacios construidos a reacondicionar:*

- a) Se realizan los pasos de los incisos a) a f) anteriormente descritos y, adicionalmente, los siguientes:
- b) De acuerdo a las condiciones específicas del proyecto, realizar el análisis bioclimático y seleccionar estrategias de aprovechamiento, mitigación y/o control más adecuadas al proyecto.
- c) Determinar variaciones de integración de las estrategias más adecuadas al proyecto.
- d) Modelado de la envolvente arquitectónica mediante su interfaz gráfica y configuración de las propiedades geométricas y térmicas de los sistemas constructivos.
- e) Carga de los datos climáticos del lugar donde se ubicará el proyecto, ya sean datos de las ciudades principales que tenga precargada el software de simulación, o generados mediante softwares normativos, para aquellas ubicaciones más específicas.
- f) Configuración del uso de los espacios habitables, régimen de ventilación e iluminación, utilización de dispositivos generadores de energía calorífica, etc., así como selección de la ecuación para el cálculo de temperatura neutra y rango de confort.
- g) Cálculos de balance térmico mediante el software de simulación durante el periodo seleccionado (máxima de invierno o verano, o toda la temporada de invierno o verano, de manera anual, o por fechas específicas).
- h) Visualización de resultados numéricos y gráficos en cuanto al desempeño térmico, tanto de los diferentes elementos de la envolvente y en los espacios habitables; en caso de haber considerado la utilización de equipos de climatización artificial durante las horas fuera del rango de confort, reporta el consumo energético de éste.
- i) Selección e integración de las estrategias más eficientes, como adecuación o reacondicionamiento del proyecto.

j) Adicionalmente se recomienda realizar un análisis de costo-beneficio de la integración de las estrategias seleccionadas.

3. Simulación energética de edificios en fase de diseño:

- a) Se realiza el procedimiento de los incisos b) a i) del punto 2, en el que se incluye el análisis bioclimático específico para el proyecto, modelado, simulación de desempeño energético, selección de estrategias más eficientes.
- b) Si se considera la integración de propuestas de sistemas de generación de energía al proyecto, el software de simulación también incluye opciones para analizar dichas propuestas (en la versión de paga).
- c) El análisis costo-beneficio recomendado, también está disponible en la versión de paga del software.

Las mediciones de campo son ampliamente utilizadas para comparar el desempeño térmico de diferentes sistemas y materiales constructivos en construcciones ya existentes (Vecchia, F., Castañeda, G., 2006), (Mimbacas, A., Vecchia, F., Ruchasky, A., Castañeda, G., 2005), así como aquellos materiales de los que difícilmente se encuentran datos de propiedades térmicas o con procedimientos constructivos alternativos (Castañeda, N, 2020) (Morgan, N, 2012), como el sistema de techo verde o vegetal (Trujillo, R., Rangel, Y., Castañeda, N, 2015), losas con rellenos de PET, aserrín y cáscara de coco (Castañeda, G., Argüello, T., Vecchia, F., 2010), material reciclado (Quiroa., J., Vecchia, F., Castañeda, N., 2010), Bajareque (Vecchia, F., Castañeda, N, 2005) (Esparza, C., Cabrera, A., Torres, J., Tovar, I., Elizondo-Mata, M, 2022) muros con tierra armada (Parisi, R., Castañeda, N., Vecchia F., 2008), entre muchos otros similares.

En cuanto a la simulación energética mediante softwares de simulación, desde hace algunas décadas se ha empezado a utilizar en varias partes del mundo (Bre, F., Fachianotti, V., Bearzot, G., 2013) (Fumo, N., 2013) (Sharma, R., Sharma, P, 2018); en México puede decirse que ha comenzado a emplearse desde hace un par de décadas (Lucero-Álvarez, Rodríguez Muñoz, & Martín Domínguez, 2016) (Torres-Aguilar, Serrano-Arellano, & Macías-Melo, 2020) (Mercado, B., Romero, L, 2021); siendo cada vez más frecuente.

El modelado energético de edificios es clave en el proceso de diseño y certificación como edificio sostenible al determinar la mayor eficiencia posible en el consumo energético para tal edificio, con los respectivos ahorros económicos, lo que

ha resultado atractivo también a inversionistas, como ya se ha mencionado en un apartado anterior.

2.2.5. Metodología propuesta por la NOM-020-ENER-2011

En esta norma se propone una metodología de cálculo de transferencia de energía calorífica a través de la envolvente, con datos de ganancias térmicas por convección y radiación solar directa, para edificios habitacionales de hasta 3 niveles en vivienda vertical y vivienda horizontal con muros compartidos (publica también datos de propiedades térmicas de materiales de construcción más comunes); el criterio es que la ganancia térmica deberá ser igual o menor que el edificio de referencia para considerarse que cumple con la norma.

El modelo matemático indicado en la NOM-020-ENER-2011 es (SENER, 2011):

Ecuación 2 Temperatura equivalente NOM-020-ENER-2011

Temperatura Equivalente = (Temperatura seca + Temperatura media radiante) /2

Este modelo matemático modifica algunos vocablos, pero, en esencia, es el mismo modelo matemático presentado de manera rudimentaria en 1937 por la ASHVE:

Ecuación 3 Temperatura operativa ASHVE

Temperatura Operativa = (Temperatura Media Radiante + Temperatura de Bulbo Seco) /2

Esta norma no considera el análisis bioclimático en el que se emplaza el edificio (dirección e intensidad de vientos dominantes, orografía, vegetación, cercanía con cuerpos de agua, etc.) así como el aprovechamiento, control o mitigación de éstos, tampoco considera ganancias térmicas debido a la temperatura corporal de los usuarios según su actividad física, generación de energía calorífica por operación de dispositivos (como estufas, electrodomésticos o aparatos electrónicos, etc.), estrategias de diseño en aberturas, controles de ventilación o sombramientos, enfocándose en recomendaciones de materiales aislantes.

Comparación de desempeño térmico de una vivienda con la NOM-020-ENER.

En 2011, Ruíz, Castañeda, Argüello y Morillón, mencionan que como parte del proyecto de investigación “Sistemas constructivos en las viviendas de México, diagnóstico y oportunidades de ahorro de energía mediante el uso de diversos sistemas pasivos en las distintas regiones del país” promovido por CONACYT-SENER, en coordinación de la UNAM, UNACH y Universidad de Baja California Sur se realiza un análisis comparativo entre la aplicación de la metodología propuesta en la NOM-020, y la metodología bioclimática y eficiencia energética mediante software de simulación (*Energy Plus*) (Ruíz, R., Castañeda, G., Arguello, M., Morillón, D., 2011).

En el análisis se hace una primera evaluación de una vivienda, para determinar las condiciones iniciales (escenario base) en cuanto al desempeño térmico, en una segunda evaluación la vivienda es intervenida según las recomendaciones de la NOM-020 utilizando aislamiento térmico en su cubierta, los cálculos fueron realizados por el software propuesto por esta misma norma, encontrándose que se logra un ahorro del 7.46% con respecto del modelo de referencia propuesto por la norma, pero al comparar con el rango de confort, se encuentra que las condiciones térmicas están por encima del rango de confort las 24 h, es decir, aun cuando cumple con la norma, durante todo el día el usuario experimentaría condiciones de discomfort, lo que llevarían al usuario a utilizar dispositivos activos o de climatización artificial (con el consumo energético que ello implica).

En una tercera evaluación, el prototipo de la vivienda es analizado con la metodología bioclimática, con lo que se determinan estrategias correctivas que son integradas al prototipo de vivienda (incluyendo protecciones solares en vanos y enfriamiento nocturno) y simulada con el software de cálculo *Energy Plus* (software aprobado por la ASHRAE), con lo que logra mejores condiciones de confort durante el día, a excepción de 8 h en que se encuentra por encima del rango de confort térmico, es decir, una disminución o ahorro en dos terceras partes del tiempo en condiciones fuera del rango de confort térmico con respecto de lo indicado en la NOM-020, lo que implica un ahorro energético por disminución de las horas en que tales dispositivos se encuentren operando (figura 15).

Refiriéndose a la metodología propuesta en la NOM-020, en la investigación se concluye que “este tipo de herramientas permite al diseñador evaluar y conocer el posible comportamiento térmico que tendrá su edificio”, [...] “pero el diseñador deberá

tomar en cuenta otras estrategias pasivas que no puede evaluar". (Ruíz, R., Castañeda, G., Arguello, M., Morillón, D., 2011) .

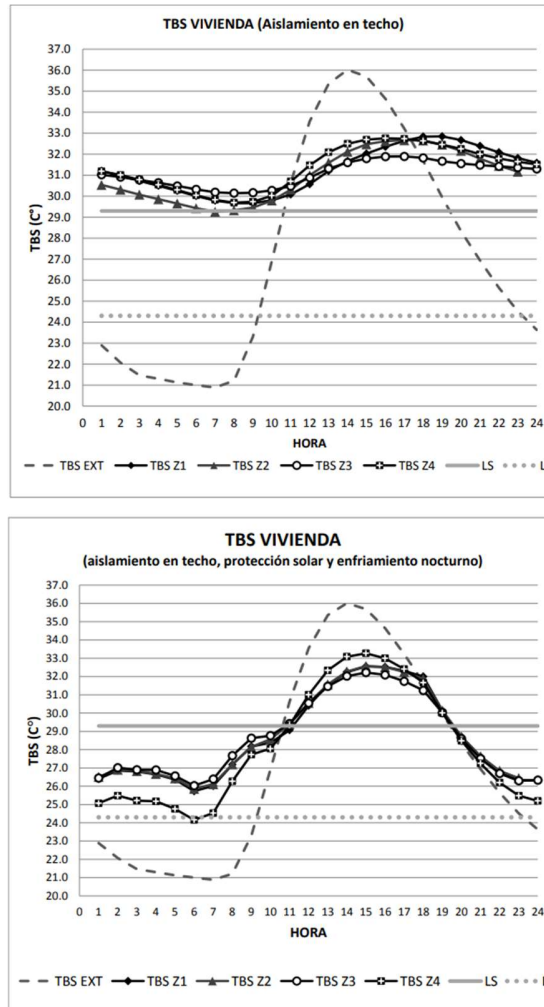


Figura 15 Comparativa de temperaturas interiores (TBS) y rango confort térmico al aplicar la NOM-020 (izquierda) con respecto de integrar estrategias bioclimáticas (derecha) para la eficiencia energética Fuente: (Ruíz, R., Castañeda, G., Arguello, M., Morillón, D., 2011).

2.2.6. Modelado energético de Edificios BEM (BEM: *Building Energy Modeling*)

En 1990 el Departamento de Energía de Estados Unidos desarrolla el software de simulación energética *Energy Plus*, para el diseño de sistemas de calefacción y enfriamiento, éste software es utilizado como motor de simulación con otros softwares

de interfaz gráfica, como es el caso de *Design Builder*, que, hasta el momento, es uno de los programas principalmente utilizados, ya que su metodología y procesamiento de datos es aceptado por la ASHRAE y también aceptado por organismos de certificación como LEED.

El Modelado Energético de Edificios (BEM) permite el modelado gráfico de la envolvente arquitectónica y simular los intercambios energéticos entre ésta y las condiciones climáticas en que en que se localice, con el objetivo de conocer el consumo energético de las diferentes propuestas analizadas, a fin de determinar la más eficiente. Es altamente recomendable hacer este tipo de análisis en la fase de diseño, pero también es utilizado en proceso de remodelación o reacondicionamiento.

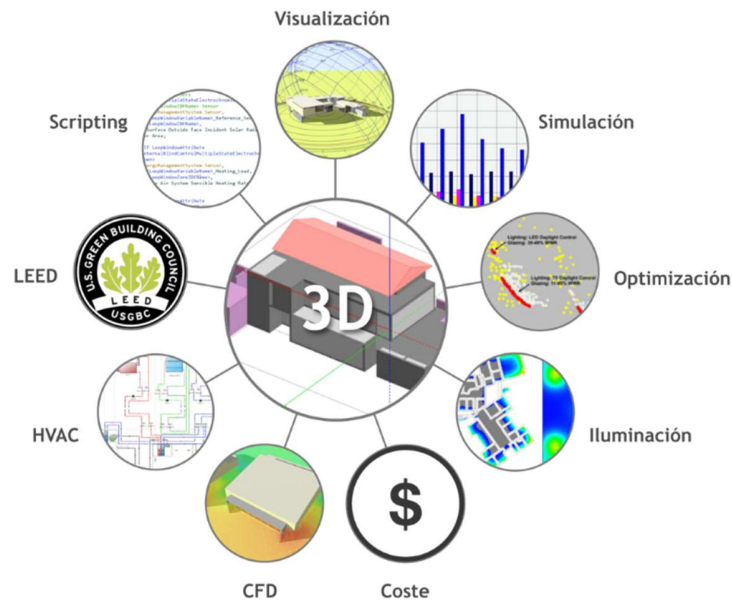


Figura 16. Módulos de Design Builder. Fuente: (Desing Builder | Lat, 2023)

Por lo antes mencionado, para efectos de la presente investigación, se utiliza *Design Builder* como interfaz gráfica apoyado por el software de simulación *Energy Plus* para conocer el consumo energético de los prototipos para el caso de estudio, a partir del modelo tridimensional se utiliza los módulos de visualización, simulación y CFD, de los 9 disponibles (Desing Builder | Lat, 2023) (figura 16).

2.2.7. Estudios de evaluación de estrategias bioclimáticas y eficiencia energética en edificios en México.

La utilización de estrategias bioclimáticas se ha observado desde los inicios de la civilización, primero de manera rudimentaria y, en décadas más recientes, además de aplicar conocimiento científico y técnicas de análisis, también se incluye el modelado y simulación energética, para cuantificar el impacto que tienen tales estrategias en la operación del espacio habitable analizado y, de esta manera, seleccionar aquellas que resulten más adecuadas y eficientes al proyecto.

Como se analizó anteriormente, con la intención de promover el uso más eficiente de los recursos y mitigar los efectos del cambio climático, a través certificaciones internacionales, se han impulsado el análisis y evaluación de mejores prácticas constructivas y de operación, las cuales se incluyen dentro de diversos aspectos a evaluar en los proyectos de edificación.



Figura 17. Proyectos con certificaciones en sostenibilidad en Latinoamérica Fuente: (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, 2024)

En el caso de Latinoamérica (figura 17), según el directorio público de la USGB para finales del 2023 se informa que, de un total de 2,995 proyectos con algún tipo de certificación de edificación sostenible (Brasil lidera con 2,081 proyectos y México con 1,713 proyectos) reportaron un 31% en ahorro energético, 86% menos costos de operación, el costo de inversión adicional asociado a las mejoras para lograr tal certificación representaron en promedio 1.39% de inversión adicional (con una desviación estándar de 0.023), lo que les permitió que el 81% de los proyectos lograran el retorno de inversión en menos de un año, y el 28% de estos proyectos lograron algún beneficio financiero o técnico en el proceso de lograr dicha certificación (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, 2024).

Lo anterior muestra que en años recientes más proyectos están siendo analizados desde un enfoque sostenible desde un punto de vista que incluye, además de cumplir los requerimientos funcionales para su propósito y el usuario, también contribuyan a un menor impacto al ambiente natural y sean económicamente rentables, esto con fines de obtener una certificación que reconozca el cumplimiento de dichos criterios.

Por otro lado, también existen muchos proyectos que, aun cuando no sean objeto de alguna certificación de sostenibilidad, sí incluyen algún análisis e integración de estrategias bioclimáticas para la disminución de recursos (naturales y económicos).

En México, se han realizado y publicado diversos estudios al respecto, mayormente desde el ámbito de la investigación científica, mediante experimentación de prototipos reales y mediciones de desempeño térmico de espacios habitables; en años recientes, mediante la utilización de softwares de simulación energética, se han sometido a evaluación si tales estrategias bioclimáticas cumplen con su objetivo, los resultados han corroborado que tales recomendaciones resultan útiles; también se han utilizado estos softwares para optimizar de manera preliminar el uso de las estrategias recomendadas.

A continuación, se presentan algunas investigaciones en las que se evalúan la integración de estrategias bioclimáticas, a fin de mejorar las condiciones de confort térmico al interior del espacio habitable, así como análisis de eficiencia energética y rentabilidad de tales estrategias.

En 2016, Lucero-Álvarez y Rodríguez Muñoz publican un estudio sobre los efectos de aislamiento de cubiertas y muros de viviendas en diferentes condiciones climáticas

de seis ciudades en México; mediante simulación energética se determina que el aislamiento térmico en muros y cubiertas son más efectivos en ciudades con inviernos fríos. Para climas templados es más conveniente aislar sólo las cubiertas y para ciudades con altos requerimientos de refrigeración es más óptimo aislar paredes y utilizar techos sin aislamiento térmico, pero sí con alta reflectancia solar (Lucero-Álvarez, Rodríguez Muñoz, & Martín Domínguez, 2016). El estudio incluye un análisis de costo de consumo energético, según las tarifas en cada una de las ciudades incluidas en el estudio (figuras 18 y 19).

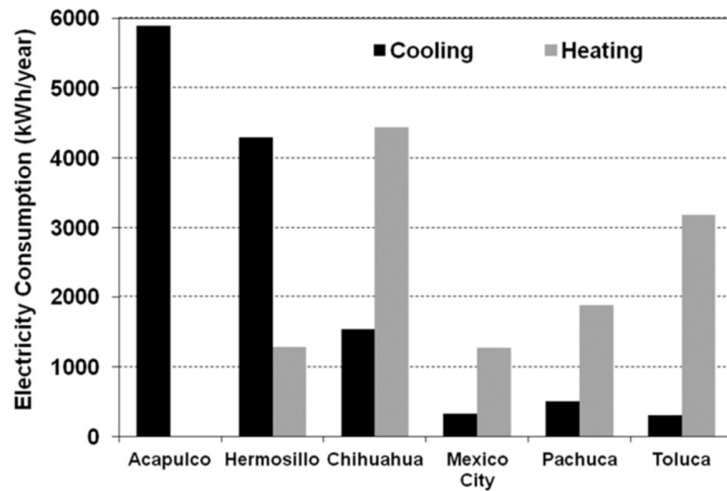


Figura 18. Consumo energético anual por acondicionamiento térmico Fuente: (Lucero-Álvarez, Rodríguez Muñoz, & Martín Domínguez, 2016)

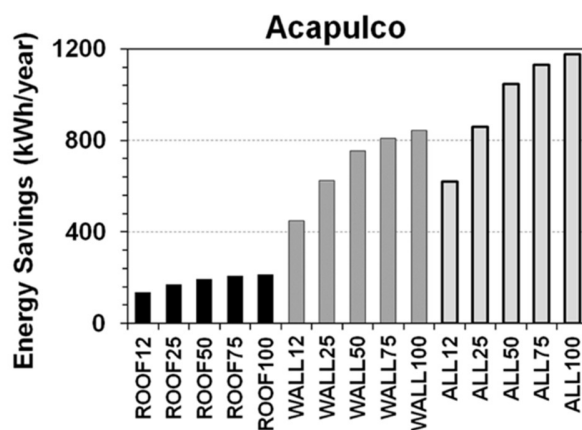


Figura 19. Ahorros anuales de consumo energético más notorio, por aislamiento térmico de la envolvente arquitectónica Fuente: (Lucero-Álvarez, Rodríguez Muñoz, & Martín Domínguez, 2016).

En 2019, Herrera Sosa, Arena Granados y Gómez Azpeitia publican un artículo en el que analizan el Costo y rentabilidad de estrategias de enfriamiento evaporativo mediante un estudio experimental con estrategias conservativas y bioclimáticas, en un grupo de viviendas con diferentes escenarios en la ciudad de Chihuahua, México, considerando el consumo de agua y energía por la operación de equipos de enfriamiento evaporativo, incluye un análisis económico y retorno de inversión de las estrategias propuestas.

De los resultados presentados, el prototipo con menores consumos de agua y energía es la combinación que incluye incremento de masa térmica (C4) + Ventilación Nocturna (VN), demostrando el gran potencial de las estrategias bioclimáticas (tabla 2).

Tabla 2. Consumo anual de agua y energía por prototipo analizado, incluyendo el efecto de la Ventilación Nocturna (NC)

Prototipo	Consumo de agua anual (m ³)*	Consumo de energía anual (Kwh)*
T1	32.50**	1,037.69**
T2+VN	10.03	320.30
C1+VN	8.15	260.39
C2+VN	7.90	252.37
C3+VN	8.56	273.26
C4+VN	7.96	254.03

Fuente: (Herrera Sosa, Arena Granados, & y Gómez-Azpeitia, 2019)

En base al análisis de rentabilidad, los autores concluyen que, con los ahorros generados por disminución de consumo de agua y energía, el retorno de la inversión es altamente favorable, ya que se recupera en los primeros 2 años (incluyendo inflación) (Herrera Sosa, Arena Granados, & y Gómez-Azpeitia, 2019) (figura 20).

	T1 (USD)	C4+VN (USD)	Ahorro (USD)
Inversión inicial	0	70.37	-70.37
Costos futuros			
Costos recurrentes anuales y no anuales	0	0	0
Costos energéticos	2,787.19	682.30	2,104.89
Costos de agua	629.48	154.15	475.26
Sustituciones de capital	0	16.00	-16.00
Subtotal	3,416.67	852.52	2,564.15
CCV	3,416.67	922.89	2,493.78
Indicadores de rentabilidad			
Ahorro Neto (USD)		2,493.78	
Relación ahorro/inversión		36.44	
Tasa interna de retorno ajustada		11.54%	
Periodo de retorno (años)		2	
Periodo de retorno ajustado (años)		2	

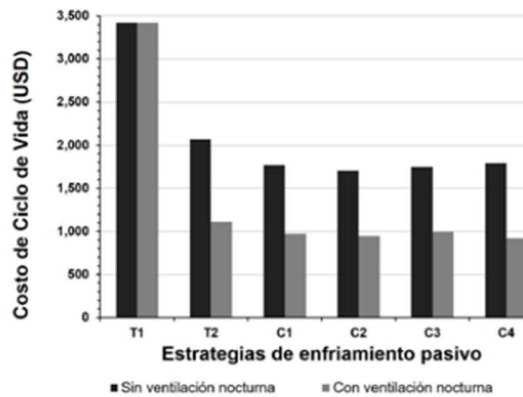


Figura 20. Costo de ciclo de vida de las distintas estrategias en un escenario histórico por aumento en costos de energía y agua Fuente: (Herrera Sosa, Arena Granados, & y Gómez-Azpeitia, 2019).

Por su parte, Torres, Serrano y Macías, en 2020, comparten resultados del caso de estudio de una vivienda de interés social en el que, además de contar con criterios bioclimáticos, se propone diferentes materiales constructivos, en el que se demuestra que el uso de materiales propios de la región, logran disminuir la oscilación térmica al interior de la envolvente arquitectónica, con un aumento en eficiencia del 35% con respecto de los materiales comerciales (Torres-Aguilar, Serrano-Arellano, & Macías-Melo, 2020)

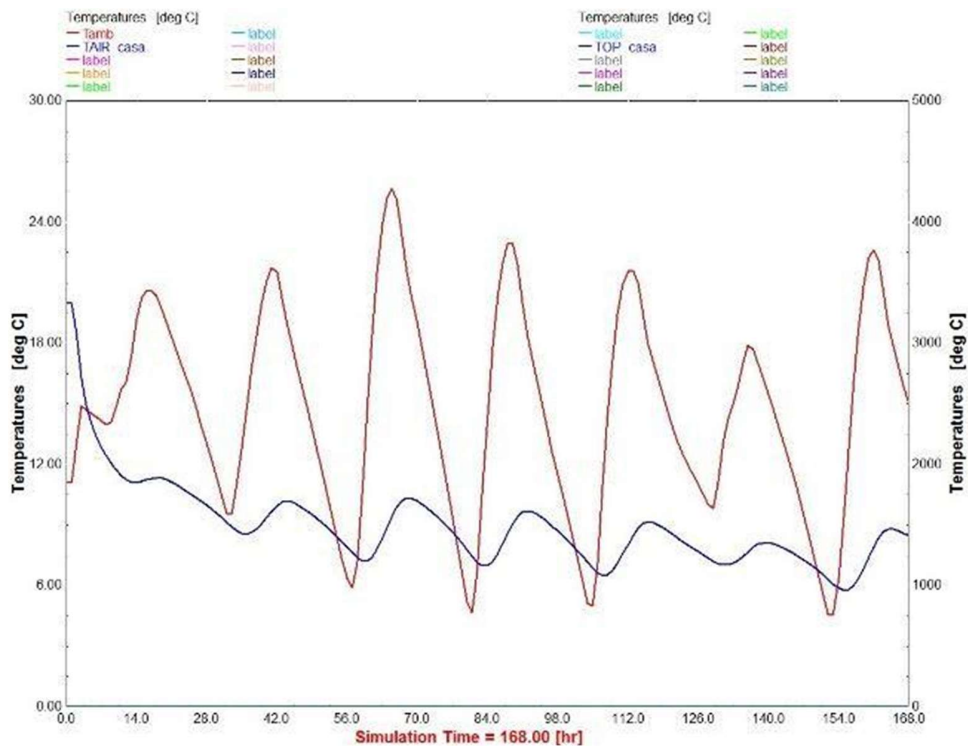


Figura 21. Oscilación térmica de la temperatura exterior e interior Fuente: (Torres-Aguilar, Serrano-Arellano, & Macías-Melo, 2020)

En 2021 Alba, Herrera y Esparza, realizan una investigación aplicada a un modelo de vivienda de interés social que, mediante simulación energética en el software *Design Builder*, evalúa los ahorros generados por consumo energético en las diferentes estrategias bioclimáticas de climatización pasiva, (Aleros y Partesoles (AP), Doble Vidrio (DV), Aislamiento en Cubierta (AC), Aislamiento en Muros (AM), Todas las estrategias (TA)), con respecto de un Modelo Base (MB) sin ningún tipo de estrategias de climatización pasiva.

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que la estrategia con mayores ahorros es el Aislamiento de Muros (AM), con un retorno de inversión de siete años, generando ahorros netos por \$ 196,217.00 (Alba Gómez, Herrera Sosa, & y Esparza López, 2021) (Tabla 3 y figura 22).

Tabla 3. Análisis de costo de ciclo de vida de casa escenario

Escenario	MB	AP	DV	AC	AM	TA	
Inversión	\$ -	\$2,562	\$12,515	\$29,977	\$44,383	89,438	
Consumo	Anual [MW/h]	9.56176	6.059	2.908	2.5864	1.57359	1.07802
	30 años [MW/h]	286.8528	181.77	87.24	77.592	47.2077	32.34072
Costo	30 años	\$290,985.0	\$184,388.4	\$ 88,496.7	\$ 78,709.7	\$ 47,887.7	\$ 32,806.6
	30 años + inversión	\$290,985.0	\$186,950.7	\$ 101,011.7	\$ 108,687.0	\$ 92,271.2	\$ 122,244.6
Ahorro	\$ -	\$ 104,034.3	\$ 189,973.3	\$ 182,298.0	\$ 198,713.8	\$ 168,740.4	
Rendimiento de inversión	\$ -	\$ 144.1	\$ 704.0	\$ 1,686.4	\$ 2,496.8	\$ 5,031.4	
Ahorro neto		\$ 103,890.1	\$ 189,269.2	\$ 180,611.6	\$ 196,217.0	\$ 163,709.0	

Fuente: (Alba Gómez, Herrera Sosa, & y Esparza López, 2021)



Figura 22. Ahorro económico y tiempo de retorno de inversión de cada alternativa analizada Fuente: (Alba Gómez, Herrera Sosa, & y Esparza López, 2021).

En 2022, Lucero, Hernández y Estrada, publican una revisión sobre la utilidad de la metodología BEM (*Building Energy Modeling*) ya sea para diseñar edificios más eficientes en cuanto al consumo energético durante su operación o en la remodelación de edificios existentes, así como para evaluar el desempeño térmico de materiales constructivos o para justificar o evaluar normas sobre eficiencia energética y presentan como caso de estudio una vivienda de interés social en el que varía valores de reflectancia solar, emisividad y aislamiento térmico en 20 ciudades diferentes en México agrupadas en 4 zonas climáticas; para el proceso de calibración realizan mediciones de desempeño térmico *in situ* en dos aulas de un edificio educativo. En su investigación, concluyen que los beneficios por el uso de techos reflectivos son mayores en las zonas térmicas con climas cálidos, mientras que el

aislamiento térmico en techo tendrá mejores efectos en las zonas térmicas con climas más frío, si se consideran los valores óptimos de RS (Reflectancia Solar) y EI (Emisividad Infrarroja) (Lucero-Álvarez, J., Hernández Quiroz, N., Estrada Ayub, J., 2022) (figura 23).

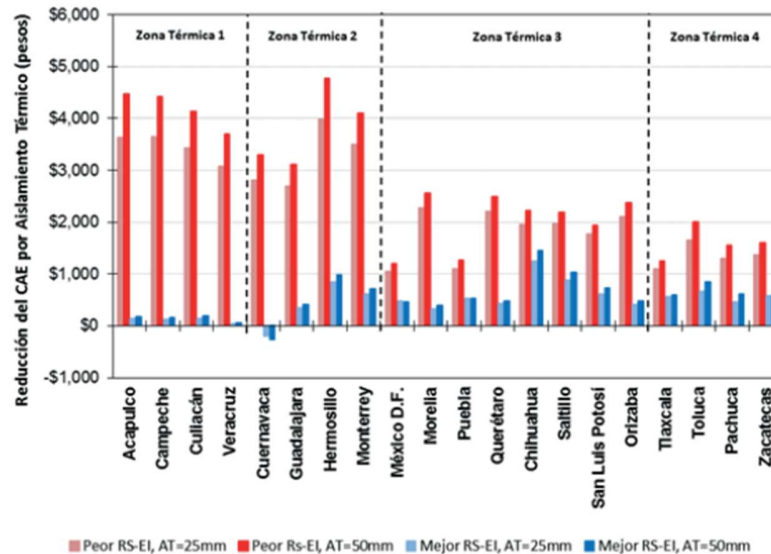


Figura 23. Reducción del costo de energía al utilizar aislamiento térmico en techo, considerando valores óptimos de RS y EI en edificio residencial Fuente: (Lucero-Álvarez, J., Hernández Quiroz, N., Estrada Ayub, J., 2022).

2.3. Resumen del Marco Teórico

La presente investigación está enmarcada en el fenómeno del cambio climático y sostenibilidad en edificación y, con el propósito de incentivar más proyectos de edificación que incluyan estrategias bioclimáticas y eficiencia energética, se propone un análisis de factibilidad económica.

En la primera sección se presenta una revisión de conceptos básicos y criterios sobre arquitectura bioclimática, confort térmico y su relación con la eficiencia energética, basada en los primeros análisis propuestos por Olygay, Givoni, Zokolay entre otros (tabla 4), en los que, en función de las condiciones climáticas y componentes de la envolvente arquitectónica, se procura que, por medios pasivos, se propicie al usuario condiciones de confort térmico en el ambiente interior,

mejorando la eficiencia en consumo energético por acondicionamiento térmico artificial.

Tabla 4. Resumen de artículos de investigación sobre conceptos básicos y antecedentes sobre Arquitectura Bioclimática, confort térmico y eficiencia energética

Año	Autor	Tema
Criterios sobre Arquitectura bioclimática y su aplicación en edificación		
1963	Olgay, V.	Arquitectura y Clima. Manual de diseño bioclimático para arquitecto y urbanistas
1983	Szokolay, S.	Arquitectura Solar. Realización y proyectos a escala mundial
1990	IMSS	Criterios de Adecuación Bioclimática en la Arquitectura
1969	Givoni, B.	Climate Considerations in Building and Urban Desing
1991	Givoni, B.	Performance an applicability of passive and low-energy cooling systems.
1992	Givoni, B.	Comfort, climate analysis and building design guidelines
1994	Givoni, B.	Passive and Low Energy Cooling of Buildings
1998	Givoni, B.	Climate Considerations in Building and Urban Desing
2014	Szokolay, S.	Introduction to Architectural Science. The basis of sustainable desing
2019	SEDATU & CONAVI.	Criterios técnicos para una vivienda adecuada. México.
2023	Gómez-Azpeitia, G. y Tejeda Martínez, A	Software de caracterización Bioclimática
2023	Pacheco Carranco, J. R	Director de Desarrollo de Vivienda Sustentable y Diseño CONAVI

Fuente: elaboración propia, en base a las referencias presentadas

En una siguiente sección, se hace una revisión de la normativa sobre confort térmico, como producto de basta investigación científica en la que se ha demostrado que, al incluir criterios y análisis que propicien al usuario mejores condiciones de confort térmico, además se logra un menor consumo energético e impacto al ambiente natural.

También se incluye una revisión de las principales certificaciones internacionales para edificios que han sido diseñados, construidos y operados con criterios de sostenibilidad y que, como consecuencia, también han logrado rentabilidad económica. Aunque el propósito de la presente investigación no es ahondar sobre estos sistemas de certificación, se presentan como instrumentos que, a través de tales beneficios y reconocimiento, promueven e incentivan a que más proyectos de edificación sean más eficientes y rentables (tabla 5).

Tabla 5. Resumen del marco normativo sobre confort y desempeño térmico en edificación, y certificaciones sobre sostenibilidad

Normatividad relacionado al confort térmico y desempeño térmico en edificación		
2006	Standard EN 15251	Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics
2024	ASHARE 55	Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy
1997	de Dear, R. B.	Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference
2018	Morgan, N.; Gomez-Azpeitia, G.	Development of a Mexican standard of thermal comfort for naturally ventilated building
Certificaciones sobre sostenibilidad en la edificación		
2024	USGBC	Certificación LEED internacional
2024	EDGE	Certificación EDGE
2024	GBCI.	Certificación LEED en México
2024	Consejo Colombiano de Construcción Sostenible.	Caso de Negocio de LEED en América Latina

Fuente: elaboración propia, en base a las referencias presentadas

Dentro de los muchos estudios de investigación científica que existen sobre el análisis y evaluación de desempeño térmico en proyectos de edificación que hayan sido objeto de análisis bioclimático e integración de sistemas constructivos, se mencionan algunos artículos de investigación realizados a proyectos dentro de la república mexicana, para analizar y determinar, mediante la evaluación experimental, el impacto que ha tenido la integración de tales estrategias y sistemas constructivos en edificaciones existentes (tabla 6).

Tabla 6. Artículos de investigación con casos de estudios relacionados a la evaluación de desempeño térmico en edificaciones existentes en México

Año	Autor	Tema
Desempeño térmico en edificaciones existentes		
2010	Castañeda, G., Argüello, T., Vecchia, F.	Desempeño Térmico de Techo Alternativo para Vivienda en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México
2010	Quiroa, J., Vecchia, F., Castañeda, N.	Comparación del comportamiento térmico de tres cubiertas: láminas de reciclado tetra pak, láminas de fibrocemento y teja de barro
2012	Morgan, N.	Propuesta de techo alternativo para vivienda en el Istmo de Tehuantepec, ante el cambio climático
2016	Figueroa, C.	Confort térmico en vivienda de producción en serie de la Zona Metropolitana del Valle de México
2020	Castañeda, N.	Tecnología para techos de vivienda de producción social asistida. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México
2022	Esparza, C., Cabrera, A., Torres, J., Tovar, I., Elizondo-	Bahareque de Bambú. Propuesta modular en base al desempeño térmico y mecánico

Fuente: elaboración propia, en base a las referencias presentadas

Como es sabido, el análisis bioclimático ha sido utilizado desde los inicios de la civilización, en décadas recientes diversos organismos, investigadores y personas interesadas han implementado con mayor interés el uso de análisis bioclimáticos y metodología BEM para evaluar el desempeño térmico de tales estrategias en edificios, incluso, cada vez es más conocido de empresas y profesionistas dedicadas en la realización de este tipo de análisis, por lo que también se incluyen algunos artículos de investigación en los que se aborda la utilización de la metodología BEM para la simulación de desempeño térmico y cuantificación del consumo energético en proyectos en fase de análisis y diseño para la selección e integración de estrategias más eficientes (tabla 7).

Tabla 7. Resumen de artículos de investigación sobre simulación energética y rentabilidad de estrategias bioclimáticas en edificación

Año	Autor	Tema
Simulación energética en edificación		
2013	Bre, F., Fachianotti, V., Bearzot, G	Simulación energética
2020	Torres-Aguilar, C., Serrano-Arellano, J., & Macías-Melo, E. y.-T.	Simulación energética de prototipo de vivienda de interés social para evaluar el confort térmico
2021	Mercado, B., Romero, L.	Simulaciones energéticas: herramientas diagnóstico-pronóstico para la evaluación de edificaciones
2022	Lucero, J., Hernández, N., Estrada, J.	Aplicaciones de la modelación energética de edificaciones: revisión y casos de estudio en México
2024	Desing Builder	Simulación energética
Rentabilidad de incluir estrategias bioclimáticas en edificación		
2011	INFONAVIT - GIZ.	Estudio de Optimización de la Eficiencia Energética en Viviendas de Interés Social
2015	Trujillo, R., Rangel, Y., Castañeda, N.	Potencial del techo verde, para ahorrar electricidad por aire acondicionado en la edificación.
2016	Lucero-Álvarez, J., & Rodríguez Muñoz, N.	The Effects of Roof and Wall Insulation on the Energy Costs of Low Income Housing in Mexico
2019	Herrera Sosa, L., Arena Granados, A., & y Gómez-Azpeitia, G.	Costo y rentabilidad de diversas estrategias bioclimáticas en viviendas con enfriamiento evaporativo directo en función del ciclo de vida
2021	Alba Gómez, L., Herrera Sosa, L., & y Esparza López, C.	Análisis de costo-beneficio de estrategias de climatización pasiva en vivienda social en Ciudad Juárez, Chihuahua

Fuente: elaboración propia, en base a las referencias presentadas

Finalmente, sobre el tema de rentabilidad, al incluir estrategias bioclimáticas en edificación, se presenta un análisis de investigaciones más recientes a proyectos en algunas regiones y climas de México, en las que se realiza una revisión de costo-beneficios y retorno de inversión sobre la integración de estrategias bioclimáticas

adecuadas, para la selección de las que resulten más eficientes y rentables, esto tanto para proyectos existentes (reacondicionamiento) como para proyectos en fase de diseño.

La metodología utilizada en estos proyectos consiste, primeramente, en realizar un *análisis bioclimático* al proyecto, de acuerdo a las condiciones climáticas específicas del lugar en que se localiza, el uso de espacio habitable, así como integración de estrategias de aprovechamiento, mitigación y control de factores climáticos, y adecuaciones en sistemas constructivos, ya sea para proyectos nuevos, como para el reacondicionamiento de proyectos existentes. En una segunda fase, utilizando la metodología BEM, se modelan prototipos con variaciones de diseño, mismos que son sometidos a simulación energética para la selección de aquellos que resulten más eficientes. En una tercera fase, se presenta el análisis costo-beneficio de la inversión requerida para cada prototipo, para la elección de prototipo más rentable.

Dado que la presente investigación se enfoca en la eficiencia de consumo energético del edificio desde su fase de diseño, para seleccionar las estrategias de diseño que permita lograr mayor rentabilidad, debido a ahorros por menor consumo energético durante su operación, los artículos de esta última sección sirven de guía metodológica para la presente investigación.

Las diferencias entre estudios existentes y la presente investigación son los siguientes:

- Difusión pública del análisis bioclimático, eficiencia energética y rentabilidad del proyecto objeto de estudio, a diferencia de análisis realizados a proyectos particulares, cuya información no es de dominio público.
- Se trata de un proyecto de desarrollo de vivienda horizontal, ya que, aunque existen estudios similares en proyectos de vivienda, aún no se conoce este tipo de estudios de manera pública para proyectos de construcción masiva.
- El proyecto caso de estudio está ubicado en Chapala, Jalisco, se han realizado estudios en algunas ciudades de México, sin embargo, actualmente no se conoce de estudios similares en esta ubicación con sus características climáticas específicas.

3. METODOLOGÍA

3.1. Análisis del caso de estudio: vivienda horizontal en el municipio de Chapala, Jalisco, México

3.1.1. Descripción del proyecto

El caso de estudio se trata de un desarrollo habitacional de vivienda horizontal que está en proceso de diseño, proyectado a construirse en Santa Cruz de la Soledad, del municipio de Chapala, Jalisco, México, a unos 50 Km hacia el Sur-Este desde el centro de la ciudad de Guadalajara y a 1 km aproximadamente de la Riviera Norte del Lago de Chapala (figura 24).

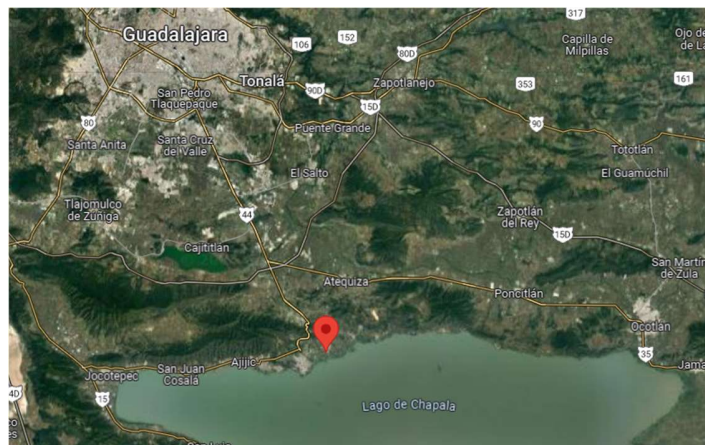


Figura 24. Localización del proyecto caso de estudio en Chapala, Jalisco, México Fuente: (Google, 2013)

Se tiene considerada la construcción de 53 viviendas horizontales tipo medio de 158 m², que contará con 4 recámaras, 2 ½ baños, sala, comedor, estudio, cocina, cuarto de servicio, escaleras, cajón de estacionamiento para 3 vehículos, patio posterior y terraza en azotea. Por tratarse de un proyecto en fase de diseño para una empresa particular, se reserva el derecho de compartir más datos de dicho proyecto.

Para efectos de la presente investigación, se realiza el análisis bioclimático y selección de estrategias bioclimáticas que resulten con el menor consumo energético y que resulten más rentables. A continuación, se describe la metodología utilizada.

3.1.2. Metodología de análisis bioclimático del proyecto

Esta fase de análisis bioclimático se realiza de acuerdo a literatura recomendada, prácticas y prácticas utilizadas por especialistas en esta disciplina, con la utilización de softwares que facilitan el proceso de caracterización y análisis climático, como es el caso de la versión más actualizada de Bioclimarq, desarrollado por los investigadores Gabriel Gómez Azpeitia y Adalberto Tejeda Martínez, en el que se concentran diversos modelos (Olgay, Givoni, Szokolay, Evans, Mahoney) además de análisis de acuerdo al ASHRAE 55 en su Método Predictivo como en su modelo Adaptativo.

a) Planteamiento y diagnóstico

El predio del proyecto se localiza en la latitud $20^{\circ} 43' 15''$ N, longitud $-103^{\circ} 5' 30''$ E, a 1,535 m sobre el nivel del mar; de acuerdo a las normales climatológicas, para esta localización se consideran condiciones climáticas principalmente neutras (51% del año (puntos en verde)) y, en segundo término, frías (43% (puntos en azul)), como se muestra en la figura 25.

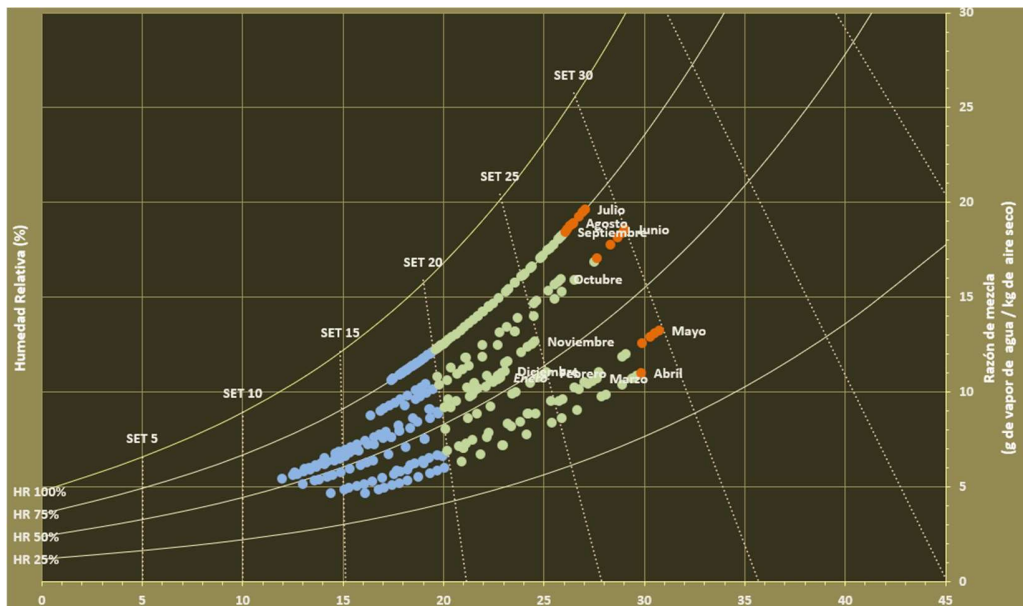


Figura 25. Caracterización climática anual para Chapala, Jalisco Fuente: datos generados en Bioclimarq (Gómez-Azpeitia, G. y Tejeda Martínez, A.; 2023)

b) Bioclima y requerimientos

Con base en lo anterior, se pueden identificar las siguientes dos temporadas:

- Temporada fría (1a temporada), durante los meses de enero, febrero, marzo, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre.
- Temporada mixta (2da temporada), durante los meses de abril, mayo, junio.

Los datos relevantes de estas dos temporadas son los siguientes (tabla 8):

Tabla 8 Datos de variables climáticas para las dos temporadas en Chapala, Jalisco. Fuente: Elaboración propia obtenidas de (Gómez-Azpeitia, G. y Tejeda Martínez, A., 2023)

Temporada	1a.	2a.	Unidades
Temperatura media	20	23	°C
Rad. horizontal media mensual (nublados típicos)	5,003	6,212	W/m ²
Humedad relativa media	61	47	%
Precipitación estacional total	662	197	mm

De acuerdo a la figura 26, se muestra que, para mantener condiciones de confort, los requerimientos de climatización, para la temporada fría, debe procurarse ganancias térmicas y para la temporada neutra, debe minimizarse los picos de oscilación térmica, para así propiciar condiciones de confort térmico lo más posible.

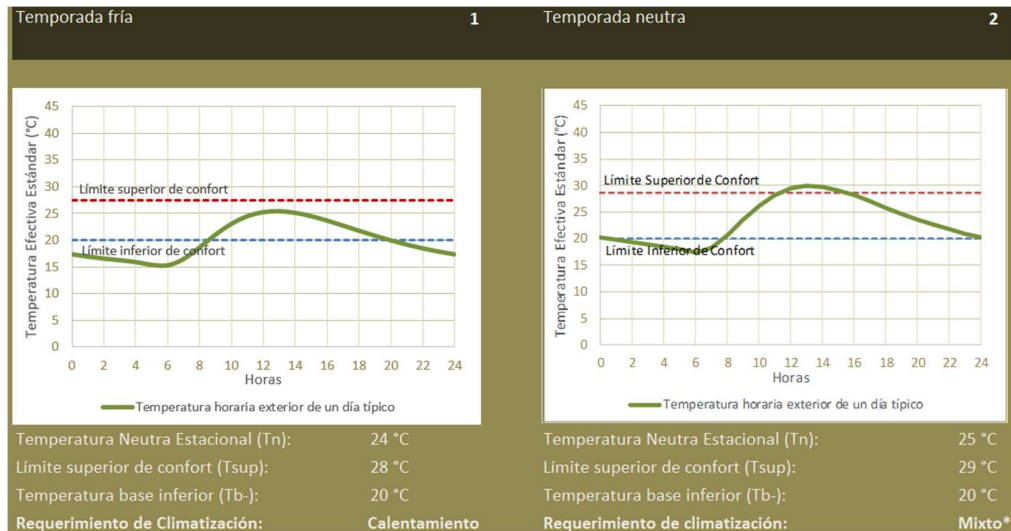


Figura 26. Rango de confort térmico para temporada fría y neutra en Chapala, Jalisco. Fuente: datos generados en Bioclimarq (Gómez-Azpeitia, G. y Tejeda Martínez, A., 2023)

d) Estrategias de acondicionamiento pasivos y activos

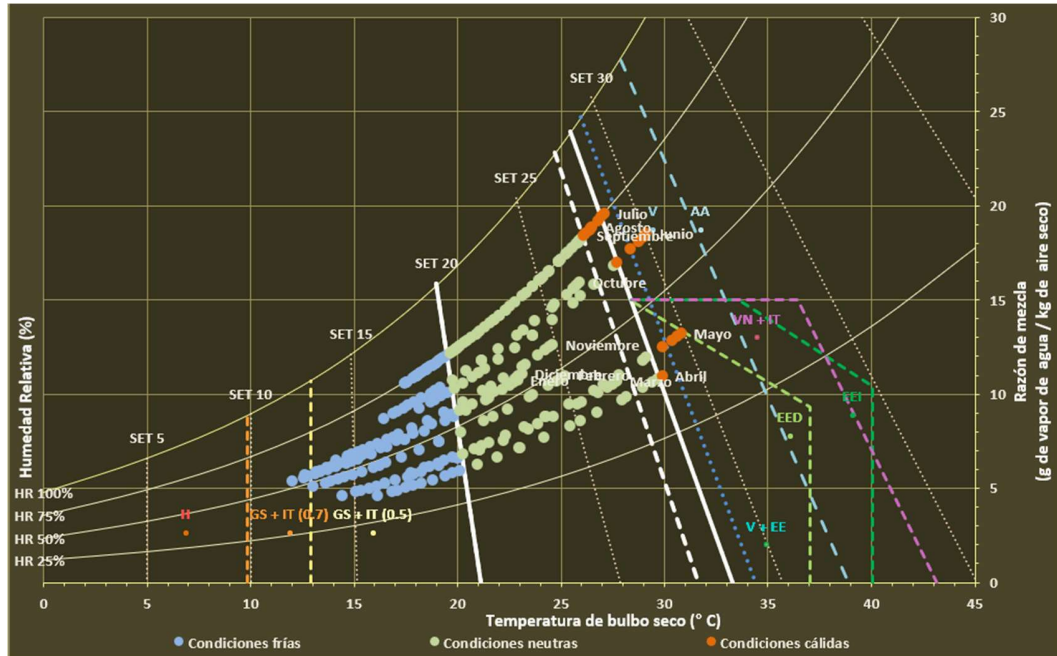


Figura 27. Gráfica de caracterización con propuestas de estrategias bioclimáticas. Fuente: datos generados en Bioclimarq (Gómez-Azpeitia, G. y Tejeda Martínez, A.; 2023)

En función de las condiciones y el análisis bioclimático (figura 27) para este caso, se hacen las siguientes recomendaciones de acondicionamiento pasivo:

- Materiales constructivos al exterior con alta inercia térmica para mantener las condiciones térmicas al interior.
- Control de ganancias térmicas.
- Control de flujos de aire.
- Distribución de espacios del edificio sobre el eje Este-Oeste.
- Priorizar espacios de mayor estancia diurna en planta baja.

De las posibles estrategias, para el proyecto se seleccionan y priorizan las siguientes estrategias pasivas y, en segundo término, las siguientes estrategias activas:

Tabla 9. Estrategias pasivas y activas consideradas en el diseño del prototipo de vivienda.

Diagnóstico	Estrategias	
	Pasivas	Activas
Déficit térmico (frío)	Ganancia térmica (solar)	Calefacción
	Inercia térmica	
Superávit térmico (calor)	Ventilación natural	Ventilación mecánica
	Inercia térmica	Enfriamiento evaporativo mecánico
	Control solar	
	Enfriamiento evaporativo	Aire Acondicionado

Fuente: Elaboración propia

3.1.3. Propuesta de vivienda incluyendo estrategias bioclimáticas

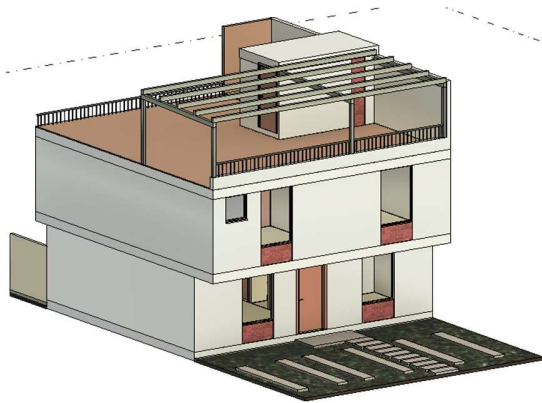


Figura 28. Modelo del prototipo de vivienda para el caso de estudio. Fuente: Elaboración propia

El diseño para la vivienda, integra los siguientes criterios:

- Bloque de viviendas distribuidos sobre el eje Este Oeste: para reducción de áreas con exposición a la radiación solar directa y permitir captación de flujos de aire.
- Masa térmica: ocasionada por la agrupación de viviendas.
- Materiales constructivos de alta densidad: muros exteriores de material sólido.
- Aislamiento térmico: incluido en el sistema de cubierta.
- Control de aberturas.

La Figura 28 muestra una representación tridimensional de la propuesta arquitectónica del prototipo de vivienda en la que se han incluido las estrategias bioclimáticas antes mencionadas.

3.2. Método de selección de estrategias bioclimáticas más eficientes

3.2.1. Diseño del experimento

a) Tipo de experimento

La presente investigación tiene una orientación académica-profesional, e incluye un análisis experimental de tipo cuasi-experimental por no ser aleatoria, en la que se propone un escenario con variables controlables (en este caso, los datos climáticos del lugar en que se localiza el terreno del proyecto, así como la configuración de uso, régimen de iluminación, ventilación natural, HVAC, etc.) y con modificaciones o variaciones específicas en el sistema constructivo de cubiertas y muros del prototipo de vivienda, para ser comparado con un prototipo base.

b) Objetivo del experimento

El propósito del experimento es comparar un prototipo de vivienda base que no tenga incorporada ninguna estrategia bioclimática y eficiencia energética, contra el prototipo de vivienda que resulte con mayor eficiencia energética, debido a la integración de criterios bioclimáticos, adicionando variaciones de materiales en la envolvente arquitectónica.

c) Objeto del estudio

Para este análisis se consideran prototipos de Viviendas Tipo (VT) que son aquellas que se encuentran agrupadas en el bloque de viviendas que forman las manzanas y prototipos de Viviendas que se encuentran en la orientación Oeste (VO), ya que normalmente son las que presentan mayor afectación de ganancias térmicas por radiación solar directa.

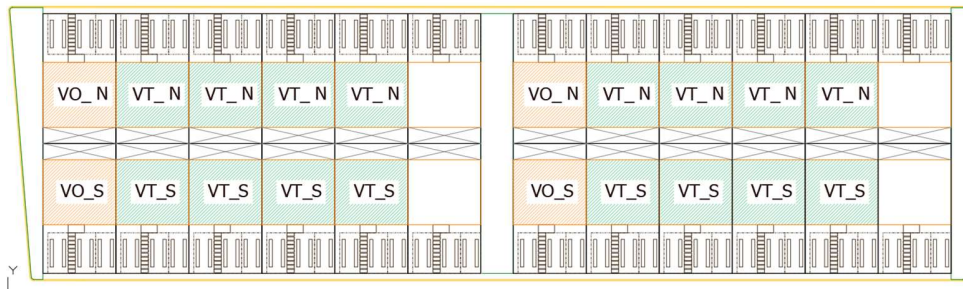


Figura 29 Ubicación de los prototipos de vivienda. Fuente: Elaboración propia.

A su vez, cada uno de estos prototipos tienen una variación para los prototipos que se encuentren al Norte y hacia el Sur de la manzana, por tener diferentes afectaciones climáticas; quedando las variaciones de acuerdo a la figura 29.

d) Preguntas de estudio

Por medio del experimento se responde la siguiente pregunta:

¿Qué variación en los sistemas constructivos de la envolvente arquitectónica son más eficientes para reducir el consumo energético por acondicionamiento térmico del espacio habitable (vivienda)?

e) Variables del experimento

Escenario: para el análisis del experimento, los datos climáticos del lugar, régimen iluminación, ventilación, uso de HVAC y la configuración de uso, forman parte del escenario controlado bajo el que son simulados los prototipos de viviendas con variaciones.

A continuación, un listado de los datos del escenario controlado (figura 30):

<p><u>Datos del sitio</u> Latitud: 20° 43' 15" N Longitud: -103° 5' 30" E Altitud: 1,535 msnm</p>	<p><u>Indicadores climáticos</u> Radiación global (directa y difusa) (W*h/m²) Radiación directa normal (W*h/m²) Radiación difusa horizontal (W*h/m²)</p>
<p><u>Variables climáticas</u> Temperatura Exterior (TBS °C) Temperatura Interior (TBS °C) Temperatura Radiante Media (MRT °C) Temperatura Operativa (To °C) Humedad Relativa (%) Velocidad de Viento (m/s)</p>	<p><u>Ventilación Pasiva</u> Aire Ext. Total (Renov./h) Aire Ext. Min. por persona (L/s – persona) Aire Ext. Min. por área (L/s - m²) Cambios de aire por hora (m³/hora) Tasa de ventilación (L/s; m³/h; m³/s) Producción de CO₂ (kg) Velocidad de viento (m/s)</p>
<p><u>Actividad y Ocupación</u> Tipo de actividad: habitacional Ocupación: actividad diurna Tasa Metabólica Basal (TMB) Aislamiento de vestimenta(Clo)</p>	<p><u>Propiedades de la envolvente arquitectónica</u> Conductividad térmica. Valor K (W/m*K) Resistencia térmica. Valor R (m² * K/W) Transmitancia térmica. Valor U (W/m²*K)</p>

Figura 30. Variables independientes para el análisis experimental. Fuente: elaboración propia.

Variables independientes: el prototipo de Vivienda Base se considera que la envolvente arquitectónica consiste en cubiertas de concreto armado de 10 cm y muros

de concreto. Para la Vivienda Mejorada, se considera tres tipos de materiales para la envolvente arquitectónica; en la tabla 10 se indican las variaciones de materiales en la envolvente según los prototipos.

Tabla 10 Variación de sistemas constructivos en la envolvente según prototipos. Fuente: elaboración propia.

Prototipo	Cubierta	Muros Exteriores
VB	Losa de concreto armado 10 cms	Muros de concreto
VM+A	Losa nervada con bovedilla de poliestireno	Muros de concreto
VM+B	Losa nervada con bovedilla de poliestireno	Muros de block
VM+C	Losa nervada con bovedilla de poliestireno	Muros de ladrillo

De acuerdo a la información contenida en la base de datos de *Design Builder*, se presentan los datos de las principales propiedades de los materiales a utilizar en los prototipos de vivienda (tabla 11).

Tabla 11 Datos de propiedades de materiales de la envolvente

Tipo de material	Densidad	Conductividad (W/m-K)
Vivienda Base		
<u>Cubierta</u>		
4 in. Concrete at R-0.0625/in (Concreto)	2,321.40	2.30
<u>Muros</u>		
Concrete, Reinforced (with 1 % steel)	2,300.00	2.30
Vivienda Mejorada		
<u>Cubierta nervada con bovedilla de poliestireno</u>		
2 in. Concrete at R-0.0625/in (Concreto)	2,321.40	2.21
4.0 in. depth Wood framing, R-20 Insulation, , Expanded polystyrene, molded beads (Effective Insulat	10.00	0.04
4 in. Concrete at R-0.0625/in (Concreto)	2,321.40	2.30
<u>Muros</u>		
Gypsum Plasterboard	2,300.00	0.25
Concrete, Reinforced (with 1 % steel)	2,300.00	2.30
Concrete Block (Medium)	1,400.00	0.51
Brick-mud at 50 degrees	1,730.00	0.75

Fuente: elaboración propia con información obtenida de *Design Builder*.

Variables dependientes: son los valores de consumo energético (kWh), así como el% de dicho consumo, asociados al acondicionamiento térmico del espacio

habitable, que resulte de cada prototipo, según el tipo el material de la envolvente (tabla 12).

Tabla 12 Datos a obtener como variables dependientes. Fuente: elaboración propia

Tipo de Prototipo	Orientación	Material	Consumo energético		
			Consumo		Acond. Térmico
			Total (kWh)	%	kWh
Vivienda Tipo					
Vivienda Base	E (Este)				
	O (Oeste)				
Vivienda Bioclimática	N (Norte)	A			
	S (Sur)	A			
	N (Norte)	B			
	S (Sur)	B			
	N (Norte)	C			
	S (Sur)	C			
Vivienda Oeste (máx. radiación solar)					
Vivienda Base	NE (Noreste)				
	NO (Noroeste)				
Vivienda Bioclimática	N (Norte)	A			
	S (Sur)	A			
	N (Norte)	B			
	S (Sur)	B			
	N (Norte)	C			
	S (Sur)	C			

f) Criterios de selección

Para los prototipos de Vivienda Base (VB), el consumo resultante de los prototipos, según su orientación, son promediados, tanto para los de disposición Tipo, como para los de disposición con orientación Oeste.

Para los prototipos de Vivienda Mejorada (VM), por tratarse de tres variaciones en los materiales de la envolvente, en una primera fase, los consumos obtenidos de cada prototipo según su orientación (Norte y Sur) con promediados; en una segunda fase, del promedio resultante de cada variación de material, se selecciona el que resulte con un menor consumo.

En una tercera fase se compara el consumo promedio de los prototipos de Vivienda Base (VB) contra el promedio de Vivienda Mejorada (VM) de los prototipos con el material que haya resultado con menor consumo energético; el que resulte con el menor consumo energético es considerado el prototipo de Vivienda Eficiente, como se observa en las figuras 31 y 32:

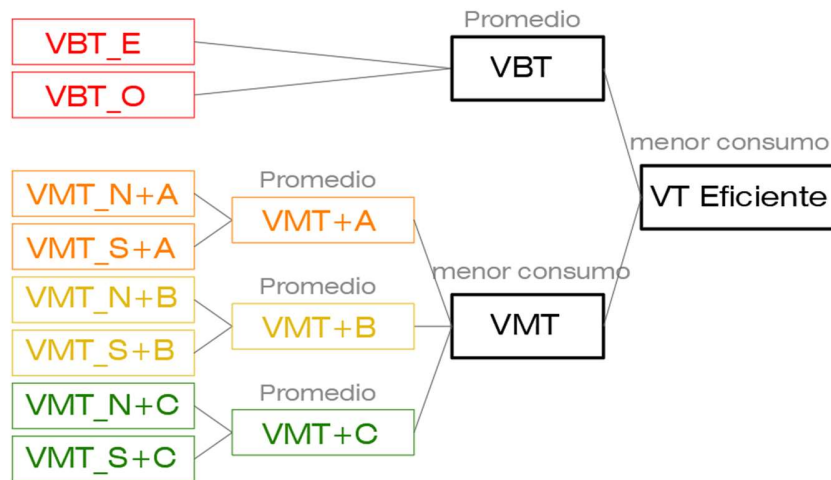


Figura 31. Esquema de criterio de simulación y selección para Vivienda Tipo. Fuente: elaboración propia.

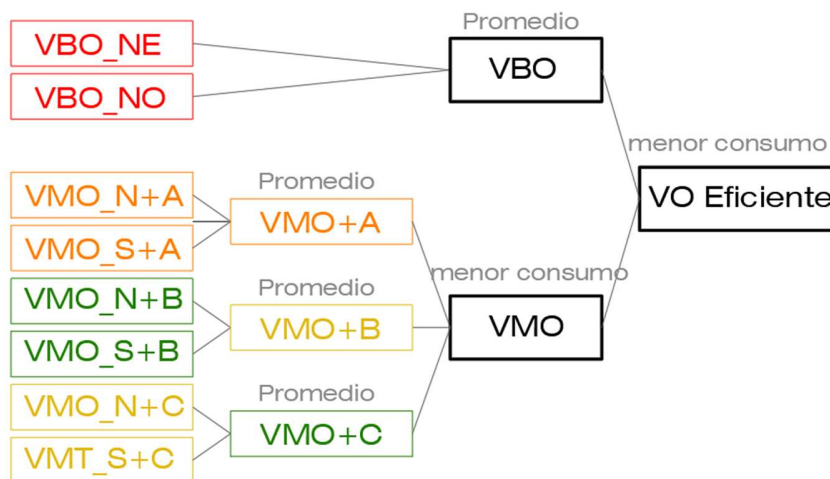


Figura 32 Esquema de criterio de simulación y selección para Vivienda Oeste. Fuente: elaboración propia

3.2.2. Medición de desempeño térmico y consumo energético de los prototipos de vivienda por simulación (*Design Builder*)

a) Elaboración del modelo tridimensional y configuraciones en *Design Builder*

Los modelos tridimensionales son creados en *Design Builder*, definiendo las características geométricas y propiedades térmicas de los sistemas constructivos de la envolvente arquitectónica, con los que posteriormente se realizan copias con las

variaciones indicadas, tanto de los prototipos de disposición Tipo, como los de disposición con orientación Oeste (figura 33).

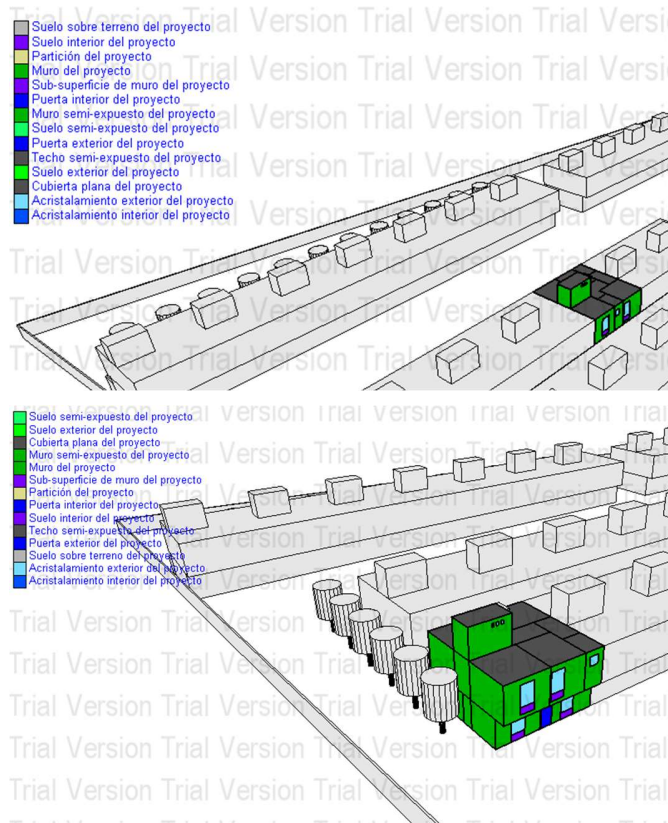


Figura 33. Prototipo de Vivienda de disposición Tipo y Prototipo de Vivienda con disposición Oeste.
Fuente: elaboración propia en Design Builder

Se consideran configuraciones de actividad, iluminación, aberturas, infiltraciones, uso de dispositivos domésticos, uso mixto para el acondicionamiento térmico (uso de ventilación natural y acondicionamiento artificial cuando se exceda de los límites del rango de condiciones de confort térmico), en ninguno de los casos se considera la generación de energía eléctrica.

b) Pre-experimento / Validación del experimento (figura 34)

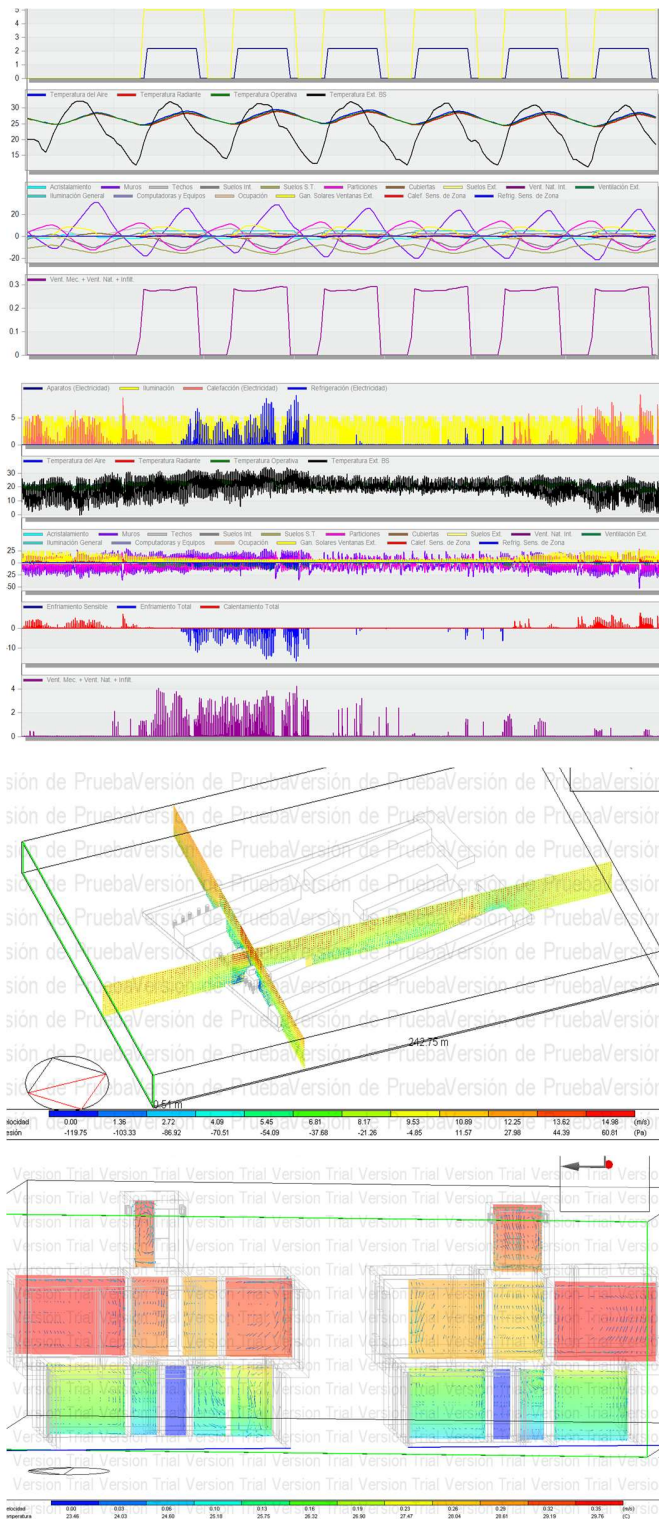


Figura 34. Proceso de validación del experimento. Fuente: elaboración propia en Design Builder

Para el proceso de pre-experimentación / validación del experimento, fueron creados prototipos de control y, simulados con datos climáticos de la ciudad de Guadalajara, generando simulaciones parciales para la temporada de verano e invierno, así como anuales y revisando, tanto el microclima dentro del conjunto habitacional, como al interior de la vivienda.

En la tabla 13 se presenta un resumen de las mediciones de consumo energético obtenidas en el proceso de pre- experimentación con datos climáticos de Guadalajara, Jalisco; del consumo anual y la proporción utilizada para sistemas de acondicionamiento artificial, se obtiene el consumo energético relacionado a la operación de sistemas de acondicionamiento artificial, cuando las condiciones de confort térmico están fuera del rango esperado; este es el dato que se pretende con mejores estrategias de diseño y constructivas, deba seleccionarse la que permita el menor consumo energético.

Tabla 13. Consumo energético de prototipos de control. Fuente: elaboración propia con información generada en Design Builder.

Prototipo de Control	Tipo de Material	Consumo energético anual		
		Total anual (kWh)	Consumo Acond. térmico	
			(%)	kWh
VCT_N	Mat. A	10,988.69	20.2%	2,224.11
VCT_S	Mat. A	9,674.46	11.7%	1,129.01
VCO_N	Mat. A	11,009.00	25.6%	2,821.61
VCO_S	Mat. A	9,908.49	18.1%	1,796.41

Como parte del proceso de revisión se observa que los datos obtenidos son consistentes con lo que la literatura en la materia indica, que, para ubicaciones geográficas del hemisferio norte, cercanas al trópico de cáncer, es normal que las orientaciones Oeste y Norte, registren mayores ganancias térmicas, debido a la radiación solar directa más intensa sobre esas fachadas y, por lo tanto, mayor necesidad de acondicionamiento térmico activo. Y las orientaciones más confortables son las que están hacia el Sur, como así se refleja en las pruebas de validación con los datos climáticos de Guadalajara, Jalisco.

Dado que, a pesar de la relativa cercanía, las condiciones bioclimáticas de Chapala son ligeramente distintas a las de la ciudad de Guadalajara, por lo que se

genera un archivo climático para la ubicación específica en Santa Cruz de la Soledad, Chapala, Jalisco, el archivo es generado en Meteonorm 7 (el archivo fue proporcionado a través de investigadores de posgrado de la Universidad de Colima) y cargado en el software de simulación, en sustitución del archivo climático de la ciudad de Guadalajara.

c) Medición de desempeño térmico y consumo energético de prototipos

Una vez realizada la fase de pre- experimentación, como parte de un proceso interno de validación, se realizan, para cada prototipo, simulaciones en las semanas típicas de verano (8 a 14 de abril) y de invierno (6 a 12 octubre) como muestreos de revisión y, posteriormente, simulaciones anuales (1 enero a 31 de diciembre); de éstos datos se registran el consumo energético total, así como el porcentaje de consumo por acondicionamiento térmico (calentamiento y enfriamiento), con el que se obtiene el consumo energético utilizado para climatizar el ambiente térmico cuando éste se encuentre fuera del rango de confort.

3.3. Análisis Rentabilidad de cada prototipo de Vivienda

En esta fase, inicialmente se analiza y determina el costo de inversión inicial de los sistemas constructivos de la envolvente arquitectónica de la Vivienda Base con respecto de cada variación en el sistema constructivo de los prototipos de Vivienda Mejorada.

Posteriormente, en función de los ahorros en consumo energéticos durante la operación de vida útil (50 años) entre los prototipos de Vivienda Base respecto de los prototipos de Vivienda Mejorada de cada prototipo, se proyectan los ahorros generados (considerando una tasa de inflación) que son comparados con respecto de la inversión inicial de cada uno de los prototipos.

A las proyecciones económicas, se aplican herramientas de análisis financiero como TIR, VAN y Periodo de Retorno (PR), para determinar cuál de los prototipos de Vivienda resulta más rentable

3.4. Resumen de Metodología a utilizar

A continuación, se resume el procedimiento a utilizar para la determinación del prototipo de vivienda más eficiente y rentable para el caso de estudio:

- Descripción del proyecto caso de estudio.
 - Descripción de las características y requerimientos del proyecto caso de estudio
 - Determinación de las características del prototipo Base (Vivienda Base).
- Análisis Bioclimático para el prototipo de Vivienda Mejorada.
 - Caracterización climática de acuerdo a las condiciones específicas del proyecto
 - Determinación de temporadas, y requerimientos de climatización
 - Selección de estrategias bioclimáticas más adecuadas (orientación, zonificación, asoleamientos, ajardinamientos, aprovechamiento, control y mitigación de factores bioclimáticos, etc.)
 - Determinación de elementos de la envolvente arquitectónica según sus propiedades térmicas.
 - Integración de estrategias bioclimáticas pasivas a prototipos de Vivienda Mejorada.
- Eficiencia energética mediante metodología BEM.
 - Modelado de los prototipos de Vivienda Base y Vivienda Mejorada según sus variaciones
 - Configuración de propiedades térmicas de los elementos de la envolvente arquitectónica, uso de los espacios habitables, modelo matemático de confort térmico, régimen de ventilación y operación de sistemas de climatización artificial, etc.
 - Datos climáticos de lugar en que se localiza el proyecto caso de estudio.
 - Pre- experimentación / Validación del experimento por medio de simulaciones de desempeño térmico de los prototipos en condiciones climáticas similares.
 - Medición de consumo energético de prototipos de Vivienda Base y Vivienda Mejorada mediante simulaciones anuales y por temporadas.
 - Determinación de consumo energético relacionado al acondicionamiento térmico artificial de cada uno de los prototipos de vivienda.
- Rentabilidad de cada prototipo de vivienda
 - Se calcula el valor de inversión inicial de cada una de las variables de los sistemas constructivos de los prototipos, son comparados los presupuestos de la Vivienda Base y los de Vivienda Mejorada según sus variaciones.
 - De acuerdo al consumo energético de los prototipos, se proyectan consumos y ahorros económicos (considerando una inflación promedio), que son amortizados al importe de inversión inicial

- Se emplean herramientas de análisis financiero a los flujos económicos proyectados de cada prototipo.
- Selección del prototipo más eficiente y rentable
 - En base a la medición de consumo energético por la operación de sistemas activos o de climatización térmica artificial, se selecciona el que resulte más eficiente o de menor consumo
 - En función de la proyección económica y análisis financiero, se selecciona el prototipo con mayores ahorros económicos y recuperación de inversión inicial en el menor tiempo.

4. ANÁLISIS

4.1. Resultado de consumo energético por acondicionamiento térmico en prototipos

En la tabla 14, se resume la cuantificación anual de consumo energético de cada prototipo de vivienda, así como la proporción de consumo energético por acondicionamiento térmico artificial.

Tabla 14 Consumo energético de cada prototipo de vivienda. Fuente: elaboración propia con información generada en Design Builder

Tipo de Prototipo	Orientación	Material	Código	Consumo Total	Consumo por Acond. Térmico	
				(kWh)	%	(kWh)
Vivienda Tipo						
Vivienda Base	E (Este)		VBT_E	10,115.37	40.24%	4,070.42
	O (Oeste)		VBT_O	9,228.27	28.77%	2,654.97
Vivienda Mejorada (Bioclimática)	N (Norte)	A	VMT_N+A	10,027.64	33.87%	3,396.36
	S (Sur)	A	VMT_S+A	8,311.69	15.26%	1,268.36
	N (Norte)	B	VMT_N+B	9,418.23	23.10%	2,175.61
	S (Sur)	B	VMT_S+B	8,346.37	15.79%	1,317.89
	N (Norte)	C	VMT_N+C	9,154.98	21.15%	1,936.28
	S (Sur)	C	VMT_S+C	8,163.26	14.07%	1,148.57
Vivienda Oeste (máx. radiación solar)						
Vivienda Base	NE (Noreste)		VBO_NE	10,493.18	42.76%	4,486.88
	NO (Noroeste)		VBO_NO	10,250.52	42.05%	4,310.34
Vivienda Mejorada (Bioclimática)	N (Norte)	A	VMO_N+A	10,323.16	40.73%	4,204.62
	S (Sur)	A	VMO_S+A	9,338.62	36.48%	3,406.73
	N (Norte)	B	VMO_N+B	9,623.35	30.36%	2,921.65
	S (Sur)	B	VMO_S+B	8,670.78	24.71%	2,142.55
	N (Norte)	C	VMO_N+C	9,234.22	26.44%	2,441.53
	S (Sur)	C	VMO_S+C	8,371.18	20.88%	1,747.90

De acuerdo a las mediciones obtenidas para los prototipos de Vivienda Tipo, el prototipo VMT_S+C (que incluye estrategias bioclimáticas y de eficiencia energética en la envolvente arquitectónica (cubierta de vigueta y bovedilla de poliestireno con muros de ladrillo)) es el que registra menor consumo energético con 8,163.26 kWh anuales, de los cuales, 1,148.57 kWh son por acondicionamiento térmico; mientras que el de mayor consumo energético es el VBT_E (no incluye estrategias bioclimáticas ni de eficiencia energética aplicadas en la envolvente arquitectónica (cubierta de concreto armado de 10 cm y muros de concreto)) registra un consumo energético de 10,115.37 kWh anuales, de los cuales 4,070.42 kWh son por acondicionamiento térmico.

En cuanto a los prototipos con orientación Oeste (mayor exposición a la radiación solar directa), se encuentra que, el prototipo que registra mayor consumo energético es el prototipo de Vivienda Base Oeste con orientación Noreste (VBO_NE), con un consumo energético total anual de 10,493.18 kWh, de los cuales 4,486.88 kWh son utilizados para acondicionamiento térmico; y, dentro de los prototipos con estrategia bioclimáticas, el prototipo VMO_S+C registra el menor consumo energético con 8,371.18, de los que 1,747.90 kWh están relacionados al acondicionamiento térmico, lo que indica, que también para estos prototipos, aquellos que incluyen estrategias bioclimáticas y de eficiencia energética continúan registrando un menor consumo energético (en el Apéndice A se muestran los modelos de los prototipos VBO_NE y VMO_S+C generados en *Design Builder*).

4.2. Análisis de desempeño térmico y consumo energético por acondicionamiento térmico de prototipos con mayor vs menor consumo energético

De acuerdo a los resultados obtenidos de la simulación anual, se observa que todos los prototipos con estrategias bioclimáticas y eficiencia energética en que se utiliza la variación de cubierta de vigueta y bovedilla de poliestireno y muros de ladrillo, son los que registran menor consumo energético, seguido de la variación con muros de block y finalmente la de muros de concreto armado. Al comparar el balance térmico de la envolvente de los prototipos con mayor y menor eficiencia energética, se puede observar que la oscilación térmica más amplia es en cubiertas y muros, y que en el caso del prototipo VBO_NE las ganancias térmicas en cubierta es mayor con respecto

del prototipo VMT_S+C; esto también se refleja en el consumo energético por acondicionamiento térmico en ambos casos, con 4,486.88 kWh del prototipo VBO_NE que es casi 4 veces el consumo del prototipo VMT_S+C con 1,148.57 kWh, como también se puede observar en las siguientes gráficas (para más información respecto del desempeño durante la simulación anual de estos, ver el Apéndice B) (figuras 35 y 36):

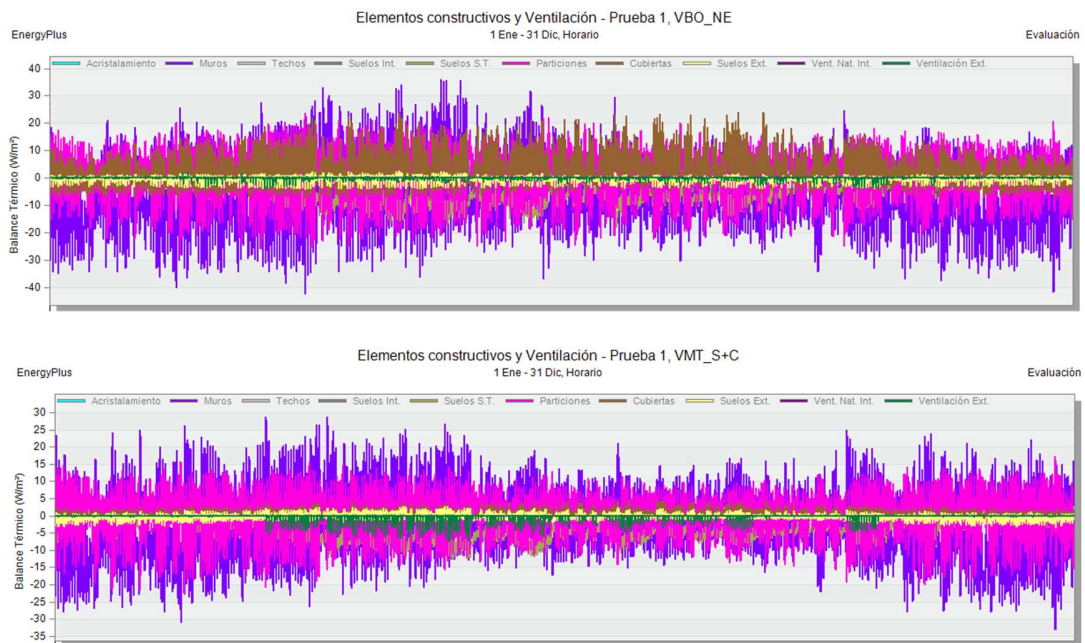


Figura 35 Gráfica de ganancias térmicas del prototipo VBO_NE y VMT_S+C. Fuente: información generada en Design Builder.

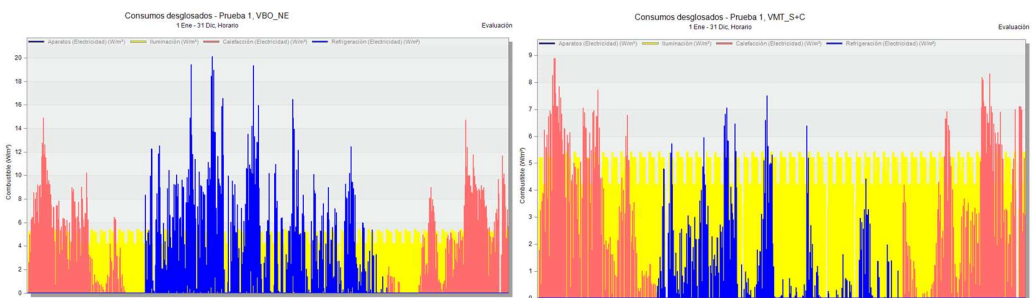


Figura 36 Gráfica de consumo energético anual por acondicionamiento térmico del prototipo VBO_NE (izquierda) y VMT_S+C (derecha). Fuente: información generada en Design Builder.

Lo anterior indica que, tanto la orientación de los prototipos, así como las propiedades térmicas de los materiales constructivos de la envolvente arquitectónica, influyen en las ganancias térmicas, el confort térmico del ambiente interior del espacio construido y el consumo energético de los prototipos de vivienda analizados.

A continuación, se presenta una revisión al desempeño térmico de la envolvente arquitectónica y ambiente térmico de los prototipos de Vivienda Tipo, tomando como referencia el prototipo de Vivienda Base VBT_E+A como el menos confortable térmicamente, en comparación al prototipo VMT_S+C, por resultar el más confortable térmicamente, a fin de comprender las condiciones que experimentará el usuario, tanto en condiciones de máximo calor y máximo frío ante un mismo escenario climático, lo que está ocasionando mayores o menores consumos energéticos (más información sobre la simulación anual de estos prototipos, en el Apéndice C).

Desempeño térmico en verano:

De la temporada de máximo calor (03 a 09 de junio), al revisar el balance térmico de los diferentes elementos constructivos, se observa la disminución de ganancias térmicas en cubierta del prototipo VMT_S+C (como efecto de la integración del material aislante), con respecto del prototipo VBT_E+A, como se aprecia en las gráficas de la figura 37:

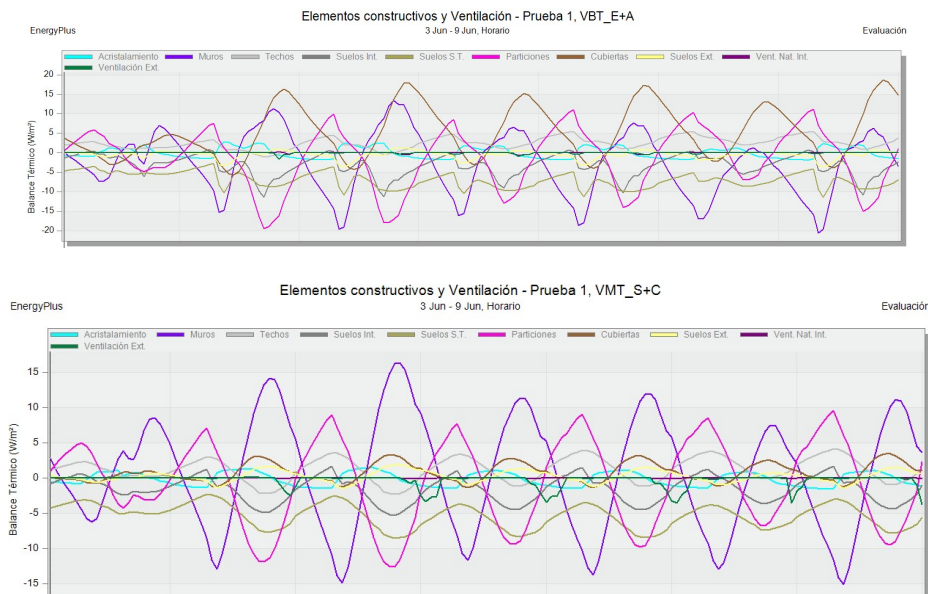


Figura 37 Ganancias térmicas de cada elemento de la envolvente arquitectónica durante la semana extrema de verano, en prototipos VBT_E+A (gráfica superior) y VMT_S+C (gráfica inferior). Fuente: información generada en Design Builder.

En las siguientes gráficas (figura 38) se observa el aumento de consumo energético por Refrigeración del prototipo VBT_E+A de poco más de 8 kWh/m² que es superior al consumo de 1 kWh/m² del prototipo VMT_S+C.

También puede observarse en el prototipo VBT_E+A, que, aunque hay una ligera disminución por enfriamiento del aire (coincidente con el aumento de consumo energético por refrigeración), la temperatura radiante se mantiene, y la temperatura operativa en general se mantiene más cercana a las altas temperaturas del exterior, a diferencia de la temperatura operativa del prototipo VMT_S+C, en la que sus temperaturas son más estables y menos cercanas a las altas temperaturas del exterior.

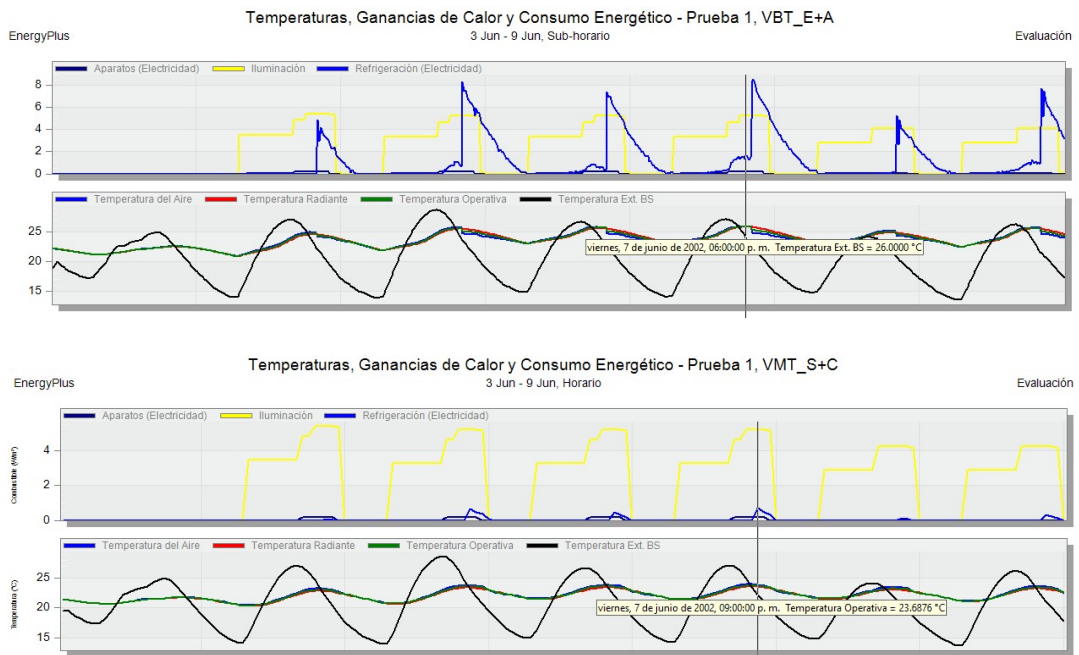


Figura 38 Máximas temperaturas operativas registradas el 07 de junio en VBT_E+A (gráfica superior) y VMT_S+C (gráfica inferior). Fuente: información generada en Design Builder.

Para el análisis de CFD interior se selecciona para ambos prototipos el día 07 de junio en el horario de 4:00 pm, en que se registra una máxima temperatura exterior de 27.13 °C, es decir las mismas condiciones climáticas exteriores para ambos prototipos.

En esta revisión se muestra claramente que, mientras el prototipo VBT_E+A registra un retraso térmico de 2 horas alcanzando una temperatura operativa de 26.00 °C, por su parte, el prototipo VMT_S+C registra un mayor retraso térmico de 5 horas con una máxima temperatura operativa al interior de 23.68 °C; lo anterior indica que el prototipo VMT_S+C mantiene por más tiempo condiciones de confort con respecto del prototipo VBT_E+A, durante la temporada de verano.

Como puede observarse en los siguientes cortes de CFD interior (figuras 39 y 40), en verano, el usuario experimentará un ambiente térmico menos caluroso dentro del prototipo VMT_S+C con respecto del prototipo VBT_E+A.

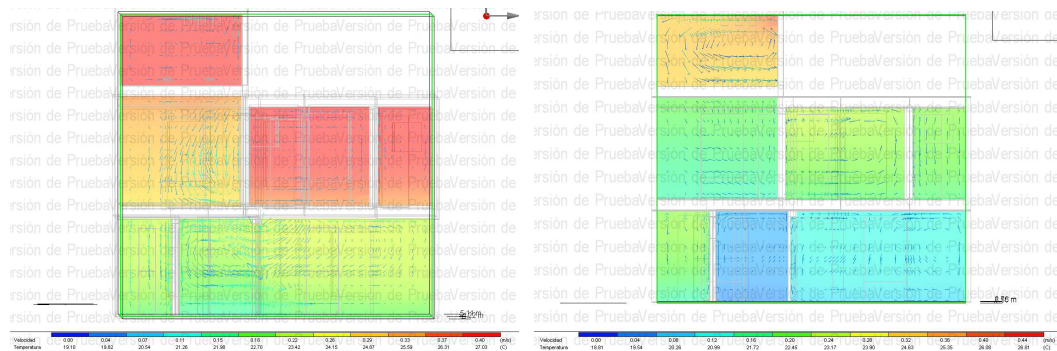


Figura 39 Corte transversal de CFD al 07 junio a las 4:00 pm de los prototipos VBT_E+A (izquierda) y VMT_S+C (derecha). Fuente: información generada en Design Builder.

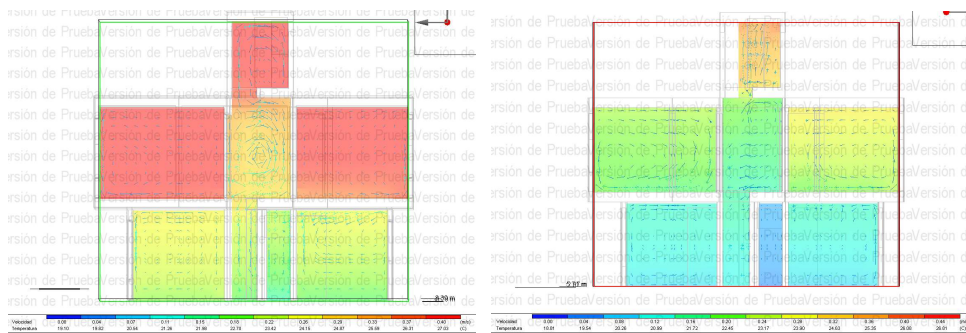


Figura 40 Corte longitudinal de CFD al 07 junio a las 4:00 pm del prototipo VBT_E+A (izquierda) y VMT_S+C (derecha). Fuente: información generada en Design Builder.

Desempeño térmico en invierno:

Para la semana de frío extremo del 03 al 09 de diciembre, en el balance térmico se observa mayor oscilación térmica en la cubierta del prototipo VBT_E+A

con respecto del prototipo VMT_S+C; en el caso de los muros exteriores un mayor déficit térmico el día 5 de diciembre en el prototipo VBT_E+A con respecto del prototipo VMT_S+C, lo que repercute en el ambiente térmico de dichas viviendas y significa menores temperaturas y sensación térmica de frío para el usuario.

En el caso del consumo energético es notorio el aumento, debido al uso de calefacción en ambos prototipos, siendo más prolongado el uso en el prototipo VBT_E+A con respecto del VMT_S+C, lo que indica que el prototipo VBT_E+A tiene mayores pérdidas térmicas que son suplidas operando el sistema de calefacción, para así restablecer y mantener las mínimas las condiciones térmicas confortables (figuras 41 y 42).

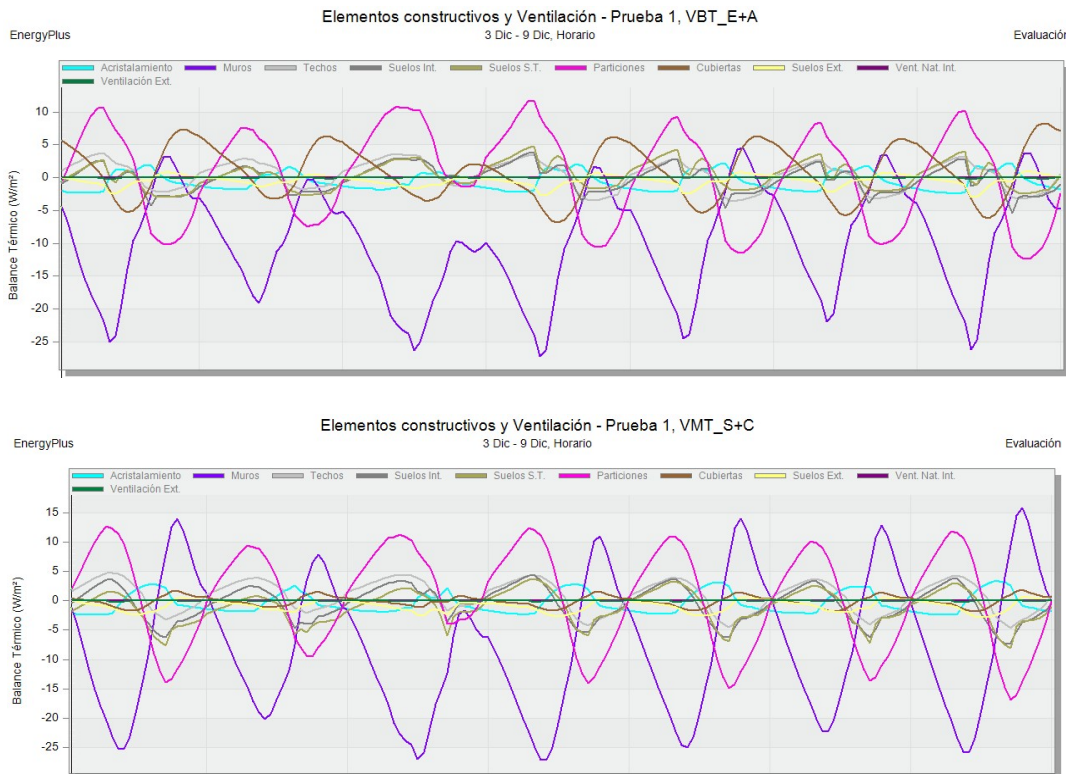


Figura 41 Ganancias térmicas de cada elemento de la envolvente arquitectónica durante la semana extrema de invierno, en prototipos VBT_E+A (gráfica superior) y VMT_S+C (gráfica inferior). Fuente: información generada en Design Builder.

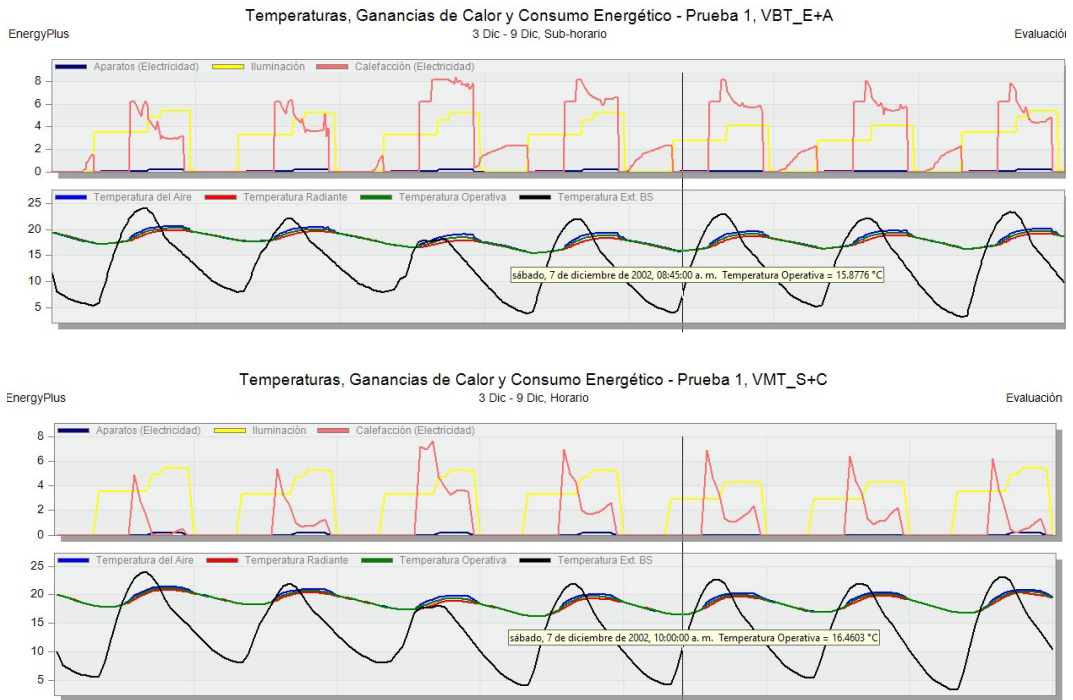


Figura 42 Mínimas temperaturas operativas registradas el 07 de diciembre en VBT_E+A (gráfica superior) y VMT_S+C (gráfica inferior). Fuente: información generada en Design Builder.

Se selecciona para ambos prototipos el 07 de diciembre a las 8:00 am, momento en que se registra la menor temperatura exterior de 4.25 °C. Se observa que para el prototipo VBT_E+A se registra una menor temperatura operativa de 15.88 °C y retraso térmico de 45 minutos, mientras que en el prototipo VMT_S+C la menor temperatura registrada es de 16.6 °C con un retraso térmico de 2:00 h, lo anterior indica que, en ambos prototipos, el usuario experimentará una sensación térmica de frío, siendo ligeramente menos frío y durante menos tiempo en el prototipo VMT_S+C con respecto del prototipo VBT_E+A.

Lo anterior es consistente con lo que se encuentra en la revisión de CDF interior, en la que el ambiente térmico interior de VMT_S+C es ligeramente menos frío que el prototipo VBT_E+A, como se aprecia en los siguientes cortes (figuras 43 y 44):

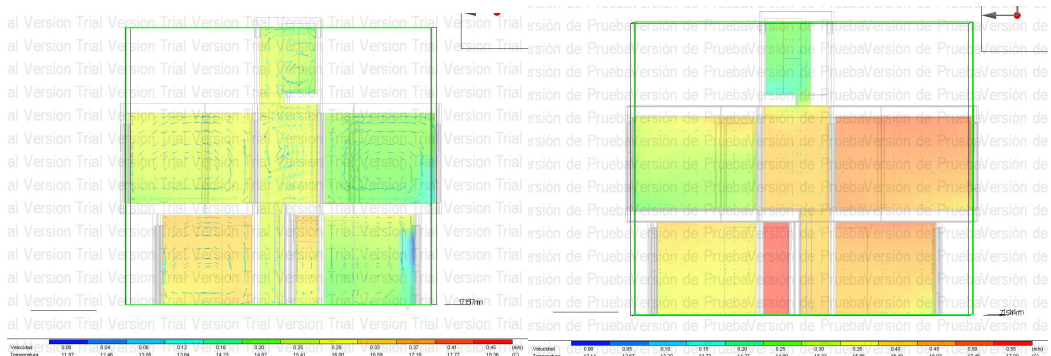


Figura 43 Corte longitudinal de CFD al 07 diciembre a las 8 :00 am del prototipo VBT_E+A (izquierda) y VMT_S+C (derecha). Fuente: información generada en Design Builder.

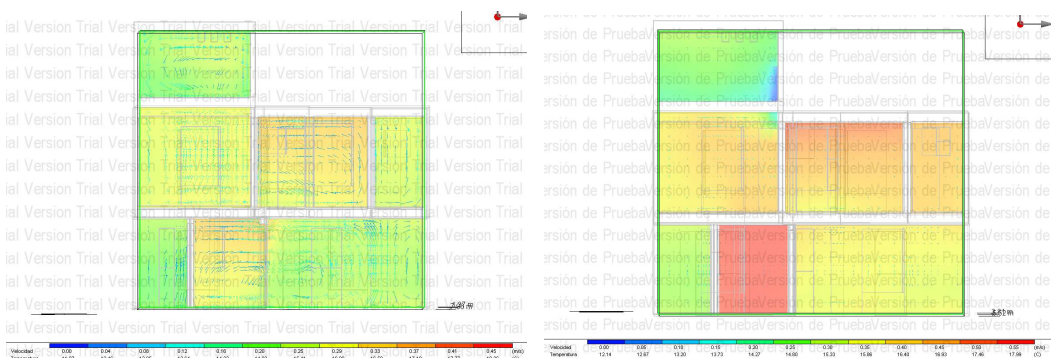


Figura 44 Corte transversal de CFD al 07 diciembre a las 8 :00 am del prototipo VBT_E+A (izquierda) y VMT_S+C (derecha). Fuente: información generada en Design Builder.

Esta revisión de desempeño térmico de la envolvente y del ambiente interior de los prototipos VBT_E+A y VMT_S+C, permite conocer las condiciones térmicas que se están propiciando, bajo las que el usuario interactuará, para determinar cuáles elementos y condiciones son las más favorables, que permitan al usuario mantener, experimentar en mayor proporción una sensación térmica de confort y, de esta manera, disminuir el consumo energético por utilización de dispositivos de climatización artificial.

4.3. Selección del prototipo de vivienda con mayor eficiencia energética

De acuerdo al criterio de análisis indicado anteriormente, en la tabla 15 se presentan los consumos promedio de consumo energético por acondicionamiento

térmico artificial del espacio construido, del prototipo de Vivienda Base (VB) con materiales comúnmente utilizados en este tipo de proyectos (losa y muros de concreto armado), a compararse con los prototipos de Vivienda Mejorada (VM) los cuales integran estrategias bioclimáticas con variaciones de material tipo A (losa + muros de concreto armado), material tipo B (losa de vigueta y bovedilla de poliestireno + muros de block), y material tipo C (losa de vigueta y bovedilla de poliestireno + muros de ladrillo).

Tabla 15 Selección de prototipos de vivienda Típica y Oeste más eficientes

Tipo de Prototipo	Orientación	Material	Código	Consumo por Acond. Térmico		Selección		Ahorro energético	
				%	(kWh)	Promedio	Mínimo	(kWh)	%
Vivienda Típico									
Vivienda Base	E (Este)		VBT_E	40.24%	4,070.42	3,362.70	3,362.70	-	0.0%
	O (Oeste)		VBT_O	28.77%	2,654.97				
Vivienda Mejorada (Bioclimática)	N (Norte)	A	VMT_N+A	33.87%	3,396.36	2,332.36	1,542.42	- 1,030.34	-30.6%
	S (Sur)	A	VMT_S+A	15.26%	1,268.36				
	N (Norte)	B	VMT_N+B	23.10%	2,175.61				
	S (Sur)	B	VMT_S+B	15.79%	1,317.89				
	N (Norte)	C	VMT_N+C	21.15%	1,936.28				
	S (Sur)	C	VMT_S+C	14.07%	1,148.57			- 1,820.27	-54.1%
Vivienda Oeste (máx. radiación solar)									
Vivienda Base	NE (Noreste)		VBO_NE	42.76%	4,486.88	4,398.61	4,398.61	-	0.0%
	NO (Noroeste)		VBO_NO	42.05%	4,310.34				
Vivienda Mejorada (Bioclimática)	N (Norte)	A	VMO_N+A	40.73%	4,204.62	3,805.68	2,094.72	- 592.94	-13.5%
	S (Sur)	A	VMO_S+A	36.48%	3,406.73				
	N (Norte)	B	VMO_N+B	30.36%	2,921.65				
	S (Sur)	B	VMO_S+B	24.71%	2,142.55				
	N (Norte)	C	VMO_N+C	26.44%	2,441.53				
	S (Sur)	C	VMO_S+C	20.88%	1,747.90			- 2,303.90	-52.4%

Fuente: elaboración propia con información generada en Design Builder.

En la tabla 15 también se observa que, para las Viviendas Típico, se registra un ahorro energético promedio de 1,820.27 kWh (54.1%) de la Vivienda Base con respecto de la Vivienda Mejorada (estrategias bioclimáticas y eficiencia energética) en su variación de Material C (cubierta de vigueta y bovedilla de poliestireno y muros de ladrillo).

En cuanto a las Viviendas Oeste, que son las que tienen mayor afectación por la de radiación solar directa, se registra un ahorro energético promedio de 2,303.90 kWh (52.4 %) entre la Vivienda Base y la Vivienda Mejorada, aunque estas viviendas sólo se consideran una por cada bloque o conjunto de viviendas, es interesante conocer cuál es el consumo y ahorro energético en dichos prototipos.

En las figuras 45 y 46, se esquematiza el criterio de selección de los prototipos más eficientes, tanto para las Viviendas Tipo y Viviendas Oeste.

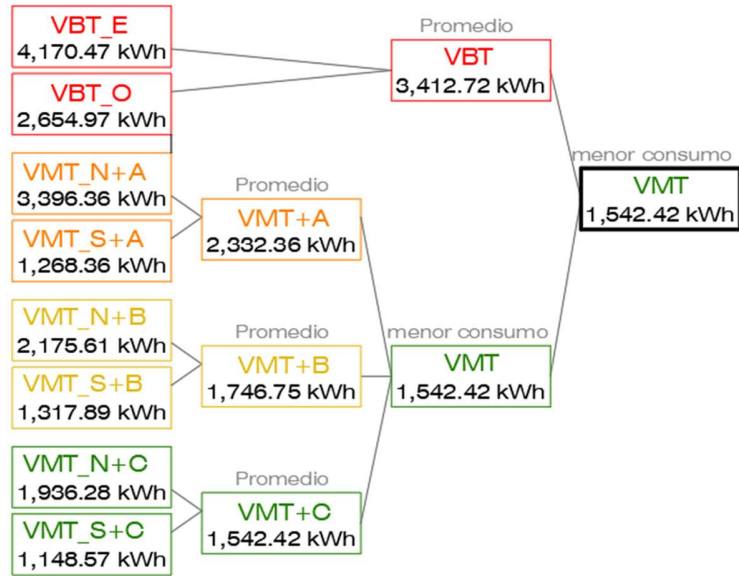


Figura 45 Selección de prototipo de Vivienda Tipo con mayor eficiencia energética. Fuente: elaboración propia con datos de simulación generados en Design Builder

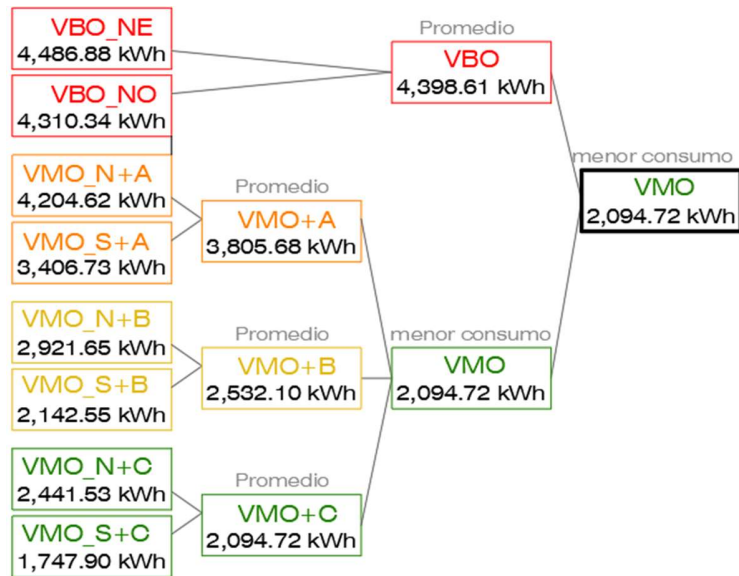


Figura 46 Selección de prototipo de Vivienda Oeste con mayor eficiencia energética. Fuente: elaboración propia con datos de simulación generados en Design Builder

Dado que las Viviendas Tipo son en proporción la mayor cantidad de vivienda y para fines prácticos, se considera los datos de consumo energético promedio del prototipo de Vivienda Base por 3,412.72 kWh como el prototipo menos eficiente, y la Vivienda Mejorada de 1,542.42 kWh como el prototipo más eficiente para la fase análisis económico

4.4. Análisis de presupuesto de las variaciones constructivas en la envolvente arquitectónica de los prototipos de vivienda

Para efectos de este análisis, se limita a analizar la variación en presupuesto a costo directo de las variantes constructivas en la envolvente, considerando que todos los demás elementos constructivos se mantienen igual. En la tabla 16 se muestran los importes a costo directo de los elementos constructivos que forman parte de la envolvente arquitectónica (en el Apéndice D se encuentran las tarjetas de análisis de los costos utilizados).

Tabla 16 Importe de Costo Directo de los sistemas constructivos variables en la envolvente arquitectónica

Variables de la envolvente	Costo Directo
Losa de concreto armado de 10 cm (varilla # 3 + concreto f'c = 200 kg/m ²)	\$ 1,423.68
Losa de vigueta con bovedilla de poliestireno	\$ 1,545.88
Muro de concreto (malla electrosoldada + concreto f'c = 150 kg/m ²)	\$ 1,390.96
Muro de block macizo	\$ 495.96
Muro de ladrillo de barro cocido	\$ 590.83

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a los importes a costo directo antes indicados, por la cantidad de m² de cubierta y muros, se obtiene el presupuesto de cada prototipo, en el que resulta de mayor costo la Vivienda Base por \$ 318,434.34, y de menor costo la Vivienda Mejorada con la variación de Material B por \$ 199,249.46, seguida de la variación con Material C con \$ 212,952.24, como se muestra en la tabla 17:

Tabla 17 Presupuesto de cada prototipo de Vivienda Tipo según su variación del sistema constructivo de la envolvente arquitectónica

Tipo envolvente	Cantidad (m ²)	C.D.	Presupuesto (C.D)
Vivienda Base			\$ 318,434.34
Losa de concreto armado de 10 cm (varilla # 3 + concreto f'c = 200 kg/m ²)	82.55	\$ 1,423.68	\$ 117,524.43
Muro de concreto (malla electrosoldada + concreto f'c = 150 kg/m ²)	144.44	\$ 1,390.96	\$ 200,909.91
Vivienda Mejorada VM+A			\$ 328,522.22
Losa nervada con bovedilla de poliestireno	82.55	\$ 1,545.88	\$ 127,612.31
Muro de concreto (malla electrosoldada + concreto f'c = 150 kg/m ²)	144.44	\$ 1,390.96	\$ 200,909.91
Vivienda Mejorada VM+B			\$ 199,249.46
Losa nervada con bovedilla de poliestireno	82.55	\$ 1,545.88	\$ 127,612.31
Muro de block macizo	144.44	\$ 495.96	\$ 71,637.15
Vivienda Mejorada VM+C			\$ 212,952.24
Losa nervada con bovedilla de poliestireno	82.55	\$ 1,545.88	\$ 127,612.31
Muro de ladrillo de barro cocido	144.44	\$ 590.83	\$ 85,339.93

Fuente: elaboración propia.

4.5. Selección de prototipo de Vivienda con estrategias más eficientes y rentables

Selección del prototipo energéticamente más eficiente

De acuerdo al análisis de desempeño térmico y consumo energético, el prototipo más eficiente o con menor consumo energético por acondicionamiento térmico artificial, es la Vivienda Mejorada con la variación de Material C VM+C (1,542.42 kWh), con ahorro energético del 54.1% con respecto de la Vivienda Base, seguido del prototipo VM+B (1,746.75 kWh) con un ahorro energético del 47.81% con respecto de la Vivienda Base (3,362.70 kWh) que, en una proyección de vida útil de 50 años (DOF, 2012), permitirán ahorros energéticos por acondicionamiento térmico artificial, debido a estrategias pasivas por 91,013.73 kWh y 80,797.38 kWh por cada vivienda, respectivamente (tabla 18 y figura 47).

Tabla 18 Ahorro energético en la vida útil de cada prototipo de Vivienda Tipo. Fuente: elaboración propia.

Prototipo de Vivienda Tipo	VBT	VMT+A	VMT+B	VMT+C
Consumo energético anual (kWh)	3,362.70	2,332.36	1,746.75	1,542.42
Ahorro energético anual (kWh)	-	1,030.34	1,615.95	1,820.27
Ahorro energético (%)		30.6%	48.1%	54.1%
Ahorro energético por vida útil (kWh)	-	51,516.82	80,797.38	91,013.73

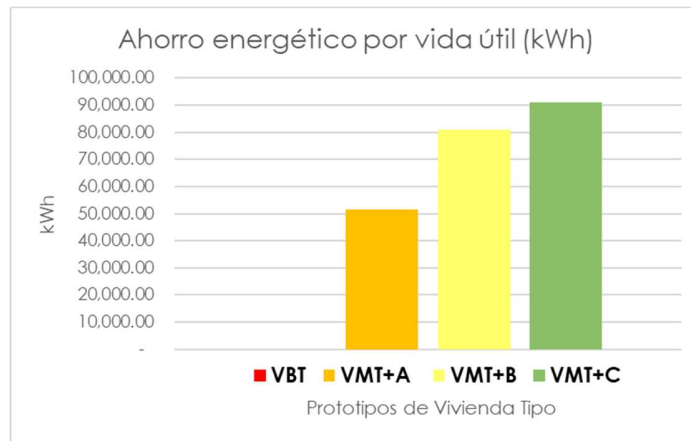


Figura 47 Representación gráfica del ahorro energético en la vida útil de cada prototipo de Vivienda Tipo. Fuente: elaboración propia.

Determinación del prototipo con menor inversión inicial

En cuanto al presupuesto de inversión inicial a Costo Directo, teniendo como referencia el prototipo VB por \$318,434.34 para el sistema constructivo de la envolvente arquitectónica, el prototipo VMT+A requiere una inversión adicional por \$10,087.88, por el contrario el prototipo VMT+B representa ahorros en el presupuesto inicial por \$ 119,184.88, seguido del prototipo VMT+C con ahorros de \$ 105,482.10, es decir, el prototipo que requiere menos inversión inicial es el prototipo VMT+B, seguidamente del prototipo VMT+C, como se muestra en la tabla 19 y la figura 48:

Tabla 19 Ahorros de inversión inicial por sistema constructivo de cada prototipo de Vivienda Tipo. Fuente: elaboración propia.

Prototipo de Vivienda Tipo	Presupuesto (C.D)	Ahorro	
		\$	%
VBT	\$ 318,434.34	\$ -	0.0%
VMT+A	\$ 328,522.22	-\$ 10,087.88	-3.2%
VMT+B	\$ 199,249.46	\$ 119,184.88	37.4%
VMT+C	\$ 212,952.24	\$ 105,482.10	33.1%

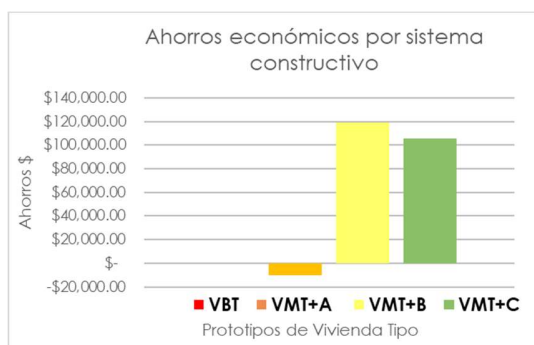


Figura 48 Representación gráfica del ahorro de inversión inicial de cada prototipo de Vivienda Tipo
Fuente: elaboración propia.

Selección del prototipo económicamente más rentable

De acuerdo a las tarifas utilizadas por el suministrador de servicio eléctrico en México, para la Zona Metropolitana de Guadalajara a diciembre de 2023 (ver Anexo 1), la tarifa de consumo básico de energía es de \$ 0.999. Para el presente análisis se considera que esta tarifa sea utilizada para los servicios más comunes y básicos en la operación de la vivienda, por lo que se utiliza la tarifa intermedia de \$ 1.219 (impuestos no incluidos) para el cálculo del costo de utilización de sistemas de acondicionamiento térmico artificial (tabla 20).

Tabla 20 Cálculo del % inflación promedio de los últimos 10 años en México

Año	INPC	Factor Actualización
Dic. 2014	85.313	1
Dic. 2015	87.192	1.022
Dic. 2016	90.358	1.036
Dic. 2017	97.694	1.081
Dic. 2018	102.965	1.054
Dic. 2019	105.728	1.027
Dic. 2020	110.149	1.042
Dic. 2021	119.591	1.086
Dic. 2022	130.546	1.092
Dic. 2023	135.286	1.036
Promedio		1.053
% de Actualización Prom.		5.29%

Fuente: elaboración propia con datos de (INEGI, 2024).

Para la proyección de inflación anual, se considera el % promedio de la inflación de los 10 años anteriores para el rublo del sector secundario, es decir el 5.29% anual, como se muestra en tabla 21.

En función de la inflación del 5.29% en la tarifa eléctrica, por el ahorro generado durante la vida útil de 50 años de uso de la vivienda, se proyectan los ahorros económicos, resultando el prototipo VMT+C el de mayor ahorro económico proyectado por \$ 536,494.98, debido al menor consumo energético, seguido del prototipo VMT+B con un ahorro proyectado de \$ 476,273.07 (el cálculo completo se encuentra en el Apéndice E), como se muestra en la tabla 21 y la figura 49.

Tabla 21 Ahorros económicos proyectados, por eficiencia energética en la vida útil de los prototipos de Vivienda Tipo. Fuente: elaboración propia.

	VBT	VMT+A	VMT+B	VMT+C
Ahorro energético por vida útil (kWh)		51,516.82	80,797.38	91,013.73
Ahorro por consumo energético	\$ -	\$ 303,674.10	\$ 476,273.07	\$ 536,494.98

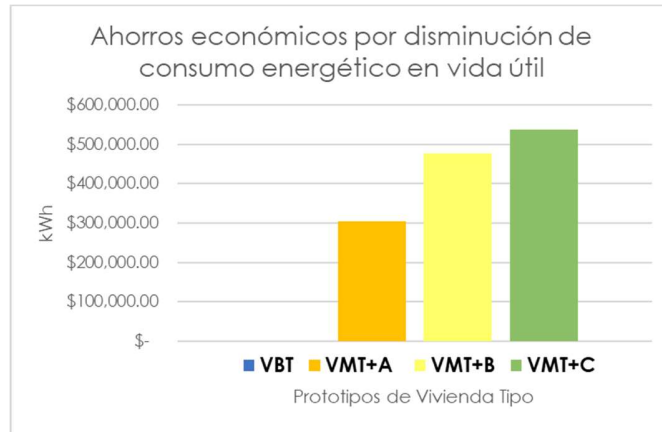


Figura 49 Representación gráfica del ahorro proyectado por eficiencia energética de cada prototipo de Vivienda Tipo. Fuente: elaboración propia.

Para determinar la factibilidad económica para el prototipo de Vivienda Tipo, en función de la inversión inicial y los ahorros económicos por eficiencia energética en la vida útil de 50 años, se obtienen los ahorros totales y se calcula el TIR y VAN de los flujos económicos, así como el periodo de retorno de la inversión inicial, tanto de la

Vivienda Base, como de las variaciones de Vivienda Mejorada, resultando la opción más factible el prototipo de VMT+C.

El prototipo de **Vivienda Tipo VMT+C**, además de propiciar condiciones térmicas más confortables al usuario, y con mayor eficiencia en el consumo energético, debido a la climatización térmica artificial, permitirá **ahorros energéticos por 91,013.73 kWh** durante su vida útil, también es la opción más rentable, con **ahorros económicos proyectados por \$ 641,977.08**, con respecto del prototipo de Vivienda Base, y un **periodo de retorno de la inversión de 33.18 años**, como se indica en la siguiente tabla 22 y la gráfica 50:

Tabla 22 Resumen de ahorros energéticos y económicos de cada prototipo de vivienda

	VBT	VMT+A	VMT+B	VMT+C
Consumo energético anual (kWh)	3,362.70	2,332.36	1,746.75	1,542.42
Ahorro energético anual (kWh)	-	1,030.34	1,615.95	1,820.27
Ahorro energético anual (%)		30.6%	48.1%	54.1%
Ahorro energético (kWh) 50 años		51,516.82	80,797.38	91,013.73
Presupuesto C.D.	\$ 318,434.34	\$ 328,522.22	\$ 199,249.46	\$ 212,952.24
Ahorros por inversión inicial		-\$ 10,087.88	\$ 119,184.88	\$ 105,482.10
Ahorro por eficiencia energética		\$ 303,674.10	\$ 476,273.07	\$ 536,494.98
Ahorro económico total		\$ 293,586.22	\$ 595,457.95	\$ 641,977.08
TIR		-0.2%	2.7%	2.9%
VAN		- 106,815.34	148,468.76	178,732.89
PR		50.41	34.03	33.18

Fuente: elaboración propia.

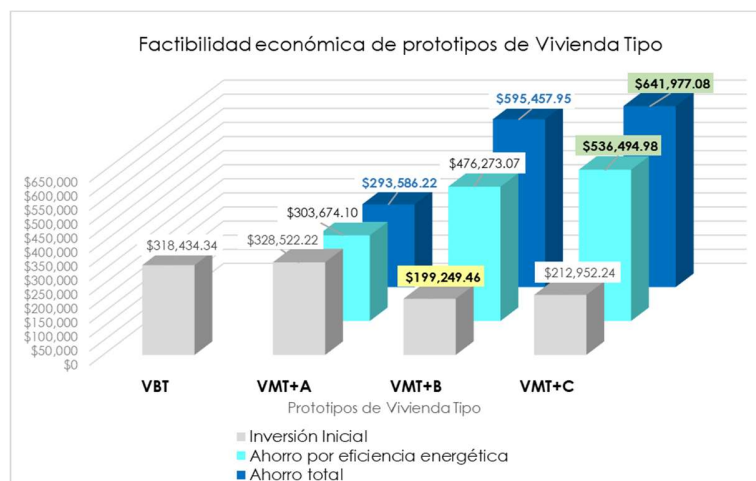


Figura 50 Representación gráfica de factibilidad económica de prototipos de Vivienda Tipo. Fuente: elaboración propia.

Si el ahorro proyectado de \$ 641,977.08 por eficiencia energética (asociada al menor consumo por acondicionamiento térmico artificial) es multiplicado por las 53 viviendas consideradas en el proyecto, eso significaría ahorros proyectados por \$34'024,785.23 (figura 51).

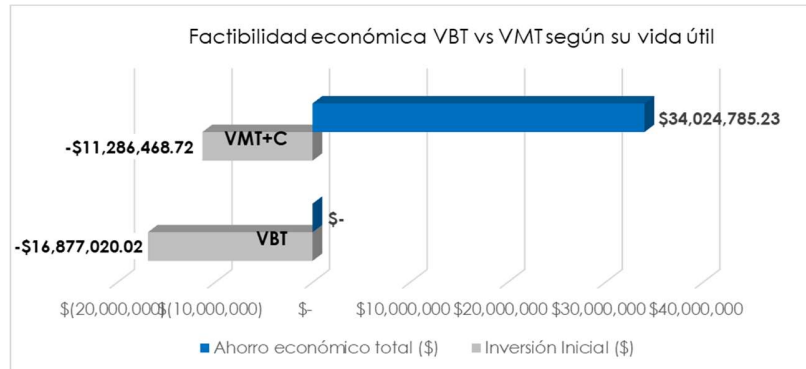


Figura 51 Factibilidad económica entre la Vivienda Base y la Vivienda Mejorada según su vida útil.
Fuente: elaboración propia.

Comentarios adicionales:

La presente investigación demuestra que el realizar un análisis bioclimático al proyecto caso de estudio, permitió determinar estrategias pasivas, tanto en el emplazamiento como en el diseño de las viviendas, así como la simulación de desempeño y consumo energético permiten seleccionar los **sistemas constructivos** que, de acuerdo a sus propiedades térmicas, resulten más adecuados a los requerimientos de climatización del ambiente térmico, con lo que se registra un menor consumo o mayor eficiencia energética, permitiendo ahorros energéticos por acondicionamiento térmico del espacio habitable que, a su vez, se traduce en ahorros económicos durante la vida útil de la vivienda; por otro lado, el análisis de costo de los sistemas constructivos permite valorar si se requiere mayor o menor inversión para cada uno de los prototipos; ambos criterios son considerados para determinar cuál prototipo cumple con el criterio de ser energéticamente eficiente y económicamente rentable.

En cuanto a la protección al medio ambiente natural, el incluir estrategias bioclimáticas y eficiencia energética en la fase de diseño del presente caso de estudio

ha representado un **ahorro energético de 91,013.73 kWh por cada vivienda**, por fines prácticos se puede considerar que **para las 53 viviendas del desarrollo habitacional, se estaría procurando un ahorro de 4'823,727.71 kWh en su vida útil de 50 años**, lo que significa que, además de ser económicamente factible, es altamente beneficioso al medio ambiente natural y, por consecuencia, a la humanidad.

Adicionalmente, es conveniente considerar que si, por condiciones operativas o disposición de material, mano de obra, fluctuación del precio del insumo en el mercado, preferencias del mercado, entre otros, la primera opción del prototipo VM+C no fuera viable; una segunda opción es el prototipo VMT+B con un ahorro energético anual de 1,746.75 kWh, y económico de \$ 595,457.95, con respecto de la Vivienda Base (VB), que también es altamente beneficioso.

4.6. Resumen de análisis del experimento

Como producto del experimento se ha demostrado lo siguiente:

- Efectos de la integración de estrategias bioclimáticas adecuadas:
 - En todos los prototipos de Vivienda Mejorada en los que se integraron estrategias bioclimáticas, en particular la orientación y elección de sistemas constructivos de acuerdo a sus propiedades térmicas, resultaron más confortables térmicamente para los usuarios, en comparación de los prototipos de Vivienda Base en las que la orientación de los predios no eran las más favorecedoras y se consideró sistemas constructivos convencionales. En la revisión de CFD se mostró que, tanto en la temporada de calor, como de frío, el prototipo de Vivienda Mejorada propiciaba mejores condiciones de confort térmico al espacio habitable con respecto del prototipo de Vivienda Base.
- Utilización de metodología BEM (simulación energética):
 - La utilización de la metodología BEM para simulación de desempeño y consumo energético permitió evaluar los efectos de la integración de las estrategias bioclimáticas, además de determinar cuál sistema constructivo resultó más eficiente para propiciar mejores condiciones de confort térmico y consumo energético por la menor utilización de medios activos de acondicionamiento térmico artificial.
- Selección del prototipo más eficiente y rentable
 - En función de los resultados numéricos de simulación energética, se pudo determinar que el prototipo de Vivienda Mejorada VMT+C es el más eficiente energéticamente, con un ahorro del 54.1% en el consumo energético por

acondicionamiento térmico, respecto del prototipo de Vivienda Base.

- De acuerdo al análisis financiero el prototipo más rentable es el prototipo de Vivienda Mejorada VMT+C, con un ahorro proyectado de \$ 641,977.08, por ahorros en el consumo energético, con respecto del prototipo de Vivienda Base.

5. CONCLUSIONES

5.1. Comprobación de hipótesis mediante objetivos

De acuerdo al método científico, se analiza el cumplimiento de los objetivos establecidos:

Objetivos específicos:

- Se realizó mediante simulación la medición de consumo energético de los prototipos de acuerdo a sus variaciones constructivas.
- Se obtuvo el costo de los elementos constructivos de las variaciones de la envolvente de los prototipos.

Objetivos particulares:

- De acuerdo al menor consumo energético asociado a la operación de sistemas activos de acondicionamiento térmico artificial, se selecciona el prototipo VMT+C (Vivienda Mejorada Tipo, con la variación de sistema constructivo C (Cubierta de vigueta con bovedilla de poliestireno + muros de ladrillos)), ya que, dentro de los prototipos de vivienda, a los que se integró en su diseño estrategias bioclimáticas y de eficiencia energética, resultó el más eficiente, propiciando ahorros energéticos del 54.1% (por 91,013.73 kWh durante su vida útil) con respecto del prototipo de Vivienda Base.
- Al analizar los costos de inversión y ahorros proyectados por eficiencia energética durante la vida útil de vivienda, el prototipo más rentable es el prototipo VMT+C, registrando ahorros económicos proyectados por \$641,977.08, con el menor periodo de retorno de inversión de 33.18 años de una vida útil de 50 años.

Objetivo general:

- Mediante el presente análisis, se ha demostrado que, en todos los prototipos analizados, aquellos que, como resultado del análisis bioclimático, en su diseño se integraron estrategias bioclimáticas y eficiencia energética, permitieron propiciar condiciones térmicas más confortables para el usuario, registrando mayor eficiencia energética por acondicionamiento térmico artificial, es decir, menor consumo energético y, por consecuencia, permitieron mayores ahorros económicos durante la operación de su vida útil y mayor rentabilidad con respecto del prototipo de Vivienda Base.

5.2. Validación de la hipótesis

La hipótesis inicial es:

“La implementación de estrategias bioclimáticas y eficiencia energética en proyectos de vivienda horizontal en el municipio de Chapala, Jalisco, México es económicamente factible”.

En base a los resultados obtenidos se concluye que un análisis bioclimático adecuado e implementación de estrategias bioclimáticas y eficiencia energética en el proyecto de vivienda horizontal en el municipio de Chapala, Jalisco, México, es económicamente factible.

5.3. Recomendaciones y futuras investigaciones

En un análisis complementario se podrá analizar la integración de sistemas constructivos aislantes en fachadas con mayor incidencia de radiación solar directa, procurando la disminución de ganancias térmicas, para la selección de la que resulte más eficiente energéticamente y de mayor rentabilidad.

Se recomienda en una siguiente etapa incluir una investigación y análisis de los incentivos fiscales que apliquen a proyectos que contribuyan al menor impacto al ambiente natural, como es el caso de presente estudio, así como los requerimientos de cumplimiento.

También se recomienda, en otra investigación, evaluar la aceptación del mercado de proyectos con características similares a los presentados en esta investigación, así como determinar posibles estrategias de difusión al mercado que permitan, tanto a inversionistas como usuarios, el conocimiento de los beneficios en proyectos de edificación con este tipo estrategias.

REFERENCIAS

- AhmadZaki, S., AisyahDamiati, S., BahadurRijal, H., Hagishima, A., & Abd, A. (2017). Adaptive thermal comfort in university classrooms in Malaysia and Japan. *Building and Environment*, 294-306.
- Alba Gómez, L., Herrera Sosa, L., & y Esparza López, C. (2021). Análisis de costo-beneficio de estrategias de climatización pasiva en vivienda social en Ciudad Juárez, Chihuahua. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, 81-91.
- Almeida, R., Ramos, N., & de Freitas, V. . (2016). Thermal comfort models and pupils pereption in free-running school buildings of a mild climate country. . *Energy and Buildings*, 6-75.
- Alpuche M., Marincic, I, Ochoa, J, Duarte, E., Gutiérrez, L. (2015). Análisis del comportamiento y confort térmico en una vivienda económica: Clima cálido-seco. *Co-Beneficios de la Vivienda Sustentable en México*, 18-24.
- ASHRAE. (15 de 03 de 2024). <https://www.ashrae.org/>. Obtenido de <https://www.ashrae.org/>: https://store accuristech.com/ashrae/standards/ashrae-55-1992?product_id=10001
- ASHRAE American Society of Heating, Refrigerating and Air. (2023). *ANSI/ASHRAE 55-2010: Thermal Environmental Conditions for Human Ocupancy*. Atlanta, USA.
- Auliciems, A., & Szokolay, S. (1997). Thermal Comfort. *PLEA Notes 3. Passive and Low Energy Architecture & University of Queensland*. Brisbane: Department of Architecture, The University of Queensland.
- Bedford, T. (1936). *The warmth factor in comfort at work: a physiological study or heating and ventilation (Report núm. 76 HMSO)*. Great Britain: Industrial Health Board.
- Bravo, G., & González, E. (2006). Thermal comfort in naturally ventilated buildings of Maracaibo, Venezuela. Maracaibo: . *Revista Técnica de la Ingeniería. Universidad del Zulia*, 169-181.
- Bre, F., Fachianotti, V., Bearzot, G. (2013). Simulación computacional para la mejora de la eficiencia energética en la climatización de viviendas. *Asociación Argentina de Mecánica Computacional*, 3107-3119.
- Castañeda, G., Argüello, T., Vecchia, F. (2010). Desempeño Térmico de Techo Alternativo para Vivienda en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Redalyc*, 80-88.
- Castañeda, N. (2020). *Domotej. Tecnología para techos de vivienda de producción social asistida*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México: Universidad Autónoma de Chiapas.

- CEN. (2006). *Standard EN 15251. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). (2018). *Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de México, 2018*. Ciudad de México: Naciones Unidas.
- CMMAD (Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo). (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Nuestro futuro común*. Naciones Unidas.
- CONAFOVI. (2006). *Guía para el uso eficiente de la energía en la vivienda*. México, D.F.: Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda.
- Consejo Colombiano de Construcción Sostenible. (2024). *Caso de Negocio de LEED en América Latina*. Bogotá, Colombia: CCCS.
- d'Ambrosio Alfano, F., Ianniello, E., & Igor Palella, B. (2013). PMV-PPD and acceptability in naturally ventilated schools. *Building and Environment*, 129-137.
- de Dear, R., Brager, G., & Cooper, D. (1997). *Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. (Final Report on RP-884)*. Australia, Australia: ASHRAE and Macquarie Research Ltd.
- Desing Builder | Lat. (09 de 11 de 2023). *www.designbuilder-lat.com*. Obtenido de www.designbuilder-lat.com: <https://www.designbuilder-lat.com/caracteristicas/descripcion-general>
- Desing Builder. (26 de 02 de 2024). *www.designbuilder-lat.com*. Obtenido de www.designbuilder-lat.com: <https://www.designbuilder-lat.com/>
- DOF. (15 de 08 de 2012). Parámetros de Estimación de Vida Útil. . *Diario Oficial de la Federación*.
- DOF. (29 de 10 de 2020). Programa Institucional 2020-2024 de la Comisión Nacional de Vivienda. *Diario Oficial de la Federación*, págs. 1-24.
- EDGE. (06 de 01 de 2024). *www.edge.gbci.org*. Obtenido de [www.edge.gbci.org](https://edge.gbci.org/): <https://edge.gbci.org/home?language=es>
- Esparza, C., Cabrera, A., Torres, J., Tovar, I., Elizondo-Mata, M. (2022). Bahareque de Bambú. Propuesta modular en base al desempeño térmico y mecánico. *Estudios de Arquitectura Bioclimática*, 199-2014.
- Fanger, P. (1973). Assessment of man's thermal comfort in practice. *British Journal of Industrial Medicine*.
- Fanger, P., & Toftum, J. . (2002). *Prediction of thermal sensation in non-air-conditioning buildings in warm climates. Proceedings: Indoor Air. 2002*: International Centre for Indoor Environment and Energy, DTU.

- Figueroa, C. (2016). *Confort térmico en vivienda de producción en serie de la Zona Metropolitana del Valle de México*. Universidad Autónoma Metropolitana: Tesis de Maestría.
- Fumo, N. (2013). A review on the basics of building energy estimation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Fundación ICA. (2002). *Procesos técnicos básicos para la construcción de vivienda popular*. México: Cuadernos FICA.
- GBCI. (09 de 01 de 2024). www.gbci.org. Obtenido de www.gbci.org: <https://www.gbci.org/es/mexico>
- Givoni, B. (1969). *Man, Climate and Architecture*. Elsevier Architectural Science Series.
- Givoni, B. (1991). Performance and applicability of passive and low-energy cooling systems. *Energy and Buildings*, 177-199.
- Givoni, B. (1992). Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Buildings*, 11-23.
- Givoni, B. (1994). *Passive and Low Energy Cooling of Buildings*. Toronto: John Wiley and Sons.
- Givoni, B. (1998). *Climate Considerations in Building and Urban Desing*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Gómez-Azpeitia, G, Tejeda-Martínez, A., Herrera-Sosa, L. (2023). *Arquitectura, confort y cambio climático*. México: Puerta abierta editores.
- Gómez-Azpeitia, G. y Tejeda Martínez, A.: (18 de 08 de 2023). Bioclimarq. Colima, Colima, México.
- Gómez-Azpeitia, G., Bojórquez, R., Romero, J., Ochoa, M., Pérez, O., Reséndiz, A., Llamas. (2009). Comfort Temperatures Inside Low-Cost Housing. Case: Six warm climate cities in Mexico. *PLEA 2009 - Architecture Energy and the Occupant's Perspective*.
- Google. (16 de 10 de 2013). www.google.com. Obtenido de www.google.com: <https://www.google.com/maps/place/20%C2%B018'52.8%22N+103%C2%B009'48.4%22W/@20.3101206,-103.1593587,1939m/data=!3m1!1e3!4m4!3m3!8m2!3d20.3146667!4d-103.1634444?entry=ttu>
- Green Group Sustainability Consulting. (03 de 01 de 2024). www.greengroup.com.ar. Obtenido de www.greengroup.com.ar: <https://www.greengroup.com.ar/detalle.php?a=leed-edificios-existentst&t=15&d=118>
- Guyton, A. (2006). *Tratado de Fisiología médica*. McGrawHill.
- Herrera Sosa, L., Arena Granados, A., & y Gómez-Azpeitia, G. (2019). Costo y rentabilidad de diversas estrategias bioclimáticas en viviendas con

- enfriamiento evaporativo directo en función del ciclo de vida. *Habitat Sustentable III*, 214-229.
- Herrera-Sosa, L. (2013). Temperatura y rangos de confort térmico en viviendas de bajo costo en clima árido seco. *Revista Hábitat Sustentable*, 26-36.
- Humphreys, M. . (1975). *Field studies of thermal comfort compared and applied. Symposium on Physiological requirements of the microclimate*. Prage: Building Research Establishment.
- Humphreys, M., Rijal, H., & Nicol, J. (2013). Updating the adaptive relation between climate and comfort indoors; new insights and an extended database. *Building and Environment*.
- IMSS. (1990). *Criterios de Adecuación Bioclimática en la Arquitectura*. México, DF: Instituto Mexicano del Seguro Social.
- INEGI. (07 de 02 de 2024). [www.inegi.org.mx](https://www.inegi.org.mx/app/indicesdepresios/Estructura.aspx?idEstructura=112001300040&T=%C3%8Dndices%20de%20Precios%20al%20Consumidor&ST=INPC%20Nacional%20). Obtenido de [www.inegi.org.mx](https://www.inegi.org.mx/app/indicesdepresios/Estructura.aspx?idEstructura=112001300040&T=%C3%8Dndices%20de%20Precios%20al%20Consumidor&ST=INPC%20Nacional%20): <https://www.inegi.org.mx/app/indicesdepresios/Estructura.aspx?idEstructura=112001300040&T=%C3%8Dndices%20de%20Precios%20al%20Consumidor&ST=INPC%20Nacional%20>
- INFONAVIT - GIZ. (2011). *Estudio de Optimización de la Eficiencia Energética en Viviendas de Interés Social*. Alemania: GOPA.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (30 de 11 de 2023). [www.archive.ipcc.ch](https://archive.ipcc.ch). Obtenido de [www.archive.ipcc.ch](https://archive.ipcc.ch): https://archive.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml
- IPCC. (27 de 10 de 2014). *5th Report of Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Obtenido de www.ipcc.ch.
- IPCC. (2022). *6th Report Impacts, Adaptation an Vulnerability*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- ISO. (2005). *ISO 7730:2005 Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. www.iso.org.
- JG Arq. (05 de 01 de 2024). www.jgarqs.com. Obtenido de www.jgarqs.com: <https://www.jgarqs.com/blog/2020/9/10/certificacin-lead>
- Katafygiotou, M., & Serghides, D. (2014). Thermal comfort of a typical secondary school building in Cyprus. . *Sustainable Cities and Society*, 303-312.
- Kumar, S., Mathur, J., Mathur, S., Singh, M, Loftness, V. (2016). An adaptive approach to define thermal comfort zones on psychrometric chart for naturally ventilated buildings in composite climate of India. *Building and Environment*, 135-153.
- Lamberts, R., Candido, C., de Dear, R., & De Vecchio, R. (2013). *Towards a Brazilian Standard on Thermal Comfort. Research Report. Federal University of Santa Catarina (LabEEE)*. . Universi-ty of Sydney (IEQ Lab).

- Lucero, J., Hernández, N., Estrada, J. (2022). Aplicaciones de la modelación energética de edificaciones: revisión y casos de estudio en México. *Vivienda y comunidades sustentables*.
- Lucero-Álvarez, J., Hernández Quiroz, N., Estrada Ayub, J. (2022). Aplicaciones de la modelación energética de edificaciones: revisión y casos de estudio en México. *Vivienda y comunidades Sustentables*, 55-80.
- Lucero-Álvarez, J., Rodríguez Muñoz, N., & Martín Domínguez, I. (2016). The Effects of Roof and Wall Insulation on the Energy Costs of Low Income Housing in Mexico. *Sustainability*, 1-19.
- Mercado, B., Romero, L. (2021). Simulaciones energéticas: herramientas diagnóstico-pronóstico para la evaluación de edificaciones. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*.
- Mimbacas, A., Vecchia, F., Ruchasky, A., Castañeda, G. (2005). Desempeño térmico de viviendas mínimas: conjunto demostrativo de tecnologías V centenario. *ENCAC - ELACAC*. Maceió, Alagoas, Brasil: 1193-1200.
- Morgan, N. (2012). Propuesta de techo alternativo para vivienda en el Istmo de Tehuantepec, ante el cambio climático. *Programa de Investigación en Cambio Climático* (págs. 521-530). México: UNAM.
- Morgan, N.; Gomez-Azpeitia, G. (2018). Development of a Mexican standard of thermal comfort for naturally ventilated buildings. *Rethinking Comfort. Proceedings of 10th Windsor Conference* (págs. 506-607). Windsor UK: NCEUB Network for Comfort and Energy Use in Buildings.
- Naciones Unidas. (12 de 28 de 2023). [www.un.org](https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml). Obtenido de [www.un.org](https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml): <https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>
- Nematchoua, M., Tchinda, R., & Orosa, J. (2014). Adaptation and comparative study of thermal comfort in naturally ventilated classrooms and buildings in the wet tropical zones. *Energy and Buildings*, 321-328.
- Nicol, F. (1973). An analysis of some observations of thermal comfort in Roorkee, India and Baghdad, Iraq. *Annals of Human Biology*, 411-426.
- Nicol, F. (1993). *Thermal Comfort. A handbook for field studies towards an adaptive model*. London: University of East London.
- Nicol, F., Wilson, M. (2011). A critique of European Standard EN 15251: strengths, weaknesses and lessons for future standards. *Building Research and Information*, 183-193.
- Olgay, V. (1963). *Arquitectura y Clima. Manual de diseño bioclimático para arquitecto y urbanistas*. Barcelona, España: Gustavo Gili.
- Pacheco Carranco, J. R. (12 de 09 de 2023). Director de Desarrollo de Vivienda Sustentable y Diseño CONAVI. (N. M. Torres, Entrevistador)

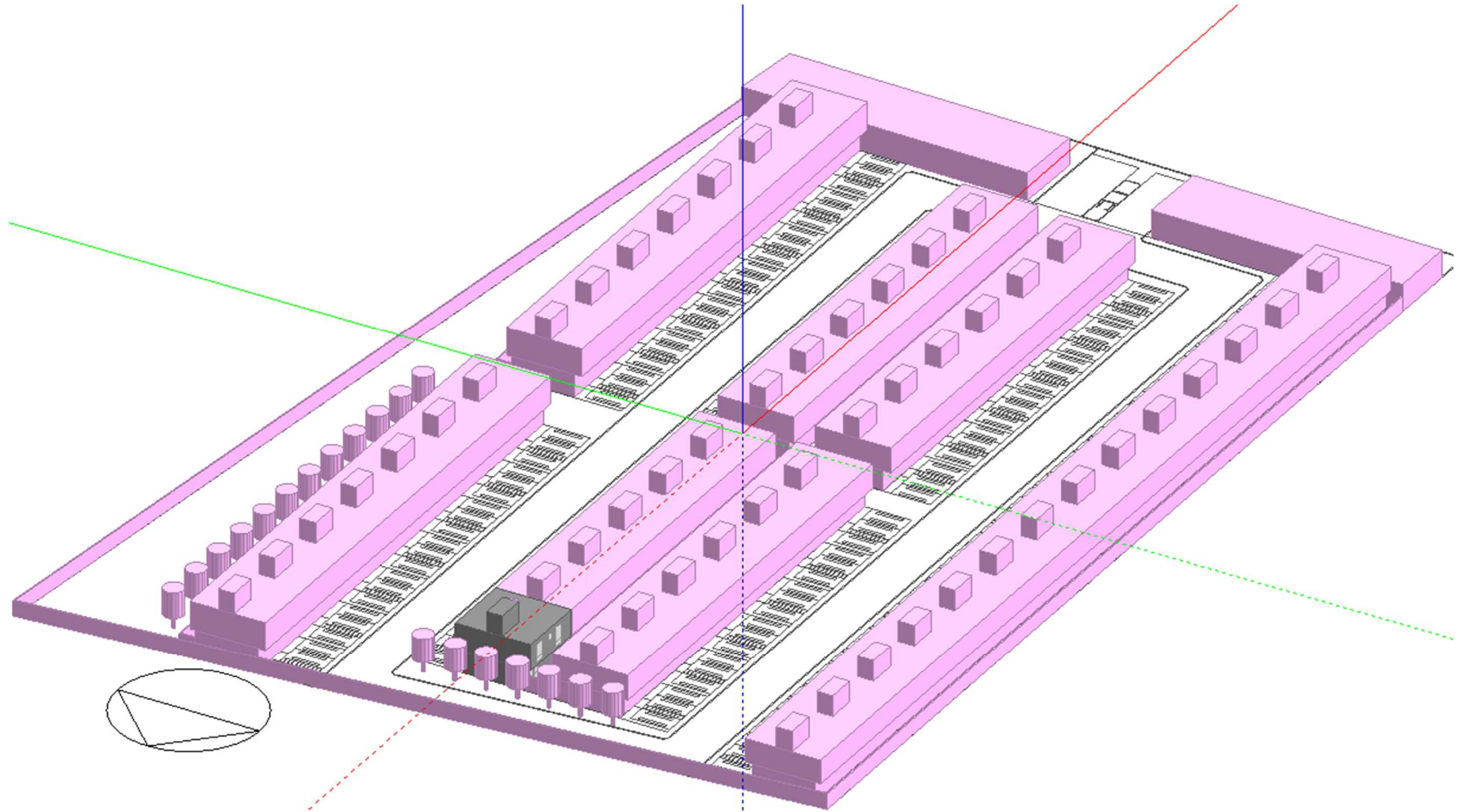
- Parisi, R., Castañeda, N., Vecchia F. (2008). Tierra armada y su comportamiento térmico, dos experiencias en Brasil y México. *Tecnología y construcción*, 33-42.
- Pierri, N. (2005). Historia del concepto de desarrollo sustentable. En N. Pierri, *Historia del concepto de desarrollo sustentable*. Universidad Santo Tomas.
- Quiroa., J., Vecchia, F., Castañeda, N. (2010). Comparación del comportamiento térmico de tres cubiertas: láminas de reciclado tetra pak, láminas de fibrocemento y teja de barro. *Ingeniería*, 23-31.
- RAE. (12 de 03 de 2024). *dle.rae.es*. Obtenido de *dle.rae.es*: <https://dle.rae.es/eficiencia>
- Rincón Martínez, J. (2015). *Confort térmico en bioclima semi-frío. Estimación a partir de los enforques de estudio adaptativo y predictivo. Tesis de doctorado*. Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, División de Ciencias y Artes para el Diseño: Tesis de doctorado.
- Ruíz, R. (2007). *Estándar local de confort térmico para la ciudad de Colima*. Universidad de Colima: Tesis de Maestría.
- Ruíz, R., Castañeda, G., Arguello, M., Morillón, D. (2011). Comparación del comportamiento térmico de una vivienda el clima cálido subhúmedo con la NOM-020-ENER. *Memorias del XXXV Congreso Nacional de Energía Solar* (págs. 380-). Chihuahua, Chihuahua: ANES.
- Sanyogita, M., Shukla, Y., Rawal, R., Thomas, L., & de Dear, R. (2016). Field studies of thermal comfort across multiple climate zones for the subcontinent: India Model for Adaptive Comfort (IMAC). *Building and Environment*, 55–70.
- SEDATU & CONAVI. (2019). *Criterios técnicos para una vivienda adecuada*. México.
- SENER. (09 de 08 de 2011). Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011. Eficiencia energética en edificaciones. En volvente de edificios para uso habitacional. *Diario Oficial de la Federación*, pág. Obtenido de: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5203931&fecha=09/08/2011#gs.c.tab=0. Obtenido de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5203931&fecha=09/08/2011#gs.c.tab=0
- Sharma, R., Sharma, P. (2018). Energy Performance Modeling and Consumption Forecasting in Built Environments. *Emerging Technologies and Innovative Research*, 383-392.
- Sol Arq. (25 de 02 de 2024). *www.sol-arq.mx*. Obtenido de *www.sol-arq.mx*: <https://www.sol-arq.mx/simulacion-energetica>
- Szokolay, S. (1983). *Arquitectura Solar. Realización y proyectos a escala mundial*. Barcelona: Blume.
- Szokolay, S. (2014). *Introduction to Architectural Science. The basis of sustainable desing*. Rotledge.

- Torres-Aguilar, C., Serrano-Arellano, J., & Macías-Melo, E. y.-T. (2020). Simulación energética de prototipo de vivienda de interés social para evaluar el confort térmico. *Revista de Ingeniería Civil*, 16-21.
- Trebilcock, M., Soto-Muñoz, J., Yañez, M., & Figueroa-San Martín, R. (2017). The right to comfort: A field study on adaptive thermal comfort in free-running primary schools in Chile. *Building and Environment*, 455-469.
- Trujillo, R., Rangel, Y., Castañeda, N. (2015). Potencial del techo verde, para ahorrar electricidad por aire acondicionado en la edificación. *Nova Scientia*, 577-596.
- Vecchia, F., Castañeda, G. (2006). Reacción ante el calor de cuatro sistemas de cubiertas. *Ingeniería*, 17-223.
- Vecchia, F., Castañeda, N. (2005). Evaluación del comportamiento térmico de casa experimental con bajareque mejorado. *ENCAC -ELACAC 2005*, (págs. 2156-2163). Maceló, Alagoas, Brasil.
- Vitruvio, Polión. (1999). *Los X libros de Arquitectura*. Cicon Editores.
- Yun, H., Nam, I., Kim, J., Yang, J., Lee, K., & Sohn, J. (2014). A field study of thermal comfort for kindergarten children in Korea: An assessment of existing models and preferences of children. *Building and Environment*, 455-469.

APÉNDICES Y ANÉXOS

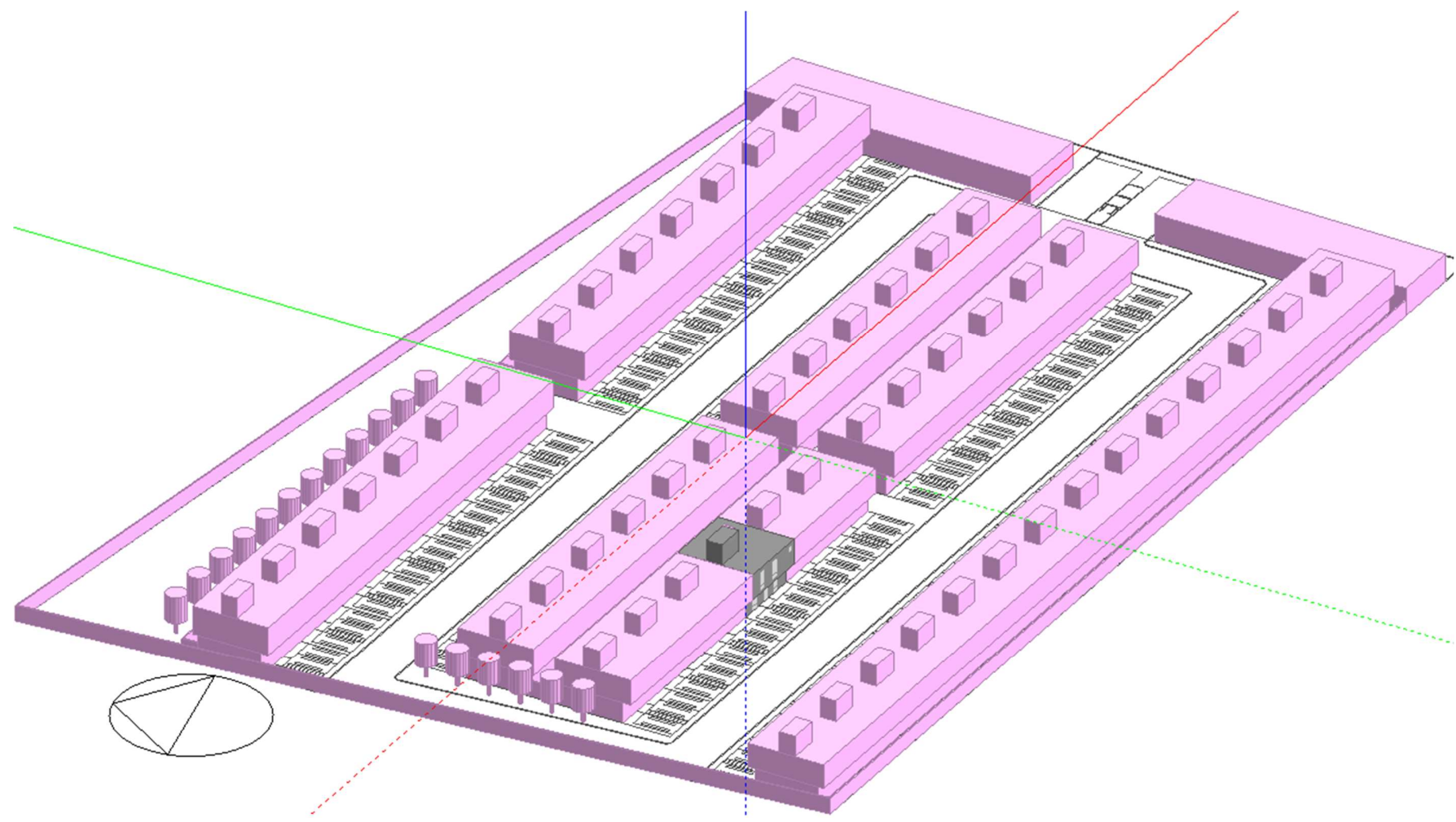
**APÉNDICE A: MUESTRA DE MODELADO DE PROTOTIPOS EN *DESIGN*
BUILDER DE LOS PROTOTIPOS VBO_NE y VMT_S+C**

PROTOTIPO DE VIVIENDA BASE VBO_NE



Fuente: elaboración propia en *Design Builder*.

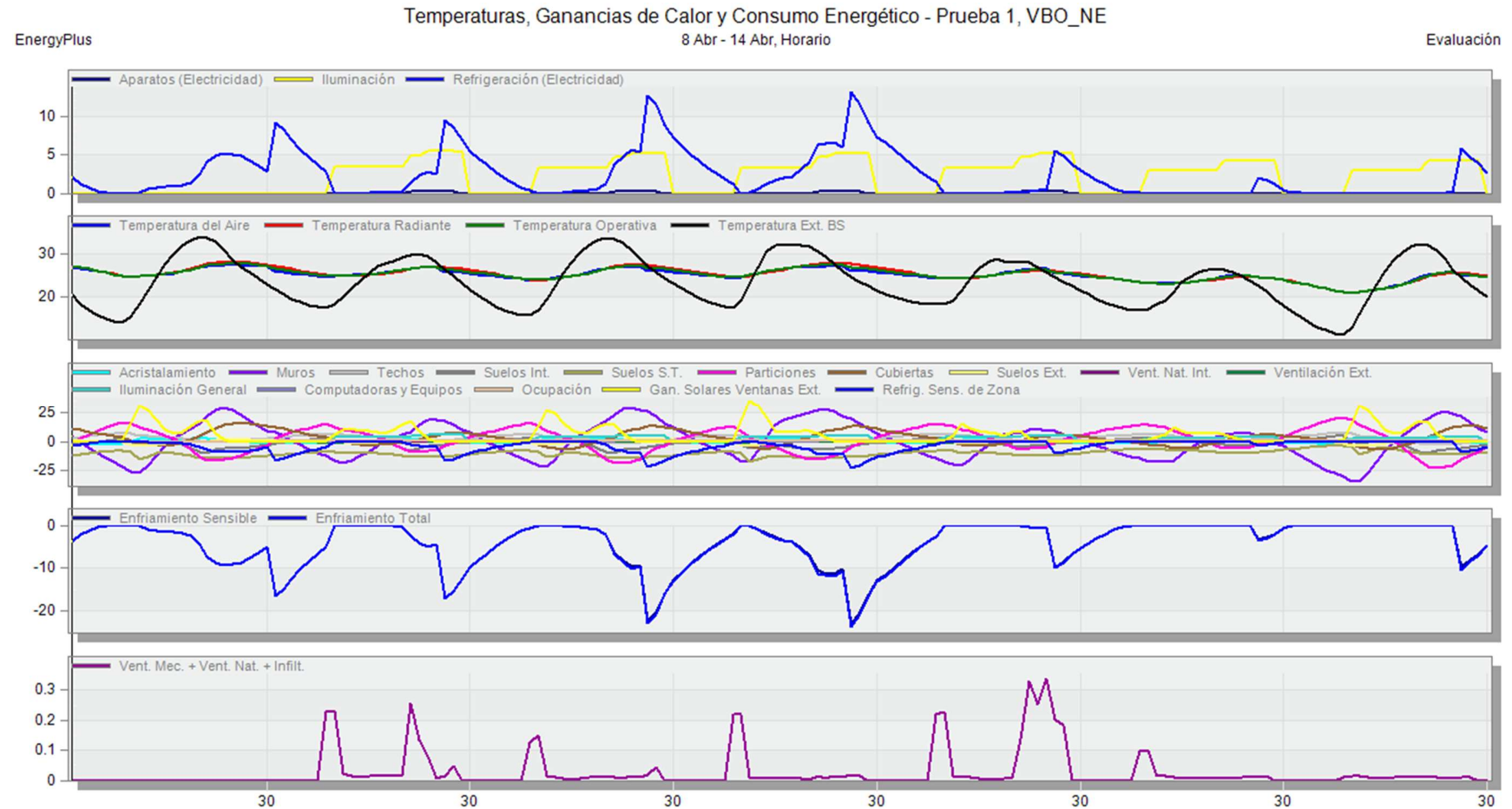
PROTOTIPO DE VIVIENDA BASE VMT_S+C



Fuente: elaboración propia en *Design Builder*.

**APÉNDICE B: SIMULACIÓN ENERGÉTICA EN SEMANA TÍPICA DE VERANO E
INVIERNO DE LOS PROTOTIPOS VBO_NE y VMT_S+C**

GRÁFICAS DE DESEMPEÑO TÉRMICO Y CONSUMO ENERGÉTICO EN SEMANA TÍPICA DE VERANO DEL PROTOTIPO VBO_NE



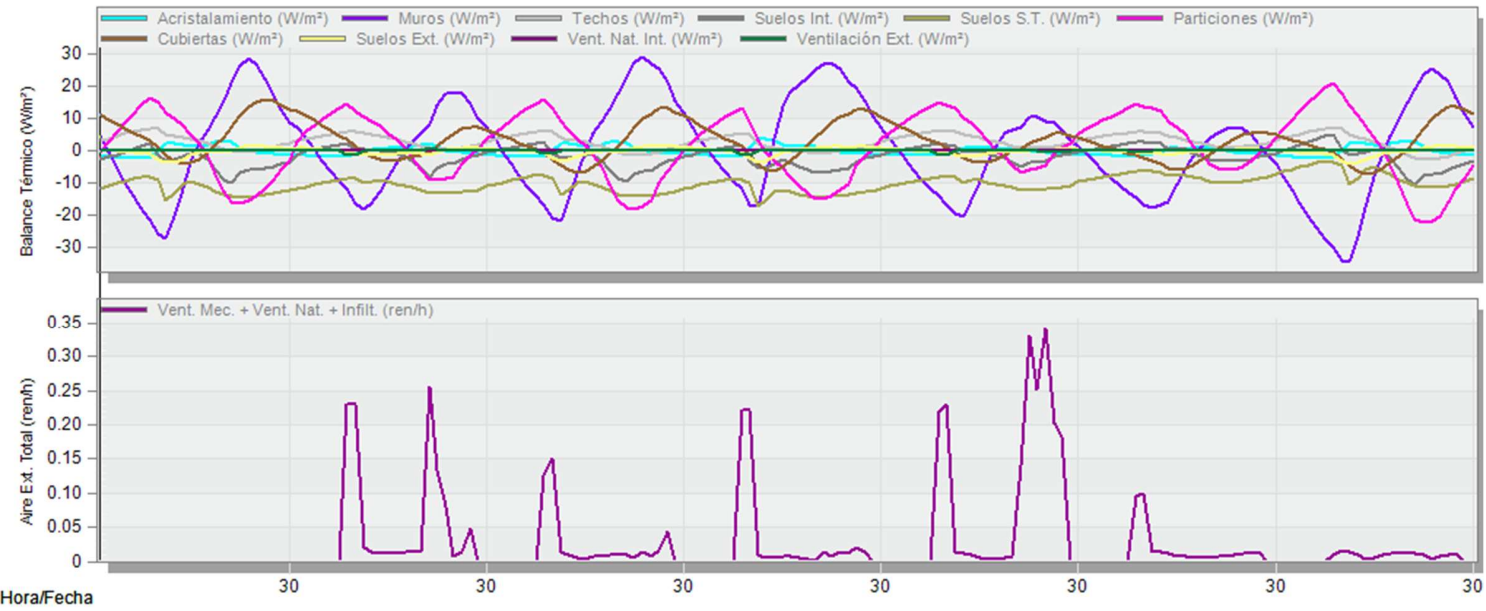
Fuente: elaboración propia en *Design Builder*.

GRÁFICAS Y REPORTE DE BALANCE TÉRMICO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DURANTE LA SEMANA TÍPICA DE VERANO DEL PROTOTIPO VBO_NE

EnergyPlus

Elementos constructivos y Ventilación - Prueba 1, VBO_NE
8 Abr - 14 Abr, Horario

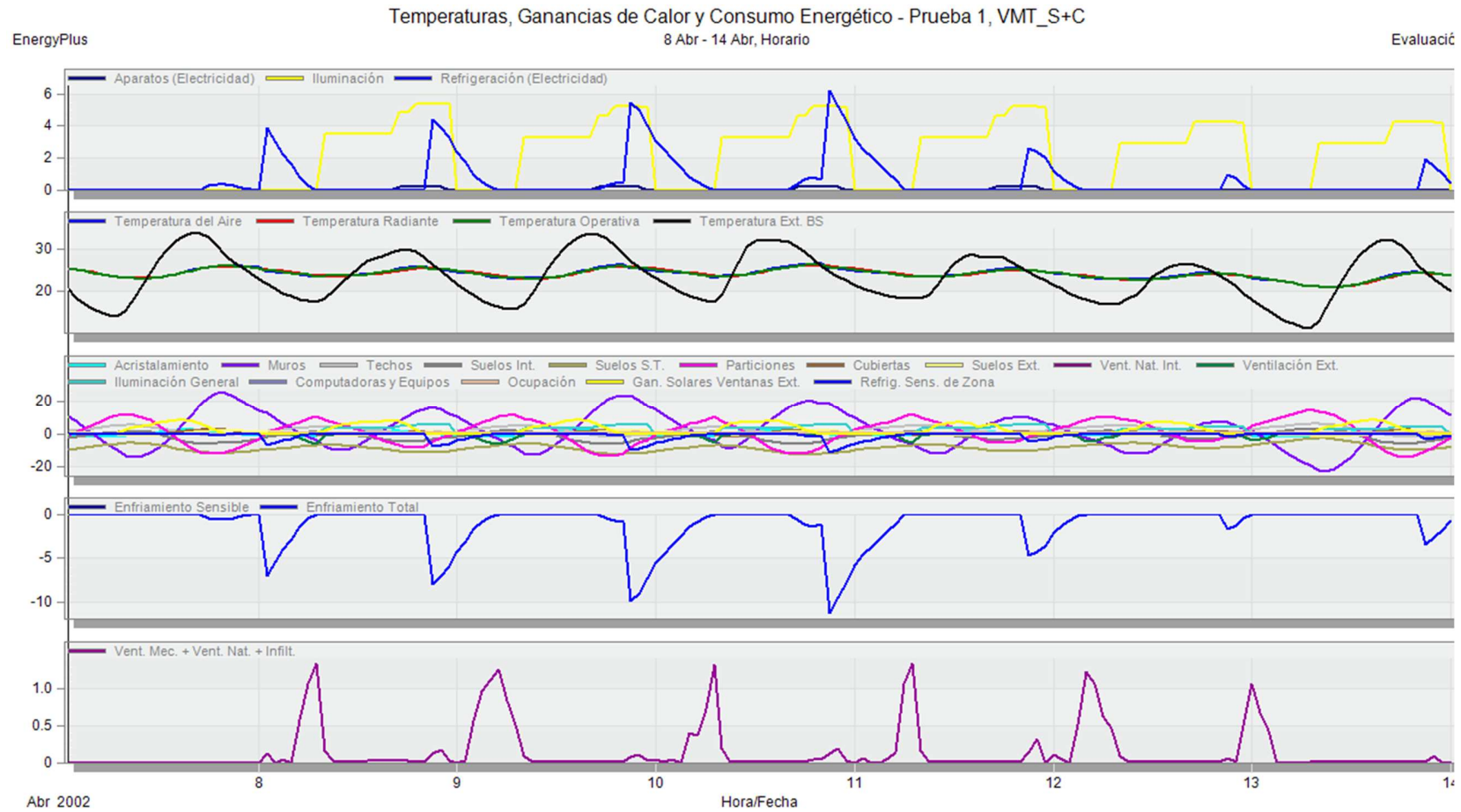
Evaluación



Hora/Fecha	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Acrilamiento (W/m²)	2.76	-1.67	-0.56	1.64	-1.44	0.22	-0.47	-1.07	0.85	-2.13
Muros (W/m²)	10.63	-9.45	17.89	0.12	-0.12	27.39	-19.40	1.68	1.66	-27.14
Techos (W/m²)	1.53	5.78	0.93	2.76	3.79	-0.49	6.01	3.34	2.26	6.99
Suelos Int. (W/m²)	-5.84	1.94	-2.55	-1.26	0.14	-6.40	1.56	-0.25	-1.52	4.45
Suelos S.T. (W/m²)	-12.55	-8.90	-12.86	-9.41	-9.99	-14.23	-8.21	-9.60	-8.80	-2.99
Particiones (W/m²)	-7.11	13.11	-3.81	1.57	7.13	-13.96	13.26	5.28	-0.93	19.63
Cubiertas (W/m²)	1.74	4.86	7.06	-6.34	6.52	8.78	-0.38	4.29	-2.84	0.37
Suelos Ext. (W/m²)	-0.33	-0.08	1.03	-1.03	0.35	1.23	-1.15	0.36	-0.17	-0.97
Vent. Nat. Int. (W/m²)	0.00	-0.00	-0.00	0.00	-0.00	0.00	-0.00	-0.00	0.00	-0.00
Ventilación Ext. (W/m²)	0.00	-0.00	-0.01	0.01	-0.00	0.00	-0.06	0.00	0.01	-0.00
Vent. Mec. + Vent. Nat. + Infil. (ren/h)	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00

Fuente: elaboración propia en *Design Builder*.

GRÁFICAS DE DESEMPEÑO TÉRMICO Y CONSUMO ENERGÉTICO EN SEMANA TÍPICA DE VERANO DEL PROTOTIPO VMT_S+C



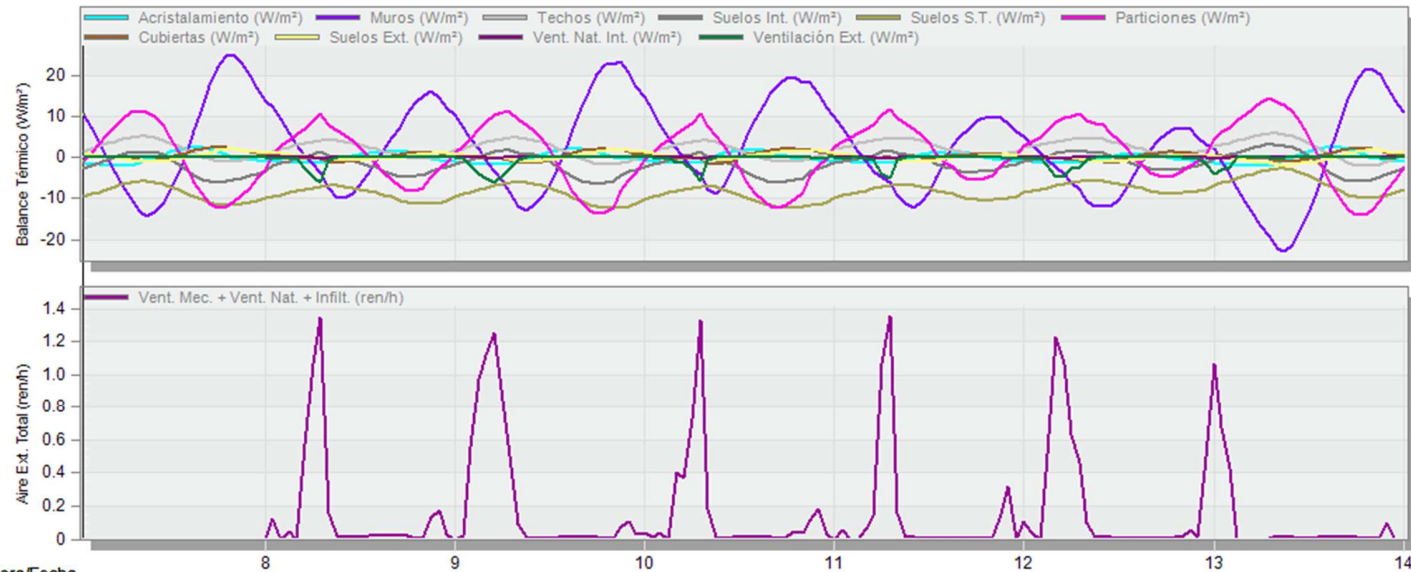
Fuente: información generada en *Design Builder*.

GRÁFICAS Y REPORTE DE BALANCE TÉRMICO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DURANTE LA SEMANA TÍPICA DE VERANO DEL PROTOTIPO VMT_S+C

EnergyPlus

Elementos constructivos y Ventilación - Prueba 1, VMT_S+C
8 Abr - 14 Abr, Horario

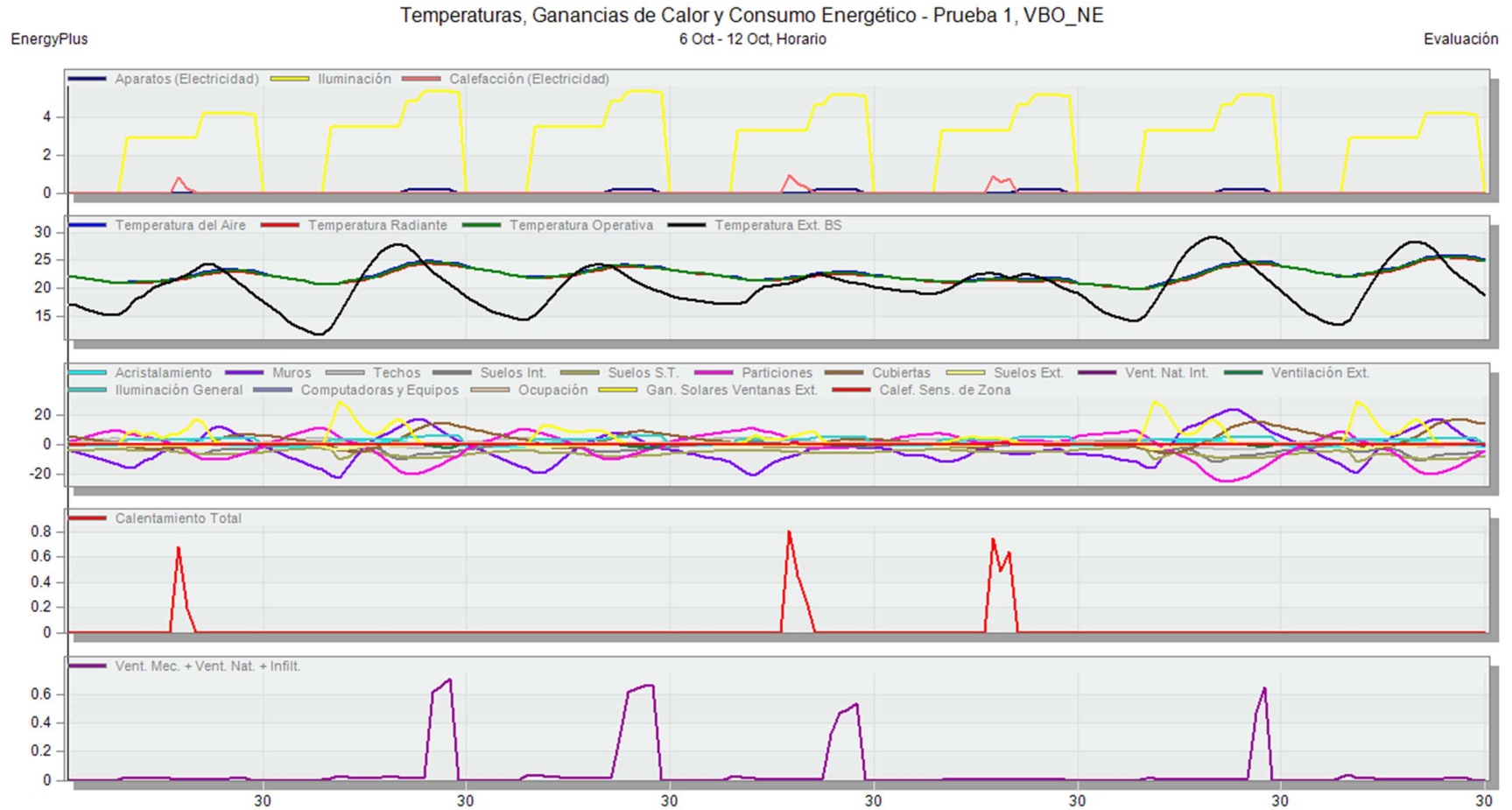
Evaluación



Hora/Fecha	8	9	10	11	12	13	14
Acristalamiento (W/m²)	2.61	-1.39	-0.29	1.34	-1.20	0.45	-0.60
Muros (W/m²)	6.66	-1.74	16.25	-6.36	4.93	19.53	-11.25
Techos (W/m²)	1.04	3.89	-0.14	3.06	2.64	-1.03	4.74
Suelos Int. (W/m²)	-4.41	0.89	-3.24	-0.98	-0.70	-5.88	0.85
Suelos S.T. (W/m²)	-9.56	-7.42	-11.22	-7.33	-8.61	-12.27	-6.64
Particiones (W/m²)	-5.96	9.18	-4.66	1.81	4.12	-11.52	8.40
Cubiertas (W/m²)	1.81	-0.13	1.59	-0.37	-0.07	2.17	-0.85
Suelos Ext. (W/m²)	0.34	0.19	1.25	-0.48	0.54	1.52	-0.84
Vent. Nat. Int. (W/m²)	0.00	-0.01	-0.05	0.00	0.00	-0.00	0.00
Ventilación Ext. (W/m²)	0.00	-4.63	0.16	0.02	-0.00	0.03	-0.05
Vent. Mec. + Vent. Nat. + Infil. (ren/h)	0.00	1.07	0.13	0.01	0.00	0.01	0.01

Fuente: información generada en *Design Builder*.

GRÁFICAS DE DESEMPEÑO TÉRMICO Y CONSUMO ENERGÉTICO EN SEMANA TÍPICA DE INVIERNO DEL PROTOTIPO VBO_NE



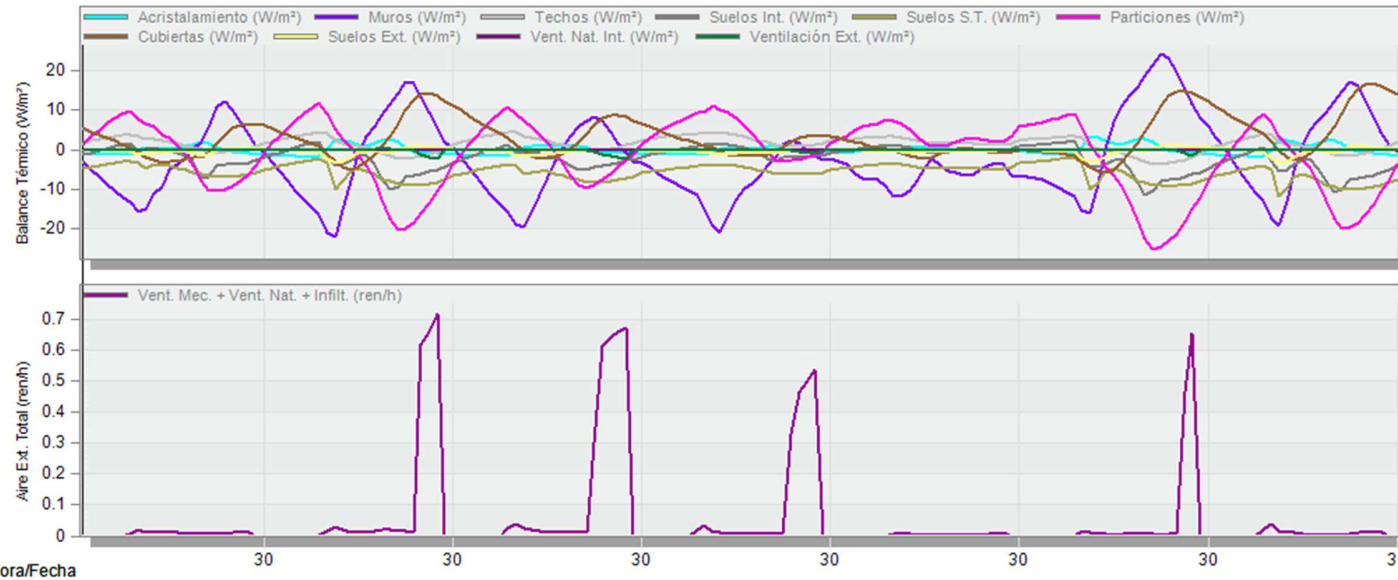
Fuente: información generada en *Design Builder*.

GRÁFICAS Y REPORTE DE BALANCE TÉRMICO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DURANTE LA SEMANA TÍPICA DE INVIERNO DEL PROTOTIPO VBO_NE

EnergyPlus

Elementos constructivos y Ventilación - Prueba 1, VBO_NE
6 Oct - 12 Oct, Horario

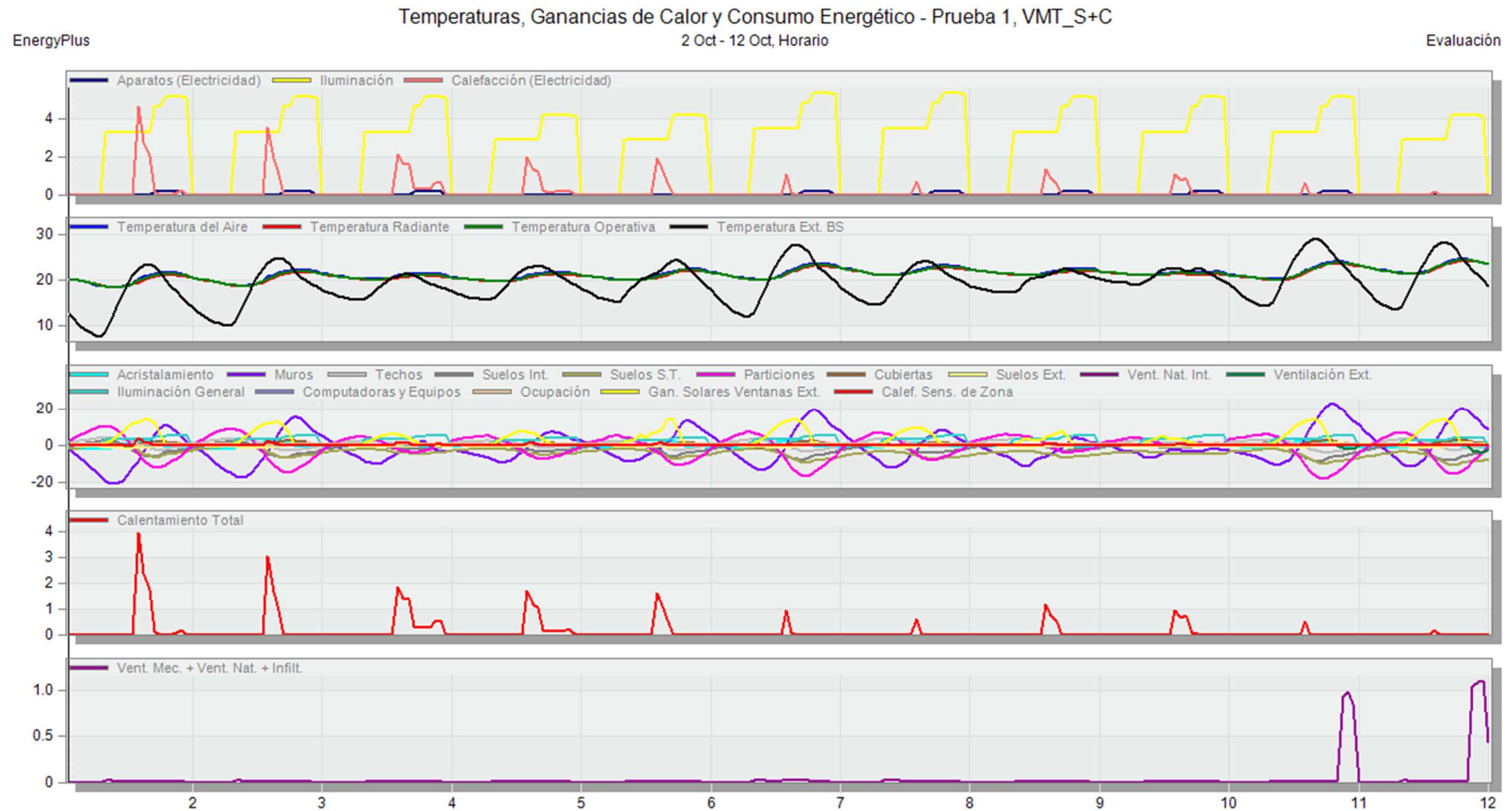
Evaluaci



Hora/Fecha	30	30	30	30	30	30	30	30	30	3
Acristalamiento (W/m²)	1.28	-1.74	-0.82	0.91	-1.01	0.12	0.03	-0.48	2.82	-1.72
Muros (W/m²)	0.14	-14.66	9.31	-6.93	-7.08	1.34	-11.75	-6.87	15.92	-10.74
Techos (W/m²)	0.60	4.16	-1.16	2.30	3.32	1.08	3.16	2.54	-2.36	3.58
Suelos Int. (W/m²)	-3.09	1.69	-5.60	-1.22	-0.47	-2.01	0.95	0.88	-8.34	-0.10
Suelos S.T. (W/m²)	-5.75	-2.50	-8.52	-5.53	-5.08	-6.18	-3.58	-3.40	-7.80	-4.29
Particiones (W/m²)	-3.86	10.59	-13.40	1.66	5.45	-2.82	6.73	5.95	-17.99	7.28
Cubiertas (W/m²)	-1.84	1.54	14.27	-2.37	4.26	0.69	-0.73	-0.03	1.73	5.06
Suelos Ext. (W/m²)	-0.76	-0.42	0.63	-1.08	-0.38	-0.38	-0.61	-0.25	-0.21	-0.28
Vent. Nat. Int. (W/m²)	-0.00	0.00	-0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ventilación Ext. (W/m²)	-0.00	-0.00	-1.72	-0.00	0.00	-0.00	-0.01	0.00	0.04	-0.00
Vent. Mec. + Vent. Nat. + Infil. (ren/h)	0.01	0.00	0.66	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00

Fuente: información generada en *Design Builder*.

GRÁFICAS DE DESEMPEÑO TÉRMICO Y CONSUMO ENERGÉTICO EN SEMANA TÍPICA DE INVIERNO DEL PROTOTIPO VMT_S+C



Fuente: información generada en *Design Builder*.

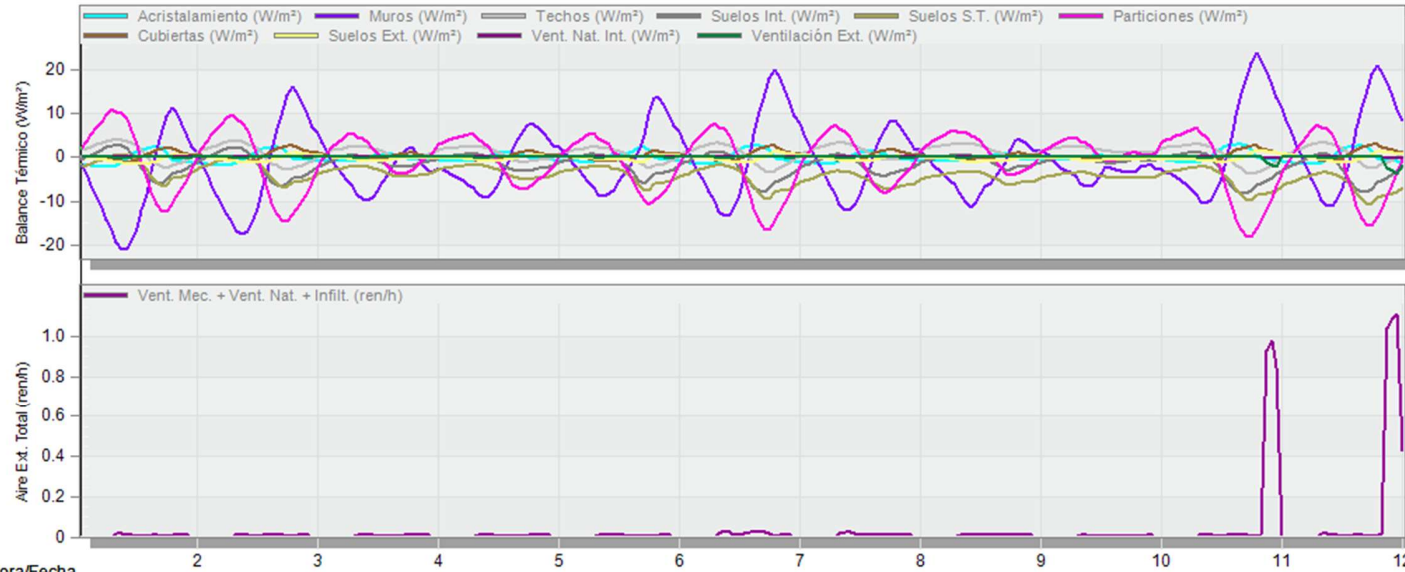
GRÁFICAS Y REPORTE DE BALANCE TÉRMICO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DURANTE LA SEMANA TÍPICA DE INVIERNO DEL PROTOTIPO VMT_S+C

EnergyPlus

Elementos constructivos y Ventilación - Prueba 1, VMT_S+C

2 Oct - 12 Oct, Horario

Evaluación

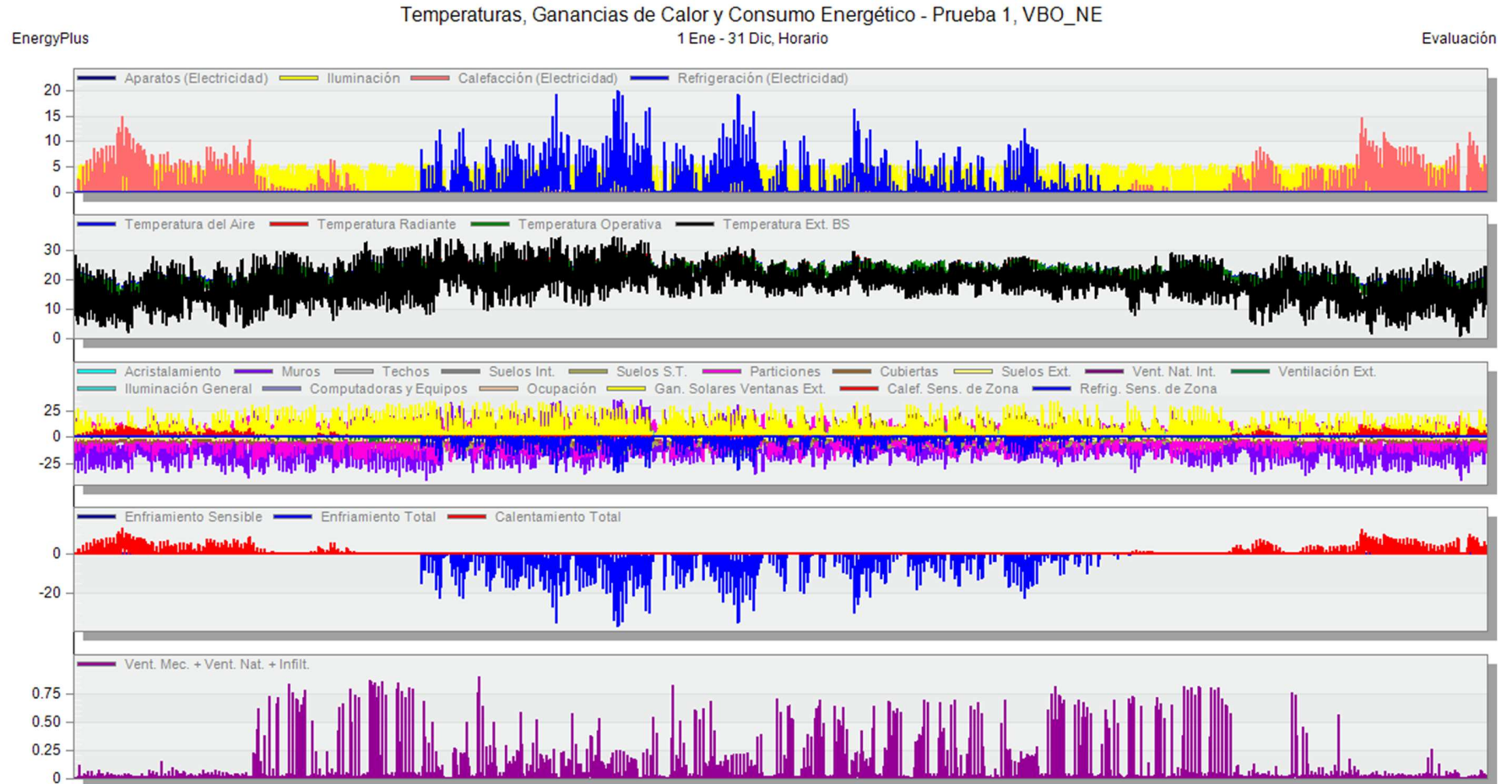


Hora/Fecha	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Acristalamiento (W/m²)	-1.37	-0.81	-0.65	-0.71	-0.96	-0.99	-0.78	-0.45	-0.48	-0.89	
Muros (W/m²)	1.00	5.69	-2.57	2.49	5.74	7.86	1.75	1.69	-2.76	11.20	
Techos (W/m²)	1.09	0.35	1.72	0.87	0.51	0.51	1.71	1.54	2.00	0.06	
Suelos Int. (W/m²)	-1.01	-2.24	-0.16	-1.15	-1.83	-2.53	-1.27	-1.03	0.02	-3.06	
Suelos S.T. (W/m²)	-2.61	-3.78	-2.69	-3.47	-4.36	-5.69	-5.00	-4.57	-3.56	-6.49	
Particiones (W/m²)	0.28	-2.30	2.87	0.08	-1.49	-2.23	1.38	0.96	3.32	-3.67	
Cubiertas (W/m²)	0.62	1.03	0.20	0.45	0.68	0.83	0.59	0.47	0.27	0.84	
Suelos Ext. (W/m²)	0.24	0.45	-0.24	0.20	0.35	0.60	0.08	-0.04	-0.38	0.84	
Vent. Nat. Int. (W/m²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ventilación Ext. (W/m²)	-0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Vent. Mec. + Vent. Nat. + Infil. (ren/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Fuente: información generada en *Design Builder*.

**APÉNDICE C: SIMULACIÓN ENERGÉTICA ANUAL DE LOS PROTOTIPOS VBO_NE y
VMT_S+C**

REPORTE DE DESEMPEÑO TÉRMICO Y CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL DEL PROTOTIPO VBO_NE



Fuente: información generada en *Design Builder*.

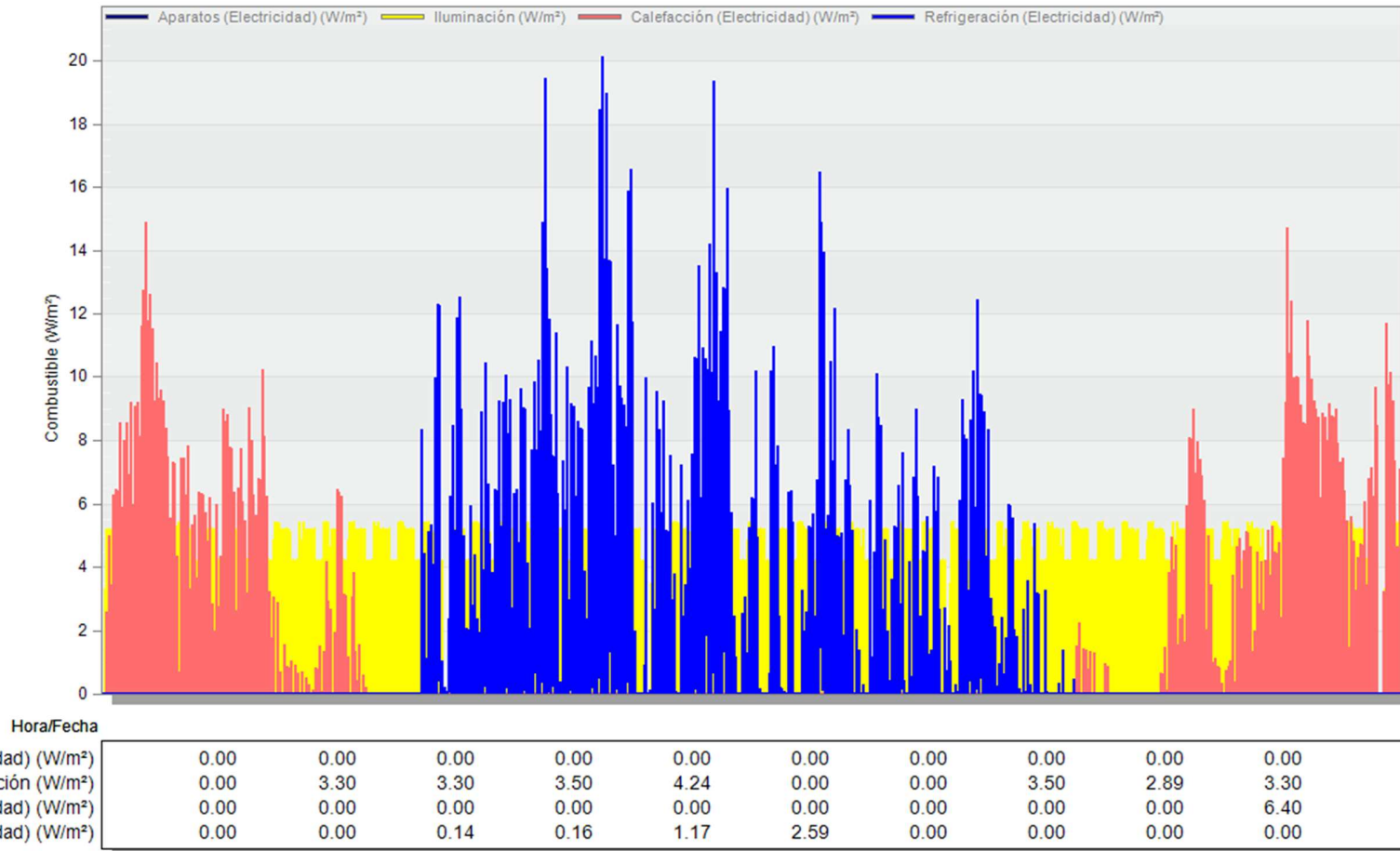
REPORTE DE CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL POR ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO DEL PROTOTIPO VBO_NE

EnergyPlus

Consumos desglosados - Prueba 1, VBO_NE

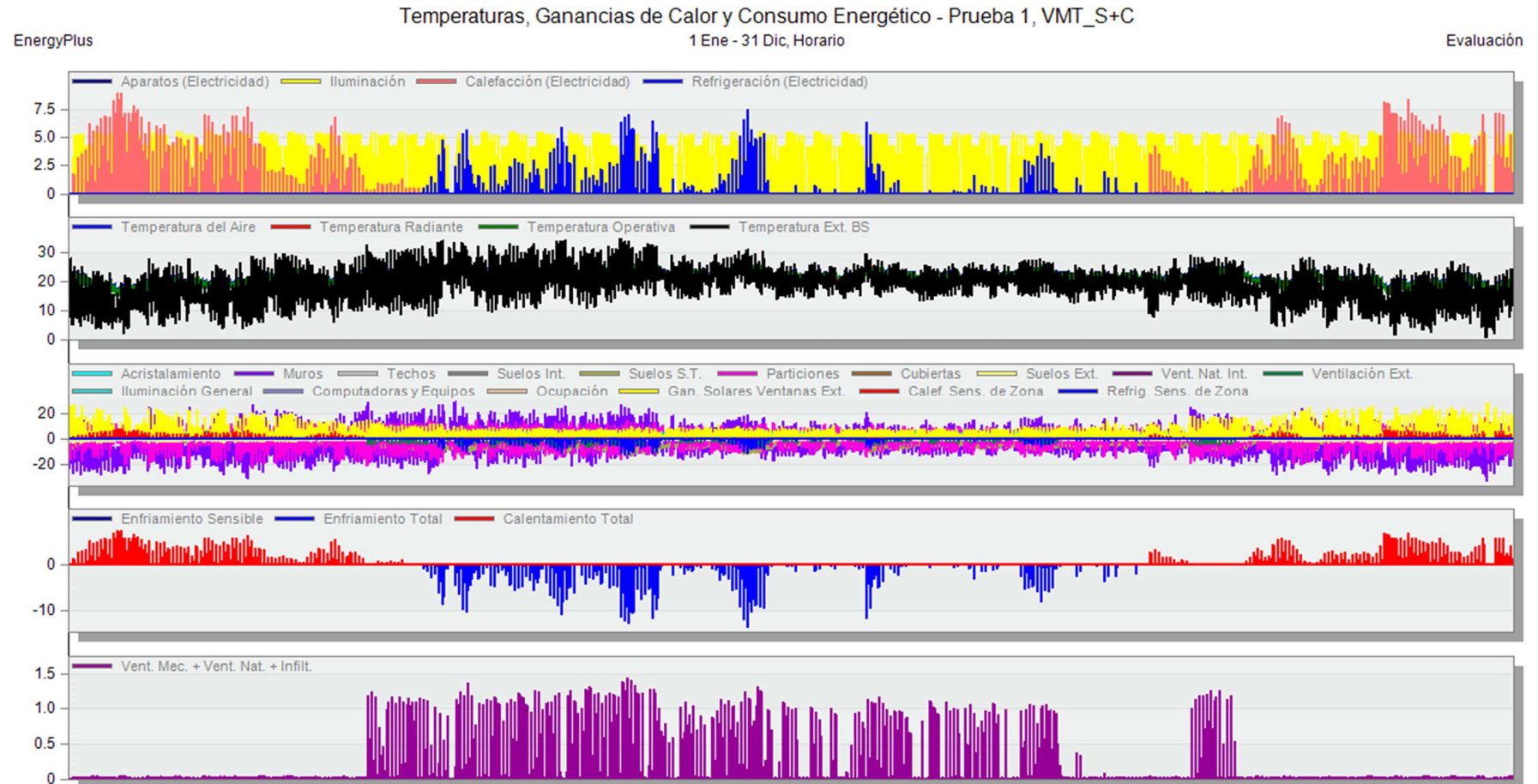
1 Ene - 31 Dic, Horario

Evaluación



Fuente: información generada en *Design Builder*.

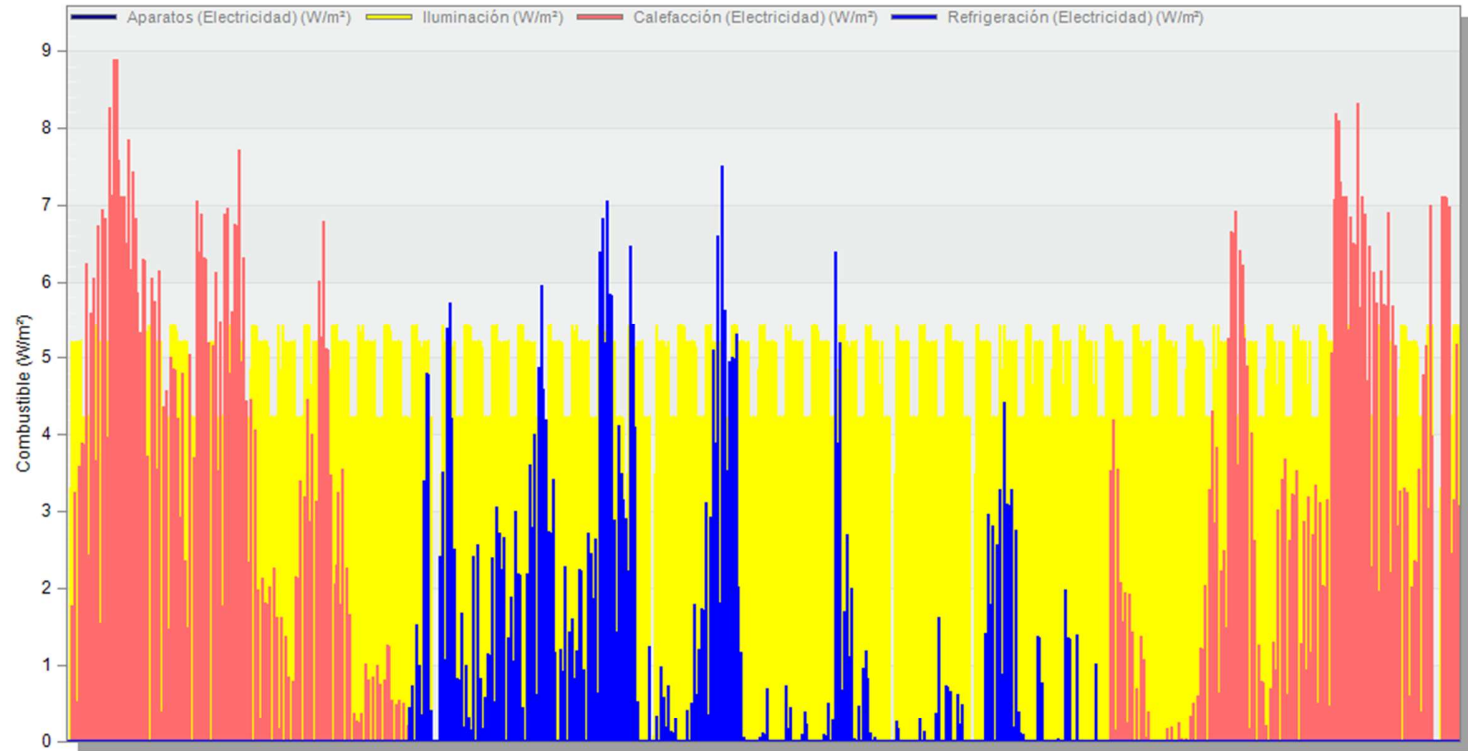
REPORTE DE DESEMPEÑO TÉRMICO Y CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL DEL PROTOTIPO VMT_S+C



Fuente: información generada en *Design Builder*.

REPORTE DE CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL POR ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO DEL PROTOTIPO VMT_S+C

EnergyPlus Consumos desglosados - Prueba 1, VMT_S+C Evaluación
 1 Ene - 31 Dic, Horario



Hora/Fecha										
Aparatos (Electricidad) (W/m²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Iluminación (W/m²)	0.00	3.30	3.30	3.50	4.24	0.00	0.00	3.50	2.89	3.30
Calefacción (Electricidad) (W/m²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.82
Refrigeración (Electricidad) (W/m²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: información generada en *Design Builder*.

**APÉNDICE D: ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS
DE LA ENVOLVENTE ARQUITECTÓNICA**

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Código	Concepto	Importe	%
Análisis: LOSA DE CONCRETO ARMADO DE 10 CM		\$1,423.68	
Losa de 10 cm. de espesor de concreto F _c =200 kg/cm ² , armado doble parilla con varilla del No. 3 (3/8"), a cada 20 cm. en ambos sentidos, incluye: suministro de materiales, acarreos, elevaciones, cimbrado acabado común, armado, colado, vibrado, descimbrado, mano de obra, equipo y herramienta.			
MATERIALES			
303-ARF-0301	VARILLA R-42 DEL No. 3, (3/8 Ø), KG	\$253.07	27.42%
303-ARF-1101	ALAMBRE RECOCIDO CAL. 16, (1.59 mm Ø), KG, 0.016 KG/M	\$11.03	0.68%
305-M3A-0101	DUELA DE PINO DE 3a DE 3/4x4x8' (0.019x0.10x2.44 m)	\$62.21	3.81%
305-M3A-0201	BARROTE DE PINO DE 3a, DE 1 1/2x3 1/2x8'	\$60.39	3.70%
305-M3A-0301	POLIN DE PINO DE 3a, DE 3 1/2x3 1/2x8'	\$61.36	3.75%
305-CLA-1301	CLAVOS PARA MADERA DE 2 1/2 (260 pzas/kg) CAJA DE 25 KG	\$2.93	0.18%
305-CLA-1401	CLAVOS PARA MADERA DE 4 (77 pzas/kg) CAJA DE 25 KG	\$3.16	0.19%
307-CON-0501	REVENIMIENTO DE 18+-3.5 PARA CONCRETO BOMBEABLE	\$35.79	2.19%
307-CON-0401	BOMBEO DE CONCRETO	\$32.98	2.98%
358-AGU-0101	AGUA DE TOMA	\$0.47	0.03%
359-CMB-0101	DIESEL	\$6.40	0.39%
307-CON-0101	CONCRETO PREMEZCLADO F _c =200 KG/CM ² , CLASE 1	\$367.21	22.47%
SUBTOTAL:	MATERIALES	\$897.01	67.78%
MANO DE OBRA			
1F1A	CUADRILLA No 6 (1 FERRERO + 1 AYUDANTE)	\$195.83	11.98%
1C1A	CUADRILLA No 7 (1 CARP. O.N. + AYUDANTE)	\$203.35	12.44%
1A5P	CUADRILLA No 22 (1 ALBAÑIL + 5 PEONES)	\$78.97	4.83%
SUBTOTAL:	MANO DE OBRA	\$478.15	29.26%
EQUIPO Y HERRAMIENTA			
%MO1	HERRAMIENTA MENOR	\$16.92	1.04%
%MO2	ANDAMIOS	\$16.92	1.04%
EQVIBRA	VIBRADOR PARA CONCRETO	\$3.39	0.21%
%MO5	EQUIPO DE SEGURIDAD	\$11.28	0.69%
SUBTOTAL:	EQUIPO Y HERRAMIENTA	\$48.52	2.97%
	(CD) Costo directo	\$1,423.68	100.00%

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Código	Concepto	Importe	%
Análisis:	LOSA DE VIGUETA CON BOVEDILLA DE POLIESTIRENO	\$1,545.88	
Losa nervada de 30 cm. de peralte de concreto premezclado de Fc=200 kg/cm ² , nervaduras de 15 cm. armadas con 4 varillas del No. 3 y estribos del No. 2 @ 20 cm. capa de compresión de 5 cm. armada con malla electrosoldada 6x6/10-10, aligerada con casetón de espuma de poliestireno de 60x60x25 cm. incluye: suministro de materiales, acarreos, elevaciones, habilitado, cimbrado, armado, colado, vibrado, descimbrado, mano de obra, equipo y herramienta. (No incluye Trabes)			
MATERIALES			
309-VYB-0503	SEMI VIGUETA PATIN DE 12X5, H=20 (P/LOSA DE 25)	\$273.33	3.96%
305-M3A-0201	BARROTE DE PINO DE 3a, DE 1 1/2x3 1/2x8'	\$94.98	5.59%
305-M3A-0301	POLIN DE PINO DE 3a, DE 3 1/2x3 1/2x8'	\$61.36	3.61%
305-CLA-1301	CLAVOS PARA MADERA DE 2 1/2 (260 pzas/kg) CAJA DE 25 KG	\$3.86	0.23%
305-CLA-1401	CLAVOS PARA MADERA DE 4 (77 pzas/kg) CAJA DE 25 KG	\$1.60	0.09%
307-CON-0501	REVENIMIENTO DE 18+-3.5 PARA CONCRETO BOMBEABLE	\$35.32	2.08%
307-CON-0401	BOMBEO DE CONCRETO	\$48.05	2.83%
358-AGU-0101	AGUA DE TOMA	\$0.44	0.03%
359-CMB-0101	DIESEL	\$8.70	0.51%
307-CON-0101	CONCRETO PREMEZCLADO Fc=200 KG/CM2, CLASE 1	\$362.48	21.32%
309-VYB-0203	BOVEDILLA DE POLIESTIRENO DE 61x122x20	\$187.76	8.89%
303-ARF-2901	MALLA ELECTROSOLDADA 6x6/10-10, M2 (2.50X40 M)	\$20.59	1.21%
SUBTOTAL:	MATERIALES	\$1098.47	63.98%
MANO DE OBRA			
1F1A	CUADRILLA No 6 (1 FERRERO + 1 AYUDANTE)	\$111.00	6.14%
1C1A	CUADRILLA No 7 (1 CARP. O.N. + AYUDANTE)	\$92.07	16.17%
1A5P	CUADRILLA No 22 (1 ALBAÑIL + 5 PEONES)	\$84.38	4.64%
2A	CUADRILLA No 4 (2 AYUDANTE GENERAL)	\$14.32	0.84%
1A1P	CUADRILLA No 5 (1 ALBAÑIL+1 PEON)	\$97.25	5.38%
SUBTOTAL:	MANO DE OBRA	\$399.02	33.17%
EQUIPO Y HERRAMIENTA			
%MO1	HERRAMIENTA MENOR	\$16.92	1.00%
%MO2	ANDAMIOS	\$16.92	1.00%
EQVIBRA	VIBRADOR PARA CONCRETO	\$3.26	0.19%
%MO5	EQUIPO DE SEGURIDAD	\$11.28	0.66%
SUBTOTAL:	EQUIPO Y HERRAMIENTA	\$48.39	2.85%
	(CD) Costo directo	\$1,545.88	100.00%

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Código	Concepto	Importe	%
Análisis: MURO DE CONCRETO DE 14 CM		\$1,390.96	
Muro de 14 cm. de concreto Fc=150 kg/cm2, acabado común, armado malla electrosoldada 6-6 /6-6 con varilla del No. 3 a cada 50 cm. en ambos sentidos, incluye: suministro de materiales, acarreos, elevaciones, cimbrado, armado, colado, vibrado, descimbrado, mano de obra, equipo y herramienta.			
MATERIALES			
303-ARF-1101	ALAMBRE RECOGIDO CAL. 16, (1.59 mm Ø), KG, 0.016 KG/M	\$3.71	0.36%
	MALLA ELECTROSOLDADA 6x6/6-6, M2 (2.50X40 M)	\$45.78	10.41%
354-SCL-2113	SEPARADOR SIN CUÑA (MOÑO) DE 14 CM.	\$60.40	3.91%
354-SCL-2101	CUÑA PARA MOÑO DE CIMBRA	\$26.94	1.74%
305-M3A-0101	DUELA DE PINO DE 3a DE 3/4x4x8' (0.019x0.10x2.44 m)	\$113.08	7.32%
305-M3A-0201	BARROTE DE PINO DE 3a, DE 1 1/2x3 1/2x8'	\$59.40	3.85%
305-M3A-0301	POLIN DE PINO DE 3a, DE 3 1/2x3 1/2x8'	\$42.58	2.76%
305-CLA-1301	CLAVOS PARA MADERA DE 2 1/2 (260 pzas/kg) CAJA DE 25 KG	\$1.43	0.09%
305-CLA-1401	CLAVOS PARA MADERA DE 4 (77 pzas/kg) CAJA DE 25 KG	\$1.20	0.08%
307-CON-0501	REVENIMIENTO DE 18+-3.5 PARA CONCRETO BOMBEABLE	\$35.79	2.32%
307-CON-0401	BOMBEO DE CONCRETO	\$48.68	3.15%
358-AGU-0101	AGUA DE TOMA	\$0.47	0.03%
359-CMB-0101	DIESEL	\$12.80	0.83%
307-CON-0101	CONCRETO PREMEZCLADO Fc=150 KG/CM2, CLASE 1	\$330.49	23.77%
SUBTOTAL:	MATERIALES	\$782.75	60.62%
MANO DE OBRA			
1F1A	CUADRILLA No 6 (1 FERRERO + 1 AYUDANTE)	\$63.41	4.11%
1C1A	CUADRILLA No 7 (1 CARP. O.N. + AYUDANTE)	\$376.57	24.38%
1A5P	CUADRILLA No 22 (1 ALBAÑIL + 5 PEONES)	\$98.72	6.39%
2A	CUADRILLA No 4 (2 AYUDANTE GENERAL)	\$12.73	0.82%
SUBTOTAL:	MANO DE OBRA	\$551.43	35.70%
EQUIPO Y HERRAMIENTA			
%MO1	HERRAMIENTA MENOR	\$16.92	1.10%
%MO2	ANDAMIOS	\$16.92	1.10%
EQMAL	MALCATE ELECTRICO	\$8.26	0.53%
EQVIBRA	VIBRADOR PARA CONCRETO	\$3.39	0.22%
%MO5	EQUIPO DE SEGURIDAD	\$11.28	0.73%
SUBTOTAL:	EQUIPO Y HERRAMIENTA	\$56.78	3.68%
	(CD) Costo directo	\$1,390.96	100.00%

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Código	Concepto	Importe	%
Análisis:	MURO DE BLOCK	\$495.96	
<p>Muro de 15 cm. de block de concreto de 15x20x40 cm. asentado con mezcla cemento arena 1:5, acabado común, con refuerzos horizontales a base de escalerilla a cada 2 hiladas, incluye: materiales, acarreos, mano de obra, equipo y herramienta.</p>			
MATERIALES			
310-BCK-0103	BLOCK DE CONCRETO HUECO DE 15x20x40	\$174.72	35.23%
303-ARF-1501	ESCALERILLA 15-2, M	\$45.97	9.27%
310-BCK-0203	BLOCK (1/2) DE CONCRETO HUECO 15x20x20	\$15.81	3.19%
SUBTOTAL:	MATERIALES	\$236.50	47.68%
MANO DE OBRA			
1A1P	CUADRILLA No 5 (1 ALBAÑIL+1 PEON)	\$182.84	36.87%
SUBTOTAL:	MANO DE OBRA	\$182.84	36.87%
EQUIPO Y HERRAMIENTA			
%MO1	HERRAMIENTA MENOR	\$16.92	3.41%
%MO2	ANDAMIOS	\$16.92	3.41%
%MO5	EQUIPO DE SEGURIDAD	\$11.28	2.28%
SUBTOTAL:	EQUIPO Y HERRAMIENTA	\$45.12	9.10%
BASICOS			
10401-544	MORTERO CEMENTO ARENA EN PROPORCION DE 1:5, INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, EQUIPO Y HERRAMIENTA.	\$31.51	6.35%
SUBTOTAL:	BASICOS	\$31.51	6.35%
	(CD) Costo directo	\$495.96	100.00%

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Código	Concepto	Importe	%
Análisis:	MURO DE TABIQUE ROJO	\$590.83	
Muro de 14 cm. de espesor, de tabique rojo recocido, asentado con mezcla cemento arena 1:5 acabado común, incluye: materiales, mano de obra, equipo y herramienta.			
MATERIALES			
310-TAB-0202	TABIQUE ROJO RECOCIDO DE 6x13x26 CM.	\$246.27	41.68%
SUBTOTAL:	MATERIALES	\$246.27	41.68%
MANO DE OBRA			
1A1P	CUADRILLA No 5 (1 ALBAÑIL+1 PEON)	\$228.55	38.68%
SUBTOTAL:	MANO DE OBRA	\$228.55	38.68%
EQUIPO Y HERRAMIENTA			
%MO1	HERRAMIENTA MENOR	\$16.92	2.86%
%MO2	ANDAMIOS	\$16.92	2.86%
%MO5	EQUIPO DE SEGURIDAD	\$11.28	1.91%
SUBTOTAL:	EQUIPO Y HERRAMIENTA	\$45.12	7.64%
BASICOS			
10401-544	MORTERO CEMENTO ARENA EN PROPORCION DE 1:5, INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, EQUIPO Y HERRAMIENTA.	\$70.89	12.00%
SUBTOTAL:	BASICOS	\$70.89	12.00%
	(CD) Costo directo	\$590.83	100.00%

**APÉNDICE E: AHORROS ECONÓMICOS PROYECTADOS POR DISMINUCIÓN DE
CONSUMO ENERGÉTICO DE PROTOTIPOS DE VIVIENDA TIPO**

AHORROS ECONOMICOS PROYECTADOS POR DISMINUCION DE CONSUMO ENERGETICO DE PROTOTIPOS DE VIVIENDA TIPO

TREMATA			11%			VBT \$ 318,434.34			VMT+A Inversión inicial \$ 328,522.22			VMT+B Inversión inicial \$ 199,249.46			VMT+C Inversión inicial \$ 212,952.24		
Consumo Anual por climatización			3,362.70			2,332.36			1,030.34			1,746.75			1,820.27		
Año	INPC	\$ / kWh	Pago anual	Ahorro Anual		Pago anual	Ahorro Anual	Flujo	Pago anual	Ahorro Anual	Flujo	Pago anual	Ahorro Anual	Flujo	Pago anual	Ahorro Anual	Flujo
2023		\$ 1,219															
2024	5.29%	\$ 1,283	\$ 4,315.82	\$ -	\$ 2,993.45	\$ 1,322.37	-\$ 327,199.85	\$ 2,241.85	\$ 2,073.97	-\$ 197,175.49	\$ 1,979.61	\$ 2,336.21	-\$ 210,616.03				
2025	5.29%	\$ 1,351	\$ 4,543.96	\$ -	\$ 3,151.69	\$ 1,392.28	-\$ 325,807.57	\$ 2,360.36	\$ 2,183.60	-\$ 194,991.88	\$ 2,084.25	\$ 2,459.71	-\$ 208,156.32				
2026	5.29%	\$ 1,423	\$ 4,784.17	\$ -	\$ 3,318.29	\$ 1,465.88	-\$ 324,341.69	\$ 2,485.13	\$ 2,299.04	-\$ 192,692.85	\$ 2,194.43	\$ 2,589.73	-\$ 205,566.59				
2027	5.29%	\$ 1,498	\$ 5,037.07	\$ -	\$ 3,493.70	\$ 1,543.37	-\$ 322,798.33	\$ 2,616.50	\$ 2,420.57	-\$ 190,272.28	\$ 2,310.44	\$ 2,726.63	-\$ 202,839.95				
2028	5.29%	\$ 1,577	\$ 5,303.34	\$ -	\$ 3,678.39	\$ 1,624.95	-\$ 321,173.38	\$ 2,754.82	\$ 2,548.52	-\$ 187,723.76	\$ 2,432.57	\$ 2,870.77	-\$ 199,969.18				
2029	5.29%	\$ 1,660	\$ 5,583.69	\$ -	\$ 3,872.84	\$ 1,710.85	-\$ 319,462.52	\$ 2,900.44	\$ 2,683.24	-\$ 185,040.51	\$ 2,561.16	\$ 3,022.52	-\$ 196,946.66				
2030	5.29%	\$ 1,748	\$ 5,878.85	\$ -	\$ 4,077.56	\$ 1,801.29	-\$ 317,661.24	\$ 3,053.77	\$ 2,825.09	-\$ 182,215.43	\$ 2,696.55	\$ 3,182.30	-\$ 193,764.36				
2031	5.29%	\$ 1,841	\$ 6,189.62	\$ -	\$ 4,293.11	\$ 1,896.51	-\$ 315,764.73	\$ 3,215.19	\$ 2,974.43	-\$ 179,241.00	\$ 2,839.10	\$ 3,350.53	-\$ 190,413.83				
2032	5.29%	\$ 1,938	\$ 6,516.82	\$ -	\$ 4,520.05	\$ 1,996.76	-\$ 313,767.96	\$ 3,385.16	\$ 3,131.66	-\$ 176,109.34	\$ 2,989.18	\$ 3,527.64	-\$ 186,886.19				
2033	5.29%	\$ 2,040	\$ 6,861.31	\$ -	\$ 4,758.99	\$ 2,102.32	-\$ 311,665.65	\$ 3,564.10	\$ 3,297.21	-\$ 172,812.13	\$ 3,147.19	\$ 3,714.12	-\$ 183,172.07				
2034	5.29%	\$ 2,148	\$ 7,224.02	\$ -	\$ 5,010.57	\$ 2,213.45	-\$ 309,452.20	\$ 3,752.51	\$ 3,471.51	-\$ 169,340.62	\$ 3,313.56	\$ 3,910.46	-\$ 179,261.61				
2035	5.29%	\$ 2,262	\$ 7,605.89	\$ -	\$ 5,275.44	\$ 2,330.46	-\$ 307,121.74	\$ 3,950.88	\$ 3,655.02	-\$ 165,685.61	\$ 3,488.72	\$ 4,117.17	-\$ 175,144.44				
2036	5.29%	\$ 2,381	\$ 8,007.96	\$ -	\$ 5,554.31	\$ 2,453.65	-\$ 304,668.09	\$ 4,159.73	\$ 3,848.23	-\$ 161,837.38	\$ 3,673.14	\$ 4,334.82	-\$ 170,809.62				
2037	5.29%	\$ 2,507	\$ 8,431.28	\$ -	\$ 5,847.92	\$ 2,583.36	-\$ 302,084.73	\$ 4,379.62	\$ 4,051.66	-\$ 157,785.72	\$ 3,867.31	\$ 4,563.96	-\$ 166,245.66				
2038	5.29%	\$ 2,640	\$ 8,876.97	\$ -	\$ 6,157.05	\$ 2,719.92	-\$ 299,364.81	\$ 4,611.14	\$ 4,265.84	-\$ 153,519.89	\$ 4,071.75	\$ 4,805.23	-\$ 161,440.43				
2039	5.29%	\$ 2,779	\$ 9,346.23	\$ -	\$ 6,482.53	\$ 2,863.70	-\$ 296,501.11	\$ 4,854.89	\$ 4,491.34	-\$ 149,028.55	\$ 4,286.99	\$ 5,059.24	-\$ 156,381.19				
2040	5.29%	\$ 2,926	\$ 9,840.29	\$ -	\$ 6,825.21	\$ 3,015.08	-\$ 293,486.03	\$ 5,111.53	\$ 4,728.76	-\$ 144,299.79	\$ 4,513.61	\$ 5,326.68	-\$ 151,054.51				
2041	5.29%	\$ 3,081	\$ 10,360.47	\$ -	\$ 7,186.01	\$ 3,174.46	-\$ 290,311.57	\$ 5,381.74	\$ 4,978.73	-\$ 139,321.06	\$ 4,752.21	\$ 5,608.26	-\$ 145,446.25				
2042	5.29%	\$ 3,244	\$ 10,908.15	\$ -	\$ 7,565.87	\$ 3,342.27	-\$ 286,969.30	\$ 5,666.23	\$ 5,241.92	-\$ 134,079.14	\$ 5,003.42	\$ 5,904.73	-\$ 139,541.52				
2043	5.29%	\$ 3,415	\$ 11,484.78	\$ -	\$ 7,965.82	\$ 3,518.95	-\$ 283,450.34	\$ 5,965.76	\$ 5,519.02	-\$ 128,560.12	\$ 5,267.91	\$ 6,216.87	-\$ 133,324.65				
2044	5.29%	\$ 3,596	\$ 12,091.89	\$ -	\$ 8,386.91	\$ 3,704.97	-\$ 279,745.37	\$ 6,281.12	\$ 5,810.77	-\$ 122,749.36	\$ 5,546.38	\$ 6,545.50	-\$ 126,779.15				
2045	5.29%	\$ 3,786	\$ 12,731.09	\$ -	\$ 8,830.26	\$ 3,900.83	-\$ 275,844.54	\$ 6,613.16	\$ 6,117.94	-\$ 116,631.42	\$ 5,839.58	\$ 6,891.51	-\$ 119,887.64				
2046	5.29%	\$ 3,986	\$ 13,404.08	\$ -	\$ 9,297.05	\$ 4,107.03	-\$ 271,737.51	\$ 6,962.74	\$ 6,441.34	-\$ 110,190.08	\$ 6,148.27	\$ 7,255.81	-\$ 112,631.83				
2047	5.29%	\$ 4,197	\$ 14,112.65	\$ -	\$ 9,788.51	\$ 4,324.14	-\$ 267,413.37	\$ 7,330.81	\$ 6,781.85	-\$ 103,408.23	\$ 6,473.28	\$ 7,639.37	-\$ 104,992.45				
2048	5.29%	\$ 4,419	\$ 14,858.68	\$ -	\$ 10,305.96	\$ 4,552.72	-\$ 262,860.65	\$ 7,718.33	\$ 7,140.35	-\$ 96,267.88	\$ 6,815.48	\$ 8,043.21	-\$ 96,949.25				
2049	5.29%	\$ 4,652	\$ 15,644.14	\$ -	\$ 10,850.75	\$ 4,793.39	-\$ 258,067.26	\$ 8,126.34	\$ 7,517.81	-\$ 88,750.07	\$ 7,175.76	\$ 8,468.39	-\$ 88,480.86				
2050	5.29%	\$ 4,898	\$ 16,471.13	\$ -	\$ 11,424.35	\$ 5,046.78	-\$ 253,020.48	\$ 8,555.91	\$ 7,915.21	-\$ 80,834.86	\$ 7,555.08	\$ 8,916.04	-\$ 79,564.82				
2051	5.29%	\$ 5,157	\$ 17,341.83	\$ -	\$ 12,028.26	\$ 5,313.56	-\$ 247,706.91	\$ 9,008.20	\$ 8,333.63	-\$ 72,501.23	\$ 7,954.46	\$ 9,387.37	-\$ 70,177.45				
2052	5.29%	\$ 5,430	\$ 18,258.56	\$ -	\$ 12,664.11	\$ 5,594.45	-\$ 242,112.46	\$ 9,484.39	\$ 8,774.16	-\$ 63,727.07	\$ 8,374.95	\$ 9,883.60	-\$ 60,293.85				
2053	5.29%	\$ 5,717	\$ 19,223.74	\$ -	\$ 13,333.56	\$ 5,890.19	-\$ 236,222.28	\$ 9,985.76	\$ 9,237.98	-\$ 54,489.09	\$ 8,817.67	\$ 10,406.07	-\$ 49,887.77				
2054	5.29%	\$ 6,019	\$ 20,239.95	\$ -	\$ 14,038.40	\$ 6,201.55	-\$ 230,020.73	\$ 10,513.63	\$ 9,726.32	-\$ 44,762.76	\$ 9,283.79	\$ 10,956.16	-\$ 38,931.61				
2055	5.29%	\$ 6,337	\$ 21,309.88	\$ -	\$ 14,780.50	\$ 6,529.38	-\$ 223,491.34	\$ 11,069.40	\$ 10,240.48	-\$ 34,522.28	\$ 9,774.55	\$ 11,535.33	-\$ 27,396.29				
2056	5.29%	\$ 6,672	\$ 22,436.37	\$ -	\$ 15,561.83	\$ 6,874.54	-\$ 216,616.81	\$ 11,654.55	\$ 10,781.81	-\$ 23,740.47	\$ 10,291.26	\$ 12,145.11	-\$ 15,251.17				
2057	5.29%	\$ 7,025	\$ 23,622.41	\$ -	\$ 16,384.46	\$ 7,237.94	-\$ 209,378.86	\$ 12,270.64	\$ 11,351.77	-\$ 12,388.70	\$ 10,835.28	\$ 12,787.13	-\$ 2,464.05				
2058	5.29%	\$ 7,396	\$ 24,871.14	\$ -	\$ 17,250.58	\$ 7,620.56	-\$ 201,758.31	\$ 12,919.29	\$ 11,951.84	-\$ 436.86	\$ 11,408.05	\$ 13,463.08	-\$ 10,999.04				
2059	5.29%	\$ 7,787	\$ 26,185.88	\$ -	\$ 18,162.49	\$ 8,023.40	-\$ 193,734.91	\$ 13,602.24	\$ 12,583.65	-\$ 12,146.79	\$ 12,011.11	\$ 14,174.77	-\$ 25,173.81				
2060	5.29%	\$ 8,199	\$ 27,570.13	\$ -	\$ 19,122.60	\$ 8,447.53	-\$ 185,287.38	\$ 14,321.28	\$ 13,248.84	-\$ 25,395.63	\$ 12,646.04	\$ 14,924.08	-\$ 40,097.89				
2061	5.29%	\$ 8,632	\$ 29,027.54	\$ -	\$ 20,133.46	\$ 8,894.09	-\$ 176,393.30	\$ 15,078.34	\$ 13,949.21	-\$ 39,344.84	\$ 13,314.54	\$ 15,713.00	-\$ 55,810.90				
2062	5.29%	\$ 9,089	\$ 30,562.00	\$ -	\$ 21,197.76	\$ 9,364.25	-\$ 167,029.05	\$ 15,875.41	\$ 14,686.59	-\$ 54,031.44	\$ 14,018.38	\$ 16,543.63	-\$ 72,354.52				
2063	5.29%	\$ 9,569	\$ 32,177.58	\$ -	\$ 22,318.32	\$ 9,859.26	-\$ 157,169.79	\$ 16,714.62	\$ 15,462.96	-\$ 69,494.40	\$ 14,759.42	\$ 17,418.16	-\$ 89,772.68				
2064	5.29%	\$ 10,075	\$ 33,878.56	\$ -	\$ 23,498.11	\$ 10,380.44	-\$ 146,789.35	\$ 17,598.19	\$ 16,280.37	-\$ 85,774.76	\$ 15,539.64	\$ 18,338.92	-\$ 108,111.61				
2065	5.29%	\$ 10,607	\$ 35,669.45	\$ -	\$ 24,740.28	\$ 10,929.18	-\$ 135,860.17	\$ 18,528.47	\$ 17,140.98	-\$ 102,915.75	\$ 16,361.09	\$ 19,308.36	-\$ 127,419.97				
2066	5.29%	\$ 11,168	\$ 37,555.02	\$ -	\$ 26,048.10	\$ 11,506.92	-\$ 124,353.25	\$ 19,507.93	\$ 18,047.09	-\$ 120,962.84	\$ 17,225.98	\$ 20,329.04	-\$ 147,749.01				
2067	5.29%	\$ 11,758	\$ 39,540.26	\$ -	\$ 27,425.06	\$ 12,115.20	-\$ 112,238.05	\$ 20,539.16	\$ 19,001.10	-\$ 139,963.94	\$ 18,136.58	\$ 21,403.68	-\$ 169,152.69				
2068	5.29%	\$ 12,380	\$ 41,630.45	\$ -	\$ 28,874.81	\$ 12,755.63	-\$ 99,482.42	\$ 21,624.90	\$ 20,055.54	-\$ 159,969.49	\$ 19,095.32	\$ 22,535.13	-\$ 191,687.81				
2069	5.29%	\$ 13,035	\$ 43,831.13	\$ -	\$ 30,401.20	\$ 13,429.93	-\$ 86,052.49	\$ 22,768.04	\$ 21,063.08	-\$ 181,032.57	\$ 20,104.74	\$ 23,726.38	-\$ 215,414.20				
2070	5.29%	\$ 13,724	\$ 46,148.14	\$ -	\$ 32,008.27	\$ 14,139.86	-\$ 71,912.63	\$ 23,971.61	\$ 22,176.52	-\$ 203,209.09	\$ 21,167.52	\$ 24,980.61	-\$ 240,394.81				
2071	5.29%	\$ 14,449	\$ 48,587.63	\$ -	\$ 33,700.30	\$ 14,887.33	-\$ 57,025.30	\$ 25,238.81	\$ 23,348.82	-\$ 226,557.91	\$ 22,286.49	\$ 26,301.14	-\$ 266,695.95				
2072	5.29%	\$ 15,213	\$ 51,156.08	\$ -	\$ 35,481.78	\$ 15,674.30	-\$ 41,351.00	\$ 26,572.99	\$ 24,583.09	-\$ 251,141.00	\$ 23,464.60	\$ 27,691.48	-\$ 294,387.43				
2073	5.29%	\$ 16,017	\$ 53,860.30	\$ -	\$ 37,357.42	\$ 16,502.88	-\$ 24,848.12	\$ 27,977.69	\$ 25,882.61	-\$ 277,023.61	\$ 24,704.99	\$ 29,155.31	-\$ 323,542.74				
2074	5.29%	\$ 16,864	\$ 56,707.48	\$ -	\$ 39,332.22	\$ 17,375.26	-\$ 7,472.86										
2075	5.29%	\$ 17,755	\$ 59,705.16	\$ -	\$ 41,411.41	\$ 18,293.76	-\$ 10,820.90										
Suma			\$ 991,098.36		\$ 687,424.26			\$ 514,825.29				\$ 454,603.38					
Ahorro de Inversión Inicial				\$ -		-\$ 10,087.88			\$ 119,184.88				\$ 105,482.10				
Ahorro por eficiencia energética				\$ -		\$ 339,343.12			\$ 476,273.07				\$ 536,494.98				
Ahorro total				\$ -		\$ 329,255.24			\$ 595,457.95				\$ 641,977.08				
TIR						-0.2%			2.7%				2.9%				
VAN						-106,815.34			148,468.76				178,732.89				
PR						50.41			34.03				33.18				

Fuente: INEGI <https://www.inegi.org.mx/app/indicesdeprecios/Estructura.aspx?idEstructura=112001300040&T=C3&Dndices%20de%20Precios%20al%20Consumidor&ST=INPC%20Nacional%20>

ANEXO 1: RECIBO DE CONSUMO ELÉCTRICO (CFE)



CFE Suministrador de Servicios Básicos
Río Ródano No. 14, colonia Cuauhtémoc,
Alcaldía Cuauhtémoc, Código Postal 06500,
Ciudad de México. RFC: CSS160330CP7

TLAQUEPAQUE, JAL.

NO. DE SERVICIO: /

RMU: /

LÍMITE DE PAGO: 05 DIC 23

CORTE A PARTIR: 06 DIC 23

TARIFA: 01 NO. MEDIDOR: /

MULTIPLICADOR: 1

PERIODO FACTURADO: 18 SEP 23 - 16 NOV 23

¿QUIERES RECIBIR TU RECIBO DIGITAL?

En 3 Pasos:

1. Escanea el QR.
2. Actualiza tus datos.
3. Listo.



Concepto	Lectura actual		Lectura anterior		Total periodo	Precio (MXN)	Subtotal (MXN)
	Medida <input checked="" type="checkbox"/>	Estimada <input type="checkbox"/>	Medida <input checked="" type="checkbox"/>	Estimada <input type="checkbox"/>			
Energía (kWh)	7,585		7,391		194		
Básico					150	0.999	149.85
Intermedio					44	1.219	53.63
Suma					194		203.48

Este gráfico refleja tu nivel de consumo. A menor uso, mayor apoyo.

Costos de la energía en el Mercado Eléctrico Mayorista				
Concepto	\$	\$/kW	\$/kWh	Importe (MXN)
Suministro	72.60	0.00	0.00	72.60
Distribución	0.00	0.00	329.74	329.74
Transmisión	0.00	0.00	34.11	34.11
CENACE	0.00	0.00	1.22	1.22
Energía	0.00	0.00	157.14	157.14
Capacidad	0.00	0.00	101.27	101.27
SCnMEM(1)	0.00	0.00	1.20	1.20

Desglose del importe a pagar	
Concepto	Importe (MXN)
Energía	203.49
IVA 16%	32.56
Fac. del Periodo	236.05
Adeudo Anterior	317.35
Su Pago	-317.00
Total	236.40

Apoyo Gubernamental 493.78

Fecha, hora y lugar de impresión: 09/01/2024 20:52:04hrs Pasa Rica 1696 18 de Marzo Guadalajara Guadalajara Jalisco México 44000

(1) SCnMEM: Costos relacionados con los servicios del Mercado. (2) DAP: Derecho al Alumbrado Público. (3) Cargos o créditos: Diversos conceptos que se pueden incluir en el aviso recibo relacionados con el suministro.

