



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA
MAESTRIA EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y TECNOLOGÍAS SUSTENTABLES



ADAPTACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA DE ENERGÍA NETA CERO PARA EDIFICACIONES DE MORELOS

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO
ACADÉMICO DE

MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y
TECNOLOGÍAS SUSTENTABLES

PRESENTA:

I.M. ERICK EMMANUEL VÁZQUEZ FUENTES

DIRECTOR: **DR. MOISÉS MONTIEL GONZÁLEZ**

CODIRECTOR: **DR. ROBERTO ALVARADO JUÁREZ**



CUERNAVACA, MORELOS, MÉXICO 2024

Agradecimientos

A mi familia y amigos les agradezco su apoyo, a mis asesores y comité agradezco su tiempo y su paciencia. Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCyT) por la beca otorgada, y a la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería (FCQeI) por facilitar la infraestructura.

Resumen

El aumento poblacional y la extracción de recursos naturales han incrementado las emisiones de gases de efecto invernadero. La descarbonización de la economía busca transformar sectores como el de edificios, reduciendo su consumo energético a través de Edificios de Cero Energía Neta (NZEB). Estos edificios tienen un consumo energético muy bajo, suplido por energía neta cero; su implementación aún es incipiente debido a la falta de información y proyectos piloto.

Este estudio detalla la metodología y ecotecnologías necesarias para diseñar una edificación residencial con energía neta cero en Morelos, un estado con clima cálido subhúmedo. Las ecotecnologías incluyen paneles solares fotovoltaicos, paneles solares térmicos, intercambiador de calor tierra-aire, focos LED ahorradores, recubrimientos térmicos y vidrios de baja transmisión de calor.

Se utilizaron herramientas de Modelado de Información para la Construcción (BIM) para evaluar cinco climas del Estado de Morelos (Jiutepec, Temixco, Cuernavaca, Huitzilac y Jojutla). Los resultados mostraron una reducción hasta del 29.5% en las cargas térmicas y el consumo energético, destacando la importancia de la orientación de las edificaciones y la selección de materiales aislantes.

Las ecotecnologías implementadas (focos LED y recubrimientos térmicos) demostraron ser energéticamente eficientes. Además, se calcularon los paneles fotovoltaicos necesarios para ser implementados en cada clima, mostrando el potencial de ahorro energético y la viabilidad de las edificaciones autosustentables en Morelos.

Los resultados de este estudio muestran que la adaptación de la metodología es adecuada y pertinente para aplicarse en el estado de Morelos, así como la viabilidad de implementación de ecotecnologías para lograr edificaciones con energía neta cero en esta entidad. Cabe mencionar que los resultados obtenidos pueden ser escalables a otros municipios y estados de la República Mexicana con los climas similares que fueron modelados en este trabajo. También es importante destacar la necesidad de políticas públicas y normativas que promuevan la construcción sostenible, así como la colaboración entre el sector académico, político y privado para la aplicación de estas soluciones innovadoras.

Abstract

Population growth and natural resource extraction have increased greenhouse gas emissions. The decarbonization of the economy aims to transform sectors such as buildings, by reducing their energy consumption through Net Zero Energy Buildings (NZEB). These buildings have very low energy consumption, supplied by net zero energy, although their implementation is still incipient due to the lack of information and pilot projects although their implementation is still in its early stages due to a lack of information and pilot projects.

The project details the methodology and eco-technologies required to design a net-zero energy residential building in Morelos, a state with a warm subhumid climate. The eco-technologies include photovoltaic solar panels, thermal solar panels, ground-air heat exchangers, energy-saving LED light bulbs, thermal coatings and low heat transmission glass.

Building Information Modelling (BIM) tools were used to evaluate five climates of the State of Morelos (Jiutepec, Temixco, Cuernavaca, Huitzilac and Jojutla). The results showed a reduction of up to 29.5% in thermal loads and energy consumption, highlighting the importance of building orientation and the choice of insulation materials.

The implemented eco-technologies (LED lights and thermal coatings) proved to be energy efficient. In addition, the photovoltaic panels necessary to be implemented in each climate were calculated, showing the potential for energy savings and the viability of self-sustaining buildings in Morelos.

The results of this study show that the adaptation of the methodology is appropriate and relevant to be applied in the state of Morelos, as well as the feasibility of implementing eco-technologies to achieve zero net energy buildings in this entity. It is worth noting that the results obtained can be scalable to other municipalities and states of the Mexican Republic with the same climate as that modelled in this work. It is also important to highlight the need for public policies and regulations that promote sustainable construction, as well as collaboration between the academic, political and private sectors for the application of these innovative solutions.

TABLA DE CONTENIDO

Agradecimientos	II
Resumen.....	III
Abstract	IV
TABLA DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
Abreviaturas	X
1 CAPÍTULO 1 -INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	2
1.1.1 Origen y evolución del DS	2
1.1.2 Avances en el DS	2
1.2 Economía circular.....	3
1.3 Impactos y control en las edificaciones.....	4
1.3.1 Impactos ambientales por edificaciones	4
1.3.2 Normas y legislaciones	5
1.3.3 Instituciones gubernamentales	5
1.4 NZEB, nZEB y las ecotecnologías.....	5
1.4.1 Paneles solares fotovoltaicos	5
1.4.2 Paneles solares térmicos o calentadores solares	7
1.4.3 Intercambiador de calor tierra-aire.....	8
1.4.4 Focos ahorradores LED	9
1.4.5 Recubrimientos térmicos.....	10
1.4.6 Vidrios y su transmisión de calor.....	13
1.5 ¿Qué es la ASHRAE?.....	14
1.5.1 La climatización con eficiencia energética (HVAC)	14
1.6 Carga térmica	15
1.6.1 Tipos de cargas térmicas	15
1.7 Planteamiento del problema de investigación.	15
1.8 Justificación.....	16
1.9 Objetivos	16
1.9.1 Objetivo general	16
1.9.2 Objetivos específicos	16
2 CAPÍTULO 2 -EDIFICACIONES DE ENERGÍA NETA CERO	18

2.1	Energía Neta cero en el mundo.	18
2.1.1	Energía Neta cero en los continentes	18
2.2	Diseño o arquitectura bioclimática.....	19
2.2.1	Construcción con alta eficiencia energética.....	20
2.2.2	Integración de sistemas de energía renovable.....	20
2.2.3	Gestión inteligente de la energía.....	20
2.2.4	Uso de materiales sostenibles	20
2.2.5	Enfoque de ciclo de vida.....	20
2.2.6	Enfoque colaborativo	20
2.3	Evaluación de sostenibilidad de un edificio	21
2.4	Certificaciones y estándares de construcción sostenible	23
2.4.1	Tipos de sistemas de medición.....	23
2.4.2	Sistemas de certificación ambiental	24
2.4.3	Certificación de la sostenibilidad	24
3	CAPÍTULO 3 -DISEÑO Y METODOLOGÍA	33
3.1	Metodología BIM	33
3.1.1	Beneficios del BIM	34
3.1.2	Limitaciones del BIM	34
3.2	Plataforma de la metodología BIM	35
3.2.1	IFC Builder	35
3.2.2	CYPETHERM LOADS	37
3.2.3	CYPE Architecture	38
3.2.4	Open BIM Layout	39
3.2.5	CYPETHERM HE Plus	40
3.3	Modelado de viviendas en el estado de Morelos.....	43
3.3.1	Clima semicálido-vivienda en Jiutepec.....	43
3.3.2	Clima cálido subhúmedo-vivienda en Temixco.....	48
3.3.3	Clima templado-Vivienda en Cuernavaca	51
3.3.4	Clima semifrío-Vivienda en Huitzilac	54
3.3.5	Clima cálido-Edificio plurifamiliar en Jojutla	57
3.4	Metodología de estudio	60
3.4.1	Puntos de la metodología NZEB y Passivhaus.	61
3.5	Edificación plurifamiliar de prueba.....	63
4	CAPÍTULO 4.....	68

4.1	Análisis de cargas térmicas en los climas de estudio	68
4.1.1	Vivienda en Jiutepec	69
4.1.2	Vivienda en Temixco	71
4.1.3	Vivienda en Cuernavaca (Lomas de Ahuatlán)	73
4.1.4	Vivienda en Huitzilac.....	75
4.1.5	Vivienda de Jiutepec con clima de Jojutla	78
4.2	Implementación ecotecnologías eficientes	81
4.2.1	Focos ahorradores	81
4.2.2	Implementación de revestimientos.....	81
4.2.3	Cálculo para paneles fotovoltaicos	84
5	CONCLUSIONES	86
	RECOMENDACIONES	87
6	BIBLIOGRAFÍA	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Objetivos de desarrollo sostenible para agenda 2030.....	1
Figura 1.2 Economía lineal vs. Economía circular.	3
Figura 1.3 Esferas de sustentabilidad haciendo referencia al estudio de NZEB, nZEB.	4
Figura 1.4 Tipos de Calentadores solares.	8
Figura 1.5 Funcionamiento de un pozo canadiense.	9
Figura 1.6 Estructura del LED estándar.	9
Figura 1.7 Sistemas de aislamiento térmicos.	11
Figura 1.8 Perspectiva para el cálculo de cargas térmicas.	15
Figura 2.1 Representación de una edificación neta cero.	22
Figura 2.2 Leadership in Energy and Environmental Design.	25
Figura 2.3 Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology.	25
Figura 2.4 Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency.	26
Figura 2.5 Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen.	27
Figura 2.6 Passivhaus principios básicos.	28
Figura 2.7 Categoría o sello de EnerPhit.	29
Figura 3.1 Microclimas predominantes del estado de Morelos.	33
Figura 3.2 La sexta dimensión del BIM, aplicado a la eficiencia energética.	34
Figura 3.3 Sincronización de aplicaciones BIMserver.center.	35
Figura 3.4 Galería de aportaciones de diseños creados en IFC Builder.	36
Figura 3.5 Galería de aportaciones de diseños creados en la aplicación CYPETHERM LOADS.	38
Figura 3.6 Galería de aportaciones de diseños creados en CYPE Architecture.	39
Figura 3.7 Galería de aportaciones de diseños creados en Open BIM Layout.	40
Figura 3.8 Galería de aportaciones de diseños creados en CYPETHERM HE Plus.	42
Figura 3.9 Orientación de la edificación en Jiutepec.	43
Figura 3.10 Planos de edificación para análisis creado mediante Open BIM Layout.	44
Figura 3.11 Edificación para análisis diseñada en CYPE Architecture.	44
Figura 3.12 Plano 2D de la edificación en IFC Builder.	45
Figura 3.13 Edificación 3D en IFC Builder.	45
Figura 3.14 Datos de emplazamiento localidad Jiutepec Morelos.	46
Figura 3.15 Materiales implementados en el diseño de Cuernavaca en CYPETHERM LOADS.	46
Figura 3.16 Datos meteorológicos utilizados en CYPETHERM HE Plus.	47
Figura 3.17 Datos de estructura del edificio plurifamiliar en CYPETHERM HE Plus.	48
Figura 3.18 Orientación de la edificación en Temixco.	49
Figura 3.19 Plano 2D de la edificación ubicada en Temixco.	49
Figura 3.20 Plano 3D de la edificación ubicada en Temixco.	50
Figura 3.21 Datos de emplazamiento localidad Temixco Morelos.	50
Figura 3.22 Materiales implementados en el diseño de Temixco en CYPETHERM LOADS.	51
Figura 3.23 Orientación de la edificación en Cuernavaca.	51
Figura 3.24 Plano 2D de la edificación ubicada en Cuernavaca.	52
Figura 3.25 Plano 3D de la edificación ubicada en Cuernavaca.	52
Figura 3.26 Datos de emplazamiento localidad Cuernavaca Morelos.	53
Figura 3.27 Materiales implementados en el diseño de Cuernavaca en CYPETHERM LOADS.	53
Figura 3.28 Orientación de la edificación en Huitzilac.	54

Figura 3.29 Plano 2D de la edificación ubicada en Huitzilac.	55
Figura 3.30 Plano 3D de la edificación ubicada en Huitzilac.	55
Figura 3.31 Datos de emplazamiento localidad Huitzilac Morelos.	56
Figura 3.32 Materiales implementados en el diseño de Huitzilac en CYPETHERM LOADS.	56
Figura 3.33 Orientación de la edificación en Jojutla.	57
Figura 3.34 Plano 2D de la edificación ubicada en Jojutla.	58
Figura 3.35 Plano 3D de la edificación ubicada en Jojutla.	58
Figura 3.36 Datos de emplazamiento localidad Jojutla Morelos.	59
Figura 3.37 Materiales implementados en el diseño de Jojutla en CYPETHERM LOADS.	59
Figura 3.38 Diagrama de la metodología NZEB/ Passivhaus.	60
Figura 3.39 Carga máxima simultánea de refrigeración en edificio plurifamiliar de Jojutla.	64
Figura 3.40 Carga máxima simultánea de calefacción edificio plurifamiliar Jojutla.	65
Figura 3.41 Cargas térmicas mensuales de cada recinto en Jojutla obtenido del CYPETHERM LOADS.	66
Figura 3.42 Evolución horaria en el mes julio de la carga térmica edificio plurifamiliar Jojutla.	67
Figura 3.43 Temperatura anual de la edificación interior y exterior.	67
Figura 4.1 representación de las gráficas en CYPETHERM LOADS.	68
Figura 4.2 Carga máxima simultanea de refrigeración en vivienda de Jiutepec.	69
Figura 4.3 Cargas térmicas mensuales por recinto para vivienda de Jiutepec.	70
Figura 4.4 Evolución horaria en el mes Junio de la carga térmica en vivienda Jiutepec.	70
Figura 4.5 Carga máxima simultanea de refrigeración para vivienda en Temixco.	71
Figura 4.6 Carga máxima simultanea de calefacción para vivienda en Temixco.	71
Figura 4.7 Cargas térmicas mensuales por recinto para vivienda de Temixco.	72
Figura 4.8 Evolución horaria de la carga térmica en vivienda de Temixco.	72
Figura 4.9 Temperatura anual interior y exterior para la vivienda de Temixco.	73
Figura 4.10 Carga máxima simultánea de refrigeración para vivienda de Cuernavaca.	74
Figura 4.11 Cargas térmicas mensuales de cada recinto en Cuernavaca.	74
Figura 4.12 Evolución horaria en el mes julio de la carga térmica en vivivenda en Cuernavaca.	75
Figura 4.13 Carga máxima simultánea de refrigeración vivivenda en Huitzilac.	76
Figura 4.14 Carga máxima simultánea de calefacción vivivenda en Huitzilac.	76
Figura 4.15 Cargas térmicas mensuales de cada recinto en Huitzilac obtenido del CYPETHERM LOADS.	77
Figura 4.16 Evolución horaria en el mes julio de la carga térmica en vivivenda en Huitzilac.	77
Figura 4.17 Carga máxima simultánea de refrigeración en edificio de Jojutla.	78
Figura 4.18 Carga máxima simultánea de calefacción edificio Jojutla.	78
Figura 4.19 Evolución horaria en el mes julio de la carga térmica en Jojutla.	79
Figura 4.20 Cargas térmicas mensuales de cada recinto en Jojutla obtenido del CYPETHERM LOADS.	80
Figura 4.21 Gráfica comparativa de los diferentes revestimientos en cada municipio.	82
Figura 4.22 Gráfica comparativa de las diferentes ecotecnologías en cada municipio.	83
Figura 4.23 Gráfica comparativa de las diferentes ecotecnologías del mismo edificio, pero ubicado en diferentes municipios.	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Diferencias entre los paneles según la tecnología de construcción.	7
Tabla 2 Datos del panel de mezclilla reutilizado.	12
Tabla 3 Tabla comparativa de materiales aislantes.....	12
Tabla 4 Membranas impermeabilizantes.	12
Tabla 5: Criterios EnerPHit para componentes.....	30
Tabla 6 Criterios de demanda energética EnerPHit	31
Tabla 7 Criterios generales EnerPHit.....	32
Tabla 8 Comparativa de tipos de focos para la primera residencia.	81
Tabla 9 Resultados del CYPETHERM LOADS de las edificaciones respecto al revestimiento aislante.	82
Tabla 10 Cantidad de paneles necesarios para ls viviendo en Jiutepec.	85

Abreviaturas

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc (Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado)
BIM	Building Information Modeling (Modelado de información de construcción)
CFL	Compact Fluorescent Lamp
IDH	Índice de Desarrollo Humano
LED	Light Emitting Diode (Diodo emisor de luz)
NASA	National Aeronautics and Space Administration (Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio)
NZEB	Net Zero Energy Building (Edificio de energía neta cero)
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
PIB	Producto Interno Bruto
RTSM	Método de las Series Temporales Radiantes
NFRC	National Fenestration Rating Council (Consejo Nacional de Clasificación de Ventanas)
SHGC	Solar Heat Gain Coefficient (Coeficiente de ganancia de calor solar)
PHPP	Passive House Planning Package (Programa de Planificación Passivhaus)

1 CAPÍTULO 1

-INTRODUCCIÓN

El aumento poblacional ha incrementado la demanda de recursos naturales, lo que ha llevado a que diversos sectores en todo el mundo busquen reducir o eliminar significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la actividad humana. La llamada descarbonización de la economía implica adoptar cambios en tecnologías de los sectores con mayor incidencia en emisiones de carbono. Los edificios forman parte de los sectores de interés y se apuesta por transformar la operación de estos en energía neta cero. Un Edificio de energía neta cero (NZEBC, por sus siglas en inglés), es un edificio con un consumo energético operacional altamente reducido donde se han implementado medidas de eficiencia energética que permiten que el consumo pueda suplirse mediante el uso de fuentes renovables (Agudelo, 2022). Aunque el interés en este concepto es creciente, su implementación es incipiente por diversas razones: insuficiente información, limitados proyectos piloto y la incertidumbre sobre los costos asociados.

El presente proyecto describe la metodología y los tipos de Ecotecnologías que permitirán diseñar una edificación tipo residencial con energía neta cero y así obtener el potencial de ahorro de energía para lograr una edificación autosustentable, considerando el clima cálido subhúmedo de Morelos, ya que representa el 85% de la superficie total del Estado (INEGI, 2005).

En el Consejo Nacional de la Agenda 2030, celebrada el 17 de junio de 2019 en la Ciudad de México para discutir, definir y aprobar como se atacarán los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) Figura 1.1, se invitó a las universidades a comprometerse e incrementar la sensibilidad a estos retos entre los estudiantes, vinculando los trabajos y proyectos en las aulas a los ODS. Entre las metas que México tiene por alcanzar, están las siguientes: fomentar la innovación para progresar y combatir el cambio climático.



Figura 1.1 Objetivos de desarrollo sostenible para agenda 2030 (Gomez, 2022).

En este proyecto se pretende contribuir de manera directa en los siguientes ODS:

- 7. Energía asequible y no contaminante.
- 9. Industria, innovación e infraestructura.
- 11. Ciudades y comunidades sostenibles.

Para el cumplimiento de estos ODS, se aplican metodologías, estándares, acciones y normas para la construcción o remodelación de estas edificaciones. Las estrategias que son utilizadas para los puntos antes mencionados son los siguientes:

- Economía circular
- Impactos ambientales
- Normas y legislaciones
- Programas gubernamentales

1.1 Antecedentes

El desarrollo sostenible (DS) busca satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras. Se basa en tres pilares fundamentales: crecimiento económico, protección ambiental y bienestar social (Lovato, 2018).

1.1.1 Origen y evolución del DS

El concepto de DS surgió por primera vez en 1987 con la publicación del Informe Brundtland, también conocido como "Nuestro futuro común". En este informe, se alertaba sobre las consecuencias negativas del desarrollo económico y la globalización para el medio ambiente, y proponía un nuevo modelo de desarrollo que integrase la economía, la sociedad y el medio ambiente.

En el año 2000, las Naciones Unidas establecieron los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM). Estos objetivos buscaban abordar problemas globales como la pobreza, el hambre, la educación y la salud. En 2015, los ODM fueron reemplazados por los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que incluyen 17 metas más ambiciosas que buscan alcanzar el desarrollo sostenible a nivel global.

1.1.2 Avances en el DS

En los últimos años se han logrado avances en el desarrollo sostenible a nivel mundial. Algunos de los avances más importantes incluyen:

Mayor inversión en energías renovables: La inversión en energías renovables ha aumentado considerablemente en los últimos años. Esto se debe a los costos cada vez menores de las tecnologías renovables y a las políticas gubernamentales que fomentan su uso.

Mayor conciencia ambiental: Cada vez hay más personas concienciadas sobre la importancia de proteger el medio ambiente. Esto ha llevado a un aumento de la demanda de productos sostenibles y a un mayor apoyo a las políticas ambientales.

Desarrollo de nuevas tecnologías: Se están desarrollando nuevas tecnologías que pueden ayudar a lograr un desarrollo sostenible. Estas tecnologías incluyen, por ejemplo, el aprovechamiento de la energía solar, la agricultura sostenible y el transporte eléctrico.

A consecuencia del crecimiento exponencial que se está presentando en el mundo en la actualidad, se ha visto en varios países la escasez de recursos naturales y materia prima para la industria, esto ha originado que varios países, sobre todo desarrollados, cambien su enfoque a algo más sostenible y sustentable. Otros factores que han afectado en el mundo, como el COVID 19 y la guerra entre Rusia y Ucrania han generado un incremento en el consumo de recursos naturales. En esta última, está incrementando hasta los límites la actual crisis energética, impulsada desde hace ya más de un año por la espiral de precios del gas, que está tensionando a la ciudadanía e industria. La industria, grandes empresas y corporaciones buscan refugio (contra la volatilidad) contratando su suministro eléctrico directamente con otros productores de energía (solar, eólica, geotérmica, hídrica) (Barrero, 2022).

Estos acontecimientos han generado que, en otros países como España, se reformen o anulen leyes; como el RDL 14 (Real Decreto Ley), el cual limitaba a 500 m² de autoconsumo respecto a instalaciones de paneles fotovoltaicos en zonas rurales o edificaciones con extenso territorio (Barrero, 2022).

Por todos estos factores, se están implementando medidas más estrictas y se buscan nuevos conocimientos y tecnologías para reducir el consumo de hidrocarburos, del cual México es dependiente en un 75.5% (Nacional Onexpo, 2024), para ello se requiere comprender los enfoques antes mencionados.

1.2 Economía circular

La economía circular se define como reconstituyente y regenerativa por diseño, y se plantea mantener siempre los productos, componentes y materiales en sus niveles de uso más alto. Es una filosofía de organización de sistemas inspirada en los seres vivos, que persigue el cambio de una economía lineal (producir, usar y tirar) a un modelo de producción y consumo, que implica compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes todas las veces que sea posible para crear un valor añadido. De esta forma, el ciclo de vida de los productos se aprovecha y se extiende Figura 1.2.

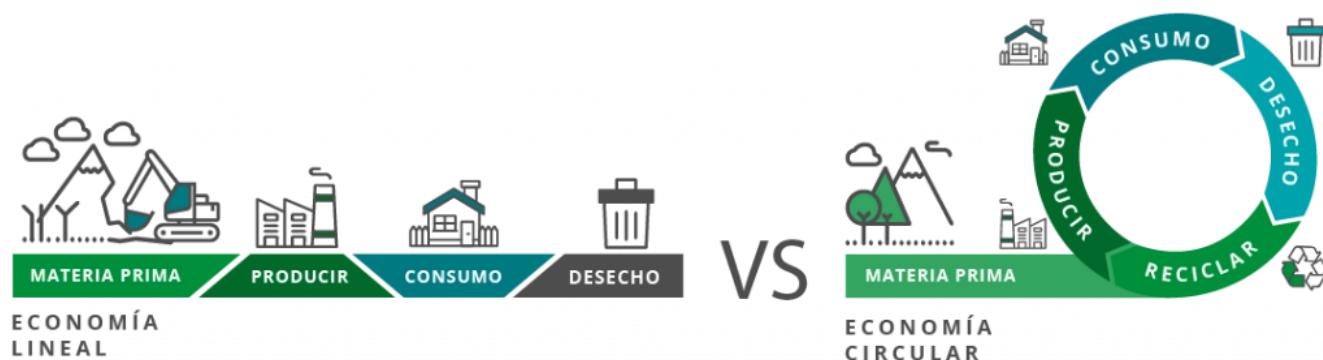


Figura 1.2 Economía lineal vs. Economía circular.

En México generan más de 44 millones de toneladas anuales de residuos y se calcula que para el 2030 se produzcan 65 millones. En el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 para México se encuentra el apartado desarrollo sustentable, sin embargo, no menciona un plan de acción para lograrlo. En octubre de 2019, se lanzó una iniciativa de la creación de la Ley General de Economía Circular, que tiene como propósito que el país cuente con un marco normativo general que permita utilizar eficazmente los recursos naturales, económicos y humanos que facilite la transición hacia el modelo de economía circular (Córdova, Salgado, & Bravo, 2021). Pretende que los residuos se reciclen, transformando los desechos de una industria en materias primas de otra.

Los edificios NZEB son edificios de alta eficiencia energética que buscan reducir al mínimo el consumo de energía. Los edificios NZEB pueden utilizar materiales reciclados o reutilizados en la construcción, así como también se pueden diseñar sistemas de gestión de residuos que permitan reciclar o reutilizar los materiales que se generen durante la vida útil del edificio, aplicando las esferas de la sustentabilidad en este estudio Figura 1.3.



Figura 1.3 Esferas de sustentabilidad haciendo referencia al estudio de NZEB, nZEB (elaboración propia).

1.3 Impactos y control en las edificaciones

1.3.1 Impactos ambientales por edificaciones

Los edificios en las ciudades son responsables del 39% de las emisiones de carbono (Inmobilia, 2020):

- El 28% proviene de la operación y actividades cómo mantener una construcción con aire acondicionado, calefacción y energía eléctrica.
- El 11% restante se relaciona con la construcción misma del edificio y los desechos que genera: desde la basura hasta el polvo producido.
- Los edificios altos reducen el acceso de los ciudadanos al aire fresco y la luz solar.

En México, desde enero 2020, se inició la construcción de OUM Wellness, el primer edificio que busca obtener la certificación Net Zero Energy Building en México y Latinoamérica (EQUIPAR, 2018).

1.3.2 Normas y legislaciones

Para la regulación y control normativo de las implementaciones que se realizan en una edificación sustentable, se toman como referencia dos normas mexicanas, las cuales abarcan los criterios y requerimientos ambientales mínimos (NMX-AA-164-SCFI-2013) y para los requisitos y especificaciones de desempeño ambiental de establecimientos de hospedaje (NMX-AA-171-SCFI-2014), que contribuyen en la mitigación de impactos ambientales y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, sin descuidar los aspectos socioeconómicos que aseguran su viabilidad, habitabilidad e integración al entorno urbano y natural, abarcando desde una residencia doméstica, a los establecimientos de hospedaje interesados en demostrar el cumplimiento de los requisitos de desempeño ambiental turístico en todo el territorio nacional.

1.3.3 Instituciones gubernamentales

Además del Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2019), existen órganos de gestión del medio ambiente desconcentrados y descentralizados de la SEMARNAT como los siguientes (Conde, 2018):

- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
- Comisión Nacional del Agua
- Comisión Nacional Forestal
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
- Procuraduría Federal de Protección al Ambiente

1.4 NZEB, nZEB y las ecotecnologías

El concepto "Net Zero Energy" o "Nearly Zero Energy" se refiere a edificios que son altamente eficientes y producen la energía que necesitan para funcionar a partir de fuentes de energía renovables. Estos edificios suelen utilizar técnicas especiales de diseño, como la orientación del edificio, el uso de materiales y sistemas eficientes de climatización y ventilación, y la integración de tecnologías de energía renovable, como paneles solares fotovoltaicos, paneles solares térmicos, turbinas eólicas pequeñas y sistemas de cogeneración (Córdova, Salgado, & Bravo, 2021).

La construcción de edificios Net Zero Energy o Nearly Zero Energy es una de las formas más efectivas de reducir el consumo de energía y las emisiones de carbono en el sector de la construcción (Aguilar, 2021). Algunas de las ecotecnologías que se utilizan en edificios sustentables incluyen:

1.4.1 Paneles solares fotovoltaicos

Los paneles solares fotovoltaicos son una de las tecnologías de energía renovable más comunes en los edificios Net Zero Energy. Estos paneles convierten la luz del sol en electricidad y pueden ser instalados en el techo o en la fachada de un edificio. Los paneles solares pueden funcionar de forma autónoma o estar interconectados a la red eléctrica.

El primer panel solar fue construido en 1883 por Charles Fritts, quien recubrió una muestra de selenio semiconductor con un pan de oro para formar el empalme (Solar, E., 2021).

Los costos de los sistemas solares han disminuido significativamente en los últimos años, y ahora son más asequibles que nunca. Hay una variedad de opciones de financiamiento disponibles, incluidos préstamos, arrendamientos y acuerdos de compra de energía (Ecoinventos, 2022). La energía solar se convertirá en una fuente de energía cada vez más importante para los hogares en los próximos años. A medida que los costos continúen disminuyendo y la tecnología mejore, la energía solar se volverá aún más atractiva para los propietarios de viviendas que buscan reducir sus costos de energía y ayudar al ambiente.

El período de amortización suele ser de entre 6 y 10 años, y los propietarios de viviendas pueden ahorrar hasta un 70% en sus facturas de electricidad. Sin embargo, existe un costo de inversión inicial y la producción de energía depende del clima (Ecoinventos, 2024).

Funcionamiento

Los paneles solares fotovoltaicos se basan en el efecto fotovoltaico que se produce cuando la radiación solar incide sobre materiales semiconductores convenientemente tratados, produciendo electricidad.

Existen diferentes tipos de paneles solares como los paneles solares monocristalinos, y policristalinos.

Tipos

- **Paneles solares monocristalinos:** Las células solares monocristalinas están hechas de un solo cristal de silicio puro y tienen una apariencia uniforme y oscura. Son los más eficientes y los más costosos.

Paneles solares policristalinos: Las células solares policristalinas están hechas de múltiples cristales de silicio y tienen una apariencia moteada. Son menos eficientes que los monocristalinos, pero más económicos.

- **Paneles solares perovskita:** Se refiere a cristales opacos de forma cúbica encontrados en 1839 por Rose en las montañas de los Urales. El material tiene una estructura cristalina particular, como el titanato de calcio (CaTiO_3), conocida como estructura de perovskita, de modo que puede acomodar una amplia gama de elementos y, por lo tanto, mostrar diversas propiedades físicas. (González, 2024)
- **Energía solar fotovoltaica de concentración (CPV):** Es un tipo de energía solar fotovoltaica que utiliza lentes, espejos curvados y otros tipos de ópticas para concentrar una gran cantidad de radiación solar en una pequeña área de células fotovoltaicas para generar electricidad (Xiao, 2018). La idea principal de la CPV es reducir la cantidad de material semiconductor utilizada en un sistema fotovoltaico porque tiene un coste muy elevado de fabricación. A cambio, se propone utilizar elementos ópticos (lentes, espejos), de menor coste, para conseguir la misma producción de electricidad (Energía Solar Fotovoltaica, 2019).

La eficiencia y fabricación de los paneles solares varía considerablemente según el tipo de tecnología utilizada. Como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1 Diferencias entre los paneles según la tecnología de construcción (Pardo Meza , 2015).

Panel	Rendimiento %	Características	Fabricación
Silicio monocristalino	15-24	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre si	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro
Silicio policristalino	12-20	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos de azules	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización
perovskita	23-30	Célula solar de película delgada hecha de una clase de materiales artificiales llamados perovskitas. Estas celdas son ligeras, flexibles y pueden ser translúcidas	Se depositan capas delgadas de materiales de perovskita sobre un sustrato, utilizando métodos sencillos que puede realizarse a temperaturas bajas, lo que reduce los costos energéticos.
Fotovoltaica de concentración	30-40	Paneles curvados para concentrar una gran cantidad de radiación solar en una pequeña área de células fotovoltaicas para generar electricidad.	Similar a las celdas de silicio, pero utiliza lentes, espejos curvados y otros tipos de ópticas para concentrar la energía.

Esta comparación es clave para elegir el panel más adecuada dependiendo de las necesidades energéticas, presupuesto y características del lugar donde se instalarán los paneles.

1.4.2 Paneles solares térmicos o calentadores solares

Un calentador solar es un dispositivo que utiliza la energía del sol para calentar agua. Está compuesto por colectores solares y un tanque de almacenamiento de agua caliente. Los colectores solares son los encargados de captar la energía del sol y transformarla en calor. El tanque de almacenamiento es el lugar donde se acumula el agua caliente para su uso posterior.

Los primeros calentadores solares se utilizaron en la antigua Grecia para calentar agua en baños públicos.

- En 1767, Horace-Bénédict de Saussure inventó el primer colector solar.
- En 1891, Clarence Kemp patentó el primer calentador solar comercial.

Funcionamiento

Los calentadores solares tienen en su estructura tubos como colectores solares y funcionan con un fenómeno llamado efecto termosifón. Los tubos reciben la radiación solar y esto hace que el agua se caliente. Esta agua caliente se almacena en un tanque para su uso posterior. Figura 1.4.

Tipos

- **Calentador solar plano:** También son conocidos como colectores solares planos. Están compuestos básicamente por una cubierta de vidrio y una placa captadora totalmente aislada térmicamente en el interior.
- **Calentadores solares de concentración:** Son los más eficientes en cuanto a la conversión de energía solar en calor.

- **Calentadores solares de tubos de vacío:** Actualmente son los más utilizados para el calentamiento y almacenamiento de agua en los hogares. Estos calentadores tienen tubos apilados como colectores solares y funcionan con un fenómeno llamado efecto termosifón. Los tubos reciben la radiación solar y esto hace que el agua se caliente.



Figura 1.4 Tipos de Calentadores solares (Alcubierre, 2023).

1.4.3 Intercambiador de calor tierra-aire

El Intercambiador de calor tierra-aire (EAHE, air-earth heat exchanger) es un sistema natural de climatización que funciona mediante el uso de un intercambiador de calor geotérmico de baja temperatura y de escasa profundidad Figura 1.5. Esta técnica pasiva es utilizada para calentar o enfriar una vivienda beneficiándose de la geotermia como fuente natural de energía, se originaron en Canadá en la década de 1970 (REHAU, 2023).

Funcionamiento

- Los pozos canadienses funcionan mediante un intercambio de calor entre el aire que entra al edificio y el suelo que rodea el pozo.
- El aire que entra al edificio pasa por un intercambiador de calor que está dentro del pozo.
- El intercambiador de calor está compuesto por tuberías que contienen un líquido refrigerante.
- El líquido refrigerante absorbe el calor del suelo y lo transfiere al aire que entra al edificio.
- En verano, el proceso se invierte y el aire que entra al edificio se enfría.

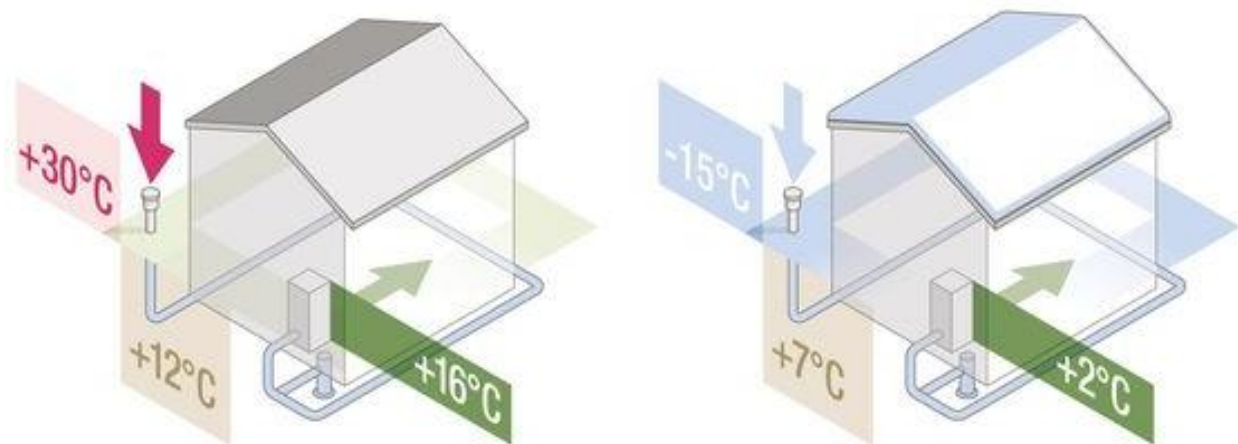


Figura 1.5 Funcionamiento de un pozo canadiense (REHAU, 2023).

1.4.4 Focos ahorradores LED

Los focos ahorradores LED son una opción eficiente en cuanto a ahorro de energía, estos consumen 85 y 80 % menos de energía que los focos incandescentes y focos ahorradores convencionales, respectivamente. Además, generan un 80% menos de calor que los incandescentes, lo que reduce el riesgo de incendio. Los primeros LED se desarrollaron en la década de 1960 y se comercializaron en la década de 1990 (HELLA, 2023).

Funcionamiento

Los focos LED funcionan mediante el paso de una corriente eléctrica a través de un material semiconductor. Cuando la corriente eléctrica pasa a través del material semiconductor, los electrones se mueven y producen luz (B.Led , 2019). Los focos LED son más eficientes que los focos incandescentes y fluorescentes porque no generan calor Figura 1.6.

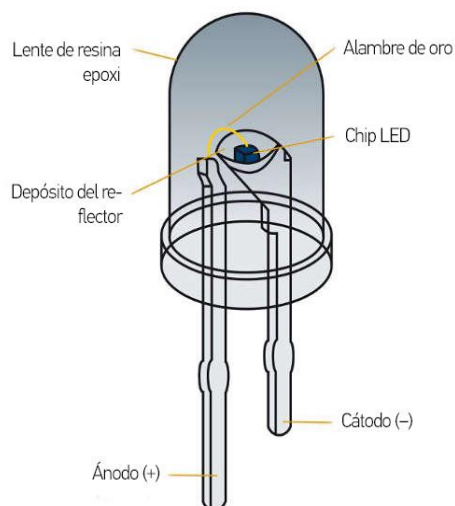


Figura 1.6 Estructura del LED estándar (HELLA, 2023).

1.4.5 Recubrimientos térmicos

Los recubrimientos térmicos o pinturas aislantes para edificaciones son una tecnología de construcción que se utiliza para reducir la transferencia de calor entre el interior y el exterior de un edificio Figura 1.7. Estos recubrimientos se aplican en las paredes exteriores del edificio y actúan como una barrera térmica (RLCANARIAS, 2023).

Funcionamiento

- Actúan mediante la reflexión de la radiación solar y la reducción de la transferencia de calor por conducción y convección, ayudando a reducir las cargas térmicas del edificio en verano.
- Los recubrimientos emisivos expulsan calor del edificio al espacio. Esto puede ayudar a reducir las cargas térmicas del edificio en verano y a mejorar su confort térmico en invierno. Pueden reducir la temperatura interior del edificio hasta unos 10 ° C.
- Aíslan y reducen la transferencia de calor entre el edificio y su entorno. Esto puede ayudar a reducir las cargas térmicas del edificio y a mejorar su eficiencia energética reduciendo el consumo eléctrico de equipos de refrigeración y calefacción.

Tipos

- **Pinturas aislantes:** Son aquellas que se aplican directamente sobre las paredes exteriores del edificio, contienen pigmentos o aditivos que modifican su comportamiento térmico. Las pinturas térmicas pueden ser aislantes, reflectantes o emisivas.
- **Paneles o membranas aislantes:** Son materiales que se instalan como revestimiento sobre techos o fachadas de los edificios, pueden ser de aluminio, metalizado o plástico.

- **Revestimientos aislantes:** Estos revestimientos son materiales aislantes que se aplican a las superficies de un edificio. Los revestimientos aislantes pueden ser de diferentes tipos, como espuma de poliuretano, fibra de vidrio o lana mineral.



Figura 1.7 Sistemas de aislamiento térmicos (RLCANARIAS, 2023).

A continuación, se presentarán varias tablas de materiales que se analizaron o recomiendan en México; la información fue obtenida de diferentes fuentes de información..

Donde:

- **Densidad (kg/m^3):** Masa por unidad de volumen del material.
 - **Conductividad térmica λ ($\text{W/m } ^\circ\text{C}$):** Capacidad del material para transferir calor.
 - **Calor específico sobre unidad de tiempo ($\text{kcal/mhr } ^\circ\text{C}$):** Cantidad de calor que debe absorberse por unidad de masa y tiempo para elevar la temperatura del material en $1\text{ } ^\circ\text{C}$.
 - **Calor específico ($\text{J/kg } ^\circ\text{C}$):** Cantidad de calor que debe absorberse por unidad de masa para elevar la temperatura del material en $1\text{ } ^\circ\text{C}$.
 - **Calor específico volumétrico ($\text{kJ/m}^3\text{ } ^\circ\text{C}$):** Cantidad de calor que debe absorberse por unidad de volumen para elevar la temperatura del material en $1\text{ } ^\circ\text{C}$.
 - **Resistividad térmica ($\text{m } ^\circ\text{C/W}$):** Resistencia del material al flujo de calor.
- ΔT ($^\circ\text{C}$): Diferencia de la temperatura.

La Tabla 2 muestra un estudio realizado en Coahuila (Sánchez Terán, Roux Gutiérrez, & Espuna Mujica, 2018), analizando la transferencia de calor a través de los paneles de mezclilla de residuos, que aumenta con el espesor del panel. Esto se debe a que hay más material a través del cual el calor debe viajar. La transferencia de calor a través del bloque convencional es mucho mayor que la transferencia de calor a través de los paneles de mezclilla debido a que tiene una mayor conductividad térmica.

Tabla 2 Datos del panel de mezclilla reutilizado (Sánchez Terán, Roux Gutiérrez, & Espuna Mujica, 2018).

Material	Temperatura cara externa (°C)	Temperatura cara interna (°C)	ΔT (°C)	λ (W/m °C)	Q (W/m²)
Panel de mezclilla de 1 cm de espesor	50.96	32.82	18.14	234	4.24
Panel de mezclilla de 3 cm de espesor	51.49	32.92	18.57	470	8.76
Panel de mezclilla de 5 cm de espesor	53	30.27	22.73	563	12.82
Bloque convencional	64.84	34.39	30.45	1.11	33.75

En la Tabla 3, se presentan propiedades termo físicas de algunos materiales utilizados en paneles aislantes para muros (Valerdi & Elías Lopez, 2021).

Tabla 3 Tabla comparativa de materiales aislantes (Valerdi & Elías Lopez, 2021).

Material	Densidad (kg/m³)	Conductividad térmica (W/m °C)	Calor específico (kcal/mhr °C)	Calor específico (J/kg °C)	Calor específico volumétrico (kJ/m³ °C)	Resistividad térmica (m °C/W)
Fibra de vidrio	48	0.042	0.03	650	65	15.52
Lana mineral	140	0.04	0.03	750	105	25.08
Espuma de poliuretano	35	0.028	0.02	1.59	55.65	13.29

La Tabla 4 se tomó de la norma NOM-020-ENER-2011 (DOF, 2011), que habla de la Eficiencia energética en edificaciones. Envoltorio de edificios para uso habitacional, de los que se tomaron 2 materiales.

Tabla 4 Membranas impermeabilizantes (DOF, 2011).

Material	Densidad (kg/m³)	Conductividad térmica (W/m °C)	Calor específico (kcal/kg °C)	Calor específico (J/kg °C)	Calor específico volumétrico (kJ/m³ °C)	Resistividad térmica (m °C/W)
Membranas asfálticas	1127	0.17	0.22	940	1053	5.88
Asfalto bituminoso	1050	0.174	0.23	986	1036	5.75

1.4.6 Vidrios y su transmisión de calor

El vidrio es un material comúnmente utilizado en la construcción, pero debido a que permite el paso de luz solar y atrapa parte del calor en el interior es lo que favorece al calentamiento de una vivienda, lo que puede hacer que una vivienda sea incómoda en climas cálidos o fríos. El vidrio aislante, también conocido como vidrio de doble o triple acristalamiento, está diseñado para reducir la transmisión de calor.

El calor se transmite a través del vidrio de tres maneras:

- **Conducción:** El calor se transfiere de una molécula a otra a través del contacto directo.
- **Convección:** El aire caliente se eleva y el aire frío desciende, creando corrientes de aire que transportan el calor.
- **Radiación:** El calor se emite en forma de ondas electromagnéticas.

La cantidad de calor que se transmite a través del vidrio depende de varios factores, incluyendo:

- **El grosor del vidrio:** Cuanto más grueso sea el vidrio, menor será la transmisión de calor.
- **El tipo de vidrio:** El vidrio de baja emisividad tiene un revestimiento especial que reduce la transmisión de calor por radiación.
- **El espacio entre los paneles de vidrio:** En el vidrio aislante, el espacio entre los paneles de vidrio está lleno de aire o gas, lo que ayuda a reducir la transmisión de calor por convección.
- **El clima:** La cantidad de calor que se transmite a través del vidrio también depende de la temperatura y la humedad del aire exterior.

Por estos motivos se buscan maneras de aislar los vidrios, las cuales ofrecen los siguientes beneficios:

- **Reducción de la transmisión de calor:** El vidrio aislante puede reducir significativamente la cantidad de calor que se pierde en el invierno y se gana en el verano.
- **Mayor confort interior:** Puede ayudar a crear un ambiente interior más confortable al reducir las corrientes de aire y las fluctuaciones de temperatura.
- **Reducción de la condensación:** Reduce la condensación en las ventanas, lo que puede prevenir el crecimiento de moho y hongos.
- **Ahorro de energía:** Disminuyen los costos de energía usado para calefacción y refrigeración.

Para poder aislar los vidrios de las ventanas (Cristalería Vitralba., 2024), hay varios métodos de los cuales son:

- **Vidrio aislante de doble acristalamiento:** Este es el tipo más común de vidrio aislante, que consiste en dos paneles de vidrio separados por una cámara de aire.
- **Vidrio aislante de triple acristalamiento:** Este tipo de vidrio aislante tiene tres paneles de vidrio, lo que proporciona un mayor aislamiento térmico.
- **Vidrio aislante relleno de gas:** En este tipo de vidrio aislante, la cámara de aire se rellena con un gas inerte, como el argón o el kriptón, que tiene una conductividad térmica menor que el aire.
- **Vidrio aislante de baja emisividad:** Este tipo de vidrio aislante tiene un revestimiento especial que reduce la transmisión de calor por radiación.

El vidrio aislante es una opción eficaz para mejorar la eficiencia energética y el confort interior de una vivienda. El elegir el tipo de vidrio aislante adecuado, puede reducir significativamente sus costos de energía y crear un ambiente interior más confortable.

Para el análisis de aislantes, se empleó un vidrio bajo emisivo en una unidad AISLAGLAS que permite reducir el valor del coeficiente de transmitancia térmica a $1.8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

1.5 ¿Qué es la ASHRAE?

Es una organización profesional que se dedica a la promoción de tecnologías y prácticas sostenibles en la industria de la climatización y la refrigeración. Fue fundada en 1894 en Nueva York como la American Society of Heating and Ventilating Engineers (ASHVE). En 1954, la organización cambió su nombre a la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) para reflejar su creciente alcance en la industria de la climatización y la refrigeración (ASHRAE, 2023).

Que hace la ASHRAE:

- Desarrolla estándares y guías para la industria de la climatización y la refrigeración.
- Promueve prácticas sostenibles en la industria de la climatización y la refrigeración.
- Organiza conferencias y eventos para educar a los profesionales de la industria sobre las últimas tecnologías y prácticas sostenibles.
- Publica investigaciones y estudios sobre tecnologías y prácticas sostenibles en la industria de la climatización y la refrigeración.

1.5.1 La climatización con eficiencia energética (HVAC)

Es un sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado que utiliza tecnologías y prácticas sostenibles para reducir el consumo de energía y minimizar el impacto ambiental.

- Incluyen sistemas de recuperación de calor, sistemas de ventilación natural y sistemas de enfriamiento evaporativo.
- Las prácticas utilizadas en la climatización con eficiencia energética (HVAC) incluyen el uso de materiales aislantes, la selección cuidadosa de equipos y la implementación de estrategias de control de temperatura.

1.6 Carga térmica

La carga térmica se refiere a la cantidad de energía que un área necesita para conservar o conseguir determinadas condiciones de temperatura y humedad Figura 1.8, con la finalidad de una aplicación específica, ya sea residencial o propia de una actividad concreta (S&P, 2020). Se calcula en función del tamaño del interior, la cantidad de personas que lo ocupan y las fuentes internas y externas de calor; las fuentes internas de calor incluyen equipos electrónicos, iluminación y personas. Las fuentes externas de calor incluyen la radiación solar y la transferencia de calor a través de las paredes exteriores del edificio.

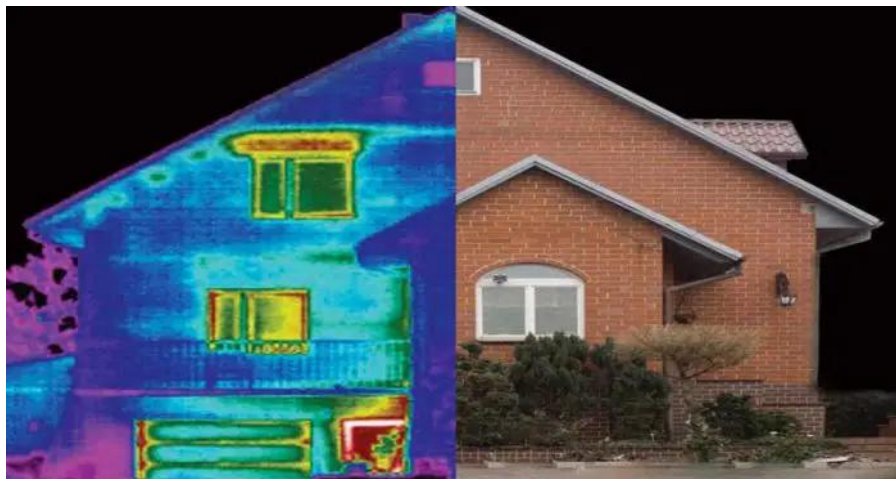


Figura 1.8 Perspectiva para el cálculo de cargas térmicas. (Nergiza, 2017)

1.6.1 Tipos de cargas térmicas

Existen tres tipos principales de cargas térmicas (Nergiza, 2017):

- **Cargas sensibles:** Son aquellas que producen un cambio en la temperatura del aire del edificio. Las cargas sensibles pueden ser positivas (ganancia de calor) o negativas (pérdida de calor).
- **Cargas latentes:** Son aquellas que producen un cambio en la humedad del aire del edificio. Las cargas latentes también pueden ser positivas (ganancia de humedad) o negativas (pérdida de humedad).
- **Cargas por radiación:** Son aquellas que se producen por la transferencia de calor entre el edificio y su entorno a través de la radiación. Las cargas por radiación pueden ser positivas (ganancia de calor) o negativas (pérdida de calor).

1.7 Planteamiento del problema de investigación.

¿Cómo podemos contribuir a la disminución de emisiones de CO₂, mediante la aplicación de tecnologías eficientes de ahorro energético en una edificación residencial? Para dar respuesta a esta pregunta la página “National Geographic” ha enlistado acciones para orientar a los interesados en reducir las emisiones de CO₂ en el hogar, las más comunes son: Desenchufar dispositivos que no estén en uso,

Reducir la utilización de aparatos eléctricos, elegir aparatos de mayor eficiencia energética, realizar duchas más rápidas. Si se combinan estas acciones con ecotecnologías eficientes para suministrar energía sostenible en el hogar, generarían un verdadero ahorro energético (GEOGRAPHIC, 2022).

Las edificaciones de Energía Neta Cero ya existen actualmente en países como Indonesia, Holanda, España y El Salvador. Este último es el primer país en Centroamérica que implementó tecnologías de automatización y monitoreo para lograr un edificio de este tipo (Green, 2023).

De acuerdo con la literatura consultada no hay proyectos en desarrollo de energía neta cero para edificaciones en el estado de Morelos, por lo cual, en este trabajo se pretende adaptar los modelos existentes de la Unión Europea (UE) para aplicar el modelo de NZEB en edificaciones residenciales de Morelos. Además, el presente proyecto se desarrollará e implementará una metodología para transformar una edificación existente en una Edificación de Energía Neta Cero.

1.8 Justificación

La implementación de edificaciones neta cero tienen varios beneficios, tanto a corto como a largo plazo. La planificación neta cero puede abordar las fuentes comunes de contaminantes que emiten las centrales eléctricas, las instalaciones industriales y los automóviles. Los contaminantes comunes de interés para la salud ambiental, como los óxidos nitrosos (NOx), los óxidos de azufre (SOx) y las partículas 2.5 y 10 (PM 2.5 y PM 10) se pueden mitigar.

La planificación neta cero ha mejorado el desarrollo económico en ciudades y pueblos, como se demuestra en el caso de Växjö Suecia en el que el PIB creció un 90 % en las décadas posteriores al compromiso de la ciudad (Eceiza, 2022). Las inversiones en energía renovable pueden ayudar a construir una economía con empleos verdes.

Por lo anterior, se debe realizar un estudio del impacto social, económico y ambiental, al mismo tiempo generar y proponer estrategias de mercado adecuadas para empresas innovadoras que deseen invertir y desarrollarse en el mercado de energía neta cero.

1.9 Objetivos

1.9.1 Objetivo general

Adaptar e implementar una metodología que involucre a diseñadores, desarrolladores e inversionistas, mediante el modelado de información de la construcción (BIM), aplicando herramientas, criterios e indicadores de sostenibilidad para transformar edificaciones existentes en edificaciones de energía neta cero en el clima predominante del estado de Morelos.

1.9.2 Objetivos específicos

1. Analizar los modelos y metodologías existentes de energía neta cero mediante la revisión de literatura publicada para su posible adaptación e implementación en el estado de Morelos.

2. Realizar el diseño geométrico, modelado y análisis de las cargas térmicas de una vivienda de referencia mediante herramientas BIM para identificar el tipo de ecotecnologías factibles de implementar.
3. Realizar simulaciones energéticas de viviendas de referencia del estado de Morelos, mediante herramientas BIM para adaptar una metodología y transformar edificaciones existentes en edificaciones de energía neta cero.
4. Plantear los criterios e indicadores de construcción sostenible para la implementación de ecotecnologías en una edificación existente de energía neta cero.

2 CAPÍTULO 2

-EDIFICACIONES DE ENERGÍA NETA CERO

Las edificaciones Neta Cero o Cercanas a Cero, también conocidas como Edificaciones de Alta Eficiencia Energética (EHE), son aquellas que consumen una cantidad mínima de energía, idealmente nula, a lo largo de su ciclo de vida. Esto se logra mediante un diseño y construcción optimizados, la utilización de materiales eficientes y tecnologías de vanguardia, y la generación de energía renovable en el propio edificio o en su entorno cercano. Surgió a finales del siglo XX como una respuesta a la creciente preocupación por el cambio climático y la necesidad de reducir el consumo de energía en el sector de la construcción. La primera vivienda "cero energías" del mundo se realizó en una casa danesa Lyngby 'dth-nul-energihus/zero-energy-house' (O'Riain, 2021), fue construida en 1973. La vivienda fue diseñada para tener un uso neto de energía cero, lo que significa que produciría tanta energía como consume. Los diseñadores utilizaron una variedad de técnicas para lograr esto, incluyendo super aislamiento, hermeticidad, ganancia de calor solar pasiva y ventilación con recuperación de calor. La vivienda también estaba equipada con colectores solares y un tanque de almacenamiento de calor estacional. El proyecto fue un éxito y demostró que era posible construir una vivienda que pudiera satisfacer sus propias necesidades energéticas. Sin embargo, la vivienda no logró un verdadero equilibrio neto cero, ya que solo alcanzó el 55% de su objetivo. A pesar de esto, el proyecto fue un paso importante hacia el desarrollo de edificios modernos de energía cero.

2.1 Energía Neta cero en el mundo.

No fue sino hasta las primeras décadas del siglo XXI que el concepto comenzó a tomar forma concreta y a ser implementado en proyectos piloto alrededor del mundo. Una de estas iniciativas llamada Energiesprong en Holanda (Desarrollo Institucional y Capacitación CAF, 2019), tiene como objetivo transformar las casas existentes en viviendas de energía neta cero. Esto es posible gracias al uso de nuevas tecnologías y componentes fabricados fuera del sitio.

La transformación se puede realizar rápidamente y la vivienda viene con una garantía de 30 años tanto para el rendimiento energético como para el clima interior. El costo de la modernización se puede pagar con dinero que normalmente se gastaría en las facturas de energía, combinado con la reducción de los costos de reparaciones y mantenimiento. Para que esto funcionara, un grupo de organizaciones de vivienda inicialmente une fuerzas para crear un primer mercado como también se realizaron ajustes en las regulaciones para hacer posible la escala y las instituciones financieras evalúan el nuevo enfoque de modernización para proporcionar financiamiento asequible a los propietarios de viviendas.

2.1.1 Energía Neta cero en los continentes

Europa

Holanda: Un barrio en Holanda de 5700 viviendas unifamiliares fue renovado en 2018 para alcanzar el estándar Net Zero. Se utilizaron una variedad de técnicas, como aislamiento adicional, paneles solares y bombas de calor. El proyecto ha sido un éxito y las viviendas ahora tienen un consumo de energía significativamente menor.

Alemania: Proyecto piloto de tres bloques de dos pisos de altura que datan de los años 30 en el barrio de Kuckuck en Hameln, Baja Sajonia. Son viviendas de alquiler propiedad del Grupo Arsago que han alcanzado el nivel de clima neutral de Standar NetZero, que las equipara a las viviendas nuevas pasivas. La instalación solar produce energía suficiente para la calefacción, el agua caliente y la electricidad. Una bomba de calor y un sistema de ventilación con recuperación de calor completa y un sistema de forro de placas modulares prefabricadas cubre los edificios donde van integrados todos los elementos.

España: Primer edificio Net Zero Energy construido en España: el Greenspace Parque Científico Tecnológico de Gijón. Este proyecto pionero alberga asimismo startups y es un centro de investigación (García, 2022).

Asia

China: Eco-viviedas de Shanghai, una de las propuestas más relevantes del Área de Mejores Prácticas Urbanas de la Expo Universal de Shanghai 2010, se ubica en el distrito de Minhang, Shanghai (QIONG, 2024). El consumo energético de este inmueble ejemplar es sólo una cuarta parte del de un edificio ordinario de su tamaño y el 20% de la energía necesaria proviene de una fuente renovable. Incluso, hasta el 60% de los materiales de construcción aprovecha los desechos de otras edificaciones desmanteladas

América del norte

EE. UU.: El Unisphere es un edificio de oficinas sede de United Therapeutics, ubicado en el estado de Maryland, ubicado en el centro de la ciudad, The Unisphere es más que un edificio que produce más energía de la que demanda.

México:

- La Torre Reforma, reconocida en el 2018 por la Asociación Mexicana del Edificio Inteligente y Sustentable como la edificación más sustentable e inteligente del país. Cuenta además con una certificación LEED (Ochoa, 2023).
- Torre KOI, la más grande de México con 282 pisos, sus cristales especiales contrarrestan las altas temperaturas y disminuyen el consumo energético, cuenta con una planta de tratamiento de agua que le valió igualmente una certificación LEED.
- Edificios Dos Patios, construcción que alberga la compañía Siemens en México y pionera en tener la certificación LEED doble. Incluye más de 105 mil focos LED, que reducen el 30% del consumo energético. Cuenta también con un sistema de tratamiento de agua potable, el cual permite disminuir el 20% del agua utilizada.

2.2 Diseño o arquitectura bioclimática

Se basa en principios pasivos para minimizar la demanda de energía de la edificación, aprovechando al máximo los recursos naturales como el sol y el aire de la ubicación geográfica. Se utilizan estrategias como la orientación correcta del edificio, la optimización de la forma y el volumen del edificio, el uso de materiales con alta inercia térmica y la incorporación de elementos bioclimáticos como voladizos,

aleros y persianas, lo cual reduce el impacto ambiental y, a su vez, mejora el confort de sus residentes (Arquitectos, T, 2023).

Para la construcción de una edificación neta cero, se deben tomar varios puntos al considerar su implementación y accesibilidad, como:

2.2.1 Construcción con alta eficiencia energética

Reducir la demanda de energía del edificio mediante la implementación de medidas constructivas que minimicen las pérdidas de calor y la entrada de calor no deseada. Se utilizan técnicas como la super aislación de paredes, techos y suelos, la instalación de ventanas y puertas de alta eficiencia energética, la hermeticidad del aire y la incorporación de sistemas de ventilación con recuperación de calor.

2.2.2 Integración de sistemas de energía renovable

Se enfoca en generar la energía necesaria para el funcionamiento del edificio a partir de fuentes renovables como la energía solar fotovoltaica, la energía eólica, la energía geotérmica y/o la biomasa. Se instalan sistemas de generación de energía renovable dimensionados para cubrir la demanda energética del edificio, y se pueden combinar con sistemas de almacenamiento de energía para garantizar el suministro incluso en momentos de baja producción.

2.2.3 Gestión inteligente de la energía

Implementación de sistemas de control y monitorización que permiten optimizar el uso de la energía en el edificio. Se utilizan sensores para medir parámetros como la temperatura, la humedad, la iluminación y el consumo de energía, y se implementan sistemas de control que ajustan el funcionamiento de los sistemas de calefacción, refrigeración, ventilación e iluminación en función de las necesidades reales del edificio.

2.2.4 Uso de materiales sostenibles

Utilización de materiales de construcción con bajo impacto ambiental, tanto en la fase de extracción y producción como en la fase de uso y disposición final. Se priorizan materiales locales, renovables y reciclados, y se evitan materiales con alta huella de carbono o que emitan sustancias nocivas para la salud.

2.2.5 Enfoque de ciclo de vida

Se considera el impacto ambiental del edificio a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la extracción de los materiales hasta la demolición del edificio. Se evalúan los impactos ambientales en cada etapa del ciclo de vida, y se buscan soluciones que los minimicen y prolonguen la vida útil del edificio.

2.2.6 Enfoque colaborativo

Promover la colaboración entre diferentes actores involucrados en el proyecto, como arquitectos, ingenieros, constructores, propietarios y/o usuarios. Se busca trabajar en conjunto desde las primeras etapas del proyecto para identificar las mejores soluciones para alcanzar el objetivo de energía neta cero, considerando las necesidades de todas las partes involucradas.

La construcción de las edificaciones de energía neta cero depende de diversos factores, el clima local, las características del sitio, presupuesto del proyecto y los objetivos del propietario.

2.3 Evaluación de sostenibilidad de un edificio

Con el avance de las ecotecnologías, se pueden aprovechar las energías renovables, aquellas que no proceden de fuentes fósiles. Algunos procesos naturales que se pueden implementar en las edificaciones son:

Energía solar: La energía solar puede ser utilizada para generar electricidad o para calentar agua. Los paneles solares fotovoltaicos se pueden instalar en los tejados o en las fachadas de los edificios.

Energía eólica: Las corrientes de aire pueden ser utilizadas para generar electricidad. Los aerogeneradores se pueden instalar en zonas con viento suficiente.

Energía geotérmica: La energía geotérmica puede ser utilizada para generar calefacción y refrigeración. Se puede utilizar para bombear agua caliente del subsuelo o para hacer funcionar sistemas de refrigeración por absorción.

Biomasa: La biomasa puede ser utilizada para generar calor y electricidad. La biomasa puede ser de origen forestal, agrícola o ganadero.

Las energías renovables poseen varias ventajas, que las hacen muy recomendables y una apuesta por el progreso sostenible (Aguaden, 2020). Las principales singularidades son:

- **Limpias.** No se producen residuos que sean difíciles de eliminar.
- **Bajo o nulo impacto ambiental.** Emiten muy poco o nada, de CO₂ u otros gases que contaminan la atmósfera o causan daño al ambiente.
- **Ilimitada.** Las energías renovables se producen de forma constante y no se agotan.
- **Locales.** Utilizan en pequeñas cantidades fuentes exteriores para obtener energía.
- **Complementarias.** Pueden acoplarse con otras fuentes energéticas, tanto renovables como fósiles.
- **Alternativas.** Proporcionan una opción viable a la energía convencional.

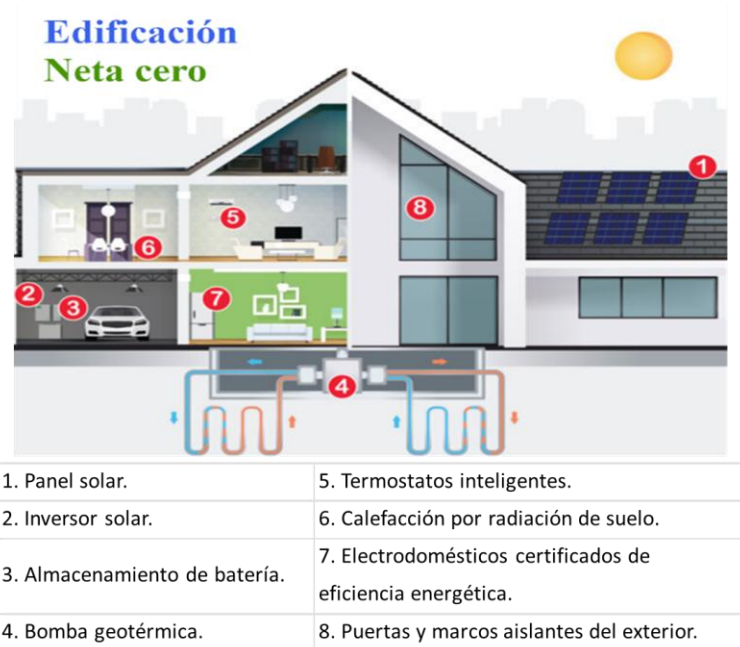


Figura 2.1 Representación de una edificación neta cero (VectorMine, 2022).

Para entender la evaluación de la sostenibilidad de un edificio, se recomienda considerar el potencial de las fuentes renovables disponibles en cada región. La Figura 2.1 permite comprender mejor dicho potencial para edificaciones residenciales.

Solo este tipo de modelo puede reflejar la compleja realidad futura de una sociedad energéticamente sostenible. El plan de trabajo aprobado por el Consejo Nacional de la Agenda 2030 contempla:

- Incrementar la inversión para un crecimiento sostenible que contribuya de manera significativa, no sólo al Producto interno bruto (PIB), sino al Índice de Desarrollo Humano (IDH).
- Diseñar e implementar programas en sectores con enfoque de sostenibilidad.
- Acompañar a las legislaturas para el desarrollo de leyes de visión sostenible (López, 2019).

La iniciativa holandesa de energía ha desarrollado una metodología para transformar viviendas existentes en energía neta cero, es decir, la vivienda genera tanta energía como se requiera. Todo esto es posible gracias al uso de tecnologías como fachadas prefabricadas, nuevos sistemas de calefacción, refrigeración inteligente e instalación de techos aislados equipados con paneles solares, ofreciendo al usuario la ventaja de poder habitar su vivienda durante el periodo de mejoramiento y garantizando 30 años de buen rendimiento energético.

2.4 Certificaciones y estándares de construcción sostenible

El significado de sostenibilidad se describe como la habilidad de perdurar, la cualidad por la que un elemento o sistema se mantiene operativo a lo largo del tiempo. Es la capacidad por la que un elemento es capaz de resistir, soportar y permanecer. Este avance a lo sostenible será el desarrollo capaz de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer los recursos y posibilidades de las futuras generaciones. Es por este motivo que se introduce un conjunto de conceptos relacionados con la sostenibilidad, cómo puede ser la "Eco inteligencia y Ecotecnologías". Esta característica implica la habilidad de crear productos y servicios que, desde su concepción hasta su desecho o reutilización, no causen daño al ambiente. Se tiene en cuenta el producto en todas sus etapas: desde la fabricación hasta su uso y eventual eliminación a lo largo de todo su ciclo de vida. Una sociedad sostenible se puede definir como aquella que reúne o persigue los siguientes objetivos:

- Los recursos naturales no deben utilizarse a un ritmo superior al de su regeneración.
- No deben generarse contaminantes ni residuos a un ritmo superior al que el sistema natural es capaz de absorber o neutralizar.
- Los recursos no renovables se deben utilizar a un ritmo más bajo para que el capital humano creado pueda suplir al capital natural perdido. Por ejemplo, en el caso de los combustibles fósiles, significa que se tiene que utilizar una parte de la energía liberada para crear sistemas que proporcionen la misma cantidad de energía que el combustible fósil consumido.

2.4.1 Tipos de sistemas de medición

Debido al creciente interés que ha despertado durante mucho tiempo los edificios sostenibles, en los últimos años se han realizado importantes esfuerzos para crear sistemas de evaluación de la sostenibilidad en las construcciones. Un sistema de evaluación de la sostenibilidad es una herramienta que puede analizar y valorar todos los procesos involucrados en el ciclo de vida de un edificio, lo que permite clasificar los edificios según su desempeño en una serie de indicadores sostenibles acordados (como los establecidos para definir un edificio sustentable). A través de esta clasificación, se logra categorizar los edificios en distintos niveles, dependiendo del grado de recursos sostenibles que emplean.

Los sistemas de medición de la sostenibilidad se pueden clasificar en 3 tipos:

- Sistemas de certificación de la sostenibilidad.
- Estándares de sostenibilidad.
- Indicadores parciales de la sostenibilidad.

2.4.2 Sistemas de certificación ambiental

Son diferentes instrumentos usados para medir y comparar el nivel de sostenibilidad de un edificio de una manera objetiva e imparcial. Estas herramientas se utilizan como guía para proyectar edificios de una manera sostenible.

Gracias a estas herramientas se obtienen mejoras considerables en la edificación proyectada:

- Suponen un aporte de valor añadido para la edificación, aportando visibilidad y relevancia a los promotores, proyectistas y usuarios.
- Ayudan a la sociedad a concienciarse sobre la edificación sostenible y desafían a otros proyectistas para la realización de edificios con prácticas sostenibles e innovadoras.
- Ofrecen ahorros significativos de energía a lo largo de la vida útil del edificio.
- Proporcionan beneficios destacados para el bienestar y la salud de los ocupantes.

Los certificados de sostenibilidad son emitidos por entidades independientes, que certifican que la edificación cumple con los criterios establecidos en el protocolo gestionado por dicha certificación, promoviendo prácticas de construcción más sostenibles y reconociendo proyectos que cumplen con criterios específicos.

Hoy en día existen multitud de sistemas de medición de la sostenibilidad, prácticamente en cada país se ha desarrollado un sistema propio, dificultando el uso de un sistema común en diferentes países. Sin embargo, algunos de estos sistemas tienen una mayor repercusión y reconocimiento a nivel mundial, siendo utilizados sus criterios de evaluación en gran cantidad de países (LEED, BREEAM, etc.).

2.4.3 Certificación de la sostenibilidad

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design):

Es un sistema de certificación internacionalmente reconocido que evalúa el desempeño de edificios en diversas categorías, como eficiencia energética, uso de agua, materiales y calidad del aire interior. Disponible para prácticamente todos los tipos de proyectos de edificios, comunidades y viviendas, LEED proporciona un marco para crear edificios ecológicos saludables, altamente eficientes y económicos, fundado en el 1998 por el USGBC. El USGBC (US Green Building Council: Consejo para la Edificación Sostenible) es una organización fundada en 1993 en EE. UU (Global Roofing Group, 2024).

El sistema LEED Figura 2.2 permite realizar la certificación de prácticamente todos los procesos constructivos, es por ello por lo que se pueden certificar proyectos ya sean de uso residencial, comercial o urbanísticos, así como reformas, mantenimiento o modificaciones de edificios, entre otros. El objetivo de LEED es minimizar los impactos negativos generados por los procesos constructivos.



Figura 2.2 Leadership in Energy and Environmental Design (Global Roofing Group, 2024).

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology)

Es un método de evaluación ambiental para edificios similar a LEED, con un enfoque particular en el Reino Unido. BREEAM cuestiona el tópico, todavía muy extendido, de que los edificios sostenibles y de buena calidad son notablemente más costosos de diseñar y de construir que aquellos que simplemente cumplen con las exigencias normativas obligatorias.

Algunos estudios de investigación también han destacado la mejora del valor y la calidad de los edificios sostenibles. El cumplimiento de los estándares exigidos por BREEAM Figura 2.3, requiere una cuidadosa planificación, especificación y diseño, además de una buena relación laboral, entre el cliente y el equipo de proyecto. BREEAM es el certificado de construcción sostenible más utilizado y el primero creado en el mundo (BREEAM®, 2024).



Figura 2.3 Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology (BREEAM®, 2024).

CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency)

Es un sistema de evaluación japonés que considera el ciclo de vida completo de un edificio, desde la construcción hasta la demolición. CASBEE fue desarrollado por un comité de investigación establecido en 2001 a través de la colaboración de la academia, la industria y los gobiernos nacionales y locales, que estableció el Consorcio Japonés de Construcción Sostenible (JSBC) bajo el auspicio del Ministerio de Tierra, Infraestructura, Transporte y Turismo (MLIT).

Mejora la calidad de vida de las personas, reduciendo el uso de recursos naturales durante el ciclo de vida y las cargas ambientales asociadas con el entorno construido, desde una sola vivienda hasta una ciudad entera. Como resultado ahora se implementan varios proyectos CASBEE Figura 2.4, en todo Japón y cuentan con el apoyo de los gobiernos nacionales y locales (CASBEE, 2024).



Figura 2.4 Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency (CASBEE, 2024).

DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen)

Es un sistema de certificación alemán que evalúa la sostenibilidad de edificios y barrios. Fundada en 2007, la DGNB Figura 2.5, es ahora la red más grande de su tipo en Europa con más de 2,300 organizaciones miembros y la número 2 en el mundo. Su objetivo es dar forma activamente a la transformación de la construcción, sector inmobiliario e industria y promover la necesidad de una construcción sostenible y anclarla en la conciencia del público en general (GmbH, 2023).



Figura 2.5 Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (GmbH, 2023).

Passivhaus

El concepto Passivhaus Figura 2.6 o “Casa Pasiva” nació en los Estados Unidos durante la década de 1980 (Structuralia, 2021). sin embargo, su popularidad aumentó en el Instituto Passivhaus en Alemania. Busca crear edificios con un consumo de energía extremadamente bajo, casi nulo. El fundamento de su esfuerzo es reducir al máximo la demanda de energía de los edificios y su principal valor es el rigor del diseño y cálculo de los proyectos, de la ejecución de las obras de forma tal que, se puede garantizar que los valores teóricos calculados se ajusten a los valores reales que se obtienen una vez construido el edificio.

Los edificios Passivhaus se caracterizan por:

- **Aislamiento térmico superior:** Las paredes, el techo y el suelo están altamente aislados para minimizar la pérdida de calor.
- **Ventanas y puertas de alta eficiencia:** Se utilizan ventanas y puertas con marcos y vidrios de alta eficiencia para reducir la transferencia de calor.
- **Ventilación mecánica con recuperación de calor:** Se utiliza un sistema de ventilación que recupera el calor del aire saliente para precalentar el aire entrante.
- **Orientación y diseño solar:** El edificio se diseña para aprovechar al máximo la energía solar pasiva.
- **Hermeticidad al aire o estanqueidad:** Se basa en reducir la entrada de flujo de aire indeseado o su retención, dependiendo lo que se busca obtener.
- **Puentes térmicos:** La transmisión de energía no solo se da en los elementos generales como paredes o techos, sino que también se da en las esquinas, ejes, juntas, etc. Produciendo pérdidas o ganancias no deseadas de temperatura.

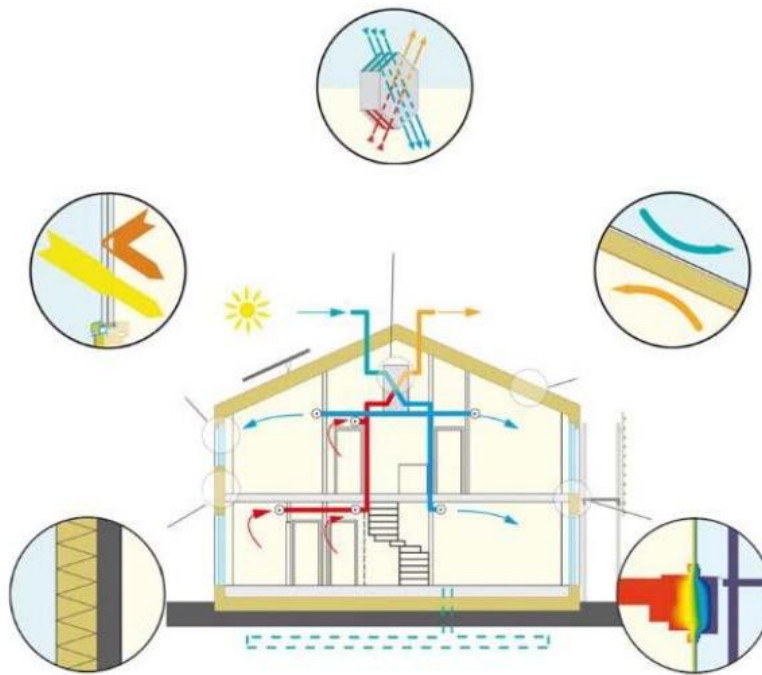


Figura 2.6 Passivhaus principios básicos (Zigurat, 2020).

Los estándares Passivhaus aplicados en los edificios NEZB ofrecen varias ventajas para el sector de la construcción en su totalidad. Passivhaus no ofrece un acercamiento a la autosuficiencia energética mediante la aplicación de diferentes energías renovables, sino que intenta construir para consumir la mínima energía necesaria. La construcción de edificaciones bajo el estándar Passivhaus consiguen reducir hasta 75% las necesidades energéticas (Eade, 2012). La poca energía suplementaria que requieren se puede cubrir con facilidad a partir de energías renovables, convirtiéndose en una construcción con un coste energético muy bajo para el propietario y el planeta.

Certificaciones passivhaus

Para este estándar, así como ocurre con otras certificaciones de sostenibilidad, se debe analizar los criterios energéticos exigidos para todos los tipos de edificios definidos por el Passive House Institute (PHI).

Así, se puede diferenciar entre tres tipos de estándares en función del tipo de edificación a analizar:

- **Estándar Vivienda Pasiva:** Para edificios residenciales y no residenciales.
- **Estándar EnerPHit:** Para la rehabilitación de edificios (residenciales y no residenciales)
- **Estándar PHI Edificio de baja demanda energética:** Es adecuado para edificios que no cumplan plenamente con los criterios del estándar Vivienda Pasiva por diversas razones.

La certificación conlleva categorías que se pueden alcanzar, cada tipo de estándar es diferente, debido principalmente al tipo de edificación que se aplica y en a criterios exigidos por Passivhaus.

Las categorías para el estándar vivienda pasiva y EnerPHit son:

- Classic
- Plus
- Premium

Estándar EnerPHit

Para los edificios antiguos se lleva a cabo una rehabilitación hasta el estándar EnerPHit Figura 2.7, empleando componentes Passivhaus en los elementos estructurales relevantes de los edificios, lo que conduce a mejoras considerables en relación con el confort térmico, la durabilidad de la estructura, la rentabilidad y las necesidades energéticas (Passive House Institute, 2024).



Figura 2.7 Categoría o sello de EnerPHit.

El estándar EnerPHit puede lograrse cumpliendo los siguientes puntos:

- Los criterios de los métodos de componentes Tabla 5 o, alternativamente, mediante el cumplimiento de los criterios del método de la demanda energética Tabla 6.
- Solo se deben cumplir los criterios de uno de estos dos métodos.
- Además de los criterios de la Tabla 5 o Tabla 6, los criterios generales de la Tabla 7 siempre se deben cumplir.

Tabla 5: Criterios EnerPHit para componentes.

Zona climática de acuerdo al PHPP	Envolvente opaca ¹ en contacto con...				Ventanas (incluyendo puertas exteriores)				Ventilación			
	...el terreno	...el aire exterior			En conjunto ⁴			Acristalamiento ⁵			Carga solar ⁶	
	Aislamiento	Aislam. exterior	Aislam. interior ²	Pintura ext. ³	Coeficiente de transmitancia térmica máximo (U _{D/W, instalada})			Coeficiente específica de ganancias solares (valor g)	Carga solar específica máxima durante el periodo de refrigeración	Valor efectivo mín. de recup. de calor ⁷	Eficiencia mín. de recup. de humedad ⁸	
	Coeficiente de transmitancia térmica máximo (valor-U)			Acabado reflectivo								
	[W/(m² K)]				-	[W/(m² K)]			-	[kW h/m² a]	%	
												
Polar	Determinado en el PHPP según los días específicos del proyecto en los que se necesita calefacción o refrigeración, en función del clima y la temperatura del terreno.	0,09	0,25	-	0,45	0,50	0,60	U _g - g*0,7 ≤ 0	100	80%	-	
Fría		0,12	0,30	-	0,65	0,70	0,80	U _g - g*1,0 ≤ 0		80%	-	
Fría - templada		0,15	0,35	-	0,85	1,00	1,10	U _g - g*1,6 ≤ 0		75%	-	
Cálida - templada		0,30	0,50	-	1,05	1,10	1,20	U _g - g*3,2 ≤ -0,6		75%	-	
Cálida		0,50	0,75	-	1,25	1,30	1,40	-		-	-	
Calurosa		0,50	0,75	Sí	1,25	1,30	1,40	-		-	60 % (clima húmedo)	
Muy calurosa		0,25	0,45	Sí	1,05	1,10	1,20	-		-	60 % (clima húmedo)	

- Envolvente opaca del edificio:** Se debe mejorar la resistencia térmica de los elementos constructivos, comprobando el valor-R o usando valores conservadores si no se conocen los materiales exactos. En climas cálidos, el cálculo de requisitos de transmitancia térmica (valor-U) se ajusta según la demanda de refrigeración o calefacción. Los puentes térmicos deben minimizarse en función de la rentabilidad a largo plazo.
- Aislamiento interior:** Este requisito aplica solo a muros exteriores con aislamiento interior. Para techos, pisos y sótanos con aislamiento interior, se siguen los criterios de aislamiento exterior.
- Pintura exterior:** Los acabados reflectivos deben cumplir con índices de reflexión solar (SRI) específicos según la inclinación de la superficie. Se permite aumentar el espesor del aislamiento como medida alternativa si la demanda de refrigeración no aumenta.
- Ventanas:** El valor-U del acristalamiento debe ajustarse según la inclinación de la ventana. Para ventanas pequeñas, se ajusta el valor límite según la relación entre marco y superficie.
- Acristalamiento:** El valor límite de transmisión térmica se aplica solo a edificios con calefacción activa y una demanda de más de 15 kWh/(m²a).

6. **Carga solar:** Se controla la radiación solar que ingresa al edificio a través de las ventanas para edificios con refrigeración activa y demanda superior a 15 kWh/(m²a).
7. **Ventilación, eficiencia mínima de recuperación de calor:** El sistema de ventilación debe cumplir con una eficiencia mínima de recuperación de calor, considerando las pérdidas de calor en los conductos.
8. **Eficiencia mínima de recuperación de humedad:** En climas húmedos, el sistema debe ser capaz de recuperar humedad si las horas de grados secos para deshumidificación son ≥ 15 kWh, determinado automáticamente en el PHPP.

Tabla 6 Criterios de demanda energética EnerPHit (como alternativa a la Tabla 5)

Zona climática de acuerdo al PHPP	Calefacción	Refrigeración
	Demanda máxima de calefacción	Demanda máxima de refrigeración + deshumidificación
	[kW h/(m² a)]	[kW h/(m² a)]
Polar	35	Igual al requisito de refrigeración para Passivhaus ¹
Fría	30	
Fría - templada	25	
Cálida - templada	20	
Cálida	15	
Calurosa	15	
Muy calurosa	15	

1. Desviándose del requisito para Passivhaus, para el cálculo del valor límite de la demanda de refrigeración y deshumidificación específico para el edificio, se asume que la hermeticidad es $n_{50} = 1,0$ 1/h (en lugar de 0,6 1/h).

Tabla 7 Criterios generales EnerPHit (siempre aplicables independientemente del método elegido)

			Criterios	Criterios alternativos		
Hermeticidad						
Resultado ensayo de presurización n ₅₀	[1/h]	≤	1,0			
Energía primaria renovable (PER)³						
			Classic	Plus	Premium	
Demanda PER	[k Wh/(m² a)]	≤	60 45 30 + asignación debido a una mayor demanda de calefacción/refrigeración (en comparación con Passivhaus)			±15 k Wh/(m² a) desviación respecto a los criterios...
Generación de energía renovable (con referencia a la huella proyectada del edificio)	[k Wh/(m² a)]	≥	- 60 120			...compensando la desviación mostrada arriba mediante diferentes montos de generación

Excepciones para EnerPHit

En caso necesario, los límites del coeficiente de transmitancia térmica para la envolvente exterior indicados en la Tabla 7 pueden rebasar por una o varias de las siguientes razones (Feist, 2022):

- Requisitos legales.
- Si es requerido por las autoridades de conservación de edificios históricos.
- Si una medida necesaria no es rentable debido a circunstancias excepcionales o a requisitos adicionales.
- El nivel de aislamiento requerido restringe de forma inaceptable el uso del edificio o de la zona que le rodea.
- No existen componentes que cumplan tanto con los criterios EnerPHit como con requisitos adicionales especiales (por ejemplo, protección contra incendios).
- El coeficiente de transmitancia térmica de las ventanas (UW, instalada) aumenta debido a un elevado coeficiente de pérdidas por puente térmico (valor psi) cuando las ventanas no se instalan en la capa de aislamiento en un muro que tiene aislamiento interior.
- En el caso del aislamiento interior, si se requiere un menor espesor del aislamiento para evitar daños por acumulación de humedad.
- Por otras razones de peso relacionadas con la construcción.
- Si alguna de estas razones restringe el espesor del aislamiento, debe instalarse el grosor de aislamiento que aún sea posible utilizando un aislamiento de baja conductividad igual o menos a 0,025 W/ (m K) que sea rentable y, en el caso del aislamiento interior, que no cause acumulación de humedad. Si es el caso de soleras / losas de piso o techos de sótanos, debe instalarse adicionalmente aislamiento perimetral, si es rentable.

3 CAPÍTULO 3

-DISEÑO Y METODOLOGÍA

Como se ha mencionado anteriormente, un edificio de energía neta cero (NZEB) es un edificio que genera tanta energía renovable como la que consume en un año.

Este proceso será aplicado en cuatro residencias ubicadas en los distintos microclimas localizados en el estado de Morelos, las cuales predominan cuatro que son las zonas cálidas (de 22°C a más) ocupan el 68.17% del territorio estatal, le siguen las zonas semicálidas (entre 18 y 22°C) que en el estado predominan cuatro microclimas, el 18.85%, luego las zonas templadas (entre 12 y 18°C) que abarcan el 9.7% y finalmente zonas semifrías (entre 5 y 12°C) que cubre el restante 3.28%, Figura 3.1.



Figura 3.1 Microclimas predominantes del estado de Morelos (Para todo Mexico, 2023).

3.1 Metodología BIM

El modelado de información de la construcción (BIM) Figura 3.2, es una metodología que integra la información de todas las disciplinas y procesos involucrados en el ciclo de vida de un proyecto de construcción. El primer paso en el BIM es la creación de un modelo virtual del edificio o infraestructura. Este modelo contiene objetos 3D que pueden estar asociados con una gran cantidad de datos de diferentes tipos. Estos datos pueden ser utilizados para evaluar la eficiencia del proyecto o para determinar si cumple con los requisitos necesarios para una determinada certificación energética.

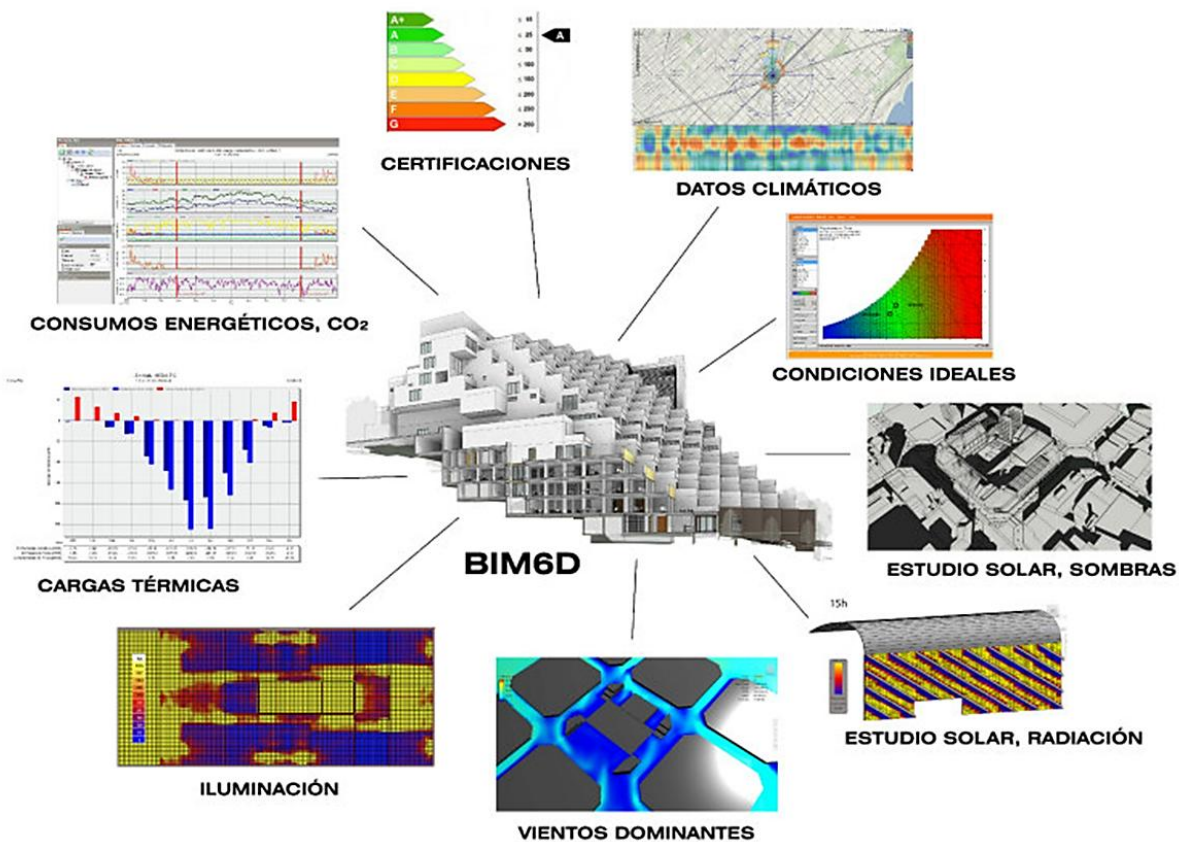


Figura 3.2 La sexta dimensión del BIM, aplicado a la eficiencia energética (Urbanas, 2023).

3.1.1 Beneficios del BIM

- Mejora la coordinación y colaboración entre los diferentes agentes involucrados en el proyecto. El BIM permite a todos los participantes del proyecto acceder a la misma información en tiempo real, lo que facilita la comunicación y la resolución de problemas.
- Reduce los errores y las modificaciones durante la construcción. El BIM permite identificar los problemas potenciales antes de que ocurran, lo que ahorra tiempo y dinero.
- Mejora la eficiencia y la productividad. El BIM automatiza muchos de los procesos de construcción, lo que permite a los equipos trabajar de forma más eficiente.
- Ofrece una visión integral del proyecto. El BIM permite visualizar el proyecto en su totalidad, lo que facilita la toma de decisiones.
- Permite el análisis de la información del proyecto. El BIM permite recopilar y analizar datos sobre el proyecto, lo que puede utilizarse para mejorar el diseño, la construcción y el mantenimiento del edificio.

3.1.2 Limitaciones del BIM

- El BIM es una tecnología compleja que requiere una inversión inicial en software y formación.

- No es adecuado para todos los proyectos. El BIM puede ser una herramienta muy eficaz para proyectos de gran tamaño o complejidad, pero puede no ser adecuado para proyectos pequeños o sencillos.
- El BIM requiere un cambio de cultura en las organizaciones, y puede ser difícil de implementar en organizaciones que no están preparadas para ello.

3.2 Plataforma de la metodología BIM

La plataforma BIMserver.center es el CDE (Entorno de Datos Comunes) de la empresa CYPE que permite administrar, compartir y actualizar proyectos de arquitectura, ingeniería y construcción en la nube. A través de la plataforma web denominada BIMserver.center, se realiza la comunicación directa entre todos los colaboradores y aplicaciones que forman parte de un proyecto integrado en el flujo de trabajo Open BIM.

La plataforma es única en el mundo gracias a que posibilita el flujo de trabajo colaborativo y sincronizado entre los profesionales de cada especialidad Figura 3.3, pudiendo utilizar en la plataforma diferentes soluciones de software en un mismo proyecto. BIMserver.center ofrece almacenamiento ilimitado y de uso libre, algunas aplicaciones de la librería de BIMserver se muestran a continuación:

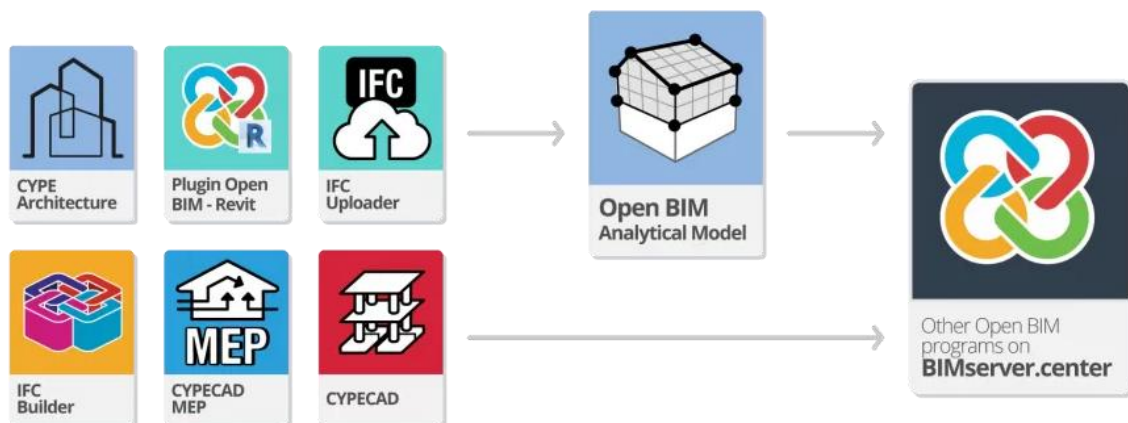


Figura 3.3 Sincronización de aplicaciones BIMserver.center.

De las aplicaciones del servidor BIM, se utilizaron en el estudio las siguientes:

3.2.1 IFC Builder

Aplicación gratuita BIM diseñada por CYPE para la creación y mantenimiento de modelos IFC (Industry Foundation Classes) de edificios Figura 3.4. Con un manejo muy sencillo y accesible, IFC Builder está integrado en el flujo de trabajo Open BIM a través de la plataforma BIMserver.center.

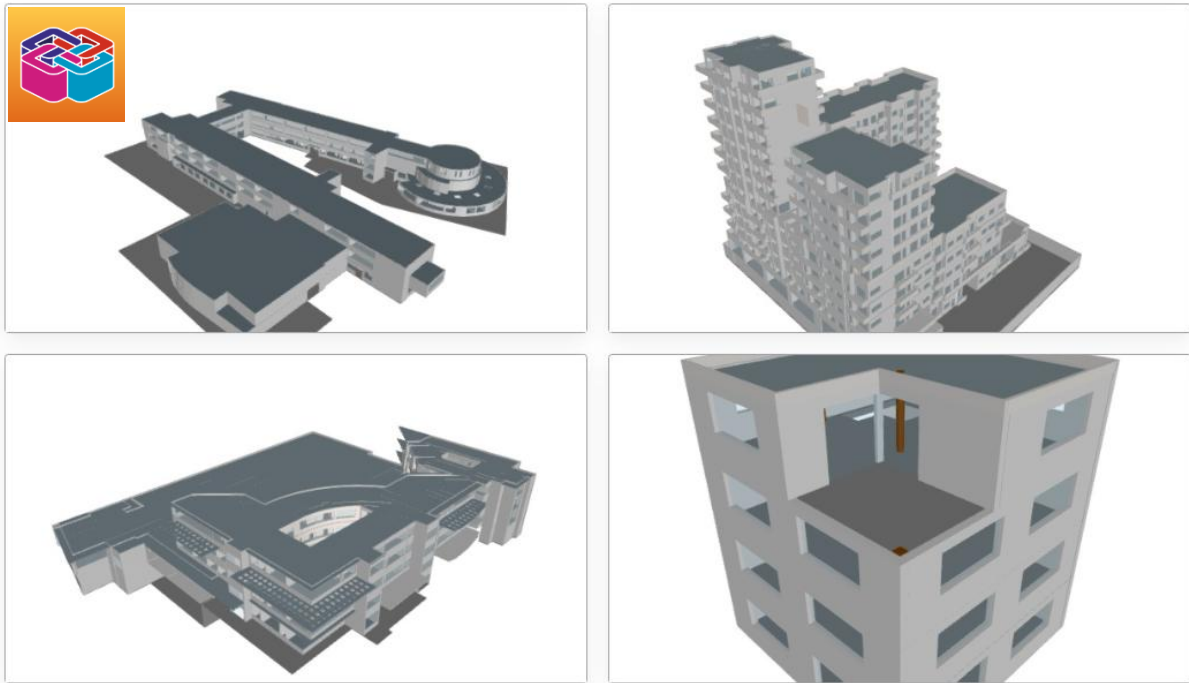


Figura 3.4 Galería de aportaciones de diseños creados en IFC Builder (BIMserver.center, 2024).

Ventajas:

- **Gratis:** IFC Builder es una herramienta gratuita que puede ser utilizada por cualquier persona, independientemente de su presupuesto.
- **Fácil de usar:** La interfaz de usuario de IFC Builder es sencilla e intuitiva, lo que la hace fácil de aprender y usar, incluso para usuarios sin experiencia previa en BIM.
- **Potente:** Es una herramienta potente que puede ser utilizada para crear modelos IFC complejos y detallados.
- **Compatible con BIMserver.center:** Se integra con la plataforma BIMserver.center, lo que permite a los usuarios colaborar en proyectos BIM de forma eficaz.
- **Compatible con IFC:** Es compatible con el estándar IFC, lo que significa que los modelos creados con IFC Builder pueden ser utilizados con una amplia gama de software BIM.
- **Soporta múltiples idiomas:** IFC Builder está disponible en varios idiomas, incluyendo español, francés, portugués, catalán, italiano e inglés.

Desventajas:

- **Menos funciones que algunas herramientas BIM de pago:** No tiene tantas funciones como algunas herramientas BIM de pago, como Autodesk Revit.
- **No es compatible con todos los formatos de archivo BIM:** Solo es compatible con el formato de archivo IFC.
- **Requiere instalación:** IFC Builder es una aplicación que debe ser instalada en un ordenador antes de poder utilizarse.

3.2.2 CYPETHERM LOADS

Programa que calcula la carga térmica de los edificios según el Método de las Series Temporales Radiantes (RTSM), propuesto por ASHRAE.

Las series temporales radiantes (RTSM)

Son un método estadístico para modelar la variación temporal de la radiación solar en un lugar específico. Se basan en la idea de que la radiación solar puede ser representada como una suma de componentes deterministas y aleatorios (CYPE Software, 2024).

Componentes deterministas:

Radiación solar extraterrestre: Es la cantidad de radiación solar que llega a la parte superior de la atmósfera terrestre. Se puede calcular utilizando modelos matemáticos que tienen en cuenta la posición del sol, la distancia entre la Tierra y el sol y otras variables.

Atenuación atmosférica: Es la pérdida de energía de la radiación solar a medida que atraviesa la atmósfera terrestre. Se ve afectada por la cantidad de vapor de agua, polvo y otros aerosoles en la atmósfera.

Componentes aleatorios:

Nubes: Las nubes pueden reflejar y absorber la radiación solar, lo que puede causar variaciones significativas en la radiación solar en la superficie de la Tierra.

Otros factores: Otros factores que pueden afectar la variación temporal de la radiación solar incluyen la topografía, la vegetación y la actividad humana.

Ecuaciones principales de las RTSM:

Las RTSM se basan en una serie de ecuaciones que describen la relación entre la radiación solar en la superficie de la Tierra y los componentes deterministas y aleatorios mencionados anteriormente. Las ecuaciones más comunes incluyen:

Modelo de Spencer: Este modelo es uno de los modelos RTSM más simples y se utiliza a menudo para estimar la radiación solar global en lugares con cielos despejados.

Modelo de Glickman: Este modelo es más complejo que el modelo de Spencer y tiene en cuenta la atenuación atmosférica y la radiación difusa.

Modelo de Ineichen: Este modelo es uno de los modelos RTSM más completos y tiene en cuenta una amplia gama de factores, como la nubosidad, la topografía y la vegetación.

Aplicaciones de las RTSM:

Las RTSM se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo:

Diseño de edificios: Las RTSM se pueden utilizar para estimar la demanda de energía de los edificios y para diseñar sistemas de energía solar.

Agricultura: Las RTSM se pueden utilizar para estimar el rendimiento de los cultivos y para planificar el riego.

Hidrología: Las RTSM se pueden utilizar para estimar la evaporación y la transpiración.

Climatología: Las RTSM se pueden utilizar para estudiar el clima y el cambio climático.

Integrada en el área de trabajo Open BIM, permite importar modelos geométricos BIM generados por software como IFC Builder, así como otros ficheros de información IFC, entre los que se incluyen los generados por CYPELUX y CYPELUX CTE Figura 3.5, con información referente a la potencia eléctrica instalada.

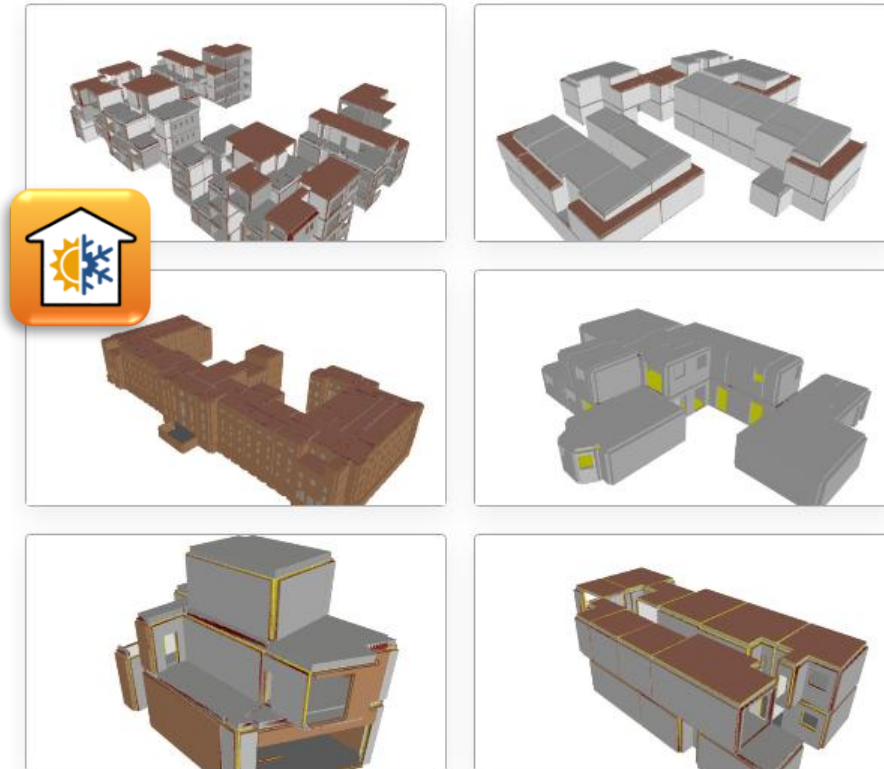


Figura 3.5 Galería de aportaciones de diseños creados en la aplicación CYPETHERM LOADS (BIMserver.center, 2023).

CYPETHERM LOADS también cuenta con una base de datos climáticos Weather Data Viewer 4.0 de ASHRAE con 5,564 estaciones localizadas por todo el mundo para importar los datos climáticos necesarios para el cálculo. Es gratis y potente, y se integra con la plataforma BIMserver.center. Sin embargo, es importante tener en cuenta que no tiene tantas funciones como algunas herramientas de análisis energético de edificios de pago y requiere instalación.

3.2.3 CYPE Architecture

Herramienta que permite trabajar en un entorno de modelado BIM para una mejor coordinación y colaboración entre los diferentes agentes implicados en el proyecto. Proporciona una interfaz intuitiva y fácil de usar para el diseño y modelado de edificios y estructuras. Permite la generación de planos y vistas en 2D y 3D para una mejor visualización del proyecto. Es una herramienta completa que permite a los

arquitectos, ingenieros y otros profesionales de la construcción crear modelos BIM precisos y detallados de sus proyectos Figura 3.6.

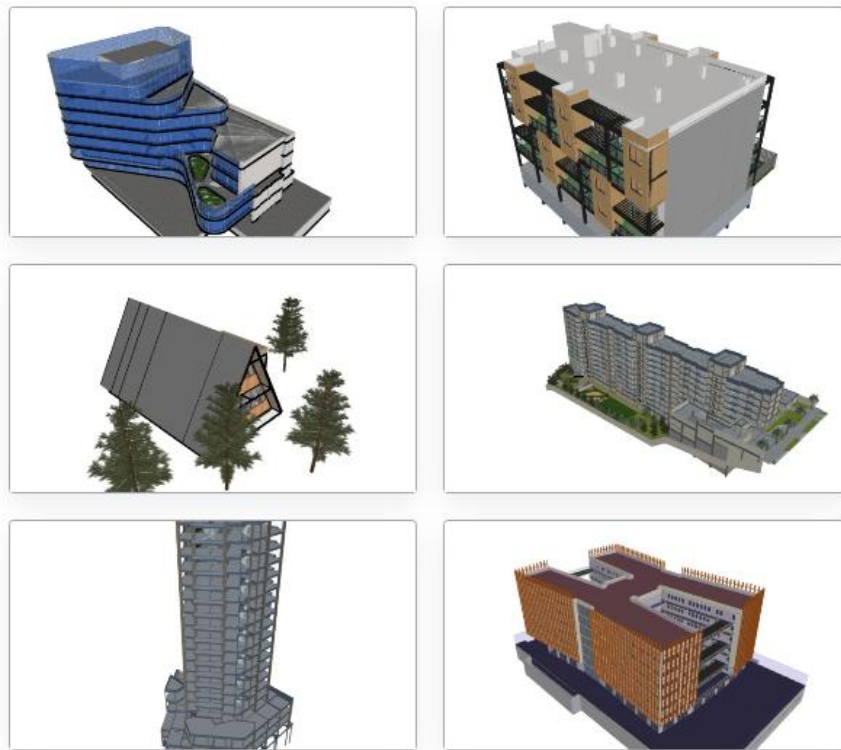


Figura 3.6 Galería de aportaciones de diseños creados en CYPE Architecture (BIMserver, 2024).

En general, CYPE Architecture es una herramienta valiosa para el diseño y análisis de edificios. Es completa, potente y fácil de usar, y se integra con la plataforma BIMserver.center. Sin embargo, es importante considerar que se requiere generar la curva de aprendizaje.

3.2.4 Open BIM Layout

Programa gratuito que permite la generación de vistas, acotación y maquetas de planos a través de modelos BIM (plantas, alzados, secciones y perspectivas axonométricas). La herramienta está integrada en el flujo de trabajo Open BIM, lo que le permite importar los modelos de un proyecto alojado en la plataforma BIMserver.center y formar parte del flujo de trabajo colaborativo, multidisciplinar y multiusuario que proporciona la tecnología Open BIM Figura 3.7. Open BIM Layout es una herramienta gratuita (Oxlade, 2023).

Características:

Creación de diseños: Permite crear diseños arquitectónicos de forma precisa y detallada, utilizando herramientas de dibujo y edición avanzadas.

Gestión de información: Admite la gestión de información de los elementos del diseño, como la tipología, las dimensiones y las propiedades.

Colaboración: Open BIM Layout permite trabajar de forma colaborativa en proyectos BIM, compartiendo modelos IFC con otros usuarios.

Compatibilidad: Compatible con el formato IFC, lo que permite importar y exportar modelos a otras herramientas BIM.

Extensible: Permite añadir nuevas funcionalidades mediante plugins.

Beneficios:

Gratuito y de código abierto: Es gratuita y de código abierto, lo que la hace accesible a todos los usuarios.

Flexibilidad: Open BIM Layout es una herramienta flexible que se puede adaptar a las necesidades de cada proyecto.

Colaboración: Facilita la colaboración en proyectos BIM, lo que permite a los diferentes equipos trabajar de forma conjunta en un mismo modelo.

Interoperabilidad: Compatible con el formato IFC, lo que permite interoperar con otras herramientas BIM.

Escalabilidad: Es una herramienta escalable que se puede utilizar en proyectos de cualquier tamaño.



Figura 3.7 Galería de aportaciones de diseños creados en Open BIM Layout (BIMserver.center, 2024).

3.2.5 CYPETHERM HE Plus

Es un programa concebido para la certificación de la eficiencia energética de los edificios y cumplimiento de la normativa energética en edificios de nueva construcción y rehabilitación normativa de CTE DB HE0 y HE1 mediante una simulación energética calculada con EnergyPlus para la optimización de su diseño energético Figura 3.8. Ofrece la posibilidad de probar el cumplimiento del CTE DB HE1, la

limitación de la demanda energética y del CTE DB HE0, limitación del consumo energético para cualquier tipo de proyecto. Además, calcula la certificación de la eficiencia energética de cualquier tipo de edificio.

Normativa CTE DB HE0 y HE1

La normativa CTE DB HE0 y HE1, recogidas en el Código Técnico de la Edificación (CTE), establecen los requisitos mínimos de ahorro de energía y condiciones de uso de las instalaciones térmicas en los edificios de nueva construcción y rehabilitación en España. Su objetivo es reducir el consumo energético de los edificios y sus emisiones de CO₂, promoviendo la edificación sostenible (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2024).

CTE DB HE0: Limitación del consumo energético

Objetivo: Limitar el consumo energético de los edificios para calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria, iluminación y ventilación.

Exigencias: El consumo energético del edificio no debe superar un límite establecido en función de su zona climática, uso y características energéticas.

Cálculo: El consumo energético se calcula mediante una herramienta informática homologada, utilizando el método indicado en la normativa.

Características:

Cálculo de la demanda energética: Permite calcular la demanda energética de los edificios para calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria.

Cumplimiento de la normativa energética: Se realiza una verificación del cumplimiento de la normativa energética en edificios de nueva construcción y rehabilitación.

Optimización del diseño energético: Comparte puntos a optimizar en el diseño energético de los edificios mediante la simulación de diferentes soluciones constructivas y de sistemas de instalaciones.

Emisión de certificados energéticos: Emite certificados energéticos de los edificios.

Integración con BIM: Se integra con la plataforma BIMserver.center, lo que permite a los usuarios trabajar en proyectos BIM de forma eficaz.

Beneficios:

Reducción del consumo energético: Ayuda a reducir el consumo energético de los edificios, lo que se traduce en un ahorro económico y una menor emisión de gases de efecto invernadero.

Mejora del confort térmico: Asiste para mejorar el confort térmico de los edificios, lo que aumenta la satisfacción de los usuarios.

Cumplimiento de la normativa: Revisa el diseño para cumplir con la normativa energética, lo que evita sanciones y multas.

Optimización del diseño: Permite optimizar el diseño energético de los edificios, lo que reduce los costes de construcción y operación.

Mayor eficiencia energética: Comparte mejoras para la eficiencia energética de los edificios, lo que contribuye a la sostenibilidad del ambiente.

Casos de uso:

Diseño de edificios de nueva construcción: CYPETHERM HE Plus se puede utilizar para el diseño de edificios de nueva construcción, asegurando que cumplan con la normativa energética y que sean energéticamente eficientes.

Rehabilitación energética de edificios: CYPETHERM HE Plus se puede utilizar para la rehabilitación energética de edificios existentes, identificando las medidas de ahorro energético más adecuadas.

Emisión de certificados energéticos: CYPETHERM HE Plus se puede utilizar para emitir certificados energéticos de los edificios, proporcionando información sobre su consumo y su eficiencia energéticos.

Auditorías energéticas: CYPETHERM HE Plus se puede utilizar para realizar auditorías energéticas de edificios, identificando las áreas de mejora en cuanto al consumo energético.

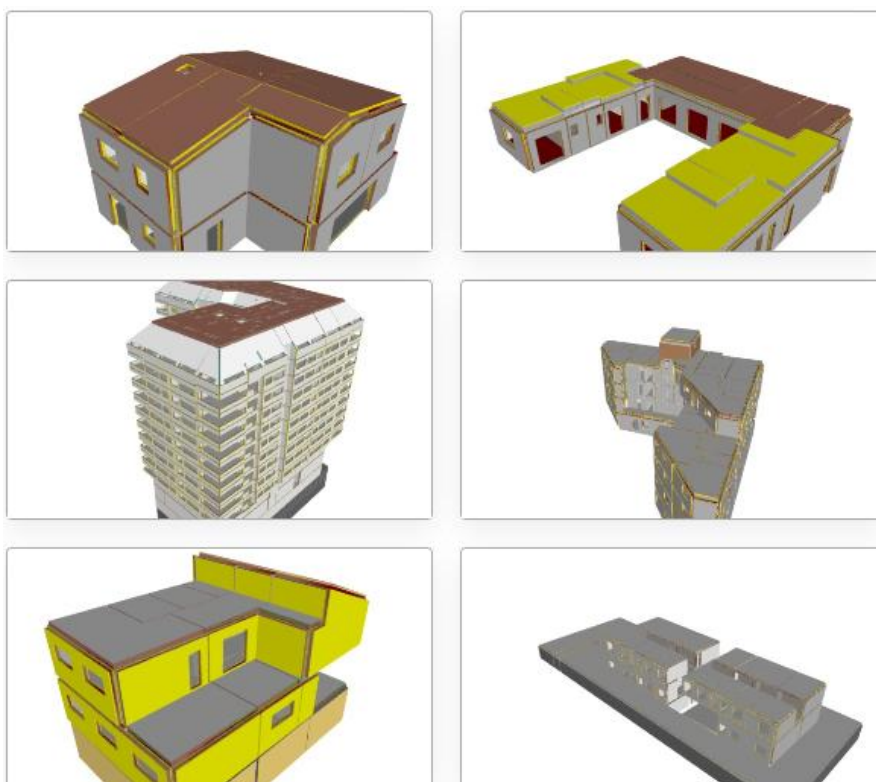


Figura 3.8 Galería de aportaciones de diseños creados en CYPETHERM HE Plus (BIMserver.center, 2024).

3.3 Modelado de viviendas en el estado de Morelos

3.3.1 Clima semicálido-vivienda en Jiutepec

Para todos los casos se realizó un estudio de la orientación de cada edificación Figura 3.9, ya que influye significativamente en la cantidad de radiación solar que recibe el edificio a lo largo del día y del año, afectando la temperatura interior, el consumo de energía y el confort de los residentes.

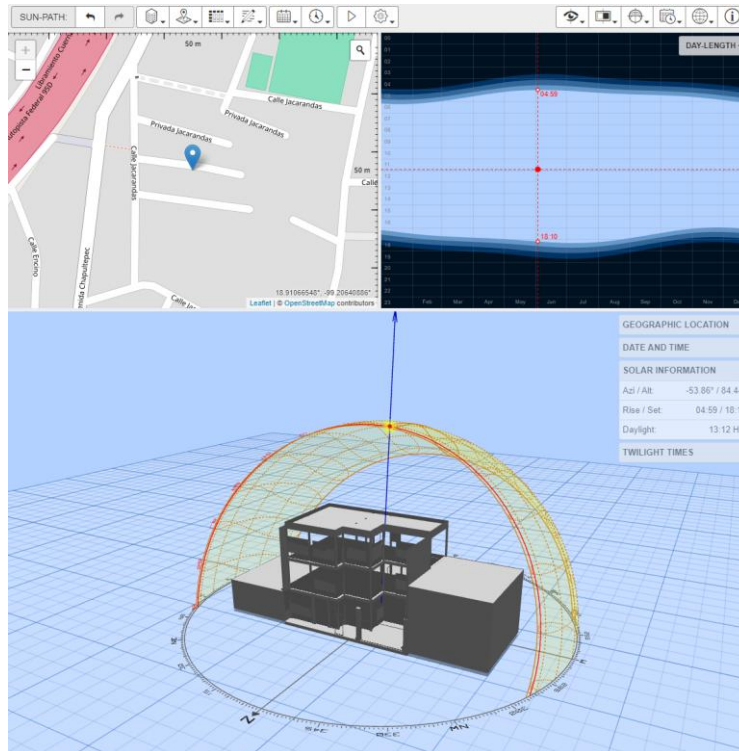


Figura 3.9 Orientación de la edificación en Jiutepec (Marsh, 2014).

En el diseño del edificio, se utilizó el CYPE Architecture para el levantamiento 3D de la edificación y con el programa Open BIM Layout, se obtuvieron las vistas 2D, Figura 3.10.

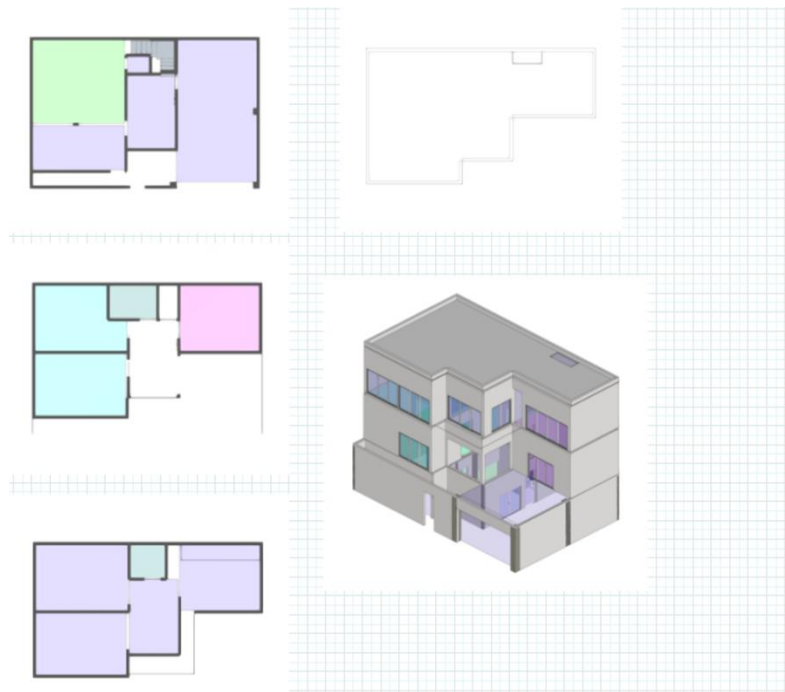


Figura 3.10 Planos de edificación para análisis creado mediante Open BIM Layout.

Con los planos 2D, se trasladó el diseño a IFC Builder, mediante el cual se colocó nuevamente la estructura, Figura 3.11 y Figura 3.12, para su análisis en los distintos programas de BIMserver resaltando la orientación, los tipos de muros y el recinto.



Figura 3.11 Edificación para análisis diseñada en CYPE Architecture (BIMserver.center, 2023).

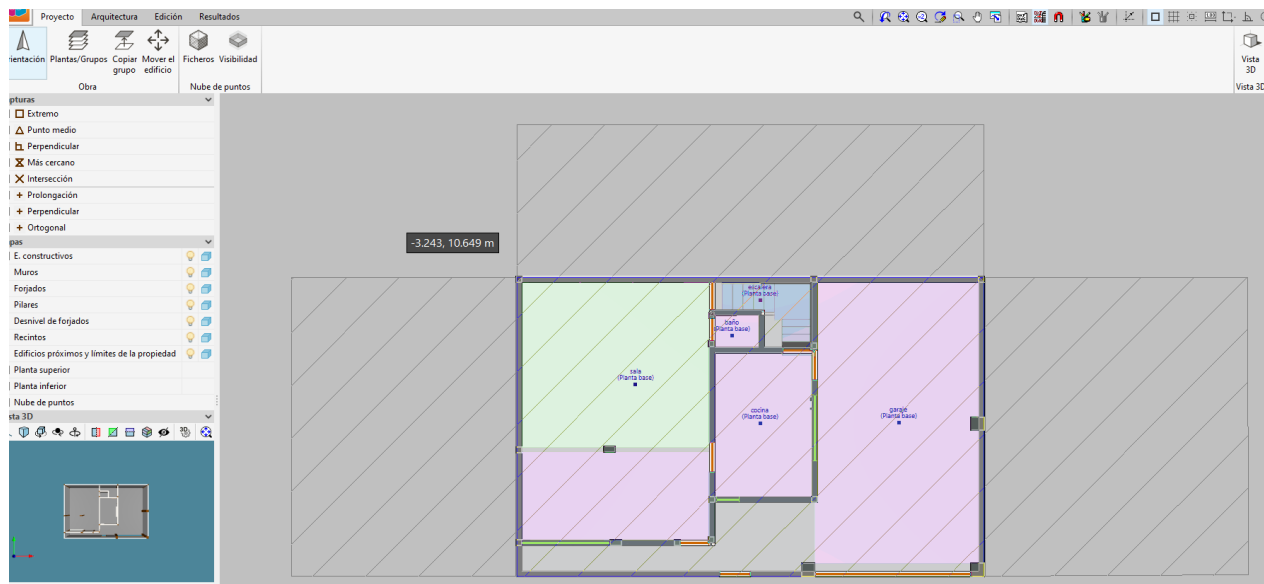


Figura 3.12 Plano 2D de la edificación en IFC Builder.

Se toma en cuenta los edificios próximos, que serán sombreados con un volumen anaranjado Figura 3.13, para ser considerados en los programas siguientes para su análisis.



Figura 3.13 Edificación 3D en IFC Builder.

Para el análisis de cargas térmicas, se colocaron los datos de los materiales de construcción, de ventanas y puertas, esto para hacer el estudio correspondiente. Las condiciones de diseño al aire libre para el cálculo de cargas son proporcionadas predeterminadamente por datos climáticos específicos de la ubicación (Figura 3.14), tomados del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), pero comparándolos con la NASA, weatherspark (weatherspark, 2023) y ASHRAE del año 2021 al 2022.

Una vez obtenidas las cargas térmicas utilizando el CYPETHERM LOADS, se realizó otro levantamiento del edificio en IFC Builder para introducirlo en el CYPETHERM HE Plus y proceder con la simulación energética, para este programa se utilizaron datos climáticos en formato EPW (Figura 3.16), que es un formato de archivo de datos meteorológicos utilizado por el software de simulación de energía EnergyPlus (Analysis, 2023) , el cual es un motor utilizado para la simulación energética.

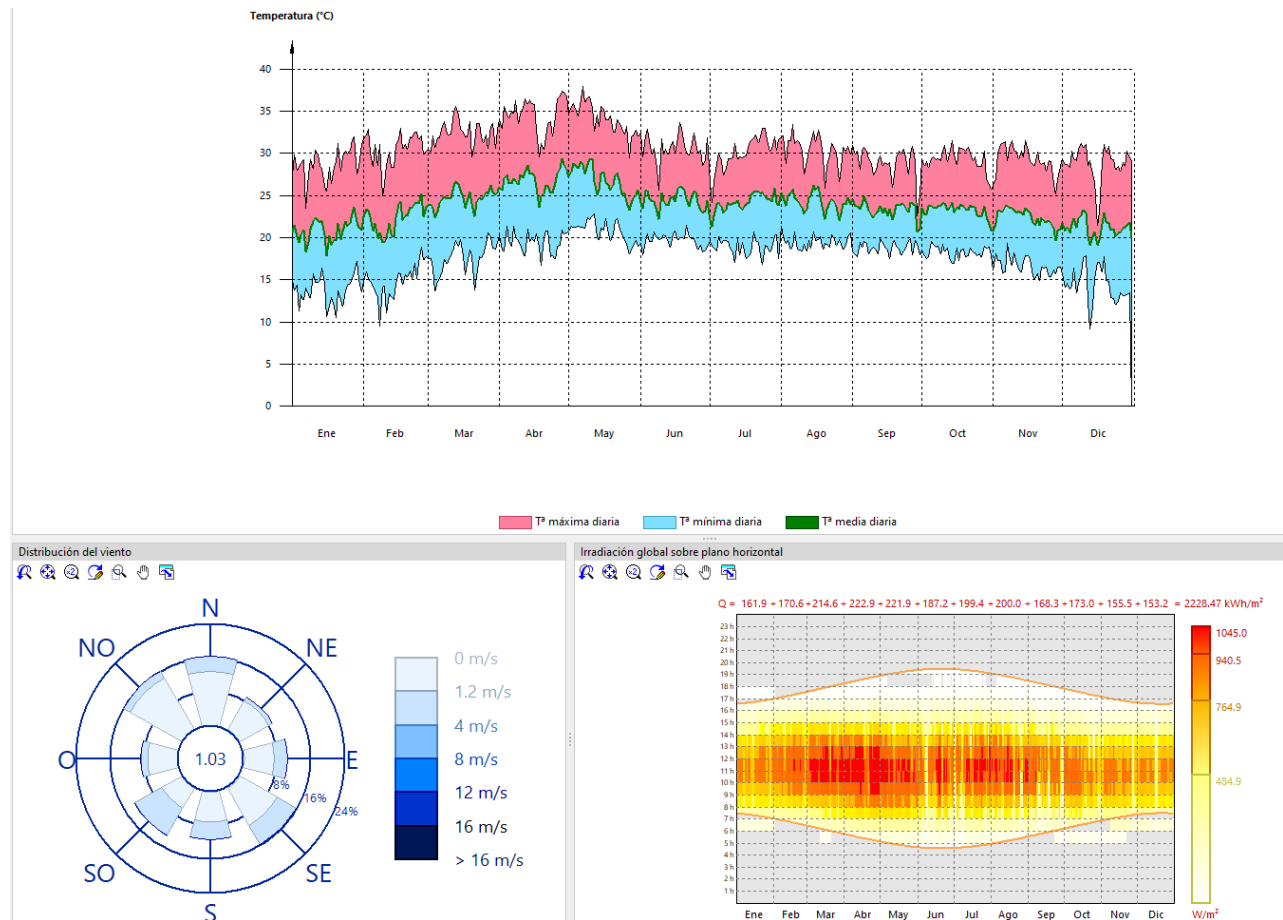


Figura 3.16 Datos meteorológicos utilizados en CYPETHERM HE Plus (ladybug, 2021).

El software de CYPE ingenieros ofrece a los usuarios diferentes programas específicos para el análisis y la simulación energética de los edificios basados en el motor de cálculo de EnergyPlus Figura 3.17:

- Cypetherm EPlus: Modelización y simulación energética de edificaciones con EnergyPlus.
- Cypetherm HE Plus: Justificación de la normativa DB-HE y calificación energética de edificios, mediante la simulación energética de su modelo, calculado con EnergyPlus.

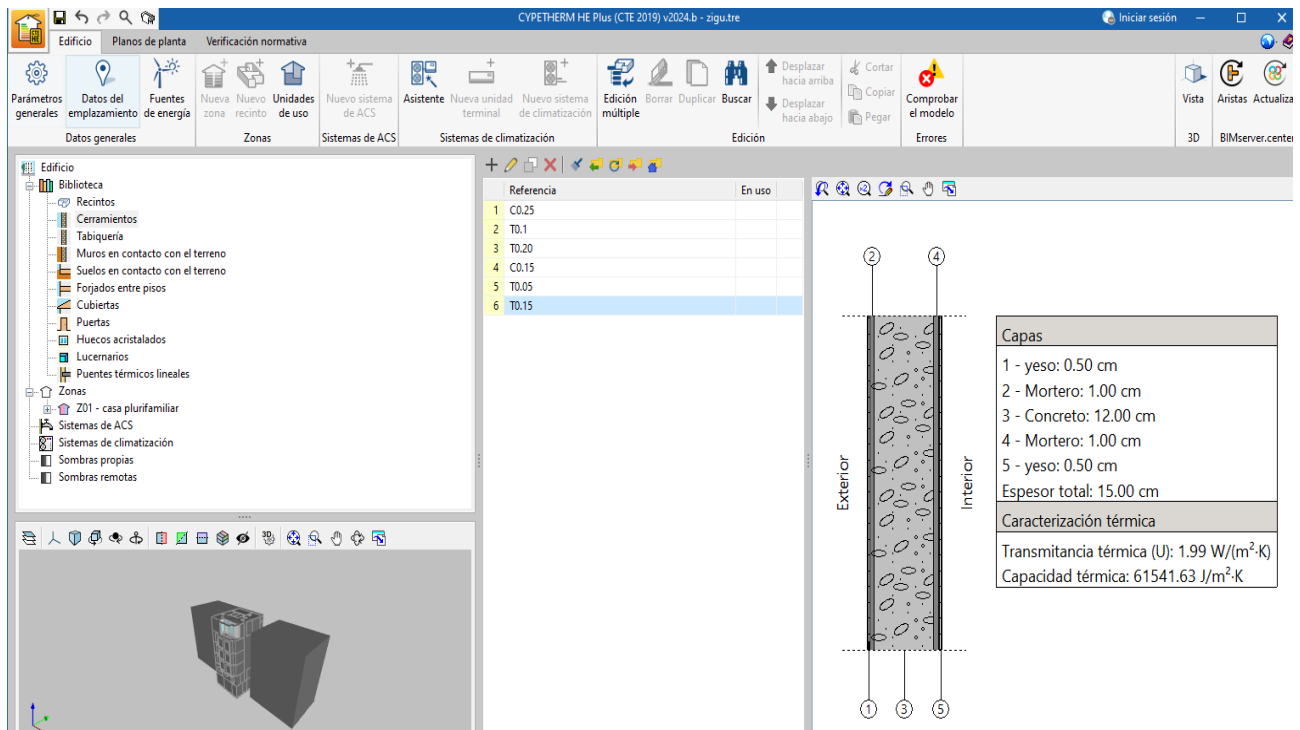


Figura 3.17 Datos de estructura del edificio plurifamiliar en CYPETHERM HE Plus.

Una vez colocado y realizado los análisis térmicos correspondientes, se efectúa el mismo procedimiento para las otras viviendas de estudio, teniendo en cuenta que cambian su ubicación, orientación, materiales de construcción y diseño arquitectónico.

3.3.2 Clima cálido subhúmedo-vivienda en Temixco

La segunda edificación de estudio se encuentra en residencial la hacienda Temixco con un clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano con una orientación al oeste Figura 3.18.

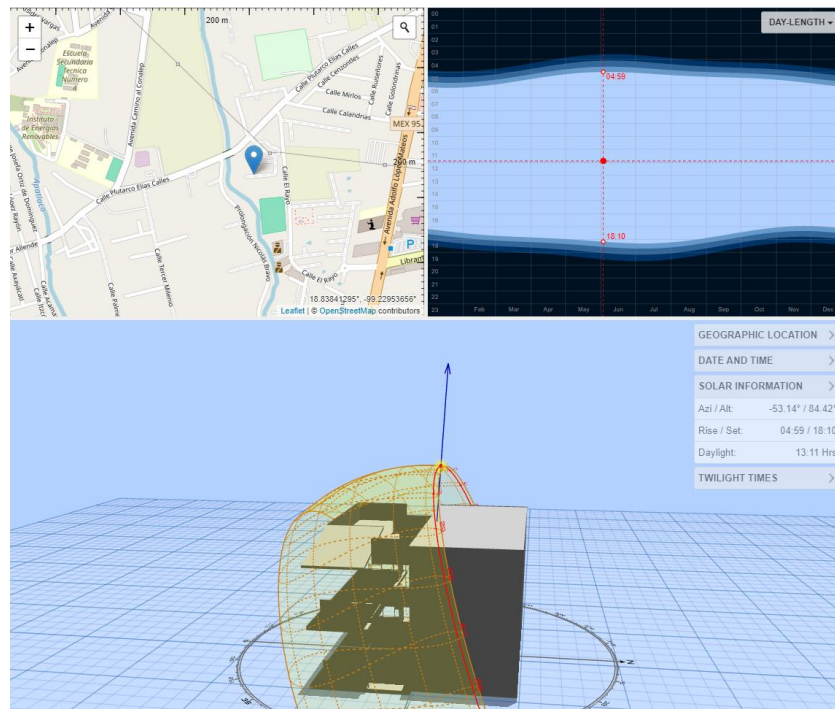


Figura 3.18 Orientación de la edificación en Temixco. (Marsh, 2014)

Se realizaron los alzados 2D Figura 3.19 y 3D del edificio Figura 3.20.

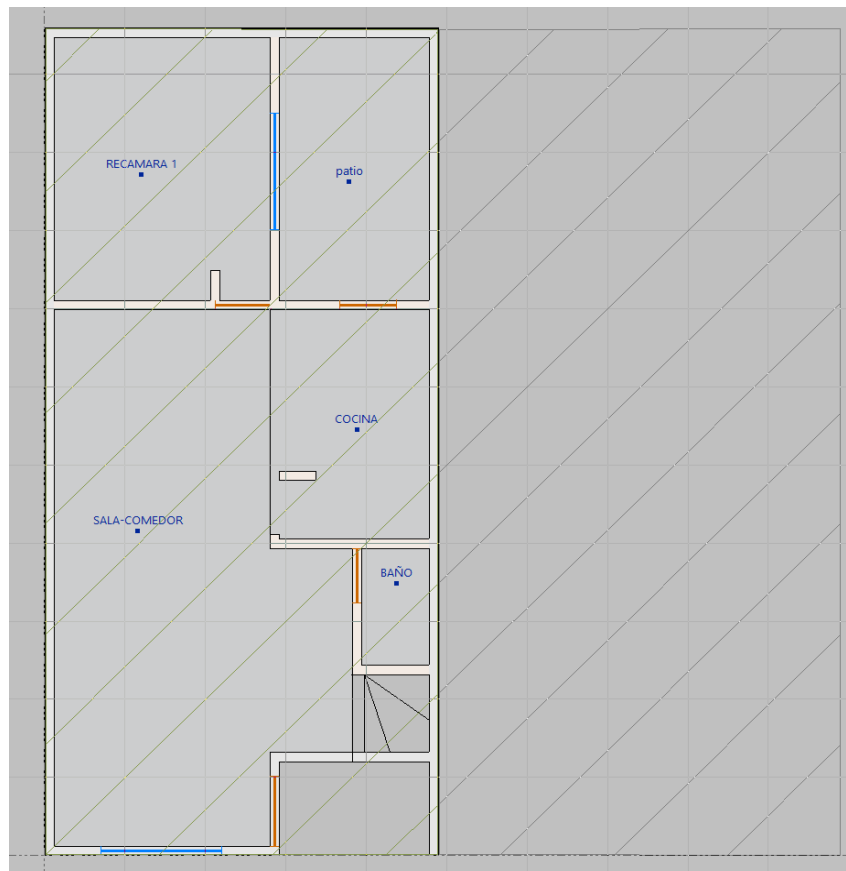


Figura 3.19 Plano 2D de la edificación ubicada en Temixco.

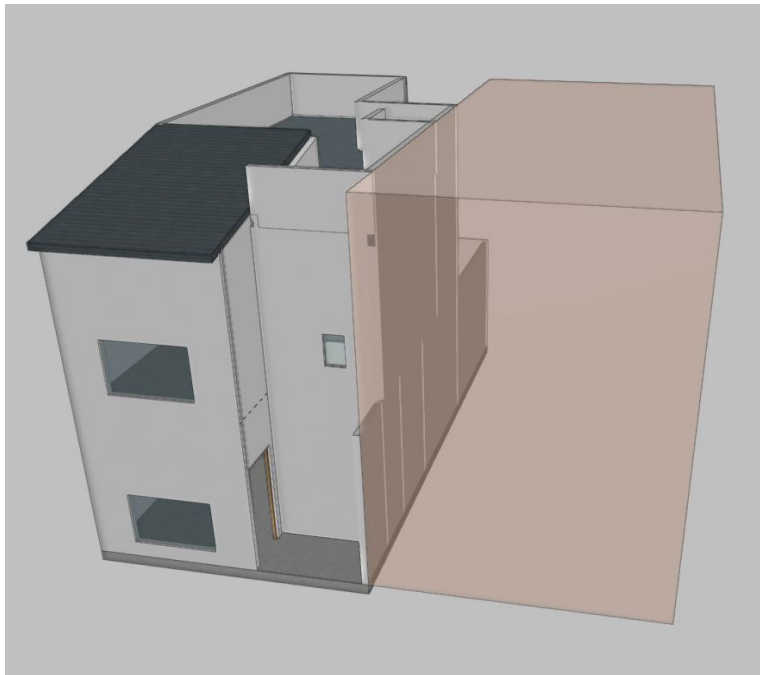


Figura 3.20 Plano 3D de la edificación ubicada en Temixco.

Se ingresaron las propiedades y características de los materiales de construcción Figura 3.22, junto con la información obtenida del exterior Figura 3.21.

Emplazamiento		Temixco	
Latitud	18.84 °	Coeficiente de albedo	0.20
Longitud	-99.23 °	Zona horaria	-6.0
Altitud	1228.00 m	☐ Horario de Verano (DST)	

Condiciones de diseño para calefacción			
Temperatura seca	4.7 °C	Humedad relativa	80.0 %
		Temperatura del terreno	12.9 °C

Condiciones de diseño para refrigeración						
Cálculo de cargas de refrigeración por mes	Temperatura seca de diseño (°C)	Temperatura húmeda coincidente (°C)	Oscilación diaria de la temperatura seca (°C)	Oscilación diaria de la temperatura húmeda (°C)	Profundidad óptica del cielo despejado para la irradiación directa	Profundidad óptica del cielo despejado para la irradiación difusa
Enero	24.4	12.4	9.4	6.3	0.311	2.503
Febrero	25.8	12.9	9.7	6.5	0.336	2.454
Marzo	23.8	13.9	9.8	6.3	0.382	2.33
Abril	23.0	14.8	9.9	5.9	0.395	2.318
Mayo	21.1	17.0	9.2	5.4	0.422	2.27
Junio	20.3	19.6	9.1	5.1	0.442	2.24
Julio	16.1	21.2	8.6	5.6	0.449	2.233
Agosto	15.3	21.9	8.7	5.7	0.452	2.231
Septiembre	16.6	21.0	8.8	5.6	0.423	2.314
Octubre	17.7	18.8	9.2	5.6	0.388	2.4
Noviembre	19.5	15.6	9.1	5.9	0.344	2.482
Diciembre	20.0	13.2	9.1	5.9	0.319	2.503

Figura 3.21 Datos de emplazamiento localidad Temixco Morelos.

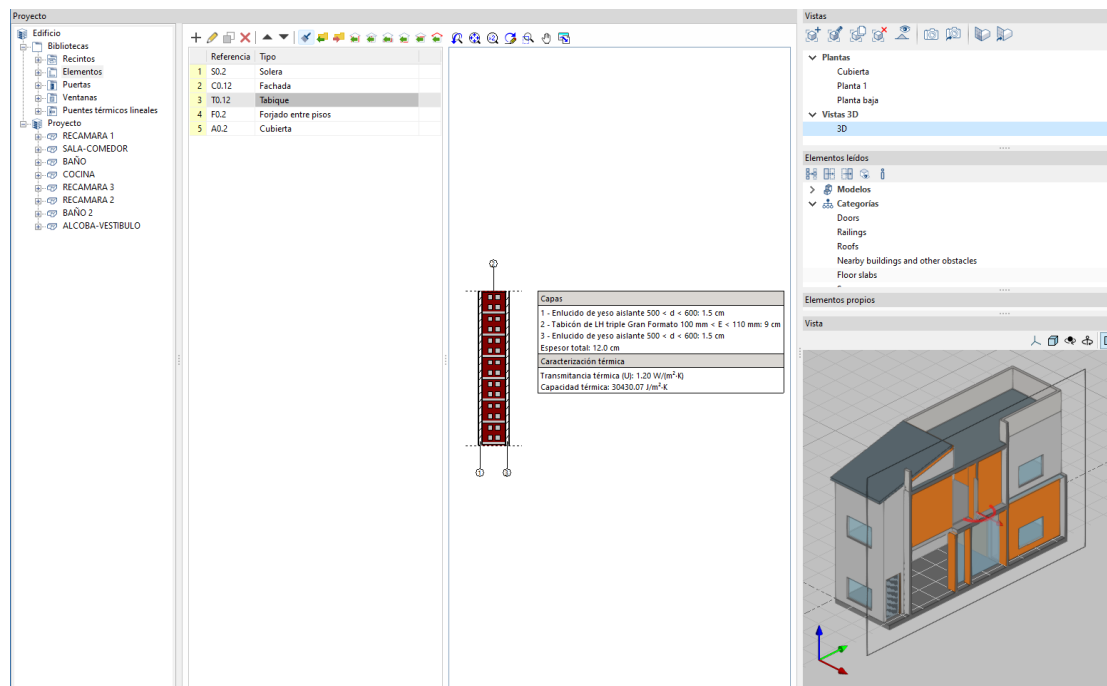


Figura 3.22 Materiales implementados en el diseño de Temixco en CYPETHERM LOADS.

3.3.3 Clima templado-Vivienda en Cuernavaca

La tercera edificación de estudio se encuentra en Lomas de Ahuatlán Cuernavaca, con un clima semicálido húmedo con lluvias en verano con orientación al noroeste Figura 3.23.

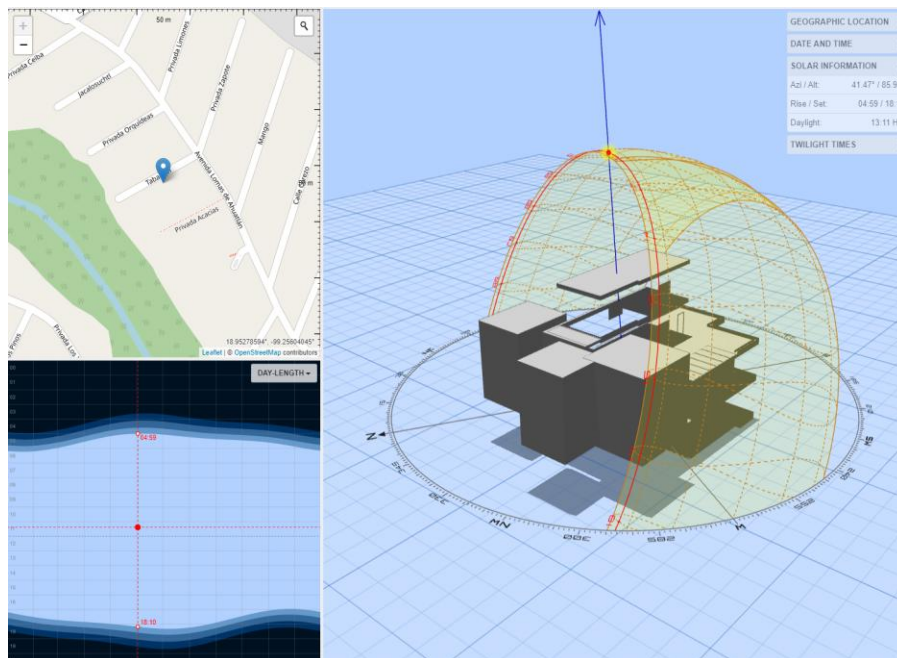


Figura 3.23 Orientación de la edificación en Cuernavaca. (Marsh, 2014).

Se realizaron los alzados 2D Figura 3.24 y 3D del edificio Figura 3.25.

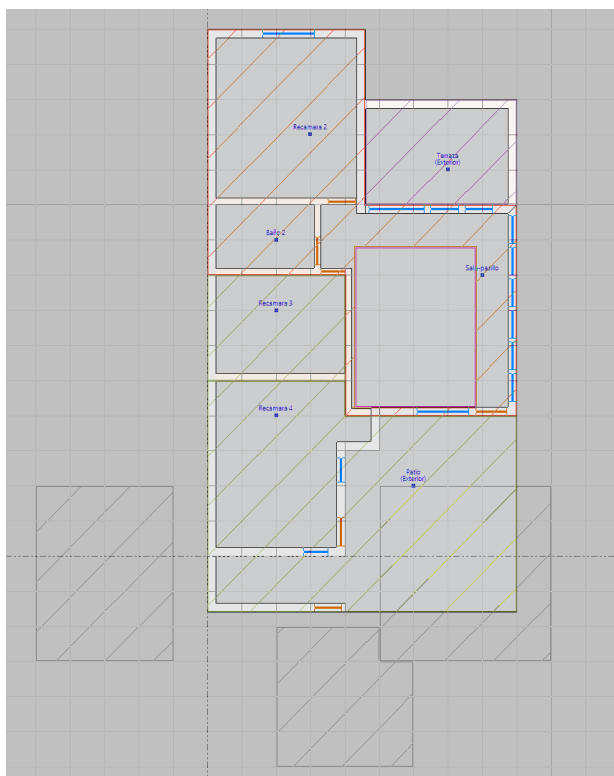


Figura 3.24 Plano 2D de la edificación ubicada en Cuernavaca.

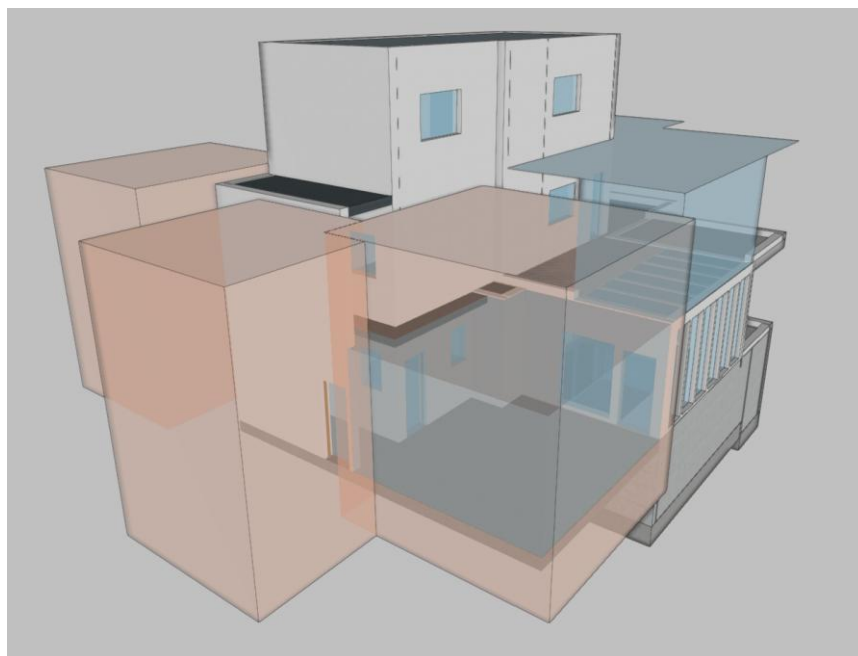


Figura 3.25 Plano 3D de la edificación ubicada en Cuernavaca.

Junto con la información obtenida del exterior Figura 3.26, se ingresaron las propiedades y características de los materiales de construcción Figura 3.27.

Emplazamiento

Ahuatlán

Latitud

18.95 °

Coeficiente de albedo

0.20

Longitud

-99.26 °

Zona horaria

-6.0

Altitud

278.00 m

☐ Horario de Verano (DST)

Condiciones de diseño para calefacción

Temperatura seca

20.0 °C

Humedad relativa

48.0 %

Temperatura del terreno

27.0 °C

Condiciones de diseño para refrigeración

Cálculo de cargas de refrigeración por mes	Temperatura seca de diseño (°C)	Temperatura húmeda coincidente (°C)	Oscilación diaria de la temperatura seca (°C)	Oscilación diaria de la temperatura húmeda (°C)	Profundidad óptica del cielo despejado para la irradiación directa	Profundidad óptica del cielo despejado para la irradiación difusa
Enero	26.4	17.9	17.3	9.1	0.395	2.147
Febrero	27.6	18.4	17.7	8.8	0.413	2.093
Marzo	29.2	19.5	17.9	8.2	0.423	2.087
Abril	29.8	20.1	16.5	7.4	0.493	1.928
Mayo	30.3	20.6	14.8	6.6	0.438	2.13
Junio	31.4	21.2	11.8	5.6	0.498	1.938
Julio	32.0	21.2	10.8	5.1	0.478	2.014
Agosto	32.0	21.2	10.8	5.1	0.46	2.072
Septiembre	30.9	20.6	10.3	5.0	0.354	2.449
Octubre	29.8	20.1	12.8	6.6	0.428	2.132
Noviembre	28.1	19.5	15.7	8.0	0.341	2.407
Diciembre	27.0	18.4	17.2	8.9	0.384	2.177

Figura 3.26 Datos de emplazamiento localidad Cuernavaca Morelos.

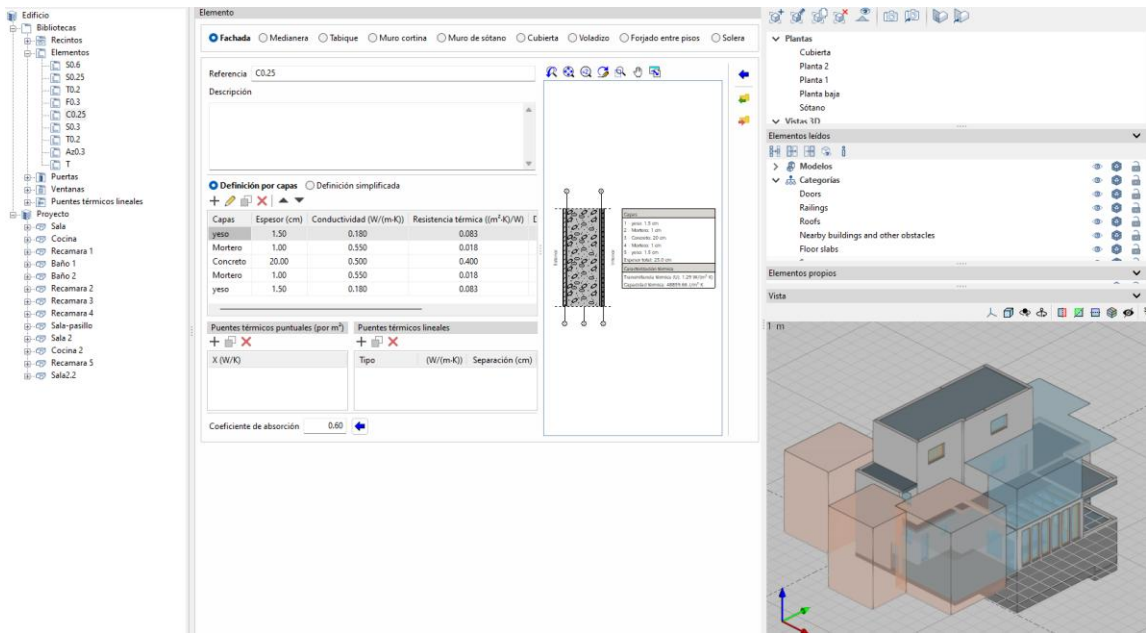


Figura 3.27 Materiales implementados en el diseño de Cuernavaca en CYPETHERM LOADS.

3.3.4 Clima semifrío-Vivienda en Huitzilac

El cuarto caso de estudio es una vivienda ubicada en Monte Cristo Huitzilac, con un clima semifrío húmedo con lluvias en verano con orientación al sur Figura 3.28.

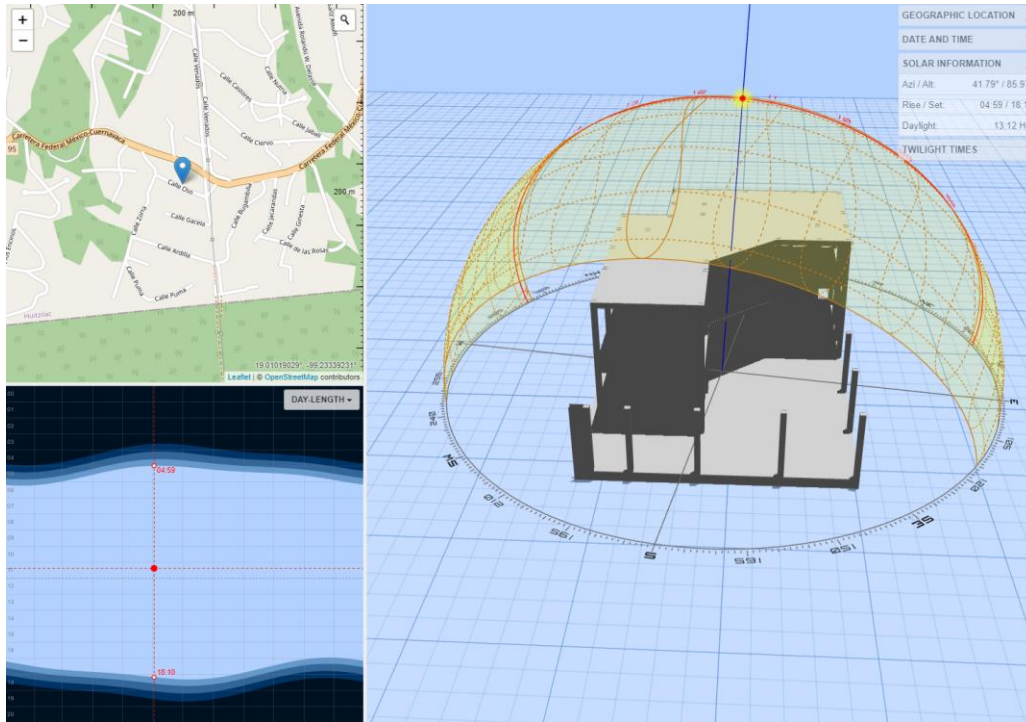


Figura 3.28 Orientación de la edificación en Huitzilac (Marsh, 2014).

Se realizaron los alzados 2D Figura 3.29 y 3D Figura 3.30 de la vivienda en Huitzilac.

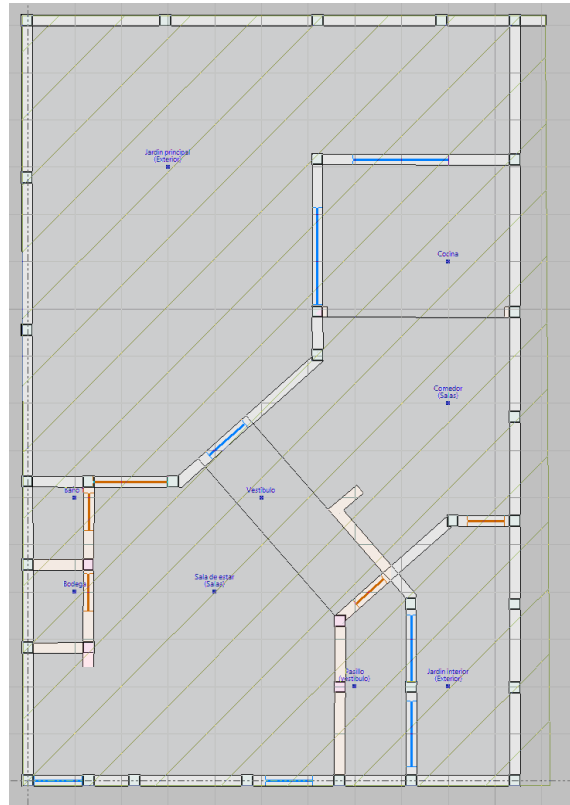


Figura 3.29 Plano 2D de la edificación ubicada en

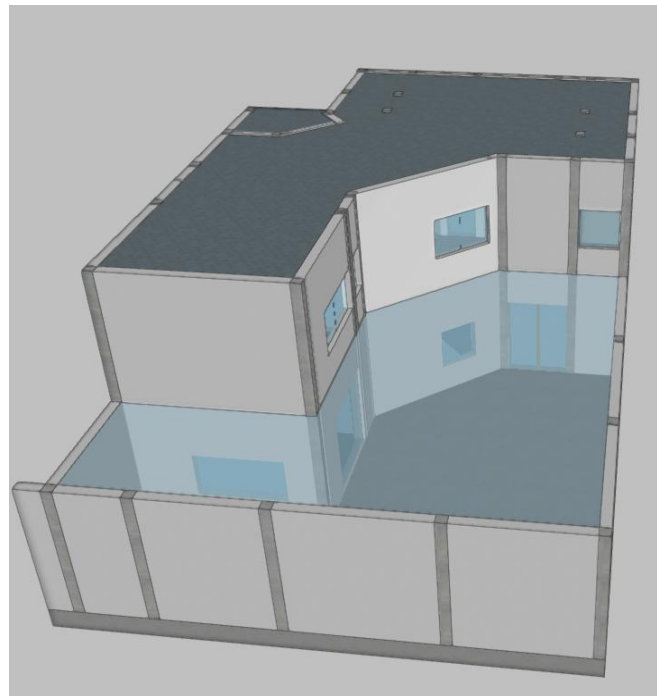


Figura 3.30 Plano 3D de la edificación ubicada en Huitzilac.

Junto con la información obtenida del exterior Figura 3.31, se ingresaron las propiedades y características de los materiales de construcción Figura 3.32.

Emplazamiento

Monte casino-huitzilac

Latitud

38.28 °

Longitud

-0.56 °

Altitud

2328.00 m

Coeficiente de albedo

0.20

Zona horaria

-6.0

☐ Horario de Verano (DST)

Condiciones de diseño para calefacción

Temperatura seca

4.7 °C

Humedad relativa

80.0 %

Temperatura del terreno

18.2 °C

Condiciones de diseño para refrigeración

Cálculo de cargas de refrigeración por mes	Temperatura seca de diseño (°C)	Temperatura húmeda coincidente (°C)	Oscilación diaria de la temperatura seca (°C)	Oscilación diaria de la temperatura húmeda (°C)	Profundidad óptica del cielo despejado para la irradiación directa	Profundidad óptica del cielo despejado para la irradiación difusa
Enero	21.4	17.9	9.4	6.3	0.311	2.503
Febrero	22.7	18.4	9.7	6.5	0.336	2.454
Marzo	23.8	19.5	9.8	6.3	0.382	2.33
Abril	21.1	20.1	9.9	5.9	0.395	2.318
Mayo	21.1	20.6	9.2	5.4	0.422	2.27
Junio	20.3	21.2	9.1	5.1	0.442	2.24
Julio	16.0	21.2	8.6	5.6	0.449	2.233
Agosto	15.3	21.2	8.7	5.7	0.452	2.231
Septiembre	16.6	20.6	8.8	5.6	0.423	2.314
Octubre	17.7	20.1	9.2	5.6	0.388	2.4
Noviembre	19.1	19.5	9.1	5.9	0.344	2.482
Diciembre	20.0	18.4	9.1	5.9	0.319	2.503

Figura 3.31 Datos de emplazamiento localidad Huitzilac Morelos.

Edificio

Bibliotecas

Recintos

Elementos

EP0.2

AG.25

CO.23

TO.23

TO.15

SO.45

Puertas

Ventanas

Puentes térmicos lineales

Proyecto

Recamara principal (Dormitorios)

Recamara 2 (Dormitorios)

Recamara 3 (Dormitorios)

Baño 1

Baño 2

Baño 3

Pasillo (vestibulo)

Vestibulo

Sala de estar (Salas)

Comedor (Salas)

Cocina

Bodega

Pasillo (vestibulo)

Vestibulo

Elemento

Fachada

Medianera

Tabique

Muro cortina

Muro de sótano

Cubierta

Voladizo

Forjado entre pisos

Solera

Referencia

TO.15

Descripción

Definición por capas

Definición simplificada

Capas	Espesor (cm)	Conductividad (W/(m·K))	Resistencia térmica ((m²·K)/W)
yeso	0.50	0.180	0.028
Mortero	1.00	0.550	0.018
Concreto	12.00	0.500	0.240
Mortero	1.00	0.550	0.018
yeso	0.50	0.180	0.028

Puentes térmicos puntuales (por m²)

+

-

X

X (W/K)

Puentes térmicos lineales

+

-

X

Tipo

(W/(m·K))

Separación (cm)

Coeficiente de absorción

0.60

Vistas

Plantas

Cubierta

Planta 1

Planta baja

Vistas 3D

3D

Elementos leídos

Modelos

Categorías

Columns

Doors

Railings

Roofs

Floor slabs

Elementos propios

Vista

1 m

Figura 3.32 Materiales implementados en el diseño de Huitzilac en CYPETHERM LOADS.

56

3.3.5 Clima cálido-Edificio plurifamiliar en Jojutla

La última edificación propuesta se ubica en el centro de Jojutla, la localidad cuenta con un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano con orientación al este Figura 3.33.

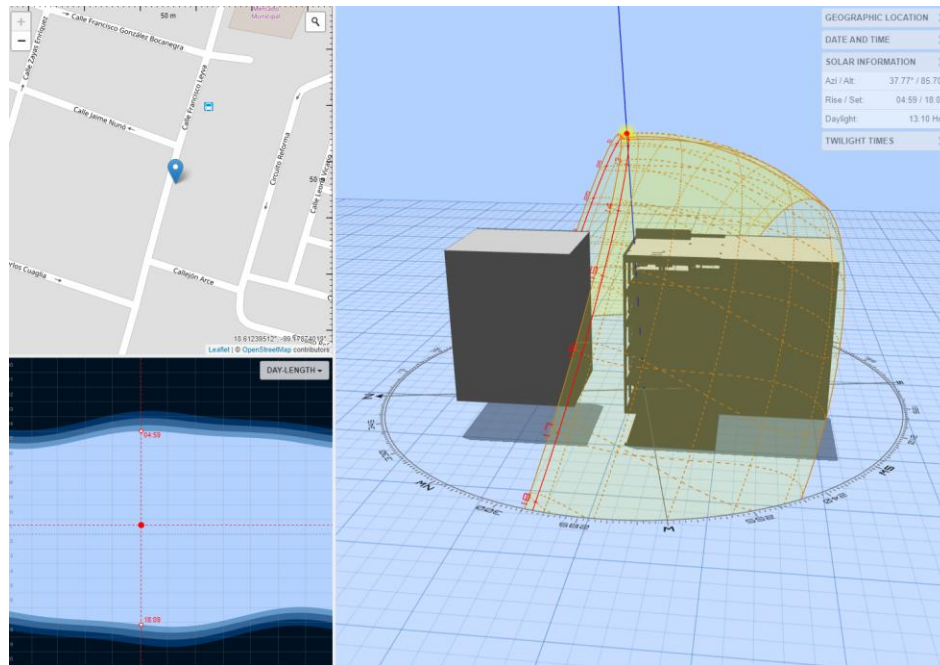


Figura 3.33 Orientación de la edificación en Jojutla (Marsh, 2014).

Se realizaron los alzados 2D Figura 3.34 y 3D Figura 3.35 del edificio plurifamiliar en Jojutla.

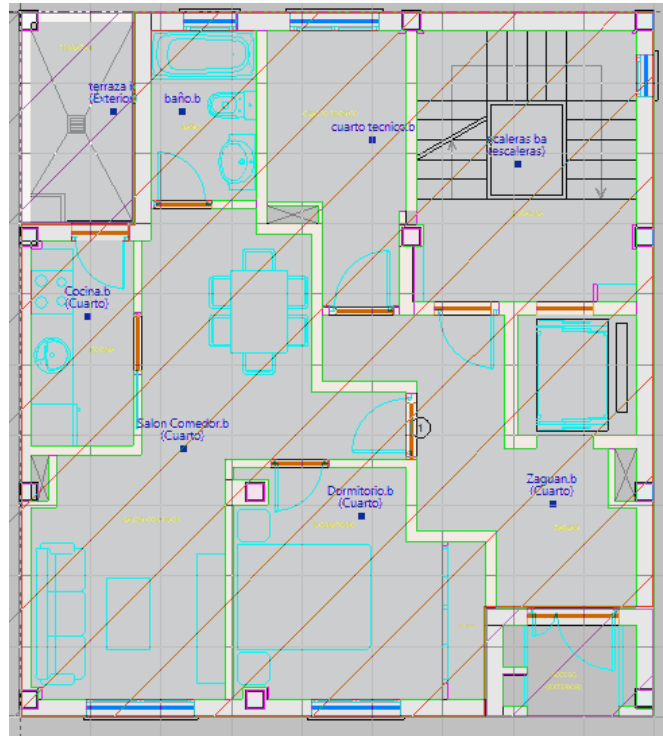


Figura 3.34 Plano 2D de la edificación ubicada en Jojutla.

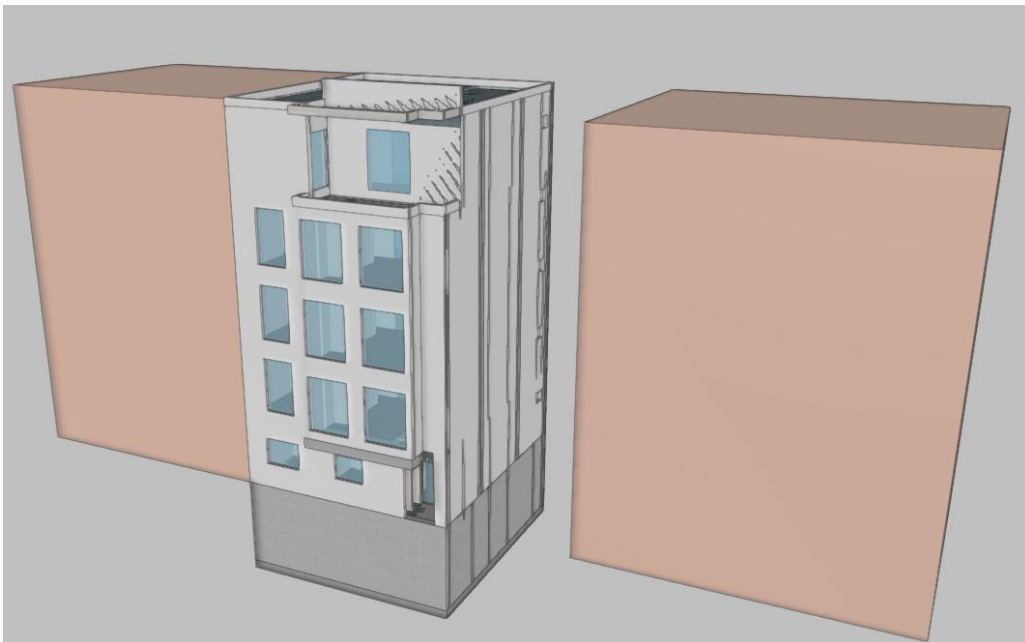


Figura 3.35 Plano 3D de la edificación ubicada en Jojutla.

Junto con la información obtenida del exterior Figura 3.36, se ingresaron las propiedades y características de los materiales de construcción Figura 3.37.

Emplazamiento

Latitud °
 Longitud °
 Altitud m

Coeficiente de albedo
 Zona horaria
☐ Horario de Verano (DST)

Condiciones de diseño para calefacción

Temperatura seca °C
 Humedad relativa %
 Temperatura del terreno °C

Condiciones de diseño para refrigeración

Cálculo de cargas de refrigeración por mes	Temperatura seca de diseño (°C)	Temperatura húmeda coincidente (°C)	Oscilación diaria de la temperatura seca (°C)	Oscilación diaria de la temperatura húmeda (°C)	Profundidad óptica del cielo despejado para la irradiación directa	Profundidad óptica del cielo despejado para la irradiación difusa
Enero	26.4	17.9	17.3	9.1	0.396	2.146
Febrero	27.6	18.4	17.7	8.7	0.413	2.092
Marzo	29.2	19.5	17.9	8.2	0.423	2.085
Abril	29.8	20.1	16.5	7.3	0.494	1.927
Mayo	30.3	20.6	14.8	6.5	0.438	2.13
Junio	31.4	21.2	11.8	5.6	0.498	1.937
Julio	32.0	21.2	10.8	5.1	0.479	2.013
Agosto	32.0	21.2	10.8	5.1	0.461	2.071
Septiembre	30.9	20.6	10.3	5.0	0.354	2.449
Octubre	29.8	20.1	12.8	6.6	0.428	2.131
Noviembre	28.1	19.5	15.6	7.9	0.342	2.406
Diciembre	27.0	18.4	17.2	8.9	0.385	2.176

Figura 3.36 Datos de emplazamiento localidad Jojutla Morelos.

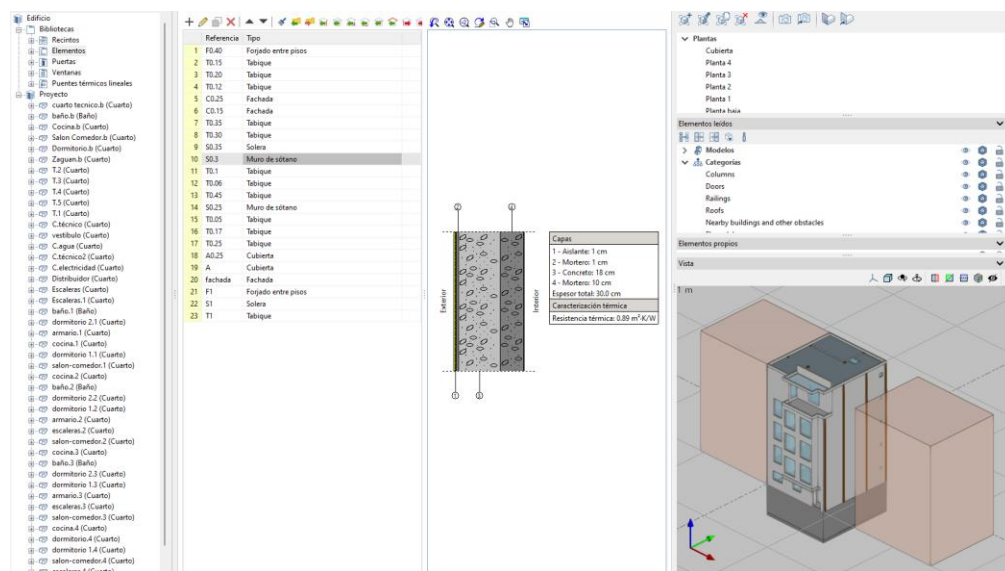


Figura 3.37 Materiales implementados en el diseño de Jojutla en CYPETHERM LOADS.

3.4 Metodología de estudio

El diagrama, Figura 3.38, muestra una metodología general para evaluar la viabilidad de la construcción de viviendas NZEB/ Passivhaus. La metodología garantiza que se tomen en cuenta las necesidades de todos los actores involucrados, como arquitectos, ingenieros, constructores, propietarios de viviendas y representantes del gobierno. Muestra que la metodología es iterativa, lo que significa que las diferentes etapas pueden repetirse varias veces hasta que se obtengan los resultados deseados.

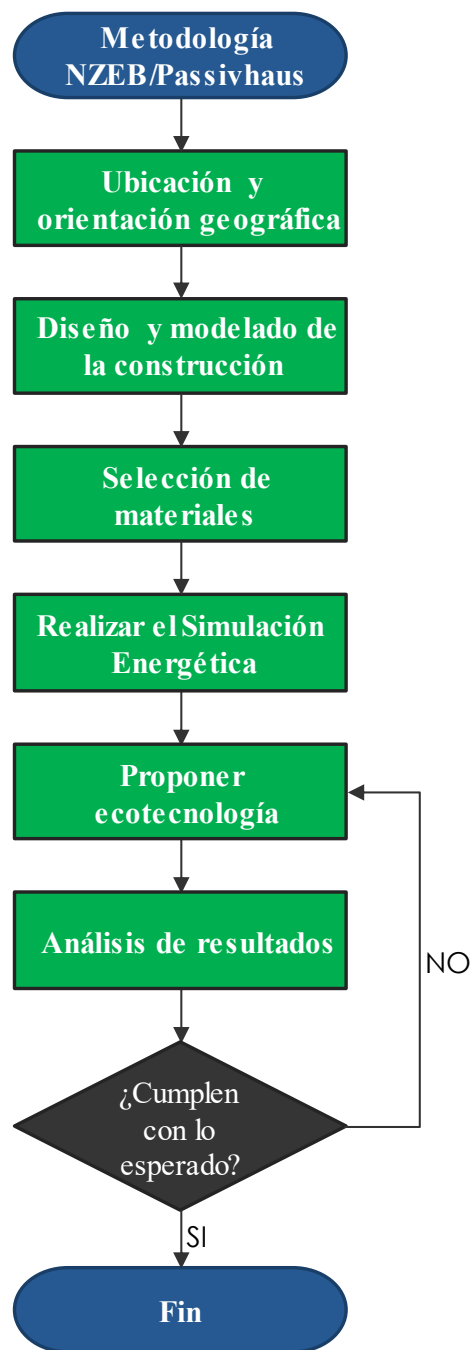


Figura 3.38 Diagrama de la metodología NZEB/ Passivhaus.

3.4.1 Puntos de la metodología NZEB y Passivhaus.

Implementar estándares de energía neta cero y Passivhaus en un edificio residencial existente requiere una metodología detallada para evaluar, planificar e implementar los cambios necesarios (Skye, 2021). A continuación, se explica cada concepto de la Figura 3.38:

Evaluación inicial

1. Auditoría energética

- Realizar una auditoría energética exhaustiva para entender el consumo actual de energía del edificio.
- Identificar las áreas de mayor consumo y las posibles fugas o ineficiencias energéticas.

2. Evaluación estructural y arquitectónica

- Inspeccionar la estructura y la envolvente del edificio para determinar su capacidad de adaptación a los estándares Passivhaus.
- Evaluar la orientación, la disposición de ventanas y la calidad del aislamiento existente.

3. Análisis de instalaciones y equipos

- Revisar los sistemas de calefacción, ventilación, aire acondicionado (HVAC) y otros equipos energéticos.
- Identificar equipos ineficientes y evaluar su reemplazo o mejora.

4. Evaluación de recursos renovables

- Determinar la viabilidad de integrar fuentes de energía renovable, como paneles solares, energía eólica o geotermia.
- Evaluar el potencial del sitio para generar energía suficiente para alcanzar el estado "Net Zero".

Planificación de la implementación

1. Diseño de mejoras energéticas

- Diseñar un plan para mejorar la envolvente térmica del edificio, incluyendo aislamiento adicional, ventanas de alta eficiencia y reducción de puentes térmicos.
- Planificar la instalación de sistemas de ventilación con recuperación de calor (HRV).

2. Selección de tecnología y equipos

- Elegir equipos de alta eficiencia energética para calefacción, refrigeración y ventilación.
- Seleccionar tecnologías renovables adecuadas para el sitio.

3. Plan de gestión de residuos

- Establecer un plan para gestionar, de manera sostenible, los residuos generados durante la renovación.

4. Presupuesto y financiación

- Elaborar un presupuesto detallado para la implementación del proyecto.
- Identificar fuentes de financiación, incentivos y subsidios disponibles.

Implementación

1. Mejoras en la envolvente térmica

- Instalar aislamiento adicional en paredes, techos y suelos.
- Reemplazar o mejorar las ventanas y puertas para reducir las pérdidas térmicas.

2. Actualización de sistemas de HVAC

- Instalar sistemas de ventilación con recuperación de calor (HRV).
- Sustituir sistemas de calefacción y refrigeración antiguos por versiones más eficientes.

3. Integración de energías renovables

- Instalar paneles solares, sistemas de energía eólica o geotérmica según lo planificado.
- Conectar estos sistemas a la red eléctrica del edificio para maximizar la eficiencia.

4. Monitoreo y control de energía

- Implementar sistemas de monitoreo y control para gestionar el uso de energía de manera eficiente.
- Establecer un sistema de gestión de la energía que permita realizar ajustes en tiempo real.

Evaluación y ajustes

1. Pruebas y condicionamiento

- Realizar pruebas de rendimiento de los sistemas instalados para asegurar que cumplen con los estándares Passivhaus y Net Zero.
- Ajustar los sistemas según sea necesario para optimizar su rendimiento.

2. Monitoreo continuo

- Establecer un sistema de monitoreo continuo para asegurar que el edificio mantiene el estado Net Zero y cumple con los requisitos Passivhaus.
- Realizar auditorías periódicas para evaluar el desempeño energético y hacer ajustes si es necesario.

3. Educación y capacitación

- Capacitar a los residentes y al personal de mantenimiento sobre el uso eficiente de los sistemas instalados.
- Promover prácticas sostenibles y de ahorro energético entre los ocupantes del edificio.

4. Revisión y retroalimentación

- Recopilar datos sobre el rendimiento del edificio y la satisfacción de los residentes.
- Utilizar esta información para realizar ajustes y mejoras continuas.

Documentación y reporte

1. Documentación de proceso

- Mantener una documentación detallada de todo el proceso de implementación, incluyendo evaluaciones, planes, y modificaciones realizadas.

2. Reporte de resultados

- Generar informes sobre los resultados obtenidos, destacando los ahorros energéticos y las mejoras en confort y sostenibilidad.
- Comparar los resultados con los objetivos iniciales y evaluar el éxito del proyecto.

Siguiendo esta metodología, se puede asegurar una transición efectiva y eficiente hacia un edificio residencial que cumpla con los estándares Net Zero y Passivhaus, mejorando tanto su eficiencia energética como el confort de sus ocupantes. Si esta interacción es inadecuada, el producto final puede verse negativamente afectado por la falta de sinergia entre los sistemas, lo que eventualmente se traduce en mayores costos operativos de edificios (Martinez, y otros, 2023).

3.5 Edificación plurifamiliar de prueba

Se propuso una edificación, con orientación al norte, en Jojutla Morelos para análisis de cargas térmicas con el fin de verificar el funcionamiento y los resultados que mostraba el programa de CYPETHERM LOADS. Los resultados muestran que la carga térmica máxima en el año necesaria para refrigeración en la residencia plurifamiliar es de 43086 W Figura 3.39 y de calefacción es de 33289 W Figura 3.40, indicando que la edificación necesita tanto calefacción como refrigeración.

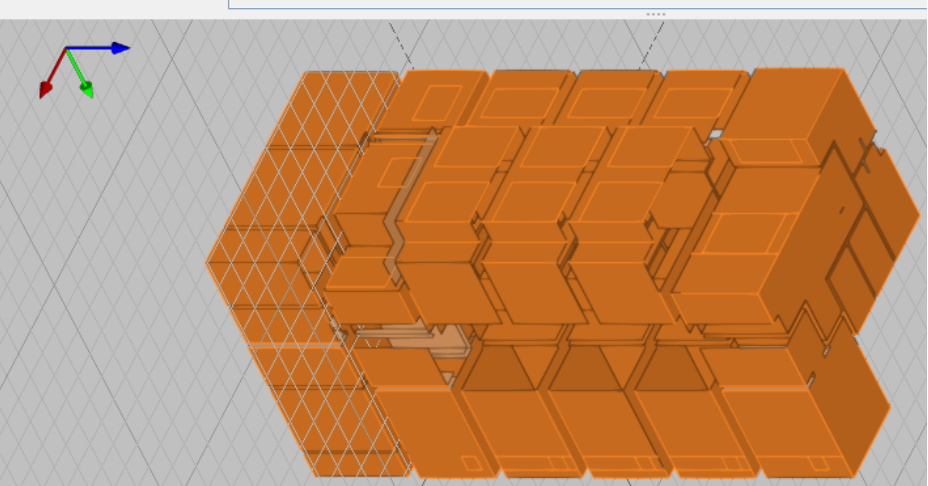
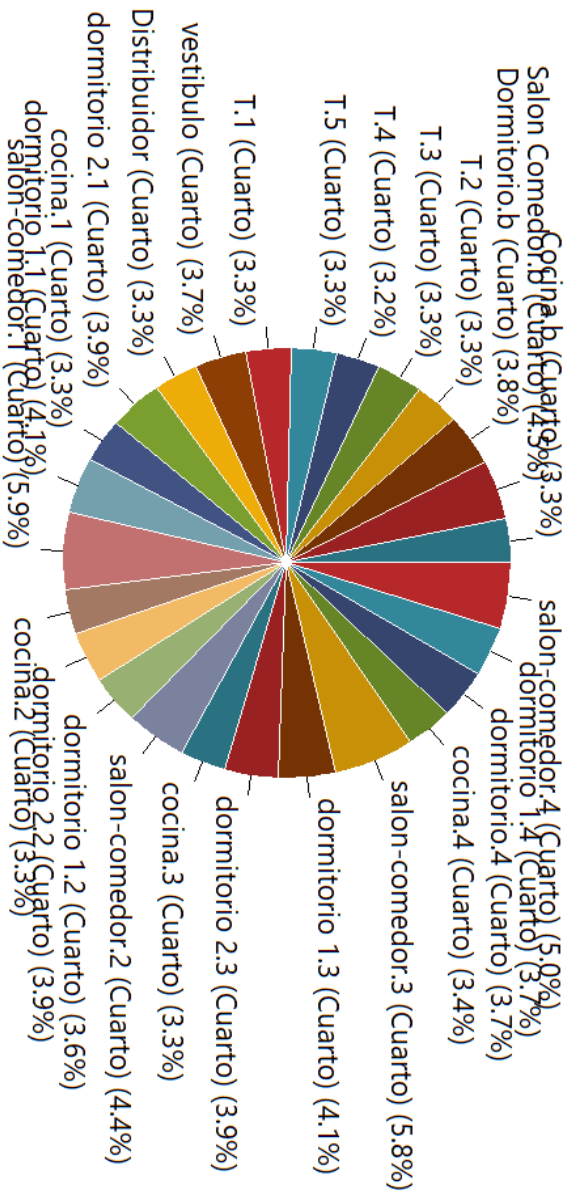


Figura 3.39 Carga máxima simultánea de refrigeración en edificio plurifamiliar de Jojuuta.

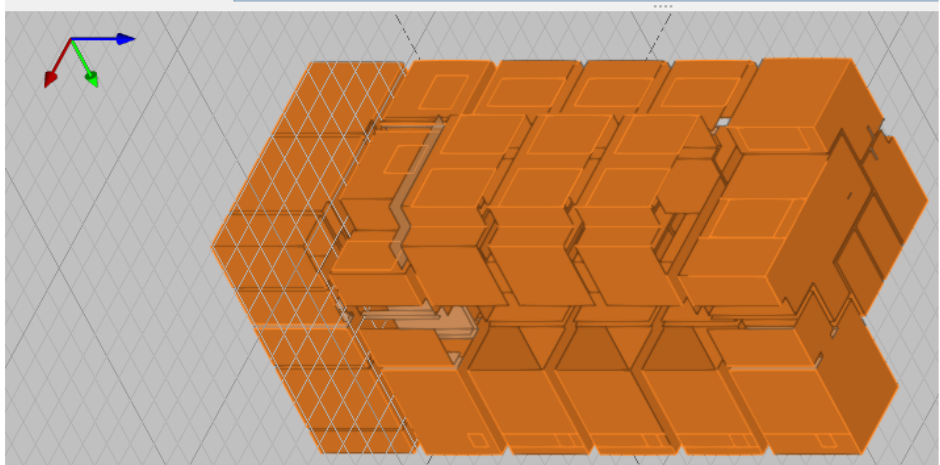
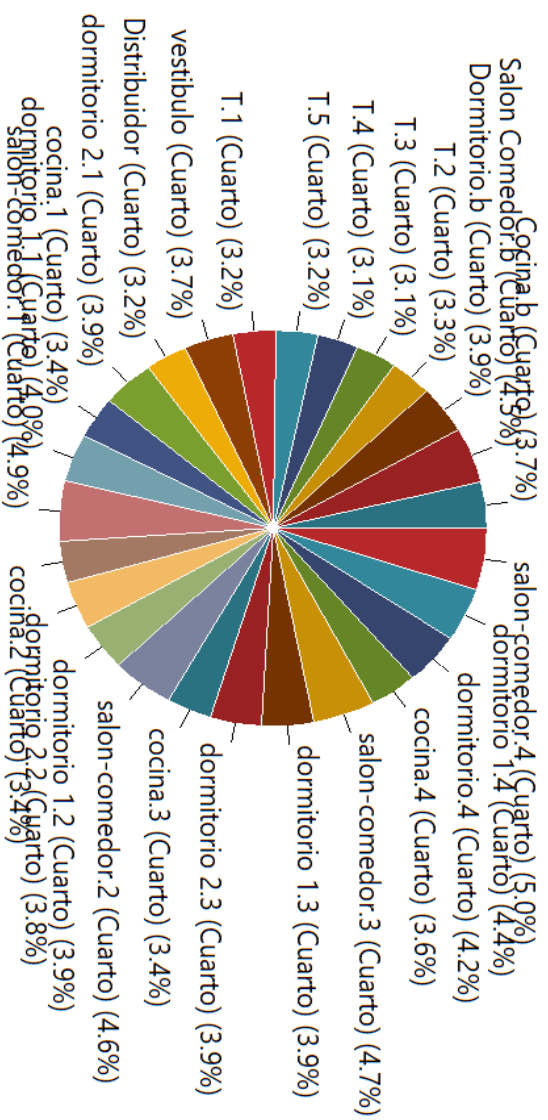


Figura 3.40 Carga máxima simultánea de calefacción edificio plurifamiliar Joyita.

Otra forma de interpretar las cargas térmicas de cada recinto es mediante grafico de columnas, dándonos el comportamiento de estos con forme cada mes Figura 3.41 o del día Figura 3.42.

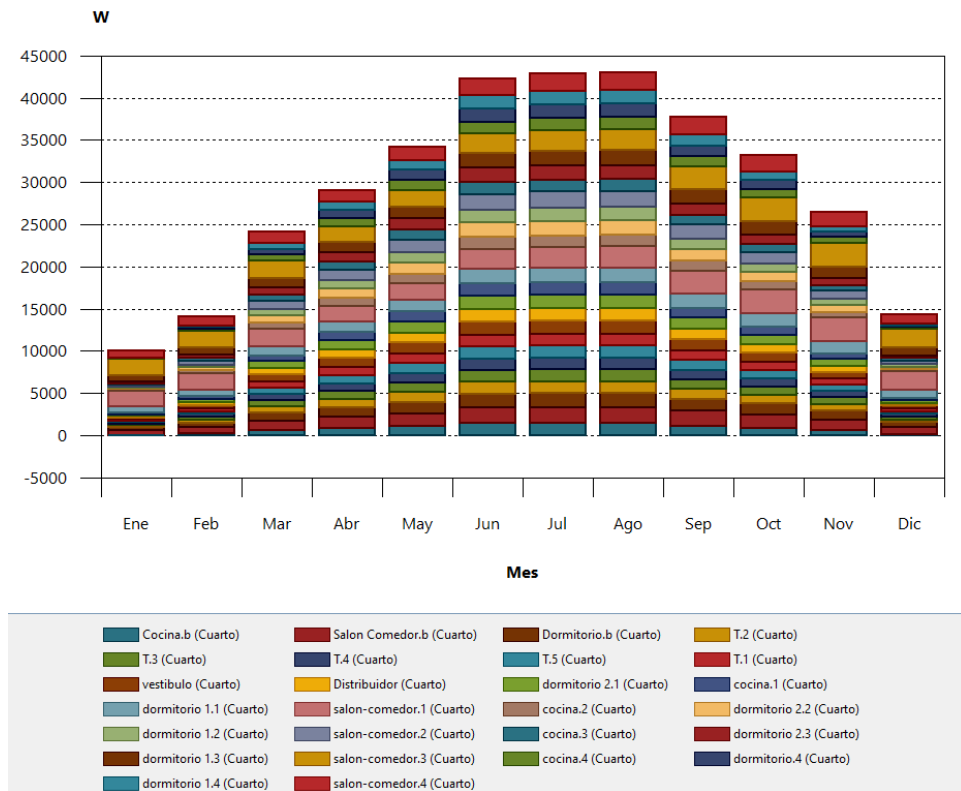


Figura 3.41 Cargas térmicas mensuales de cada recinto en Jojutla obtenido del CYPETHERM LOADS.

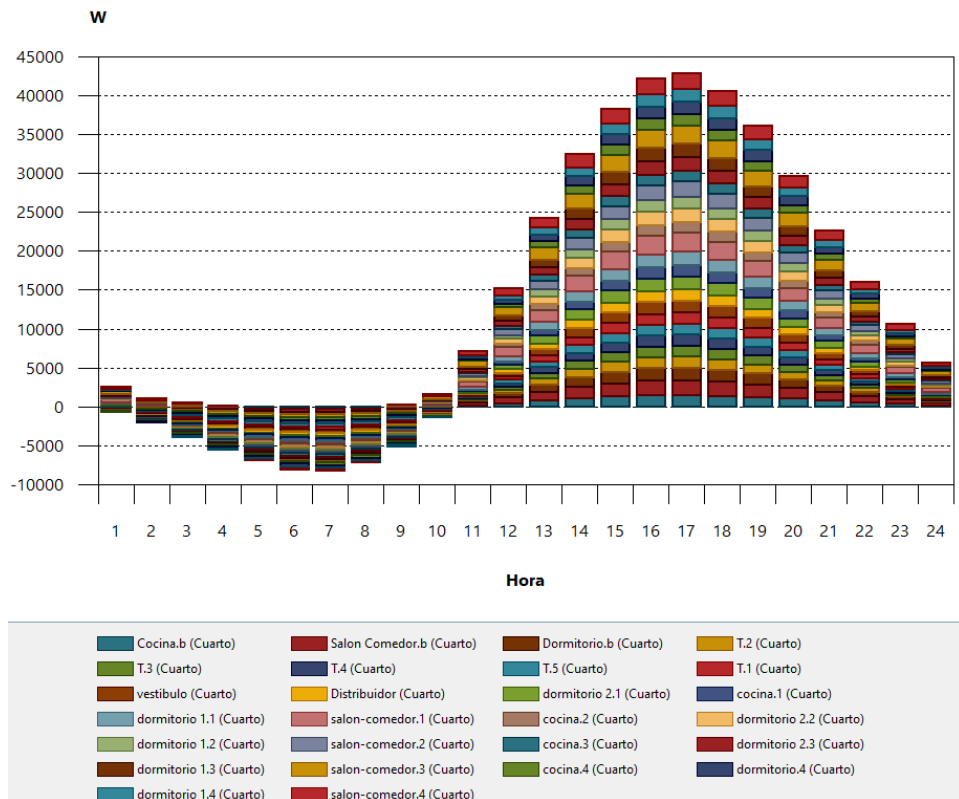


Figura 3.42 Evolución horaria en el mes julio de la carga térmica edificio plurifamiliar Jojutla.

En la Figura 3.43 se implementó un sistema de enfriamiento dentro de la simulación energética, dando como resultado una estabilidad en las temperaturas que sobrepasan los 25 °C. Sin embargo, es factible la implementación de ecotecnologías para alcanzar el confort térmico y con un máximo de ahorro de energía del 42% (Hernandez Perez, 2023).

Confort interior

Z01_ZONA_HABITABLE

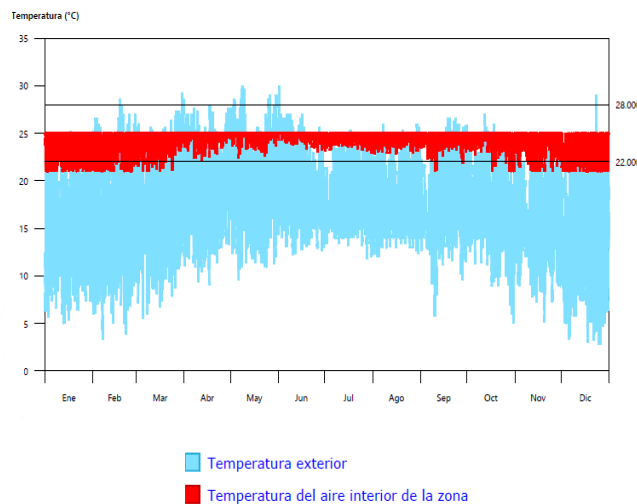


Figura 3.43 Temperatura anual de la edificación interior y exterior.

4 CAPÍTULO 4

Una vez que se ingresan los parámetros requeridos a los programas del software CYPE, se procede al cálculo y análisis de cargas térmicas de cada clima de estudio, utilizando el Método de las Series Temporales Radiantes (RTSM), el cual es aplicado por el programa designado. Los datos obtenidos comprenden la magnitud de potencia indispensable tanto para el enfriamiento como para el calentamiento de la edificación para alcanzar el confort térmico, de acuerdo con el comportamiento anual, mensual y diario del clima, tomando en consideración las cargas de los meses más calurosos en los resultados totales y diarios. Los resultados obtenidos se presentan como carga térmica, que es la cantidad de energía que se necesita para mantener un edificio a una temperatura confortable.

4.1 Análisis de cargas térmicas en los climas de estudio

Los resultados que nos muestran en CYPETHERM LOADS tienden a mostrar una gráfica circular mostrando la carga máxima necesaria de refrigeración o calefacción en cada recinto en el día y mes más caluroso o en caso de calefacción el más frío. CYPETHERM LOADS también puede darnos las cargas de cada recinto y el total con gráficos de columnas de las cuales pueden ser 12, representado los meses del año o 24 indicándonos las horas del día Figura 4.1.

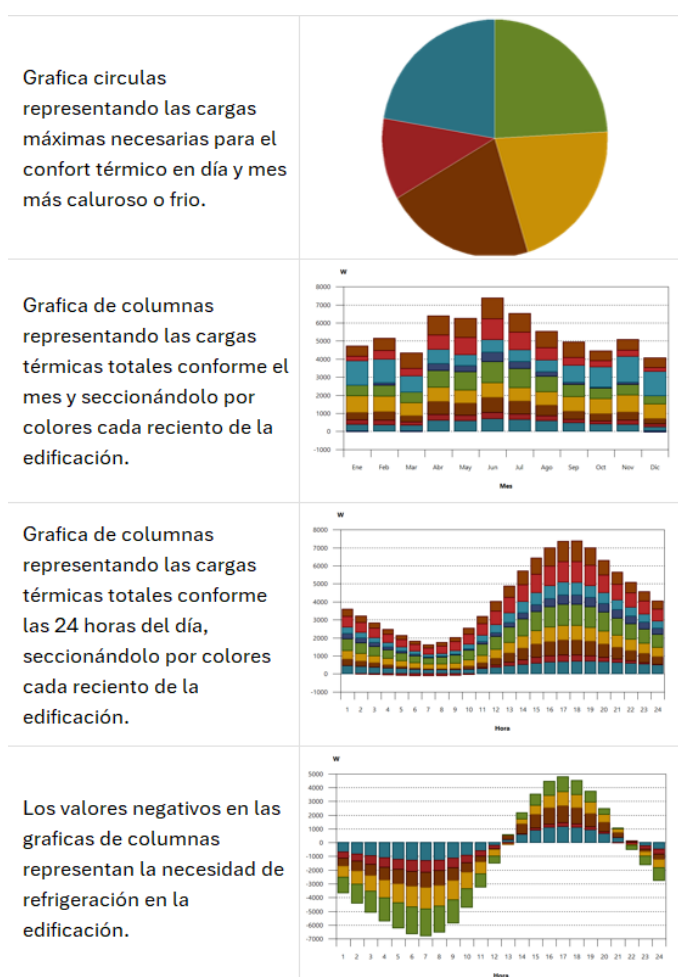


Figura 4.1 representación de las gráficas en CYPETHERM LOADS.

4.1.1 Vivienda en Jiutepec

Los resultados preliminares derivados del software CYPETHERM LOADS revelan que la vivienda inicial carece de requerimientos de calefacción, dando como consecuencia valores negativos en lo que respecta a las cargas térmicas asociadas al calentamiento. Por otro lado, se identifica que la estancia ubicada en la planta 2 conocida recámara 2, demanda el mayor índice de refrigeración. Se estima una carga total de refrigeración de 1150 W Figura 4.2.

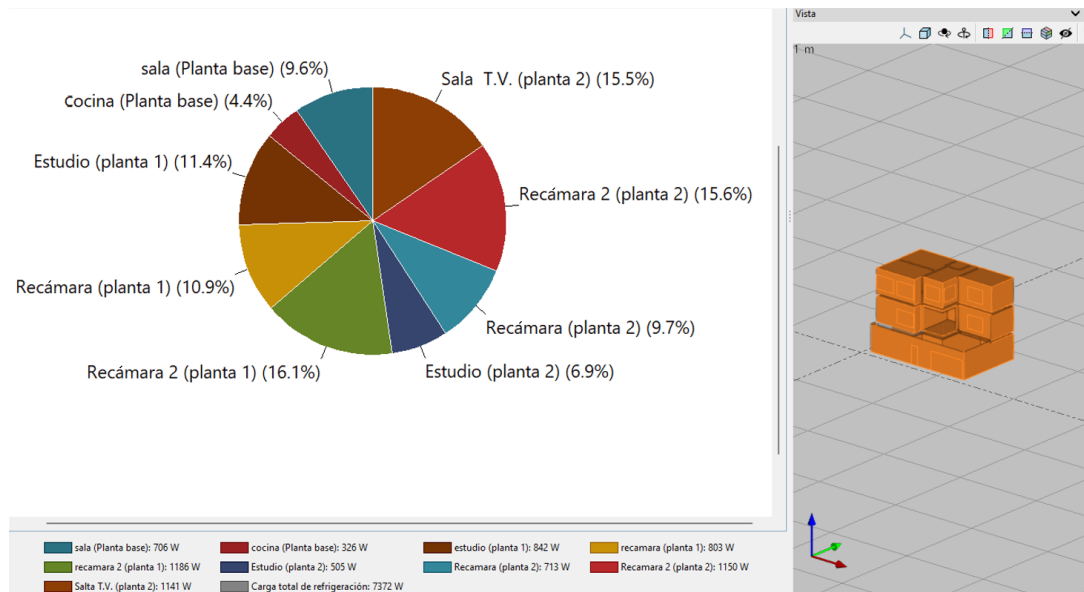


Figura 4.2 Carga máxima simultánea de refrigeración en vivienda de Jiutepec.

Destacando el momento de máxima exigencia de refrigeración, relacionado con la ubicación y orientación del edificio en cuestión, se determinó que este escenario se manifiesta específicamente el 21 de junio a las 18:00 horas. Este dato, proporcionado a través de la herramienta CYPETHERM LOADS, ofrece información clave para la planificación y diseño de sistemas de climatización.

Para visualizar la información que obtenemos del CYPETHERM LOADS, la Figura 4.3 nos muestra las cargas máximas de la residencia en cada mes del año, viendo que el mes de junio, es donde mayor es la carga térmica necesaria para obtener el confort térmico el cual con la Figura 4.4 nos ayuda a visualizar el comportamiento de los recintos en el día.

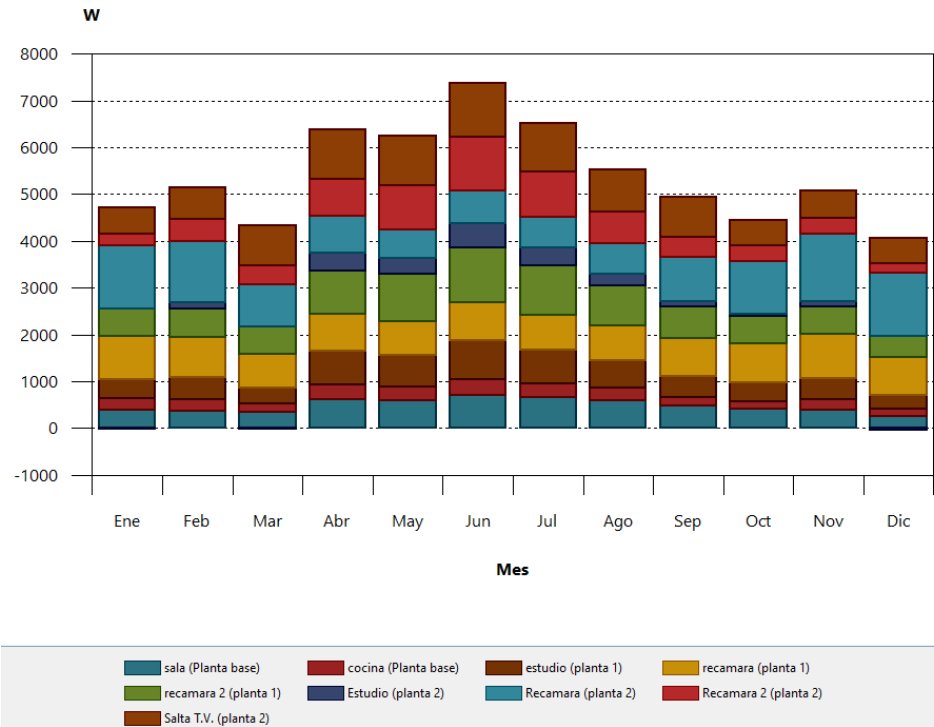


Figura 4.3 Cargas térmicas mensuales por recinto para vivienda de Jiutepec

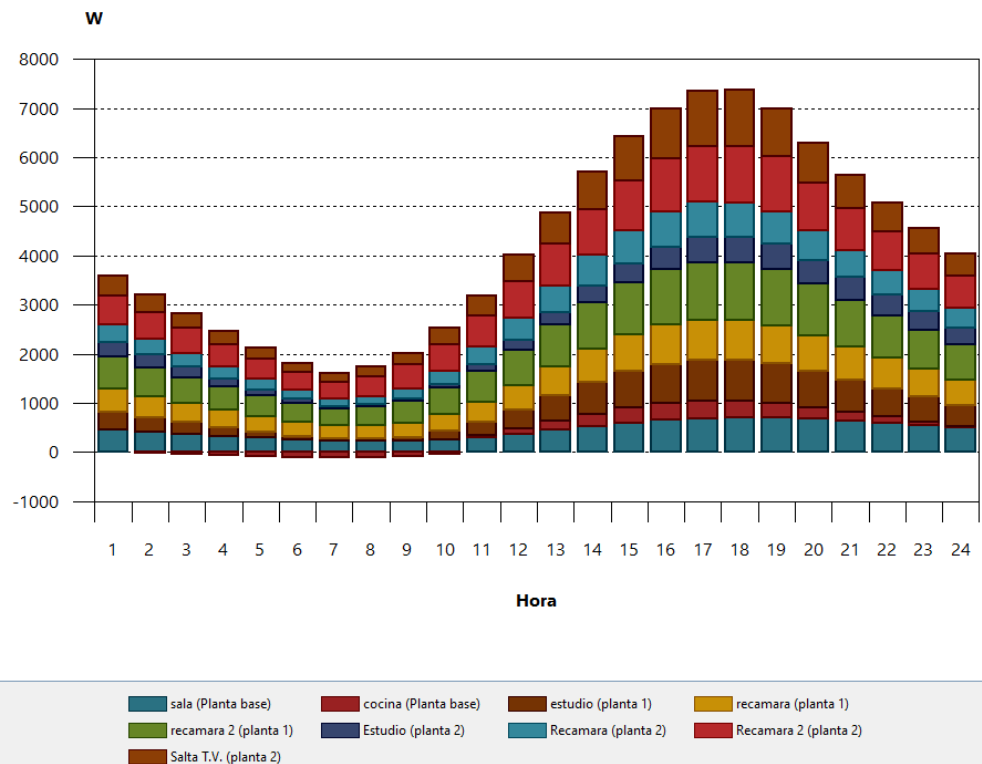


Figura 4.4 Evolución horaria en el mes Junio de la carga térmica en vivienda Jiutepec.

4.1.2 Vivienda en Temixco

De acuerdo con los resultados obtenidos del CYPETHERM LOADS en la vivienda de Temixco, la carga máxima de refrigeración necesaria es de 8026 W (Figura 4.5) y de calefacción de 9855 W (Figura 4.6), donde los mayores porcentajes de calefacción y refrigeración es la recámara 2.

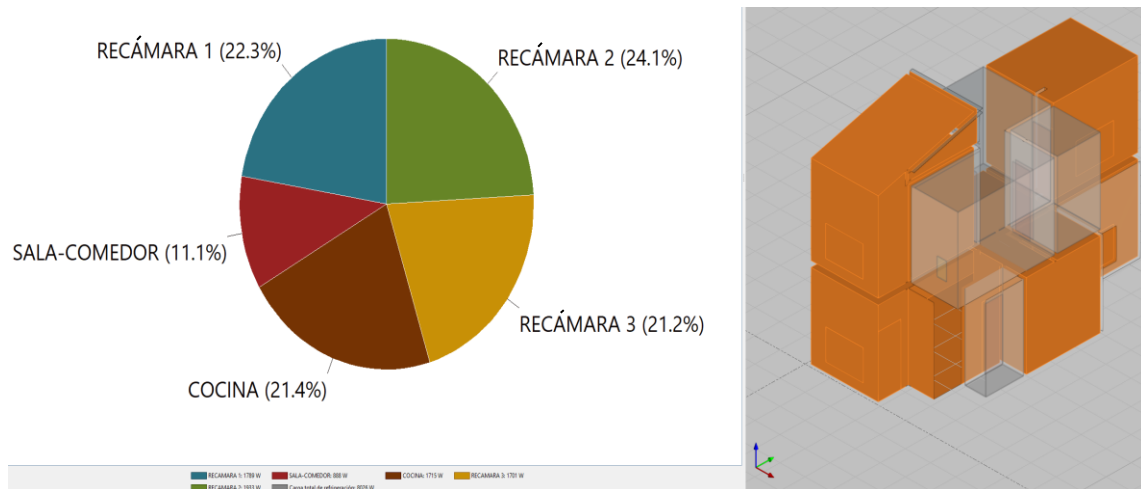


Figura 4.5 Carga máxima simultánea de refrigeración para vivienda en Temixco.

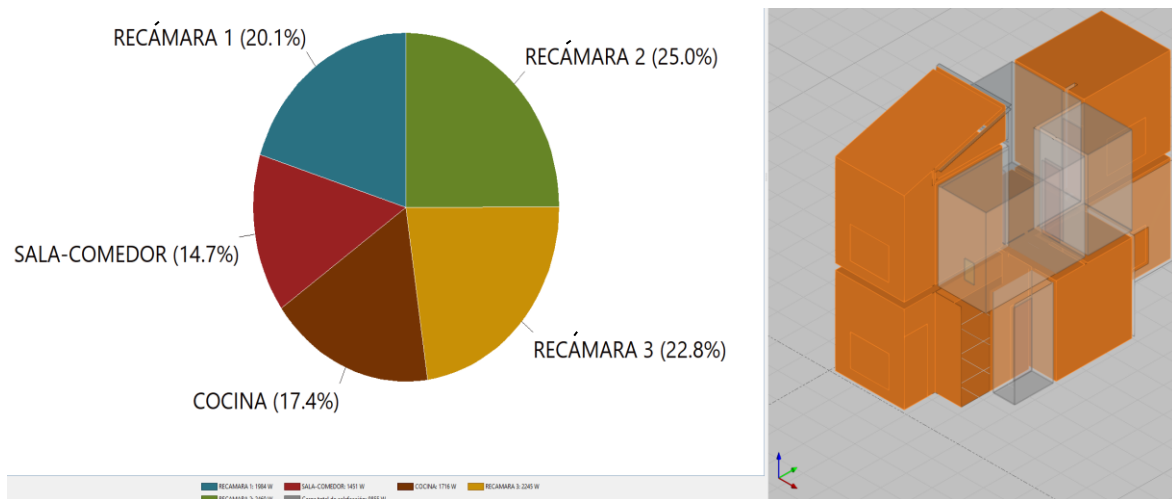


Figura 4.6 Carga máxima simultánea de calefacción para vivienda en Temixco.

Las cargas térmicas necesarias en la vivienda de Temixco varían dependiendo del mes, como se muestra en la Figura 4.7, donde los meses con cargas negativas, son las que no solo necesitan refrigeración, si no

también calefacción y con la Figura 4.8 nos muestra la necesidad de calefacción y refrigeración conforme el transcurso del día.

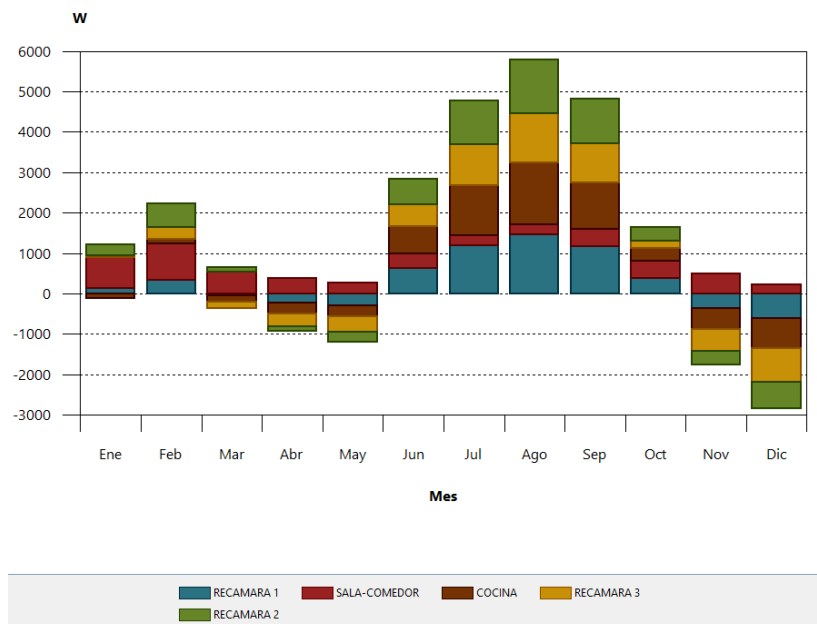


Figura 4.7 Cargas térmicas mensuales por recinto para vivienda de Temixco

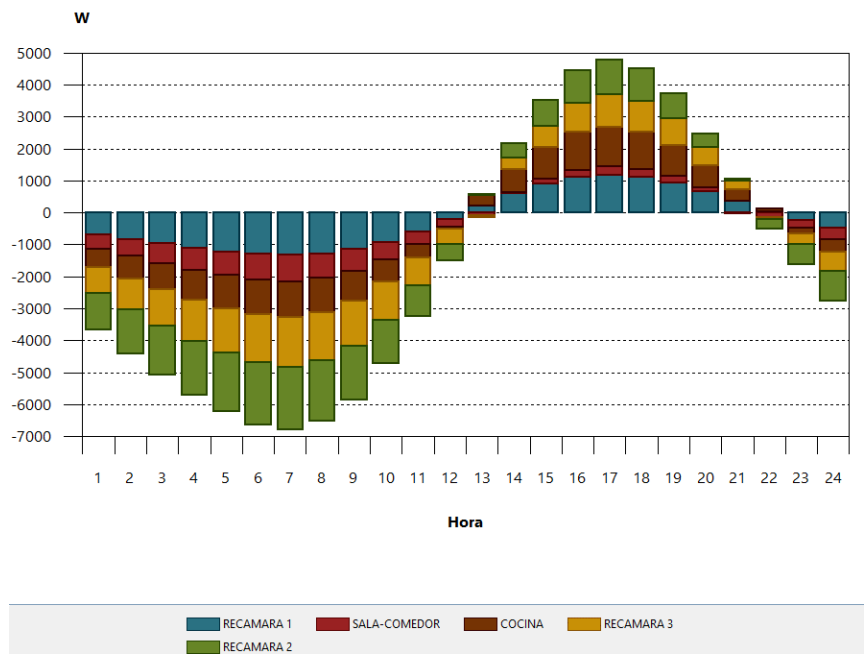


Figura 4.8 Evolución horaria de la carga térmica en vivienda de Temixco.

Se implementó el mismo sistema de enfriamiento dentro de la simulación energética Figura 4.9, dando como resultado una estabilidad en las temperaturas que sobrepasan los 25 °C. Sin embargo, nuevamente se requiere una ecotecnología para aumentar la temperatura cuando esta disminuye por debajo del mínimo para el confort térmico (22 °C).

Confort interior

Z01_ZONA COMÚN

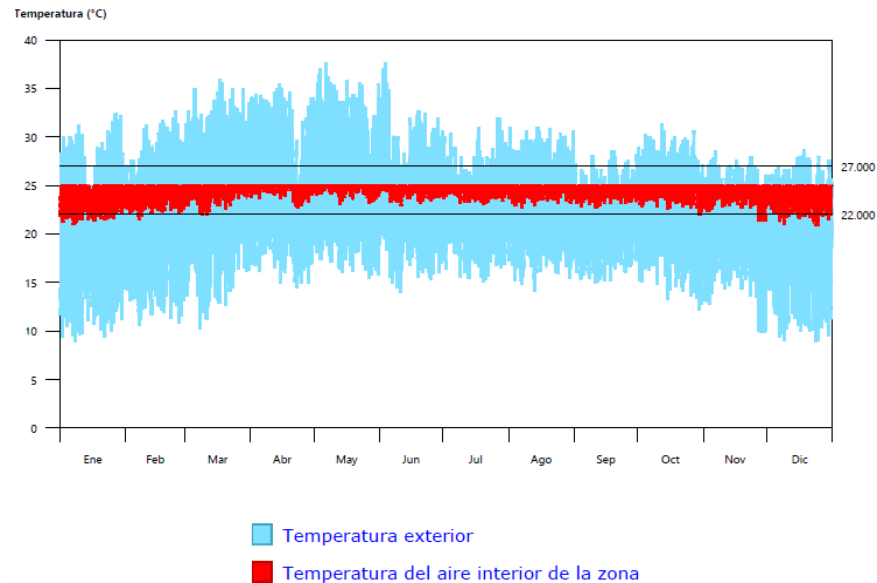


Figura 4.9 Temperatura anual interior y exterior para la vivienda de Temixco.

4.1.3 Vivienda en Cuernavaca (Lomas de Ahuatlán)

Para el caso de estudio en Ahuatlán Cuernavaca, la carga máxima de refrigeración necesaria es de 11024 W Figura 4.10 y de calefacción es 139 W en toda la edificación, por lo que se considera un valor muy bajo para tomarse en cuenta para el análisis de las cargas.

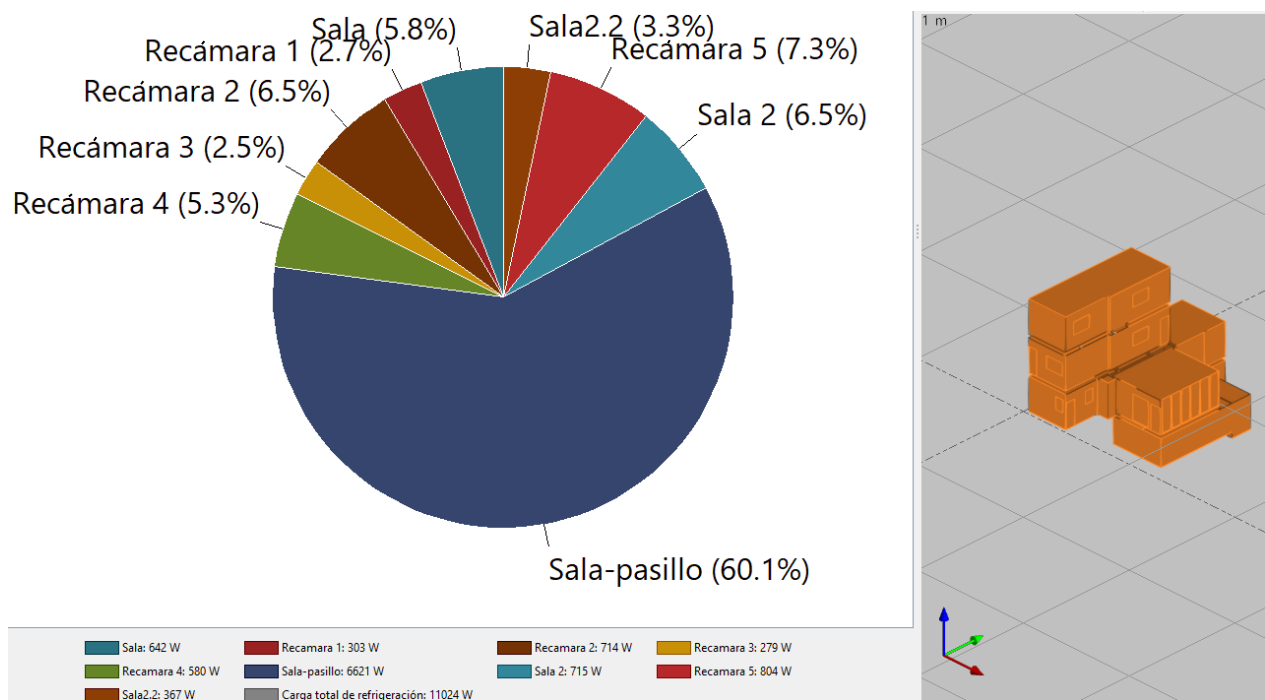


Figura 4.10 Carga máxima simultánea de refrigeración para vivienda de Cuernavaca.

La zona azul es el recinto que necesita más aislamiento debido a la exposición del sol por ventanas, este comportamiento se ve reflejado en todos los meses Figura 4.11 y en el transcurso del día Figura 4.12.

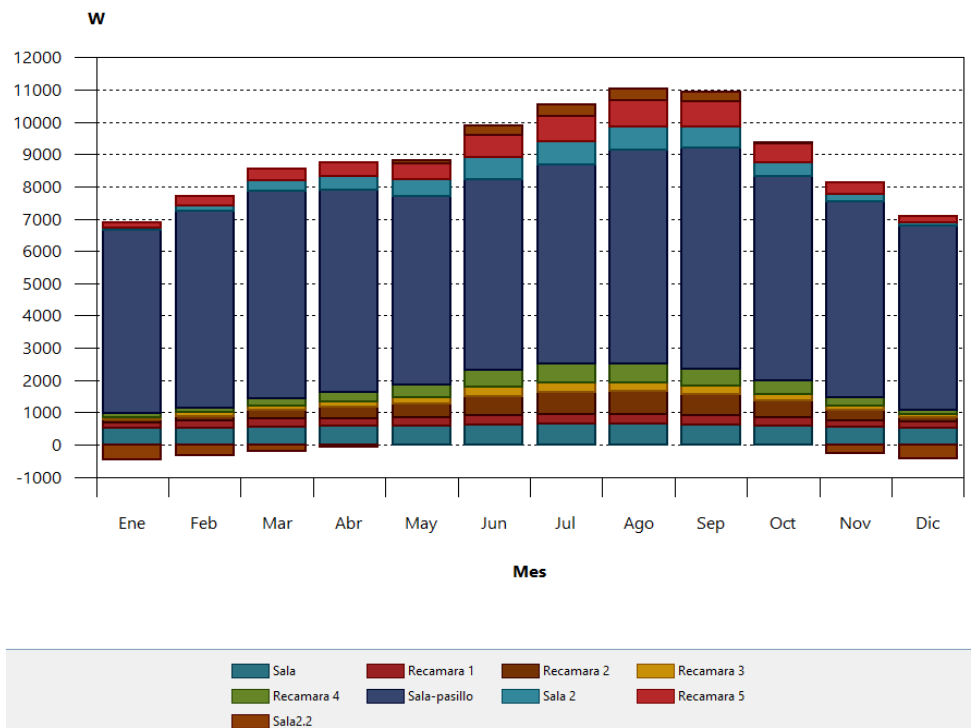


Figura 4.11 Cargas térmicas mensuales de cada recinto en Cuernavaca.

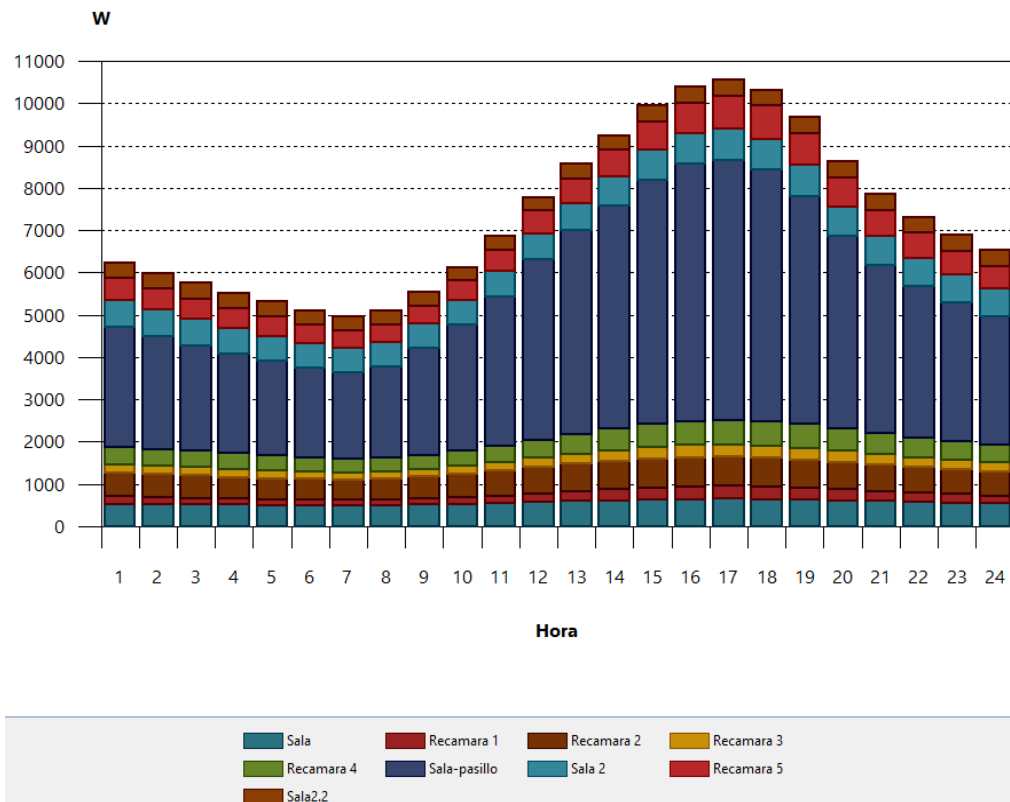


Figura 4.12 Evolución horaria en el mes julio de la carga térmica en vivienda en Cuernavaca.

4.1.4 Vivienda en Huitzilac

Acorde a los resultados obtenidos en la vivienda de Huitzilac, la carga máxima de refrigeración necesaria es de 2035 W (Figura 4.13) y de calefacción de 6942 W (Figura 4.14), donde los mayores porcentajes de refrigeración y calefacción son la sala de estar y la recámara principal, respectivamente.

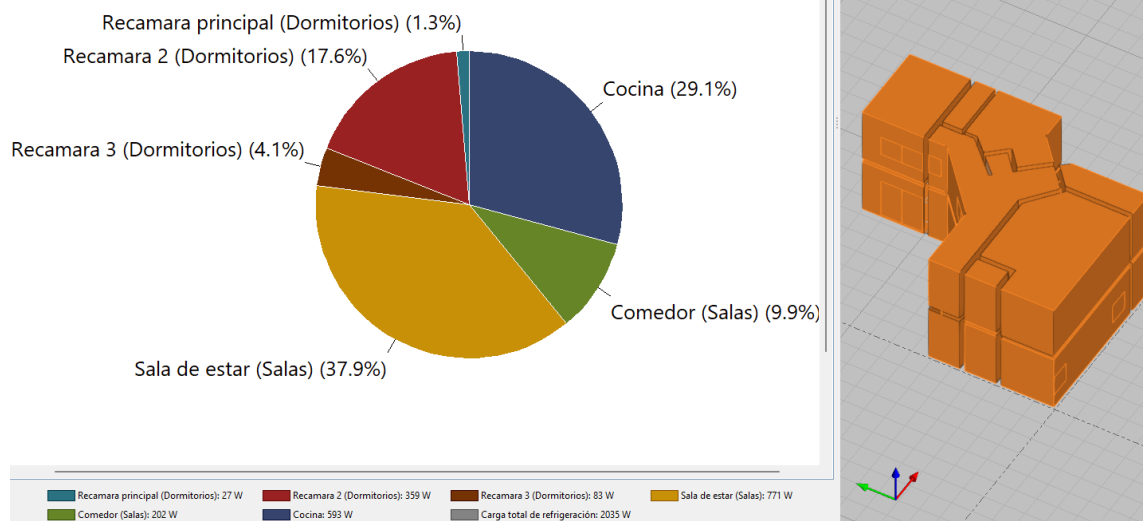


Figura 4.13 Carga máxima simultánea de refrigeración vivienda en Huitzilac.

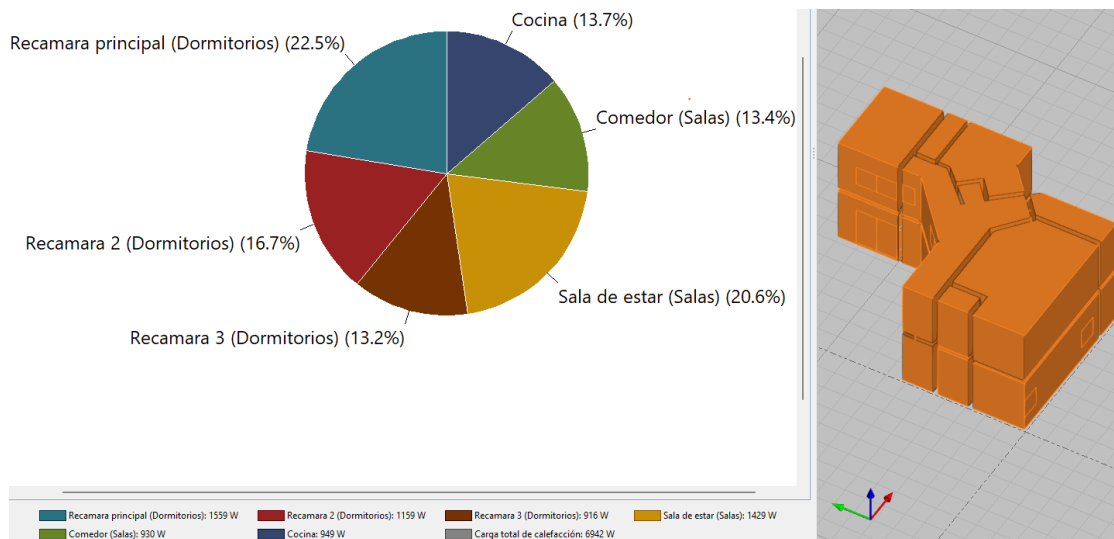


Figura 4.14 Carga máxima simultánea de calefacción vivienda en Huitzilac.

Las cargas máximas en todo el año en la vivienda de Huitzilac necesitan tanto calefacción como refrigeración Figura 3.15, pero dependiendo de los días, puede solo necesitar calefacción Figura 4.16, indicándonos que la zona tiene más días con climas fríos que cálidos.

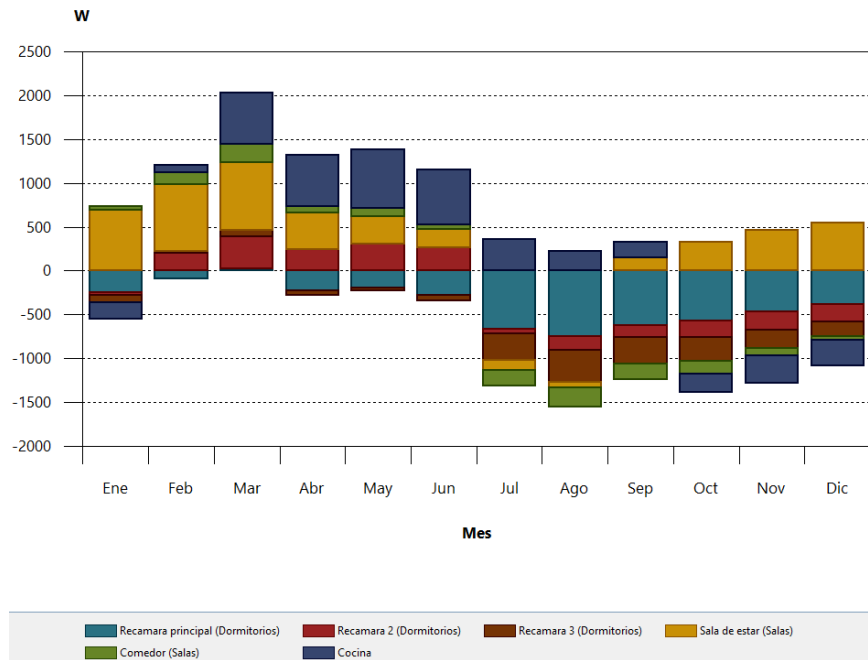


Figura 4.15 Cargas térmicas mensuales de cada recinto en Huitzilac obtenido del CYPETHERM LOADS.

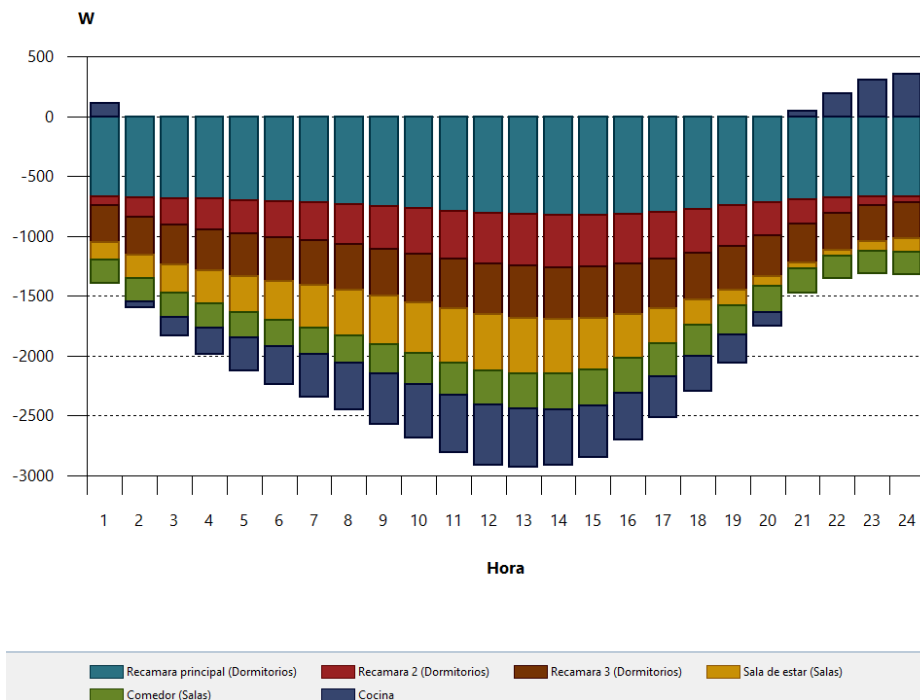


Figura 4.16 Evolución horaria en el mes julio de la carga térmica en vivienda en Huitzilac.

4.1.5 Vivienda de Jiutepec con clima de Jojutla

En el caso de estudio 5, se propuso la edificación, con orientación al norte, ubicada en Jojutla Morelos para el análisis de cargas térmicas. Los resultados muestran que la carga térmica total para refrigeración en la residencia plurifamiliar es de 11002 W (Figura 4.17) y de calefacción es de 14789 W (Figura 4.18), indicando que la edificación necesita tanto calefacción como refrigeración.

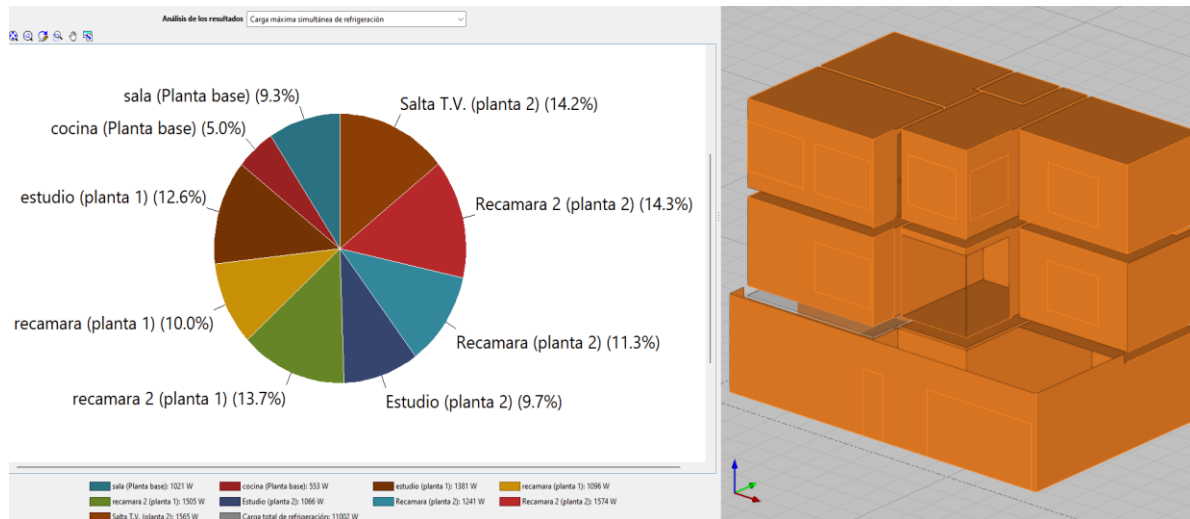


Figura 4.17 Carga máxima simultánea de refrigeración en edificio de Jojutla.

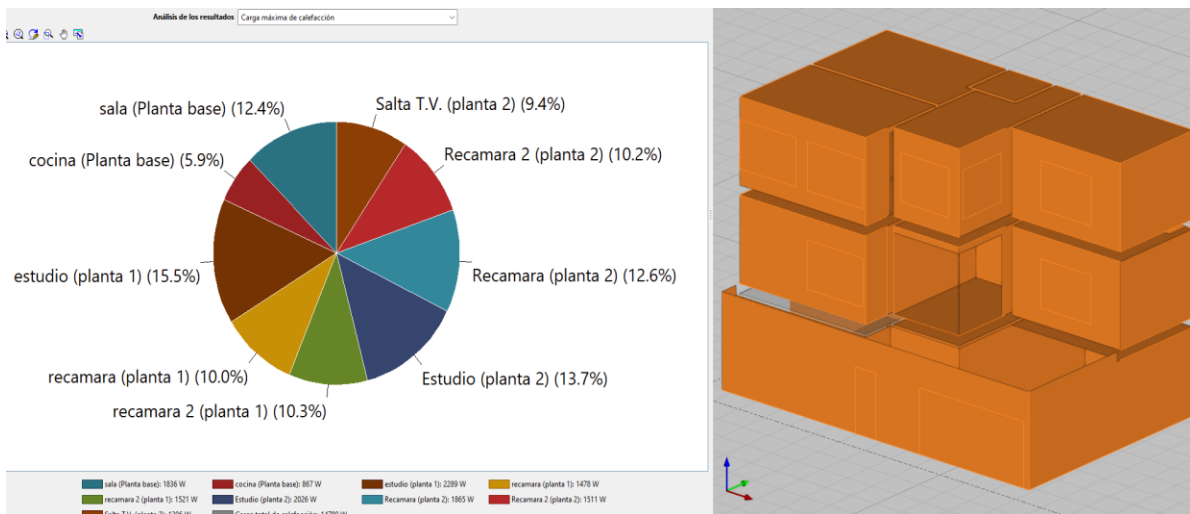


Figura 4.18 Carga máxima simultánea de calefacción edificio Jojutla.

A diferencia del clima de Jiutepec, en Jojutla es más cálido y como se muestra en la Figura 4.19 y Figura 4.20 las cargas térmicas de refrigeración necesarias para llegar al confort térmico son mayores.

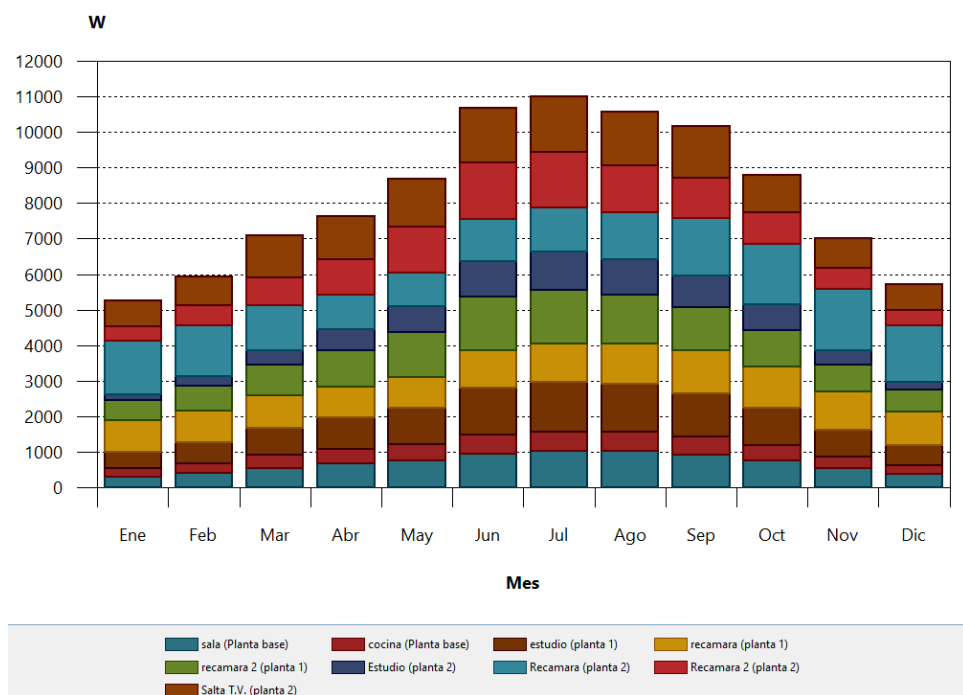


Figura 4.19 Evolución horaria en el mes julio de la carga térmica en Jojutla.

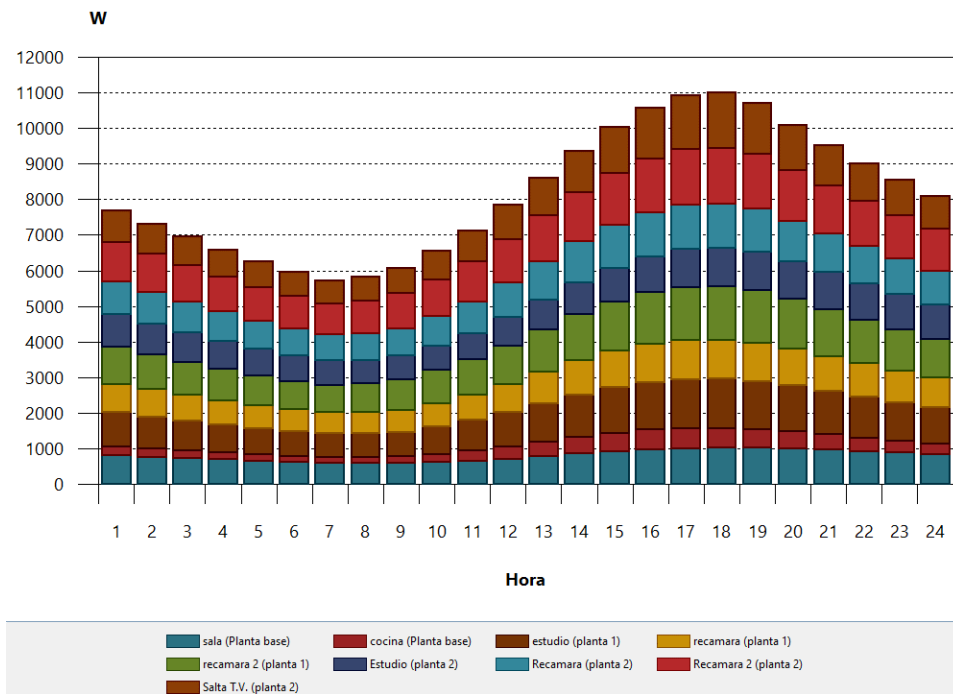


Figura 4.20 Cargas térmicas mensuales de cada recinto en Jojutla obtenido del CYPETHERM LOADS.

4.2 Implementación ecotecnologías eficientes

Las ecotecnologías que se consideraron en la implementación fueron seleccionadas debido a su práctica implementación y la facilidad de adquirirlas en los diferentes mercados. Se toman en consideración los focos ahorradores, revestimientos térmicos y paneles fotovoltaicos para sus cálculos.

4.2.1 Focos ahorradores

Una de las aplicaciones de las ecotecnologías, fue la implementación de 15 focos ahorradores LED en unas de las residencias, los cuales como se muestran en la Tabla 8. En un intervalo de 15 años (duración de los focos LEDs) esta será una mejor inversión que los focos ahorradores convencionales CFL y los comunes, ya que estos últimos no son funcionales y la inversión final sería mucho mayor que los LEDs. Además, con el pasar del tiempo, el precio de los focos LEDs disminuirán, mientras que su rendimiento y durabilidad aumentarán.

Tabla 8 Comparativa de tipos de focos para la primera residencia. (elaboración propia)

Tipo de foco	Precio por unidad (MXN)	Duración (años)	Consumo de W	Luminosidad (LM)	Precio total(MXN) por unidad en 15 años	Focos totales para una casa de 15 focos	Total (MXN) gasto en la casa
CFL	75	5	30	2000	$75 \times 3 = 225$	45	3375
LED	125	15	30	3000	$125 \times 1 = 125$	15	1875
Común	30	1	30	450	$30 \times 15 = 450$	225	6750

4.2.2 Implementación de revestimientos

La aplicación de CYPETHERM LOADS permite a implementar revestimientos en el interior o exterior de la edificación para comprobar si es factible su aislamiento, en el mismo programa se pueden colocar los datos técnicos del material para posteriormente implementarlo en la estructura. Para el análisis se tomaron en cuenta los aislantes térmicos mencionados en la Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4, como también la implementación de películas protectoras para la disminución de la transferencia calorífica en los vidrios obteniendo los siguientes resultados Tabla 9:

Tabla 9 Resultados del CYPETHERM LOADS de las edificaciones respecto al revestimiento aislante (elaboración propia).

Edificación	Cargas térmicas (Watt)						
	Sin revestimiento	Desecho de mezclilla	Poliuretano	Fibra de vidrio	Lana mineral	Membrana asfáltica	Asfalto bituminoso
Jiutepec	7372	6199	6215	6140	6144	5952	5955
Temixco	5784	6501	6448	6236	6256	5716	5716
Cuernavaca	11024	7700	7746	7810	7802	7893	7894
Huitzilac	2035	1900	1855	1731	1744	1437	1435
Jojutla	11002	8637	8763	8938	8913	9323	9331

En la Figura 4.21 se muestran las cargas térmicas en watt (W) de diferentes tipos de revestimientos para las viviendas ubicadas en 5 municipios de Morelos: Jiutepec, Temixco, Cuernavaca, Huitzilac y Jojutla. El tipo de revestimiento con menor consumo de energía es el asfalto bituminoso, seguido de la membrana asfáltica, la lana mineral, la fibra de vidrio, el poliuretano, el desecho de mezclilla y, finalmente, sin revestimiento.

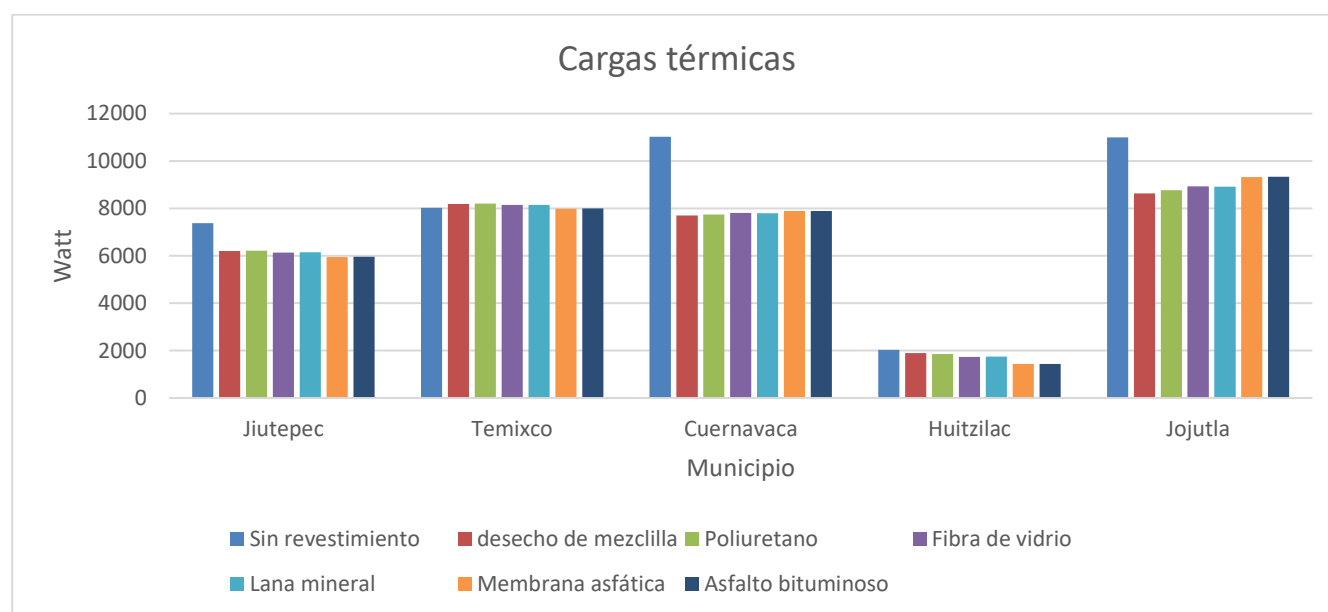


Figura 4.21 Gráfica comparativa de los diferentes revestimientos en cada municipio (elaboración propia).

Para comparar y visualizar el comportamiento de otras ecotecnologías, además del revestimiento, se consideró el uso de un impermeable blanco reflectante, el cual puede reducir la ganancia de calor en techos simples entre un 41% y un 85%. En techos compuestos, los recubrimientos reflectivos lograron reducir la ganancia de calor entre un 49% y un 56% (Hernández Pérez, 2016). También se evaluaron ventanas con película protectora y la aplicación de todas estas medidas de forma conjunta, se realizó otro gráfico Figura 4.22 con los siguientes resultados:

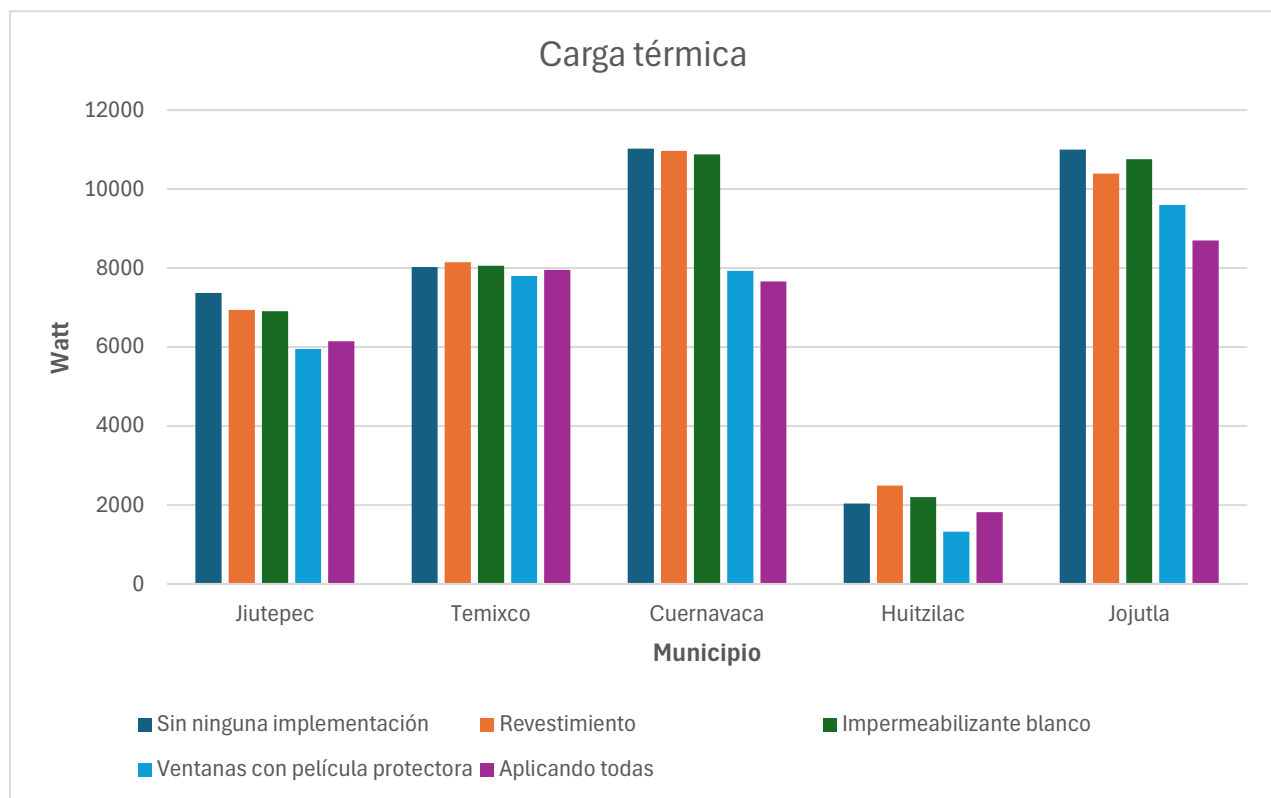


Figura 4.22 Gráfica comparativa de las diferentes ecotecnologías en cada municipio (elaboración propia).

Se observó que no es necesario la implementación de cada una de las ecotecnologías propuestas en este gráfico, pueden ocasionar un incremento de carga térmica en vez de reducirla. Las ecotecnologías necesarias para cada edificio difieran por el tipo de clima, diseño y orientación, en Jiutepec necesita más un revestimiento en paredes exteriores o interiores junto con película protectora, mientras que en Cuernavaca necesita hubo un cambio significativo utilizando películas protectoras en las ventanas debido a que es donde más calor entra a la vivienda.

Otra comparativa que se realizó, fue aplicando las mismas ecotecnologías de la Figura 4.22 pero con un solo edificio, tomando el edificio ubicado en Jiutepec, se cambió su ubicación original hacia los otros municipios, obteniendo la Figura 4.23.

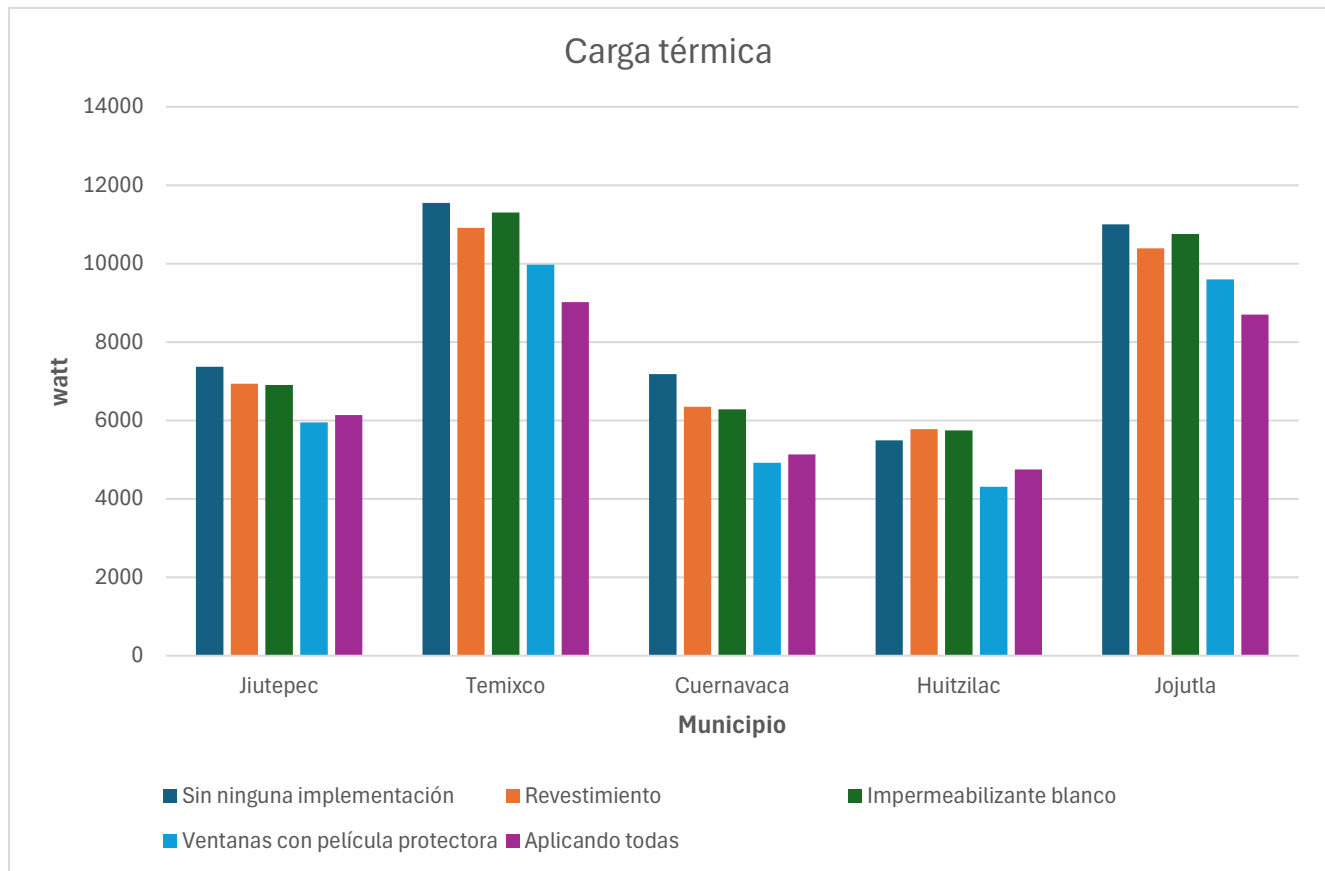


Figura 4.23 Gráfica comparativa de las diferentes ecotecnologías del mismo edificio, pero ubicado en diferentes municipios (elaboración propia).

Se observó que, conforme a la ubicación, dependerá la implementación de una o de todas las ecotecnologías propuestas, debido a la cantidad de ventana, el cambio se vio más afectado en la implementación de películas protectoras que aplicando todas. Es indispensable saber que estos factores son de importancia para la evaluación de una edificación y realizar las propuestas óptimas según sus características geográficas.

4.2.3 Cálculo para paneles fotovoltaicos

Para el cálculo de paneles fotovoltaicos, se debe tomar en consideración el clima del lugar y la orientación del edificio para obtener la inclinación óptima para su rendimiento. Una vez obtenido esos datos, se realiza un cálculo simple para saber la cantidad de paneles, la potencia del batería y la capacidad del inversor para dicha instalación. Tomando la vivienda en Jiutepec, esta tiene un consumo mensual de 350 kWh obtenido del recibo eléctrico, para ese caso se realiza el cálculo mostrado en la Tabla 10.

Tabla 10 Cantidad de paneles necesarios para la vivienda en Jiutepec (elaboración propia).

Celda	Descripción	Fórmula	Ecuaciones
A1	Consumo mensual promedio (kWh)	350	
A2	Factor de aumento	1.3	
A3	Potencia pico necesaria (kW h/mes)	455	$A1 \cdot A2$
A4	Horas pico de sol al día (horas)	4	
A5	Potencia de cada panel solar (W)	0.4	
A6	Número de paneles solares	3	$(A3/20) / (A4 \cdot A5)$
A7	Capacidad de almacenamiento de baterías (kW h)	24	$A1/15$
A8	Tamaño del inversor (kW h/mes)	455	A3

Este es un cálculo simplificado, el cual considera la orientación e inclinación del techo, la eficiencia de los paneles solares, las pérdidas del sistema y las regulaciones locales. El costo de los paneles solares, las baterías y el inversor variara según la marca, la calidad y la ubicación.

5 CONCLUSIONES

La implementación de la energía neta cero en edificaciones en Morelos México tiene el potencial de revolucionar la industria de la construcción hacia la sostenibilidad energética y ambiental. Aunque existen desafíos notables en términos financieros, técnicos y regulatorios, los beneficios en términos de eficiencia energética, reducción de emisiones y desarrollo económico son prometedores.

Abordar estos desafíos requerirá una colaboración estrecha entre el gobierno, la industria y la academia para crear un entorno propicio para la adopción y el avance de estas tecnologías vanguardistas.

Con respecto a los revestimientos, se puede inferir que:

- El tipo de revestimiento con menor consumo de energía es el asfalto bituminoso en todos los municipios, seguido de la membrana asfáltica, la lana mineral, la fibra de vidrio, el poliuretano, el desecho de mezclilla y, finalmente, sin revestimiento.
- La diferencia en el consumo de energía entre el asfalto bituminoso y sin revestimiento varía entre el 1.17% y el 29.5%, de 11024 w reduciéndose hasta los 7894 w en los municipios estudiados.
- La elección del mejor tipo de revestimiento para un municipio específico dependerá de varios factores, como el clima, el tamaño y la forma del edificio, los materiales de construcción y los sistemas de calefacción y refrigeración.

Materiales y sistemas eficientes: Es primordial usar materiales de construcción sostenibles y sistemas de calefacción y refrigeración eficientes para reducir el consumo energético. Además, se recomienda realizar un análisis detallado de las necesidades de cada municipio y edificio para determinar el revestimiento más adecuado para su implementación.

Focos: El cambio de focos CFL a LEDs mejora el rendimiento energético. Se proyecta que los residuos por el cambio de focos se reducirán en un 33%, y en un periodo de 15 años, el gasto total será menor en comparación con los CFL, incluso considerando la continua reducción de precios de los LEDs.

Paneles solares: El análisis de paneles solares fue simplificado para su fácil entendimiento, muestra que los paneles solares son una opción viable y sostenible tanto para hogares como para empresas, siempre que se considere su ubicación, consumo energético y presupuesto. Contribuyen al ahorro en facturas, reducen la huella de carbono y aumentan el valor de la propiedad.

Selección de ecotecnologías: Es esencial realizar una evaluación detallada antes de implementar varias ecotecnologías, ya que no siempre se traduce en un mejor rendimiento. La selección adecuada según el tipo de edificación y la ubicación geográfica optimiza los resultados y ajusta el proyecto al presupuesto de los propietarios.

RECOMENDACIONES

Se recomienda para los futuros trabajos, realizar la implementación de intercambiadores tierra-aire en el programa CYPETHERM LOADS, el cual tiene un apartado de agregar “ventilación/infiltración” y “otras cargas” aparte de las convencionales como ventanas y puertas.

Es importante adaptar la metodología para las condiciones de cada edificación, considerando los siguientes puntos:

Inspección inicial:

- Se debe realizar un análisis detallado del edificio existente, inspeccionar la envolvente, sistemas de climatización, iluminación y consumo energético.
- Se deben identificar las áreas de mejora y oportunidades para reducir el consumo energético.

Evaluación de la eficiencia energética:

- Se deben asegurar un aislamiento térmico eficiente en paredes, techos y suelos.
- Se tienen que utilizar ventanas y puertas de alta eficiencia para minimizar las pérdidas de calor.
- Se deben eliminar o minimizar puentes térmicos mediante detalles constructivos adecuados.

Hermeticidad del edificio:

- Se deben realizar pruebas específicas para garantizar la hermeticidad.
- Se deben evitar infiltraciones de aire no deseadas.

Energía renovable:

- Se tienen que integrar fuentes de energía renovable, como paneles solares o aerogeneradores.
- Se debe buscar alcanzar un balance neto de energía, donde la producción cubra el consumo.

Explorar nuevas ecotecnologías para su implementación, estas pueden ser:

Ventilación mecánica con recuperación de calor:

- Seleccionar y simular un sistema de ventilación que recupere el calor del aire de salida.
- Seleccionar y simular filtros de aire para garantizar una buena calidad del aire interior.

Ventana solar: Tiene la capacidad para generar energía solar, proporcionar aislamiento térmico y acústico e integrarse con la arquitectura del edificio. La ventana puede reducir el consumo de energía hasta en un 80%. Está hecha de vidrio con células fotovoltaicas y se puede utilizar en lugar de ventanas tradicionales (Ecoinventos, 2024).

Jardines en la azotea: Pueden ahorrar energía. Además de ahorro energético, los jardines en la azotea mejoran la calidad del aire, proporcionar hábitat para la vida silvestre, mejoran la gestión de las aguas pluviales y se pueden utilizar para cultivar alimentos (Ecoinventos, 2022).

Las ventanas energéticamente eficientes son fundamentales tanto para nuevas construcciones como para viviendas existentes, ya que la ganancia y pérdida de calor a través de ellas representan entre el 25% y el 30% del consumo de energía en calefacción y refrigeración residencial. Al adquirir nuevas ventanas con la certificación ENERGY STAR, ofrecen un mejor beneficio, debido a que incluyen las calificaciones de rendimiento energético del Consejo Nacional de Clasificación de Ventanas (NFRC) (Govdelivery, 2024). En climas fríos, se recomiendan ventanas con un factor U bajo, mientras que, en climas cálidos, lo ideal son las que tienen un bajo coeficiente de ganancia de calor solar (SHGC). En cualquier clima, las ventanas con factores U y SHGC bajos optimizan el ahorro de energía.

También se recomienda realizar estudios más detallados para evaluar la efectividad de las ecotecnologías en diferentes contextos climáticos y tipos de edificaciones. Es importante desarrollar estrategias de capacitación para promover la adopción entre los profesionales de la construcción y los usuarios finales.

PARTICIPACIÓN EN CONGRESOS

MEMORIAS DEL XXIX CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM
20 al 22 DE SEPTIEMBRE DE 2023 CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA, MÉXICO

DOI: 10.59920/GKJS3892

A4 Termofluidos. *Sustentabilidad Energética y ahorro de energía*

“Adaptación e implementación de una metodología de energía neta cero para edificaciones de Morelos”

*Vazquez-Fuentes Erick^a, Montiel-González Moisés^{a,*}, Montiel-Palacios Esteban^b, Morales-Gomez Laura^a, Romero-Aguilar Mariana^a
Alvarado-Juárez Roberto^c*

^a Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería - UAEM, Av. Universidad 1001, (62209) Cuernavaca Mor., México.

^b Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc, UAEM, Xalostoc, Ayala, Morelos, México

^c Instituto Tecnológico Superior de Perote- Carr. Federal Teziutlán - Perote 140 Km. 2.5, Centro, 91270 Perote, Ver., México.

*Autor de contacto: moises.montiel@uaem.mx

https://somim.org.mx/memorias/memorias2023/articulos/M38-A4_98.pdf



LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

a través de la



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA

otorga el presente:

RECONOCIMIENTO

A: Erick Emmanuel Vázquez Fuentes

Por su participación como ponente en el: **“IV COLOQUIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO”** dentro del programa de la XXXIX Semana de la Química e Ingeniería 2024 titulada **“LA QUÍMICA Y LA INGENIERÍA HACIA UNA SOCIEDAD INCLUSIVA, INTERCULTURAL E IGUALITARIA ”**.

Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

M. en E. Angélica Galindo Flores
Directora Interina

Dr. José Gerardo Vera Dimas
Secretario de Investigación y Posgrado



Este es un reconocimiento digital y su autenticidad está avalada mediante firma electrónica y clave única de registro codificada en QR, anexa al presente documento.

UAEM
RECTORÍA
2023 - 2029

6 BIBLIOGRAFÍA

- Feist, W. (Mayo de 2022). *Certification criteria for Passive House Transparent Building Components*. Obtenido de Passive House Institute.: https://passivehouse.com/03_certification/01_certification_components/02_certification_criteria/01_transparentcomponents/01_transparentcomponents.html
- Aguaeden. (3 de Agosto de 2020). *Energías renovables: tipos y aplicaciones*. Obtenido de Eden Springs.: <https://www.aguaeden.es/blog/energias-renovables-tipos>
- Agudelo, D. C. (26 de abril de 2022). *Automatización en edificio Cero Energía Neta*. Obtenido de ACR Latinoamérica: <https://www.acrlatinoamerica.com/202010028977/articulos/automatizacion-de-edificios/automatizacion-en-edificio-cero-energia-neta.html>
- Aguilar, F. G. (15 de 02 de 2021). *gaceta.unam*. Obtenido de Celda solar de perovskita: el futuro fotovoltaico: <https://www.gaceta.unam.mx/celda-solar-de-perovskita-el-futuro-fotovoltaico/>
- Alcubierre, D. (2023). *Cemaer*. Obtenido de Centro de Estudios en Medio Ambiente y Energías Renovables: <https://www.cemaer.org/tipos-de-calentadores-solares/>
- Analysis, C. a. (20 de 11 de 2023). *Autodesk*. Obtenido de <https://www.autodesk.es/>
- Arquitectos, T. (25 de Septiembre de 2023). *La arquitectura bioclimática: principios y ejemplos*. Obtenido de Teat Guadalajara. Teat Guadalajara: <https://www.teat.es/noticias/arquitectura-bioclimatica-principios-ejemplos/>
- ASHRAE. (2023). *ashrae*. Obtenido de <https://www.ashrae.org/about/mission-and-vision/ashrae-industry-history>
- B.Led . (2019). *¿Que son los lúmenes y para qué sirven? B·LED*. Obtenido de <https://www.barcelonaed.com/blog/informacion-led/que-son-los-lumenes-y-para-que-sirven/>
- Barrero. (25 de agosto de 2022). *El Gobierno anuncia que derogará el límite de los 500 metros al autoconsumo. Energías Renovables*. Obtenido de el periodismo de las energías limpias: <https://www.energias-renovables.com/panorama/el-gobierno-anuncia-que-derogara-el-limite-20220825>
- Barrero. (20 de octubre de 2022). *España produce la electricidad solar más barata de Europa*. Obtenido de Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias: <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/las-grandes-corporaciones-buscan-en-espana-la-20221019>
- BIMserver. (4 de Mayo de 2024). *CYPE Architecture*. Obtenido de store.bimserver.center: https://store.bimserver.center/es/app/264/cype_architecture
- BIMserver.center. (2023). *bimserver.center*. Obtenido de <https://bimserver.center/es>
- BIMserver.center. (31 de mayo de 2023). *store.bimserver.center*. Obtenido de CYPETHERM LOADS: https://store.bimserver.center/es/app/27/cypetherm_loads
- BIMserver.center. (5 de Mayo de 2024). *BIMserver.center Store*. Obtenido de store.bimserver.center: https://store.bimserver.center/es/app/1/ifc_builder
- BREEAM®. (15 de Enero de 2024). *Sobre Breeam*. Obtenido de breeam.es: <https://breeam.es/sobre-breeam/>
- CASBEE. (8 de Febrero de 2024). *Welcome to CASBEE*. Obtenido de ibecs.or: <https://www.ibecs.or.jp/CASBEE/english/>
- Conde, J. (15 de abril de 2018). *Órganos federales descentralizados de gestión del Medio Ambiente*. Obtenido de CienciasAmbientales: <https://www.cienciasambientales.com/mx/noticias-medioambiente-mexico/organos-federales-descentralizados-del-gestion-del-medio-ambiente-15823>
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas. (05 de Mayo de 2024). *Parte 1 CTE*. Obtenido de Código Técnico de la edificación: <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/parte1.html>

- Córdova, P. M., Salgado, L., & Bravo, B. (2021). Economía circular y su situación en México.
- Cristalería Vitralba. (Junio de 2024). *Vitralba*. Obtenido de EL VIDRIO y la transmisión de calor: https://vitralba.com/wp-content/uploads/2018/09/el_vidrio_y_la_transmision_de_calor.pdf
- CYPE Software. (4 de Mayo de 2024). *CYPETHERM LOADS*. Obtenido de info.cype: <https://info.cype.com/es/producto/cypetherm-loads/#metodologia-de-calculo-y-normativa-d18d429f-3959-4412-87b7-198acba92ae2>
- Desarrollo Institucional y Capacitación CAF. (7 de Octubre de 2019). *4-2 energie sprong*. Obtenido de YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=PQuL7AIEMS8>
- DOF. (2011). *NOM-020-ENER-2011*. Obtenido de Eficiencia energética en edificaciones.- Envoltente de edificios para uso habitacional.: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5203931&fecha=09/08/2011#gsc.tab=0
- Eade, J. C. (2012). Factibilidad de estándares PassivHaus y diseño pasivo alternativo en zonas térmicas de Chile. *Dialnet*, 13.
- Eceiza, J. (2022). *La transformación necesaria para lograr emisiones netas cero en 2050*. Obtenido de <https://www.expansion.com/opinion/2022/02/17/620d1b47e5fdea3f468b45fa.html>
- Ecoinventos. (11 de Agosto de 2022). *Azoteas verdes: beneficios para el consumo de energía*. Obtenido de EcoInventos: <https://ecoinventos.com/azoteas-verdes/>
- Ecoinventos. (9 de Abril de 2022). *Energía solar residencial: todo lo que debes saber*. Obtenido de ecoinventos: <https://ecoinventos.com/energia-solar-residencial/>
- Ecoinventos. (20 de Junio de 2024). *¿Es realmente rentable el autoconsumo fotovoltaico en España?* Obtenido de EcoInventos: <https://ecoinventos.com/es-realmente-rentable-el-autoconsumo-fotovoltaico-en-espana/>
- Ecoinventos. (Junio de 2024). *Empresa española patenta innovadora ventana solar con aislamiento térmico y acústico, puede reducir hasta un 80% la necesidad de aire acondicionado y calefacción*. Obtenido de EcoInventos: <https://ecoinventos.com/empresa-espanola-patenta-innovadora-ventana-solar-con-aislamiento-termico-y-acustico/>
- Energía Solar Fotovoltaica. (2019). *Energía Solar Fotovoltaica*. Obtenido de <https://energiasolarfotovoltaica.org/energia-solar-fotovoltaica-de-concentracion>
- EQUIPAR. (2018). *revistaequipar*. Obtenido de Edificios certificados con Energía Cero: <https://www.revistaequipar.com/mexico/contenido-editorial/edificios-certificados-con-energia-cero>
- García, Á. S. (15 de diciembre de 2022). *Los edificios Net Zero*. Obtenido de Reto KÖMMERLING: <https://retokommerling.com/edificios-net-zero/>
- GEOGRAPHIC, N. (21 de 4 de 2022). *Ahorro de energía: 7 consejos para disminuir el consumo en casa*. Obtenido de nationalgeographicla: <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2022/03/ahorro-de-energia-7-consejos-para-disminuir-el-consumo-en-casa>
- Global Roofing Group. (7 de Mayo de 2024). *¿Qué es la certificación LEED?* Obtenido de globalroofinggroup: <https://globalroofinggroup.com/blog/what-is-leed-certification>
- GmbH, D. (21 de Abril de 2023). *Über die DGNB*. Obtenido de DGNB GmbH: <https://www.dgnb.de/de/dgnb/ueber-die-dgnb>
- Gomez, M. J. (24 de mayo de 2022). *un.org*. Obtenido de Objetivos de desarrollo sostenible para agenda 2030: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- González, A. (2024). *CELDAS SOLARES DE PEROVSKITA: EL FUTURO DE LA TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA. MIX TEC*. Obtenido de CELDAS SOLARES PEROVSKITA: <https://energiasolarfotovoltaica.org/celdas-solares-perovskita>
- Govdelivery. (27 de Junio de 2024). *Prevent heat gain (and loss) with new windows*. Obtenido de govdelivery: <https://content.govdelivery.com/accounts/USEERE/bulletins/3a556de>

- Green, J. (2023). *Los edificios de energía neta cero son fundamentales para evitar la aceleración del cambio climático*. Obtenido de <https://www.archdaily.mx/mx/968647/los-edificios-de-energia-neta-cero-son-fundamentales-para-evitar-la-aceleracion-del-cambio-climatico>
- HELLA. (2023). *HELLA*. Obtenido de HELLA TECH WORLD: <https://www.hella.com/techworld/es/Informacion-Tecnica/Iluminacion/Faros-LED-833/>
- Hernandez Perez, I. (2023). ESTUDIO PARAMÉTRICO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR-TIERRA AIRE EN UN CLIMA CÁLIDO-HÚMEDO. *ResearchGate*.
- Hernández Pérez, I. A. (2016). *Estudio de la Transferencia de Calor de Cubiertas Reflectivas (Cool Roofs) en Techos de Edificaciones bajo Condiciones Climáticas de la República Mexicana*. Morelos: Cenidet.
- INEGI. (2005). *Clima de Morelos*. Obtenido de Geografía y Medio Ambiente: <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mor/territorio/clima.aspx?tema=me>
- Inmobilia. (14 de febrero de 2020). *info.inmobilia*. Obtenido de Edificios Net-Zero y construcciones sustentables: <https://info.inmobilia.mx/blog/edificios-net-zero-y-construcciones-sustentables-que-son-y-cuales-puedes-encontrar-en-mexico>
- ladybug. (2021). *ladybug.tools*. Obtenido de <https://www.ladybug.tools/epwmap/>
- López, A. &. (2019). *México fija plan para desarrollo sustentable al 2030*. Obtenido de El Tec participa. Tecnológico de Monterrey.: <https://conecta.tec.mx/es/noticias/nacional/institucion/mexico-fija-plan-para-desarrollo-sustentable-al-2030-el-tec-participa>
- Lovato, S. A. (30 de Octubre de 2018). *revistaespacios*. Obtenido de La Gestión Administrativa del turismo sostenible en áreas marinas protegidas y la influencia de los grupos de interés.: <https://www.revistaespacios.com/a18v39n44/18394421.html>
- Marsh, A. (2014). *3D Sun-Path*. Obtenido de [andrewmarsh.com](https://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html): <https://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>
- Martinez, L., Rodríguez, L., Flores, C., Cisneros, C., Chávez, M., & Lemus, I. (Enero de 2023). *On Net Zero Energy Building Design Methodology: A Case Study Examining Learning as Measured by Interdisciplinary Knowledge Acquisition*. Obtenido de researchgate: https://www.researchgate.net/publication/366837179_On_Net_Zero_Energy_Building_Design_Methodology_A_Case_Study_Examining_Learning_as_Measured_by_Interdisciplinary_Knowledge_Acquisition
- Nacional Onexpo. (8 de Febrero de 2024). *onexpo*. Obtenido de Dependencia de los combustibles fósiles: México enfrenta desafíos en su transición energética.: https://www.onexpo.com.mx/NOTICIAS/DEPENDENCIA-DE-LOS-COMBUSTIBLES-FOSILES-MEXICO-ENF_ESTf5/
- Nergiza. (9 de 10 de 2017). *nergiza*. Obtenido de Cómo hacer un cálculo de cargas térmicas de calefacción y refrigeración: <https://nergiza.com/como-hacer-un-calculo-de-cargas-termicas-de-calefaccion-y-refrigeracion/>
- O’Riain, M. (22 de Enero de 2021). *The world’s first ‘zero energy’ house*. Obtenido de [passivehouseplus.ie](https://passivehouseplus.ie/blogs/the-world-s-first-zero-energy-house): <https://passivehouseplus.ie/blogs/the-world-s-first-zero-energy-house>
- Ochoa, M. F. (26 de Mayo de 2023). *Construcciones Net Zero en México entran al top 10 de este tipo*. Obtenido de ExpoCIHAC Hub: <https://www.expocihachub.com/nota/ingenieria-y-construccion/construcciones-net-zero-en-mexico>
- Oxlade, S. (29 de septiembre de 2023). *OpenBIM Definition*. Obtenido de BuildingSMART International: <https://www.buildingsmart.org/about/openbim/openbim-definition/>
- Para todo Mexico. (31 de Enero de 2023). *paratodomexico*. Obtenido de Clima del Estado de Morelos: <https://paratodomexico.com/estados-de-mexico/estado-morelos/clima-morelos.html>
- Pardo Meza, J. C. (2015). *Sistema Fotovoltaico interconectado*. Universidad Politécnica de Sinaloa: Programa académico de Ingeniería en Energía.

- Passive House Institute. (8 de Mayo de 2024). *Passivhaus Institut*. Obtenido de Passive House Institute: https://passivehouse.com/04_php/04_php.htm
- QIONG, L. (6 de Mayo de 2024). *Eco-casas de Shanghai*. Obtenido de chinatoday: http://www.chinatoday.com.cn/ctspanish/se/txt/2010-07/07/content_283765.htm
- REHAU. (2023). *Pozo canadiense*. Obtenido de <https://www.rehau.com/es-es/pozo-canadiense>
- RLCANARIAS. (2023). *RLCANARIAS*. Obtenido de PRODUCTOS Y SISTEMAS DE IMPERMEABILIZACION PARA LA INDUSTRIA DE LA COSTRUCION: <https://www.rlcantarias.eu/sistemas-de-islamiento-acusticos-y-termicos>
- S&P. (27 de enero de 2020). *solerpalau*. Obtenido de Cálculo de cargas térmicas: conceptos básicos y métodos: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/calculo-cargas-termicas/>
- Sánchez Terán, L. F., Roux Gutiérrez, R. S., & Espuna Mujica, J. A. (2018). Estudio calorimétrico con el uso de termopares en aislante hecho de mezclilla de desecho para viviendas en Saltillo, Coahuila. *Nova Scientia*, 10(20), 280–304. doi:<https://doi.org/10.21640/ns.v10i20.1319>
- SEMARNAT. (2019). *Visión Nacional Hacia una Gestión Sustentable*. Obtenido de Cero residuos: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/435917/Vision_Nacional_Cero_Residuos_6_FEB_2019.pdf
- Skye, H. &. (Mayo de 2021). *Residential Net-Zero Energy Buildings: Review and Perspective*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Obtenido de researchgate: https://www.researchgate.net/publication/349821923_Residential_Net-Zero_Energy_Buildings_Review_and_Perspective
- Solar, E. (2021). *¿Quién fue el inventor de los paneles solares? Charles Fritts*. *Expertos en energía solar fotovoltaica y paneles solares*. Recuperado el 2023, de <https://www.efcsolar.com/blog/charles-fritts-inventor-de-los-paneles-solares/>
- Structuralia. (21 de Julio de 2021). *Certificado Passivhaus: todo lo que hay que saber acerca de él*. Obtenido de structuralia: <https://blog.structuralia.com/certificado-passivhaus>
- Urbanas, O. (22 de 11 de 2023). *La sexta dimensión del BIM: BIM aplicado a la eficiencia energética*. Obtenido de obrasurbanas: <https://www.obrasurbanas.es/bim6d-sexta-dimension-bim-eficiencia/>
- Valerdi, H., & Elías Lopez, P. D. (2021). Diseño, análisis y evaluación de las características termofísicas de paneles aislantes para muros, realizados con botellas reutilizadas de PET, espuma de poliuretano y acabado aparente en una de sus caras. *Repositorio institucional Zaloamati*, 189.
- VectorMine. (diciembre de 2022). *istockphoto*. Obtenido de Net zero home, sustainable and resources efficient residential house.: VectorMine. (s. f.). Net zero home, sustainable and resources efficient residential house. . . iStock. <https://www.istockphoto.com/es/vector/diagrama-de-esquema-de-casa-neta-cero-casa-residencial-sostenible-y-eficiente-gm1352202369-427695654>
- weatherspark. (2023). *El clima en Morelos, el tiempo por mes, temperatura promedio (México)*. Obtenido de Weather Spark: <https://es.weatherspark.com/y/5222/Clima-promedio-en-Morelos-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Xiao, M. T. (29 de Octubre de 2018). *A Review on Recent Development of Cooling Technologies for Concentrated Photovoltaics (CPV) Systems*. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/en11123416>
- Zigurat. (18 de Mayo de 2020). *diferencia entre la certificación PassivHaus y LEED*. Obtenido de Zigurat: <https://www.e-zigurat.com/es/blog/cual-es-la-diferencia-entre-la-certificacion-passivhaus-y-leed/>



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



Facultad de Ciencias
Químicas e Ingeniería

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS e INGENIERÍA

PROGRAMAS EDUCATIVOS DE CALIDAD RECONOCIDOS POR CIEES, CACEI Y CONAHCYT

SGI Certificada en la norma ISO 9001:2015 e ISO 21001:2018

FORMATO T-2

NOMBRAMIENTO DE COMISIÓN REVISORA

Y DICTAMEN DE REVISIÓN

Cuernavaca, Mor., a 21 de agosto de 2024.

DR. MOISÉS MONTIEL GONZÁLEZ
DR. ESTEBAN MONTIEL PALACIOS
DRA. MARIANA ROMERO AGUILAR
DR. ROBERTO ALVARADO JUÁREZ
DRA. LAURA IRENE MORALES GÓMEZ
P R E S E N T E

Por este conducto, me permito informarle que ha sido asignado como integrante de la comisión revisora de la tesis que presenta **ERICK EMMANUEL VÁZQUEZ FUENTES**, titulada: **ADAPTACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA DE ENERGÍA NETA CERO PARA EDIFICACIONES DE MORELOS**, realizada bajo la dirección del Dr. Moisés Montiel González, del Programa Educativo de la Maestría en Ingeniería Ambiental y Tecnologías Sustentables. Agradezco su valiosa participación en esta Comisión y quedo a sus órdenes para cualquier aclaración o duda al respecto.

A T E N T A M E N T E
Por una humanidad culta

MTRA. ANGÉLICA GALINDO FLORES
DIRECTORA INTERINA

D I C T A M E N

MTRA. ANGÉLICA GALINDO FLORES
DIRECTORA INTERINA DE LA FACULTAD
DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA
P R E S E N T E

En respuesta a su amable solicitud para formar parte de la Comisión Revisora de la tesis mencionada y una vez realizada la revisión correspondiente, me permito informarle que mi VOTO es:

D I C T A M E N

NOMBRE	VOTO	FIRMA
DR. MOISÉS MONTIEL GONZÁLEZ	APROBADO	
DR. ESTEBAN MONTIEL PALACIOS	APROBADO	
DRA. MARIANA ROMERO AGUILAR	APROBADO	
DR. ROBERTO ALVARADO JUÁREZ	APROBADO	
DRA. LAURA IRENE MORALES GÓMEZ	APROBADO	

Se anexan firmas electrónicas





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

ANGELICA GALINDO FLORES | Fecha:2024-09-17 08:46:18 | FIRMANTE

JxUNSeg3Zdh9KRmeChImkXfyAkVbnOckJTASPHICGoU6BhQ6fA0reCsz+VYKsbnmwfZoMkT/65YaJEDJjDlODKkchlCD10VF8vsLp2InowjV3btL4uxycFc5sdcL34kGXCXLTVacs
YcUiSql8qwJRAS6igoAPfptsTgqP6bF+mCLZxJJBazqAKyoJrspRlrHgemzFyPcYZ0u5wdTWH8p/hP89kMSGm2EPvL0aY9bb8MbbRuKmvL4cECHpsi+FlrurZp139DbicUW5tD4Sd
1gZqBXwGA+8oTLjhZLO2Mtohy+1V2y+hG9ADnNFfW0cXjSBpk2KUoxhNiM06as3BWCdiw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



ylUmXWJ4j

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/Ig605qwGQSRaKbR4ZqZKbNGNBnxBa4vj>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

LAURA IRENE MORALES GOMEZ | Fecha:2024-09-19 13:02:39 | FIRMANTE

CbW7PsJM9axkzC0pugq1Zga1gg5/r8UMHF7yrZ2+ymGm92WJGXN0oQLLRJ40PukYcVs+ujBulaPGI2ToSSVYyuEay3PNe3DyRRN1Sp2EARUGXPautl2HH2BNBbdd/P0Sflo/m
a9NyEHouXuyKCQvwc/NPBRjD3qWPSdbIFzOj+5SirFyO5N8PhxCh+E9D0QDYZY/0uuazx7Aoy++969vb+L0z5ig29w5CqBQ166zS6QB1ISg+HxxbH1M+2qd7nQ48GqK4vuDILrA
2kUCrBkPhWe4aoG0IV4i6XvgUsRq/41uyO0p1ez133KgyDN4ryt/t1q0uLqK9osHaa3/efZzhw==

ESTEBAN MONTIEL PALACIOS | Fecha:2024-09-20 13:00:57 | FIRMANTE

ylj5xy8O0/QV4yqVq7mrJRGsc8fZTe066gzSK/UQ1XqLqMa/Ty0aYm4MIM/LD28Y0JJ/ELaPe5XrRpSqa2t1OUiwl/PLg0eiB/FxIsdpdb0IWskidfmEZIYta58w6VF9bGZxGruCRIXNzS
33ZPa314lw827oX6gYloGKTTpWjJDS2aHcaBxx+YlwkcTbU2BY8KYh86jCz+g7s1AoSw8laFz/IpTW5lGJr6zyoHFI7mxiiyYBjR9wd/5yYYWFidqBqJv32fyobOER0UGpRglthlHbA
KxHGKtNcjMJbchATAwXGvRpm3f2jsyMMKAE4HYthg/meClnb37Q1JdxBhHQ==

MARIANA ROMERO AGUILAR | Fecha:2024-09-23 13:04:17 | FIRMANTE

hy9hjzQpHFHzy4ARukMwXFkcaYLOfwtRkdvCCodxyCXLPAyy4zhZjxgKsOBi5tkT+p8BLufXh5Jldo64lklQM5BzoU6AadU39Gjha48tmvOAHc9qafBnWldA+4zQlrgwiz0Hyx52dd
2wgGsx3OG1mywx50oZTtP57SefLKke8BtgB5rqd7ZCC0QJS6tc6p5egwJ78s73V2tgUjMhQqgeBDJQwhJOKV9tYWiileLgBCio+eykODuDGBGZ+B9VsqViJ+s0wmUUVnaXzfsc2B
n+XK/2sX+Ubxiiy4aVhPiHEMVTN/attJMktKg0XDhvx8eM0hLcWiksCyThglz1T9RYQ==

MOISES MONTIEL GONZALEZ | Fecha:2024-10-07 09:12:30 | FIRMANTE

GEfuYlJr8Y8XGvqvzX2663FMDyRVoWSC2Qt3RLms5u80TPTZsVki/ZA/IqZsDyZlpDjJS+De3JFxFN3fDK0NbRaMflh65tnAnpgl7Nz+7ahsL5D7PxyWYDgmJy4v+ZAxnPnGinGA7n
QAdwhSbMLPQlh6Ynug79yLonZq5qSBOrqZ2OObJTuosE3qXOH99J4XAJw459hYzGoxA5wLonrgXzQpjbU8ndDcThOsTffkBMbjtHG+Cohvc9nwE2w02FOhloM68X1LV7XJ
GxMM+blfmCbeSnBfg0b+iKT5tQoTnVED/gZaiKgNa5E8HkkIM7KjzrgDC1N1Cfm+bydekCrg==

ROBERTO ALVARADO JUÁREZ | Fecha:2024-10-07 21:24:38 | FIRMANTE

fX9OPwxTdEE1UeoJdIITNgmfmowScMR8+0d9eDhYkkwg1MLmavKrcelXqVtVJlGf6YvHgEXUQ/W4mgNxEACzm1hgtgQkLkw5N6dtbY8WEDQuvixy/5dxS5AurSB2Ck2TWEwB
YsAxHMTzRKZH7w4xcRi4xiE3LLMHqs+mBpypCZF+EOA3b0Y6VT29Y24XKBwheei374dlg8CTVbNuPxfFp/nUVbmXLLIPWkF4QOZn8UvZEaGH8/OLA72QDQCIBuCCyCx6LI
6it0p1PB/p5YNOTxy56rWwCr+N2keRz18VKSww+mNJPJh9L4yk7Uxoyv0jh23i83/XgH3Q8EIA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



sOkXdhEop

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/FAdarmpcJprY2clgfFGcv66PLecQB7tl>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029