



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



MCIA
Maestría en Ciencias
en Ingeniería Ambiental
UMSNH

FACULTAD DE BIOLOGÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

***“EMISIONES DE CO₂ DERIVADAS DEL DESEMPEÑO TÉRMICO DE LA
VIVIENDA DE INTERES SOCIAL EN MORELIA”***

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presenta:

ARQ. FERNANDO NÚÑEZ GUZMÁN

Asesor de tesis:

DRA. LILIANA MÁRQUEZ BENAVIDES

Co- asesor de tesis:

DR. EDGAR L. MORENO GOYTIA

Morelia, Michoacán, Agosto de 2016



DEDICATORIAS

A DIOS

Quien ha sabido guiarme por el buen camino, darme la fuerza y paciencia necesaria para superar los obstáculos, enseñándome a encarar las adversidades sin desfallecer en el intento.

A MIS PADRES (NORA Y ERNESTO)

Porque siempre creyeron en mí, me apoyaron incondicionalmente y supieron impulsarme día con día para concluir con esta meta. Gracias por todo su amor y cariño sincero que me demuestran a cada momento; espero nunca defraudarlos y seguir compartiendo con ustedes más logros como este.

A MIS HERMANOS (NORA, ERNESTO Y JESSY)

Por sus consejos y su gran apoyo a lo largo de la Maestría, siempre acompañándome en los buenos y malos momentos. Gracias por todo hermanos y espero seguir contando con ustedes toda la vida; los quiero mucho.

A MI FAMILIA EN GENERAL

Por todo el apoyo y cariño depositado en mí, a lo largo de estos dos años de maestría.



AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)

Por otorgarme una beca que me permitió cubrir mis créditos de maestría y solventar mis necesidades económicas durante el tiempo de estudio del posgrado.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Por haberme dado la oportunidad de cursar un posgrado de calidad en sus instalaciones y seguirme dando herramientas para mi desarrollo profesional.

Al Programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental

Por haberme permitido conocer nuevas áreas de la investigación y contribuir con mi formación profesional.

A mi Asesora la Dra. Liliana Márquez Benavides

Por todo su apoyo, tiempo, dedicación y profesionalismo puesto a mi trabajo de investigación; gracias por sus consejos y recomendaciones para mi persona y mi futuro profesional.

A mi Co – Asesor el Dr. Edgar L. Moreno Goytia

Por su ayuda, su tiempo y por estar al pendiente de mi investigación, aportando tan atinados comentarios y puntos de vista durante el desarrollo de este trabajo.

A mis sinodales:

Dra. Angélica María Núñez Aguilar

Dr. Juan Manuel Ortega Rodríguez

Dr. Ezequiel García Rodríguez

Por aceptarme como su tesista; por todo su apoyo, esfuerzo, dedicación hacia mí persona y por su valiosa asesoría en la elaboración de mi trabajo de investigación.

A mis amigos Cony, Karla y Armando

Porque estuvieron conmigo siempre, en los buenos y malos ratos, apoyándome y brindándome su amistad. Gracias por todas esas gratas experiencias compartidas dentro y fuera de las aulas de clases.

Al resto de mis amigos y compañeros de la Maestría

Por las experiencias y momentos compartidos durante estos dos años.



La presente investigación se realizó en el **Laboratorio de Residuos Sólidos y Uso Eficiente de Energía** del **Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IIAF)**, dependiente de la **Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH)**, bajo la asesoría de la **Dra. Liliana Márquez Benavides** y la Co-asesoría del **Dr. Edgar L. Moreno Goytia**. Así mismo, este trabajo fue financiado por el **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, con la beca **No. 331683**.





Índice

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Parque habitacional en México	4
2.1.1 Tipología de vivienda	4
2.1.2 Expansión demográfica y urbana	5
2.1.3 Presente y futuro del parque habitacional	5
2.1.4 Déficit de vivienda	7
2.1.5 Normatividad ambiental del parque habitacional	8
2.2. Cambio climático	10
2.2.1 Gases efecto invernadero (GEI)	12
2.2.2 México y las emisiones de GEI	13
2.2.3 Emisiones de GEI del parque habitacional en México	15
2.3. Huella de Carbono	16
2.3.1. Metodología para el cálculo de la Huella de Carbono	17
2.3.2 Uso de la Huella de Carbono en México	18
2.4. Transferencia de calor y los procesos que participan en ella	19
2.4.1 Aislantes térmicos y Resistencia térmica (valor R)	22
2.4.2 Desempeño térmico de la vivienda	24
2.4.3 Pérdidas y ganancias de calor en la vivienda	25
2.4.4 Estrategias de control térmico	27
2.4.5 Objetivos de análisis del comportamiento térmico	28
3. ANTECEDENTES	29
3.1 Impacto ambiental de la vivienda	29
3.2 Eficiencia energética en el sector habitacional	30
3.3 Situación térmica energética en viviendas de países desarrollados	30
3.4 Análisis térmico en viviendas de Chile y Argentina	33
3.5 Sustentabilidad en la VIS en México	34
4. JUSTIFICACIÓN	36
5. HIPÓTESIS	37



6. OBJETIVOS	37
6.1 Objetivo general	37
6.2 Objetivos específicos	37
7. METODOLOGÍA	38
7.1 Plan general de trabajo	38
7.2 Desarrollo metodológico	39
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
8.1 Identificación de los perfiles de demanda energética de la VIS	56
8.2 Sensación térmica de los habitantes de “San Mateo II”	58
8.3 Comportamiento térmico al interior de la vivienda de interés social	59
8.4 Resistencia y transmitancia térmica de la envolvente de la VIS	62
8.5 Pérdidas y ganancias de calor en la VIS	64
8.6 Consumo energético derivado del confort térmico en la VIS	68
8.7 Simulación energética de la VIS analizada	69
8.8 Emisiones de CO ₂ eq generadas por el desempeño térmico de la VIS analizada	71
9. ESTRATEGIAS DE AHORRO ENERGÉTICO EN LA VIS	73
9.1 Estrategias generales	74
9.2 Estrategias técnicas-constructivas	74
9.2.1 Estrategia A: Renovación de luminarias	74
9.2.2 Estrategia B: Aislación térmica en la envolvente	75
9.2.3 Estrategia C: Ventanas con vidrio doble	76
9.2.4 Estrategia D: Sistema de energía renovable (paneles fotovoltaicos)	77
9.2.5 Estrategia E: Calentador solar para agua	78
9.3 Costo económico de las estrategias para mejorar la VIS	78
9.4 Criterios de diseño para las futuras VIS	80
10. CONCLUSIONES	82
11. TRABAJOS FUTUROS	82
12. COMPROBACIÓN DE OBJETIVOS	83
13. VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS	84
14. REFERENCIAS	85
ANEXOS	90



Índice de Tablas

Tabla 2.1	Clasificación de viviendas por m ² de construcción	4
Tabla 2.2	Normativas que relacionan la construcción y el ambiente	9
Tabla 2.3	Inventario Nacional de Emisiones de GEI (Gg)	14
Tabla 8.1	Demanda de energía eléctrica y gas L.P. (MJ)	56
Tabla 8.2	Resistencia y transmitancia térmica de la envolvente de la VIS	62
Tabla 8.3	Comparativa entre los valores “R” calculados y la NMX-C-460-ONNCCE-2009..	62
Tabla 8.4	Materiales y espesores necesarios para mejorar la resistencia térmica en la VIS ...	63
Tabla 8.5	Consumo eléctrico de la VIS suponiendo el uso de A.A.....	68
Tabla 8.6	Emisiones de CO ₂ eq generadas por el consumo anual de energía eléctrica y gas L.P. en la VIS estudiada	71
Tabla 9.1	Mejoras a la VIS estudiada aplicando la <i>Estrategia A</i>	75
Tabla 9.2	Mejoramiento de la resistencia térmica en la VIS estudiada	75
Tabla 9.3	Mejoras a la VIS estudiada aplicando la <i>Estrategia B</i>	76
Tabla 9.4	Mejoras a la VIS estudiada aplicando la <i>Estrategia C</i>	77
Tabla 9.5	Mejoras a la VIS estudiada aplicando la <i>Estrategia D</i>	77
Tabla 9.6	Mejoras a la VIS estudiada aplicando la <i>Estrategia E</i>	78
Tabla 9.7	Costo económico de las estrategias para mejorar la VIS estudiada	79



Índice de Figuras

Figura 2.1 Proyección de viviendas en México	6
Figura 2.2 Parque habitacional en México	6
Figura 2.3 Déficit de vivienda en México 2014- 2030	8
Figura 2.4 Capas de la atmósfera	11
Figura 2.5 Diagrama del efecto invernadero	12
Figura 2.6 Regiones definidas en los cerramientos	19
Figura 2.7 Transferencia de calor por Conducción	20
Figura 2.8 Transferencia de calor por Convección.....	21
Figura 2.9 Transferencia de calor por Radiación.....	21
Figura 2.10 Factores que determinan el desempeño térmico de la vivienda	24
Figura 7.1 Traza urbana de la ciudad de Morelia	39
Figura 7.2 Plantas arquitectónicas de la vivienda.....	40
Figura 7.3 Diagrama de la ETAPA 1 del análisis del desempeño térmico de la VIS	41
Figura 7.4 Diagrama de la ETAPA 2 y 3 del análisis del desempeño térmico de la VIS	42
Figura 7.5 Ubicación en planta de los Data Logger en la VIS estudiada	43
Figura 7.6 Diagrama de flujo de la FASE III.	53
Figura 7.7 Proceso para elaborar las estrategias de mejora en la vivienda de interés social.	55
Figura 8.1 Relación entre la demanda energética total de la vivienda y el consumo energético total por habitante en el conjunto habitacional “San Mateo II”.	57
Figura 8.2 Porcentaje de habitantes de San Mateo II que perciben su vivienda caliente, fría o confortable durante el año.....	58
Figura 8.3 Planta arquitectónica de la VIS.	59
Figura 8.4 Temperaturas registradas en el interior de la VIS estudiada.	61
Figura 8.5 Ganancias de calor en la planta baja.	65
Figura 8.6 Ganancias de calor en la recámara principal.	65
Figura 8.7 Ganancias de calor en la recámara 2.	66
Figura 8.8 Porcentajes de ganancias de calor generadas en la VIS estudiada.	67
Figura 8.9 Calificación energética de la vivienda, según sus emisiones de CO ₂ eq.....	70
Figura 9.1 Propuesta de estrategias para aplicar en la VIS analizada.....	79



RESUMEN

Con el crecimiento de la población mundial, la demanda de vivienda aumentó; sin embargo, dicha demanda se ha buscado satisfacer con el desarrollo de parques habitacionales constituidos por viviendas pequeñas y económicas. Este tipo de viviendas por sus características, no logran mantener las condiciones de confort térmico para los usuarios sin el uso de un sistema de climatización; esto genera importantes demandas de energía y emisiones de CO₂eq provenientes del sector residencial.

El objetivo de esa investigación fue determinar las emisiones de CO₂eq que se generarían al tratar de mejorar las condiciones térmicas actuales dentro de la vivienda de interés social en la ciudad de Morelia. Para ello, se realizó el análisis de desempeño térmico de la vivienda durante la época de verano del año 2015. Este análisis de desempeño térmico se desarrolló con el método del balance térmico, obteniendo las cargas térmicas generadas por las pérdidas y ganancias de calor (internas, solares, por conducción, convección y por sistemas mecánicos de climatización). Con el apoyo del software español CE3X, se realizó una simulación energética de la vivienda para conocer la calificación energética que presenta la vivienda; así mismo, se determinaron las estrategias que mejoran las condiciones de confort térmico para los habitantes, disminuyen la demanda energética y reducen las emisiones de CO₂eq en la vivienda.

Los resultados revelaron que la envolvente de la vivienda no posee la resistencia térmica (valor R) y transmitancia térmica (valor U) recomendada por la norma NMX - C - 460 - ONNCCE - 2009, generando una carga térmica de 51 kWh / m² año (refrigeración). La huella de carbono de la vivienda fue de 20 kg de CO₂eq/m²*año (sin confort térmico) y de 42 kg de CO₂eq/m²*año (con confort térmico).

Este estudio permite tomar decisiones desde la etapa de diseño para mejorar el desempeño térmico de las viviendas, reducir la demanda energética, contribuir con la mitigación del calentamiento global y fortalecer la información disponible del sector residencial.

Palabras clave: *vivienda de interés social, desempeño térmico, transferencia de calor, confort térmico, emisiones de CO₂eq.*



ABSTRACT

With the world population increase, the housing demand too increased. However, this demand has sought the development of housing parks, consisting of small and cheap houses. The social housing, because of their features, can't sustain thermal comfort conditions for users without an HVAC system. The HVCA systems generates significant energy demands and CO₂eq emissions from residential sector.

The objective of this research was to determine CO₂eq emissions that would be generated by to improve current thermal conditions inside the social housing in Morelia city. The thermal performance analysis was applied and conducted during the summer of 2015. The thermal performance analysis was development with the thermal balance method, obtaining the generated thermal loads by the heat gains and losses (internal, solar, by conduction, convention and HVAC systems). With the support of Spanish software CE3X, it has been made a simulation of housing to know its energy label; furthermore, the strategies that improve thermal comfort for the habitants were determined, reduce energy demand and reduce CO₂eq emissions in housing.

The result revealed that housing envelope doesn't have thermal resistance (R-value) either thermal transmittance (U-value) recommended by the standard NMX-C-460-ONNCCE-2009. The social housing generated a thermal load of 51 kWh/m²-year (refrigeration). The carbon footprint of housing was 20kg of CO₂eq/m²-year (without thermal comfort) and 42 kg of CO₂eq/m²-year (thermal comfort).

This study allow takes decisions from design stage to improve the housing thermal performance, reducing energy demand, contribute with the global warming mitigation and strengthen the available information from residential sector.



1. INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción tiene una gran demanda sobre el consumo de recursos naturales y en las emisiones producidas en un país, con su consecuente impacto ambiental. México ocupa el lugar 12 a nivel mundial en relación a las emisiones de bióxido de carbono (CO_2), principalmente por las actividades donde se queman combustibles fósiles (producción de cementos, transporte, climatización, cocinar, producir energía, etc.), con un total de 374.25 millones de toneladas de CO_2 (SEMARNAT, 2014).

Con el crecimiento de la población en México, la demanda de vivienda aumentó; sin embargo, dicha demanda se ha buscado satisfacer con la construcción de parques habitacionales basados en la economía y ahorro de quienes construyen, y no así en torno al confort de quienes habitarán en las viviendas. Tal es el caso de las viviendas de interés social (VIS), las cuales se diseñan sin tomar en cuenta el clima del sitio donde serán construidas, o implementando sistemas y materiales constructivos de baja calidad. Esta situación se debe a que el mercado de materiales nacionales para la construcción es más barato, por lo que las constructoras estandarizan en diseños y calidad de los materiales a usar, haciendo que las envolventes de las viviendas sean incapaces de mantener las condiciones de confort térmico para los habitantes.

El confort térmico se debe entender como temperaturas interiores entre los 18° y los 26°C , también llamado rango de confort (ISO 7730:2006). Sin embargo, esto depende de la capacidad que tengan los materiales que componen la envolvente de la vivienda para transferir o retener energía calorífica, así como el comportamiento de los flujos de energía (pérdidas y ganancias), dentro de las casas. Si el desempeño térmico (intercambio de calor entre el exterior y el interior de una edificación) es bajo, las viviendas se vuelven calurosas o frías, orillando a los usuarios a usar sistemas de climatización (aires acondicionados, calefacción, etc.), que demandan cantidades importantes de energía, y con ello, emisiones de CO_2eq a la atmósfera.

Por tal motivo, el objetivo de este trabajo fue determinar las emisiones de CO_2eq que se generarían al tratar de mejorar las condiciones térmicas actuales dentro de la vivienda de interés social en la ciudad de Morelia; para lo cual se obtuvieron los siguientes resultados.



2. MARCO TEÓRICO

2.1 Parque habitacional en México

En México y el mundo, la vivienda representa un refugio para las personas, un lugar donde salvaguardarse de las adversidades climatológicas y sociales. En esta, se llevan a cabo varias actividades que van desde la reproducción hasta la interacción cultural y social; así mismo, y desde un punto de vista social, una vivienda se ha convertido en un instrumento poderoso y de suma utilidad para la planeación económica y social del país, contribuyendo al crecimiento del bienestar de los ciudadanos.

2.1.1 Tipología de vivienda

La construcción de la vivienda depende en gran medida del mercado económico y de las políticas de las fuentes de financiamiento. Las principales características que distinguen a las viviendas son: precio final en el mercado, forma de producción y superficie construida o número de espacios, entre otros. Las viviendas se pueden clasificar en viviendas de interés social, las cuales se caracterizan por tener un máximo de 65m² habitables (no se contemplan cocheras, patios y jardines), así como la calidad en sus materiales de construcción. Luego están las viviendas tipo medio, tipo residencial y residencial plus (**Tabla 2.1**). Muchas de estas se construyen generalmente en conjuntos habitacionales y fraccionamientos (CONAVI, 2010).

Tabla 2.1 Clasificación de viviendas por m² de construcción.

CONCEPTO	V I S	MEDIO	RESIDENCIAL	RESIDENCIAL PLUS
Superficie construida	65m ²	95m ²	145m ²	225m ²
locales / espacios que las componen	Baño Cocina Estancia/comedor 2 recámaras	Baño ½ baño Cocina Sala Comedor 2 o 3 recámaras Cuarto de servicio	3 a 5 baños Cocina Sala Comedor 3 o 4 recámaras Cuarto de servicio Sala familiar	De 3 a 5 baños Cocina Sala Comedor 4 o más recámaras 1 o 2 cuartos de servicios Sala familiar

Fuente: (CONAVI, 2010).



2.1.2 Expansión demográfica y urbana

En las últimas décadas, México ha tenido un crecimiento demográfico considerable. Según datos de la Comisión Nacional de Población (CONAPO, 2014), en los últimos 10 años, el país aumentó de 107'151,011 habitantes, a 119'713,203 habitantes actualmente, y se prevé que para los próximos 10 años, superará los 130 millones de mexicanos. En consecuencia, el territorio de las zonas metropolitanas también creció de manera considerable, ya que del año 1990 al 2010, el conjunto de zonas metropolitanas del país pasó de 142,377 a 171,817 km²; además, la densidad media urbana, que se refiere al promedio de habitantes que se concentran en una hectárea de terreno, pasó de 124 a 112 habitantes por hectárea, lo que habla de un proceso complejo, en el que se extiende la superficie territorial pero ésta no se densifica con la misma intensidad.

Uno de los factores que detonaron dicho crecimiento fue la construcción de viviendas horizontales independientes entre 2000 y 2010, ya que el número de viviendas habitadas creció 7.1 millones, mientras que el número de departamentos en edificios habitados decreció en 90 mil viviendas, lo que habla de una expansión de las ciudades (INEGI, 2010). El problema específico del proceso actual de crecimiento urbano se deriva de una mala planeación, sin ejes y sin límites claros de trazo, colindancias y diseño. Esto se refleja en la ausencia de una adecuada provisión de servicios educativos, infraestructura, conectividad, etc., y en los traslados largos para llegar de un lugar a otro (SEDESOL, 2012).

2.1.3 Presente y futuro del parque habitacional

Según datos de la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI, 2010), en colaboración con la CONAPO, en México eran 29'239,451 de viviendas particulares en el año 2010 (incluidas las urbanas y rurales); para el año 2014, creció a 31'689,179 de viviendas en todo el país. Se espera que para las próximas décadas, mientras exista un crecimiento de población, habrá un crecimiento en el número de viviendas (**Figura 2.1**).

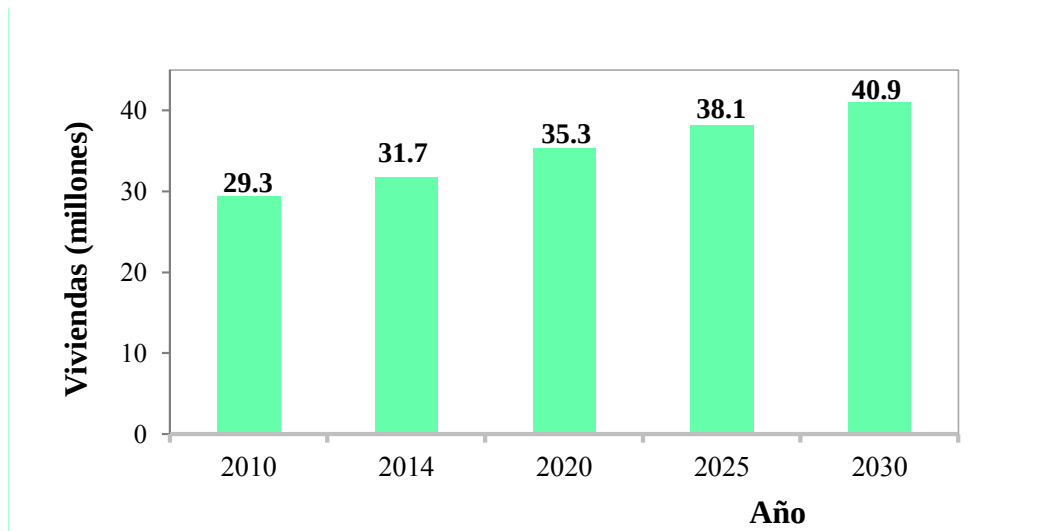


Figura 2.1 Proyección de viviendas en México (CONAVI, 2014).

El número total de viviendas está dividido en 3 grupos: Viviendas habitadas, viviendas deshabitadas y viviendas de uso temporal (**Figura 2.2**). Así mismo, del número de viviendas que había en México en el 2010, el 77% eran casas ubicadas en las zonas urbanas, mientras que el 23% restante se ubicó en localidades aisladas y menores de 2500 habitantes (zona rural) (INEGI, 2010).

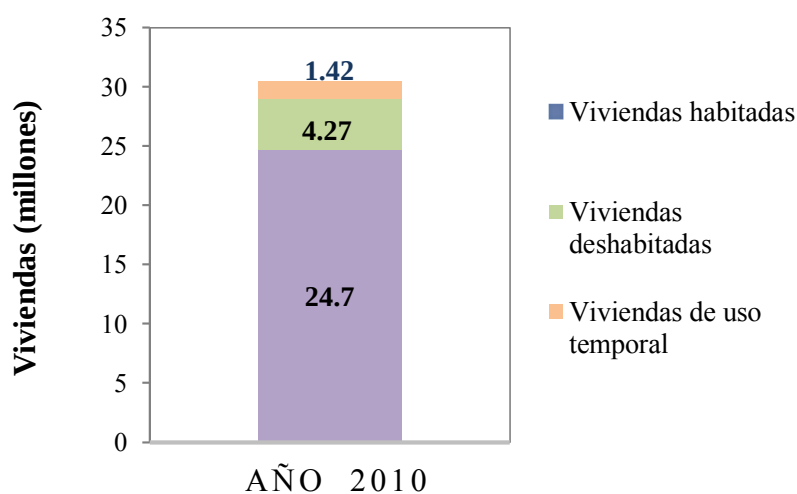


Figura 2.2 Parque habitacional en México (INEGI, 2010).



El momento demográfico por el que atraviesa el país puede verse como una oportunidad para potenciar el desarrollo del sector residencial de manera sustentable. De acuerdo con estimaciones de la CONAPO, la población moderará su ritmo de avance pero continuará aumentando en términos absolutos hasta el 2044; aunado a esto, a partir del año 2010 y hasta 2028 la estructura de la pirámide poblacional se modificará progresivamente y la mayor parte de la población se concentrará en personas de 25 a 50 años de edad. Este cambio constituye lo que comúnmente se conoce como el bono demográfico, el cual implica incremento de la población en edad de formar una familia y, por lo tanto, de comprar una casa. Por tal motivo, se espera que la demanda de viviendas continuará aumentando durante los próximos 20 años, y tendrá importantes consecuencias en el mercado inmobiliario mexicano (CEESP, 2010).

2.1.4 Déficit de vivienda

Cuando se habla de déficit en la vivienda, se hace referencia a la falta de viviendas en el país para que todas las familias mexicanas se desarrollen en una vivienda digna (donde los ciudadanos o las familias pueden vivir con seguridad, paz y dignidad). La medida del déficit habitacional no solo agrupa las viviendas que faltan por construir, sino también incluye las carencias que puedan tener las que ya existen, las cuales pueden ser de tres tipos: (1) materiales con que está construida, (2) las que se refieren al hacinamiento; y (3) la falta de servicios básicos indispensables. Muchas veces se conjuga más de una carencia en una sola vivienda, lo que representa una importante precariedad en que el parque habitacional se encuentra, especialmente en el ámbito semiurbano y rural (CONAVI, 2014).

Actualmente, existen carencias en 15.3 millones de viviendas (**Figura 2.3**), de las cuales 3 millones necesitan ser reemplazadas y los 12.3 restante necesitan un mejoramiento, una ampliación o ambos (SIF, 2012). Los créditos de vivienda se han dirigido principalmente a sectores medios y al grupo de afiliados a la seguridad social; el sector de población abierta, en especial el de bajos ingresos, ha sido rezagado en la atención de sus necesidades de vivienda. Sin embargo, es necesario integrar lineamientos ambientales dentro de los programas de acceso a la vivienda, que incentiven la producción de la misma a bajo costo, pero aumentando el confort y la sustentabilidad.



En la actualidad, aproximadamente seis de cada diez empleos en México son de carácter informal, lo que representa un reto significativo para la política de vivienda en tanto que dichos trabajadores no cuentan con seguridad social ni con acceso a financiamiento para vivienda como prestación laboral, lo cual limita sus posibilidades de obtener créditos hipotecarios y de acceder a una vivienda del mercado formal (CONAVI, 2014).

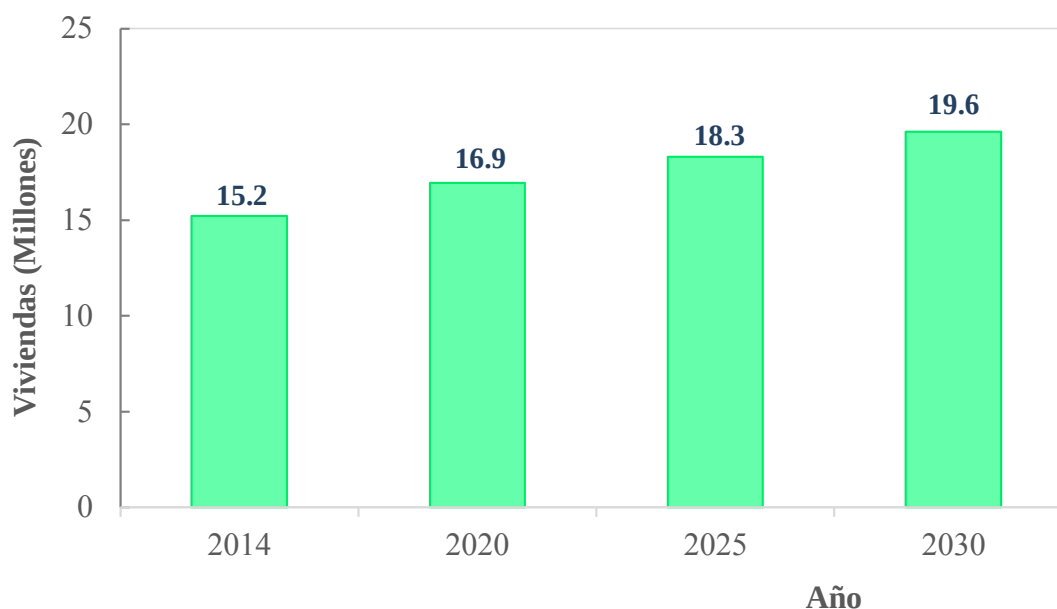


Figura 2.3 Déficit de viviendas en México 2014- 2030 (CONAVI, 2014).

2.1.5 Normatividad ambiental del parque habitacional

En México, la Constitución Política es el máximo cuerpo normativo de nuestro sistema jurídico, del cual emana todo ordenamiento legal y contiene los principios y objetivos de la nación (CPEUM, 2014). En temas de sustentabilidad a nivel nacional, existen varias normativas que hablan al respecto, como las normas oficiales mexicanas (NOM) (carácter obligatorio), las normas mexicanas (NMX) (expresan una recomendación de parámetros o procedimientos, aunque, en caso de ser mencionadas como parte de una NOM, su seguimiento será entonces obligatorio), etc. Dichas normas son emitidas por la Secretaría de Economía (SE), y vigiladas por grupos y organismos nacionales e internacionales de normalización (Sánchez, 2014).



Para el caso de la industria de la construcción y el sector habitacional, existen normas y reglamentaciones que rigen las construcciones, como reglamentos de construcción por entidad federativa; incluso existen en este ámbito normas ambientales que sirven como guías durante los procesos de construcción y/o evaluación durante el uso del parque habitacional (**Tabla 2.2**). Tal es el caso de las normativas de aislación térmica (NOM-018-ENER-2011, NOM-020-ENER-2011 y NMX-C-460-ONNCCE-2009); sin embargo, las autoridades reguladoras expiden licencias y permisos de construcción sin hacer revisión al proyecto tomando como base alguna de las normas que están relacionadas con la construcción.

Tabla 2.2 Normativas que relacionan la construcción y el ambiente.

CATEGORÍA	NORMA	DESCRIPCIÓN GENERAL
GENERALES	NMX-AA-164-SCF1-2013	“Edificación Sustentable”. Esta norma especifica los criterios y requerimientos ambientales mínimos de una edificación sustentable. Se puede aplicar en las fases de: diseño, construcción, operación, mantenimiento, remodelación, renovación, demolición y reacondicionamiento del edificio.
ENERGÍA Y AISLACIÓN TÉRMICA	NOM- 003- ENER- 2011	Eficiencia térmica en calentadores de agua para uso doméstico y comercial, limites, método de prueba y etiquetado.
	NOM- 011- ENER- 2006	Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo central, paquete o dividido, límite, métodos de prueba y etiquetado.
	NOM-018-ENER-2011	Aislantes térmicos para edificaciones. Características, limites y métodos de prueba.
	NOM-020-ENER-2011	Eficiencia energética en edificaciones, Envolvente de edificios para uso habitacional.
	NMX-C-460-ONNCCE-2009	Industria de la Construcción. Aislamiento Térmico. Valor “R” para las envolventes de vivienda por zona térmica para la República Mexicana. Especificaciones y verificaciones.
AGUA	NOM-001- CNA-2011	Sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario. Especificaciones ambientales y método de prueba.
	NOM-002-CNA-1995	Toma domiciliaria para abastecimiento de agua potable. Especificaciones y métodos de prueba.

Fuente: (SE, 2010).



La falta de aplicación y seguimiento de estas normas en la construcción se ve reflejado en las condiciones precarias en que se encuentran actualmente las viviendas en el país; ciertamente dichas condiciones engloban diversos factores, pero uno de los de mayor peso para el confort de los habitantes es la cuestión térmica (factor temperatura), ya que presentan temperaturas interiores mayores a los 26°C en épocas de calor (primavera y verano), y temperaturas por debajo de los 18°C en época de frío (Otoño e Invierno). De aquí la importancia de realizar un análisis de desempeño térmico en viviendas, ya que su aplicación desde el proceso de diseño y ejecución de la obra, contribuiría con la búsqueda de soluciones a la problemática del confort térmico en las viviendas mexicanas.

2.2 Cambio climático

El Cambio Climático se define como un proceso significativo y duradero de los patrones locales o globales del clima. Las causas pueden ser naturales, como variaciones en la energía que se recibe del Sol, erupciones volcánicas, circulación oceánica, procesos biológicos, entre otros; o bien, puede ser causa de las actividades humanas, principalmente a través de la emisión de gases que atrapan calor, o también alterando el uso de grandes extensiones de suelos. El cambio climático representa la mayor amenaza para la supervivencia de la humanidad y para el desarrollo de las naciones porque, además de poner en riesgo a la población por sus efectos adversos, que incluyen en primera instancia el calentamiento global, de igual forma incide directamente en la pérdida de la biodiversidad y en la capacidad de los ecosistemas de ofrecer bienes y servicios ambientales (Hernández y Valdez, 2009).

El calentamiento global es la manifestación más evidente del cambio climático y se refiere al incremento promedio de las temperaturas terrestres y marinas globales. Cabe mencionar que, a pesar de que el clima cambia naturalmente, los expertos han señalado que existen evidencias de que el calentamiento del planeta registrado en los últimos 50 años es atribuido a los efectos de las actividades humanas (como usar auto, prender la luz, ver televisión, etc.), que utilizan energía proveniente del petróleo y carbón principalmente.

La vida actual en la Tierra depende, entre otros factores, de una delgada capa gaseosa: la atmósfera. Esta capa es una mezcla de gases en la que dominan el nitrógeno (78.1%) y el oxígeno (20.9%), así como pequeñas cantidades de argón (0.93%). El pequeño porcentaje restante lo constituyen el vapor de agua, ozono, bióxido de carbono, hidrógeno, neón, helio y kriptón. Estos gases se encuentran dispersos, en distintas cantidades, en las cinco capas en las que los científicos han dividido la atmósfera para estudiarla (**Figura 2.4**). Entre sus funciones más importantes están: su control como filtro de la radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre, su acción protectora al destruir los meteoritos que, de otra manera llegarían a la superficie de la Tierra y regular la temperatura, esto último por medio del llamado “efecto invernadero” (SEMARNAT, 2009).

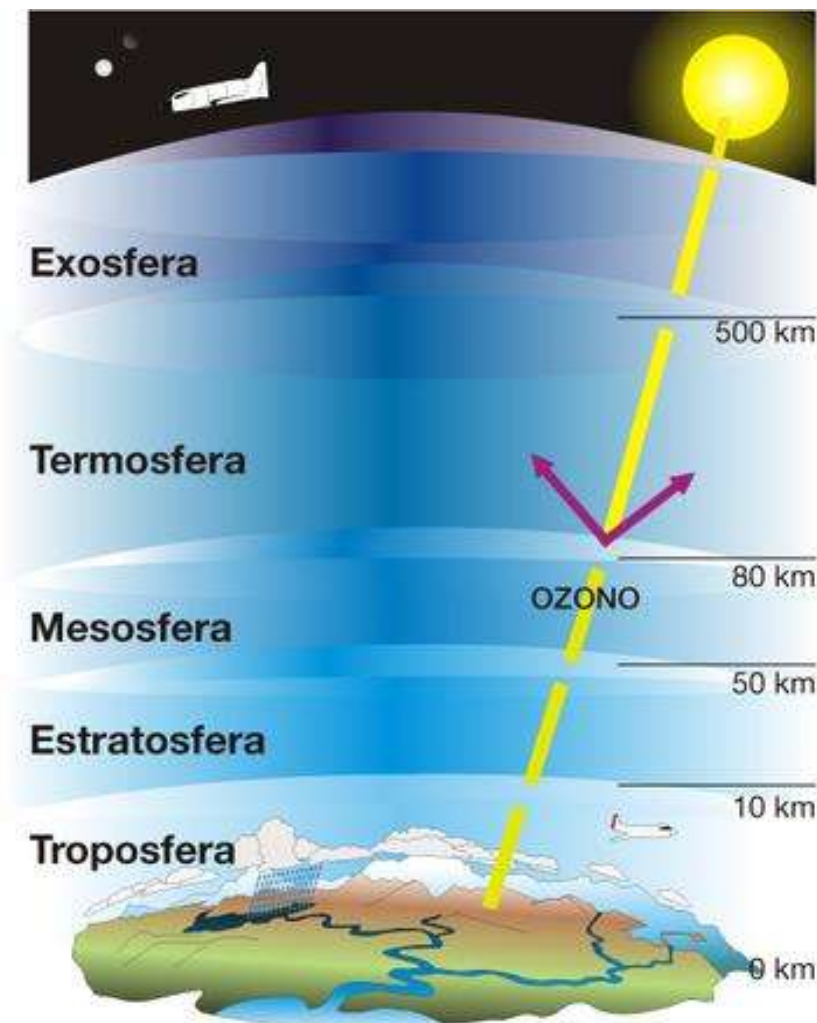


Figura 2.4 Capas de la atmósfera (DICYT, 2011).

2.2.1 Gases efecto invernadero (GEI)

Se denomina “efecto invernadero” al fenómeno por el cual, determinados gases, que son componentes de la atmósfera planetaria, retienen parte de la energía que el suelo emite por haber sido calentado por la radiación solar (**Figura 2.5**) (Palacios, 2011). Los gases de efecto invernadero (GEI) no son un invento del hombre, se han generado desde hace miles de millones de años de fuentes naturales como el vulcanismo, la vegetación y los océanos. Por ejemplo, durante las erupciones volcánicas e hidrotermales se generan grandes cantidades de CO₂ y vapor de agua. La actividad biológica como la respiración de las plantas y animales, y la descomposición microbiana de la materia orgánica también contribuyen a la producción natural de GEI (SEMARNAT, 2010).

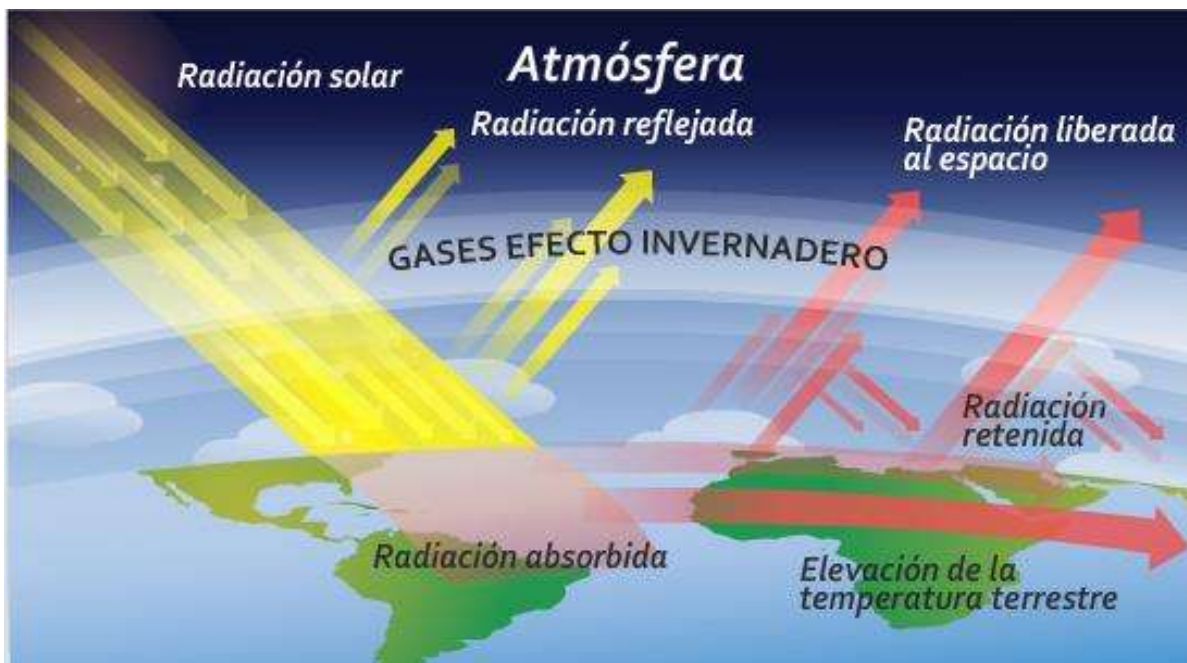


Figura 2.5 Diagrama del efecto invernadero (Hernández y Valdez, 2009).

Los humanos también hemos contribuido de manera significativa a la generación de GEI. Desde el advenimiento de la industria y el uso de los combustibles fósiles como el petróleo, gas natural y carbón, hemos incrementado considerablemente las emisiones de estos gases en la atmósfera. Para diferenciar las fuentes naturales de las de origen humano a estas últimas se les ha llamado “fuentes antropogénicas”; a través de ellas se ha alterado el flujo natural de GEI que existe entre las fuentes naturales y la atmósfera.



Uno de los GEI de mayor importancia es el dióxido de carbono (CO_2), considerado como el principal gas de efecto invernadero, ya que permanece en la atmósfera durante cientos de años. Se genera a partir de procesos naturales y por la quema de combustibles fósiles como el petróleo, el gas, el carbón; así como por la deforestación. Según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2014), el CO_2 incrementó en un 85% el cambio en la radiación de calor entrante y saliente del planeta, que se había registrado en los últimos 10 años.

Otros gases importantes son el metano (CH_4), producido por la amplia distribución de gas natural o gasificación de combustibles fósiles, así como por la ganadería intensiva; el óxido nitroso (N_2O), es provocado principalmente por los fertilizantes agrícolas y por la producción industrial. Estos gases, en pequeñas concentraciones, son vitales para la supervivencia, ya que permiten una temperatura aceptable para el desarrollo de la vida en el planeta. Sin embargo, al ir aumentando de manera progresiva la concentración de GEI en la atmósfera, se convierten en la principal causa del cambio climático.

Existen otros gases denominados precursores de ozono, como son el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x), los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM) y el bióxido de azufre (SO_2); estos suelen ser gases con mayores consecuencias en el ambiente, aunque se emiten en menores cantidades que el CO_2 , CH_4 y N_2O , además de que aparentemente se tiene un mayor control sobre ellos.

2.2.2 México y las emisiones de GEI

México contribuye con el 1.5% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero; es decir, poco más de 643 millones de toneladas de CO_2 equivalentes anuales, y por ello ocupa el lugar número 12 entre los países con mayores emisiones a nivel mundial (SEMARNAT, 2014).

Se calcula que en el año 2020, las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero alcanzarían mil millones de toneladas, es decir, 28% más que las del año 2010 (SEMARNAT, 2014). En la **Tabla 2.3** se muestra el total de emisiones de GEI por sector; cabe señalar que las unidades en que se muestran los totales son en Giga-gramos (Gg) de CO_2 equivalente, y se refiere a mil toneladas métricas de bióxido de carbono.

**Tabla 2.3** Inventario Nacional de Emisiones de GEI (Gg).

Categoría de emisor		Bióxido de Carbono (CO ₂)	Metano (CH ₄)	Óxido Nitroso (N ₂ O)	Total de Gg de CO ₂ equivalente
E N E R G Í A	- Industria de la Energía	162, 232.40	163.90	572.90	162, 969.20
	- Manufactura e Industria de la Construcción	56, 488.60	78.50	173.70	56, 740.80
	- Transporte	153, 384.50	469.70	12, 557.80	166, 412
	- Sector Comercial e Institucional	4, 809.70	13.80	19.10	4, 842.60
	- Sector Residencial	19, 986.70	1,096.50	377	21, 460.10
	- Sector Agropecuario	8, 228.30	23.80	21	8, 273.10
	- Emisiones Fugitivas (Minería, petróleo, gas natural, etc.)	0	83, 119.80	0	83, 119.80
PROCESOS INDUSTRIALES	- Producción de Cemento	20, 003.30	0	0	20, 003.30
	- Producción de Cal	2, 664.30	0	0	2, 664.30
	- Uso de piedra caliza y dolomita	12, 445.70	0	0	12, 445.70
	- Producción de Carbonato Sodio	120.40	0	0	120.40
	- Industria Química	1, 348.50	70	130.40	1, 548.90
	- Producción de Hierro y acero	5, 111	0	0	5, 111
	- Producción de ferroaleaciones	358.20	0	0	358.20
	- Producción de aluminio	30	0	0	30
USO Y CAMBIO USO DE SUELO	- Cambios de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa	5, 860.60	0	0	5, 860.60
	- Conversión de bosques y pastizales	45, 325.10	1, 110.10	112.70	46, 547.90
	- Captura por abandono de tierras manejadas	- 18, 109.20	0	0	- 18, 109.20
	- Emisiones y remociones de CO ₂ de los suelos	12, 593	0	0	12, 593
Equivalencia					

1,000,000,000 g = 1,000,000 kg = 1 Gg

Dónde: g = gramos

kg = kilogramos

Gg = Gigagramo

Fuente: (SEMARNAT, 2010).



De la **Tabla 2.3** se observa que el CO₂ es el gas que se emite en mayores cantidades a la atmósfera en nuestro país, por lo que resulta primordial realizar estudios y evaluaciones en todos los sectores, ya sean industriales, comerciales, institucionales, etc., que permitan generar datos que ayuden a tener un desarrollo más sustentable; es decir, a administrar de manera más eficiente y racional los recursos, mejorando la calidad de vida.

2.2.3 Emisiones de GEI del parque habitacional en México

La construcción de viviendas y edificios absorbe el 50% de todos los recursos naturales mundiales, siendo la actividad menos sustentable del planeta, porque al igual que otras industrias, se basa en el modelo productivo caracterizado por el consumo de materias primas, generación de residuos y una gran demanda energética. Por ejemplo, México presenta un alto índice de crecimiento poblacional, lo que conlleva un reto en la producción de viviendas (SUPPEN *et al.*, 2013).

Uno de los sectores que producen mayor cantidad de CO₂ es el habitacional, ya que demanda grandes cantidades de energía eléctrica durante el uso de las viviendas, sobre todo para brindarles de confort térmico haciendo uso de sistemas de climatización. Por ejemplo, en los estados fronterizos del norte hay zonas de clima cálido-seco, y si la vivienda no está adaptada, provoca altos niveles de discomfort en el interior; y si se utiliza aire acondicionado, el pobre aislamiento en las envolventes provoca enormes gastos energéticos, ambientales y económicos (tanto para el propietario como para el país) (Solís 2008).

Cuando se trata de viviendas de interés social, los proyectos realizados tienden a minimizar los costos constructivos, prestando poca atención a las consecuencias sobre el confort térmico y al consumo de energía convencional, lo que conlleva a un diseño inadaptado a las condiciones climáticas de la zona. El nivel socioeconómico de los habitantes de este tipo de viviendas no les permite, en general, acceder a sistemas de refrigeración y/o calefacción que permitan mejorar las condiciones interiores de sus viviendas. Esta situación es particularmente cierta en verano, lo cual sumado a una adaptabilidad casi forzosa que deben hacer los habitantes a las condiciones climáticas, hacen que las viviendas se encuentren en el límite o fuera del rango de confort, que va de 18° a 26°C (Flores *et al.* 2007).



Por tanto, este trabajo busca contribuir con soluciones concretas al problema de eficiencia energética en el país, reduciendo el consumo energético a través de estrategias adecuadas de ahorro aplicadas al sector habitacional. Dicho sector requiere mayor número de estudios a fondo, que abarquen factores que van más allá de la simple mejora en sistemas e instalaciones especiales como paneles fotovoltaicos, calentadores solares, etc.

2.3 Huella de Carbono

La huella de carbono es una de las formas más simples que existen de medir el daño ambiental que deja una persona, institución o empresa sobre el planeta durante sus actividades diarias. El objetivo principal de la huella de carbono es calcular la cantidad de GEI que son emitidos directa o indirectamente a la atmósfera cada vez que se realiza una actividad; así mismo, busca que las industrias reduzcan sus niveles de contaminación mediante un cálculo de las emisiones durante sus procesos productivos. La unidad de medida de emisiones de GEI a la que se refiere la huella de carbono es (el peso en kilogramos o toneladas de emisiones de gases de efecto invernadero emitida por persona o actividad) (Wiedmann y Minx, 2007).

Según Schneider y Samaniego (2010), se deben establecer tres ámbitos de emisiones para su cálculo con la huella de carbono:

1. **Ámbito 1.** Emisiones directas, desde fuentes propias o controladas por la empresa, como por ejemplo, las derivadas de la quema de combustibles o debidas a procesos químicos.
2. **Ámbito 2.** Emisiones indirectas derivadas de la generación, por parte de terceros, de energía, calor o vapor (en este caso, es indirecta, aunque sea consecuencia de las actividades de la empresa, pero fueron generadas o son controladas por terceros).
3. **Ámbito 3.** Otras emisiones indirectas que son consecuencia de las actividades de la organización que ocurren fuera de esta y no son controladas o generadas por ésta, como lo son los viajes, la gestión y disposición de residuos, la producción de insumos, etc.



2.3.1 Metodología para el cálculo de Huella de Carbono

Existen cuatro métodos principales presentados en la literatura para el cálculo de la Huella de Carbono. Estos métodos utilizan un acercamiento muy similar para la obtención de datos como es el análisis de ciclo de vida del producto.

Una vez que se esquematiza el ciclo de vida del producto, desde que se extraen las materias primas necesarias para su fabricación hasta el lugar de su disposición final, cada método usa un enfoque diferente. La primera diferencia es la limitación del alcance de la empresa; es decir, hasta dónde las emisiones de otros procesos influyen en el caso de estudio. Una vez que se todo está bien delimitado, se extraen datos diferentes del proceso para cada método de determinación. Los cuatro métodos principales disponibles para cuantificar la huella de carbono son (Espíndola y Valderrama, 2012):

1. Protocolo de Gases Efecto Invernadero (PROTOCOL GEI)
2. Balance de Carbono (Bilan Carbone)
3. Especificaciones públicamente disponibles (PAS 2050)
4. Método compuestos de las cuentas contables (MC3)

Inclusive hay numerosas herramientas disponibles en internet que permiten medir la huella de carbono, introduciendo algunos datos acerca de las actividades cotidianas de las personas. Sin embargo, hay que ser cuidadoso al utilizar sistemas de cálculo de otros países, ya que muchas veces los parámetros utilizados para medir las emisiones de un país o región son muy distintos a otros.

Actualmente, estas metodologías para medir la huella de carbono se están utilizando para diferenciar un producto de otro. En este sentido, los mercados europeos y norteamericanos están siendo sumamente exigentes en cualquier proceso de producción, privilegiando a las industrias que no contribuyen al calentamiento global. De hecho, el uso de la huella de carbono ocurre con mayor frecuencia, y se espera que en poco tiempo sea una exigencia para la mayor parte del mercado mundial, así como para todo tipo de industrias.



2.3.2 Uso de la Huella de Carbono en México

México ha desarrollado un importante conjunto de acciones de mitigación del cambio climático. Desde los años noventa, la economía mexicana ha crecido bajo patrones productivos más limpios que en el pasado, y se establecieron mecanismos interinstitucionales que contribuyen a los acuerdos de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, donde el objetivo más significativo es evitar emitir cantidades significativas de GEI, o también llamados “gases termoactivos” (INE, 2015).

En base a este compromiso de México de seguir impulsando acciones en contra del calentamiento global, creó uno de los programas más significativos llamado “Programa GEI México”, creado en el 2004 por los sectores público y privado, donde se adoptarían acciones voluntarias para combatir el cambio climático. Este programa es coordinado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (CESPEDES), y tiene el respaldo del *Global Opportunities Fund* del Ministerio de Asuntos Exteriores del Reino Unido y la Embajada Británica en México, así como de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID).

Los principales objetivos del “Programa GEI México” es contabilizar la huella de los GEI en el país y promover proyectos de investigación que ayudarán a reducir las emisiones. A raíz de la buena respuesta del programa, en el 2012, México se comprometió a reducir sus emisiones de GEI anuales en un 6%, que corresponden a 50 millones de toneladas de CO₂ equivalente (CEPAL, 2010).

Finalmente, a pesar de dichos programas y de los inventarios nacionales de GEI que emite SEMARNAT y otras instituciones de manera anual, así como los cálculos de la huella de carbono de los diversos sectores, la información que se tiene hasta el momento no es suficiente; faltan aún muchos estudios en sectores que son grandes contaminantes, y que al no tener datos suficientes y que resultan necesarios, las soluciones para tratar de disminuir el problema ambiental se vuelven escasas.

Tal es el caso del sector habitacional, donde los resultados de su huella de carbono están muy generalizados; es decir, no distinguen tipologías de viviendas (si son de interés social, tipo medio o residencial), ni dejan claro si hay soluciones por vivienda para disminuir el problema, si es económico o costoso, etc. Por tal motivo, se debe dar mayor difusión sobre la huella de carbono, sus metodologías y aplicaciones e involucrar más al sector educativo en la aplicación de esta herramienta.

2.4 Transferencia de calor y los procesos que participan en ella

La transferencia de calor se refiere al paso de energía térmica (calorífica) de un cuerpo que presenta mayor temperatura a otro de menor temperatura, esto como resultado del segundo principio de la termodinámica que manifiesta lo siguiente: “toda transferencia de calor siempre ocurre desde un cuerpo más caliente a uno más frío” (Welty, 1978).

La transmisión del calor en los edificios se lleva a cabo a través de los cerramientos, los cuales se definen como los elementos de separación entre el ambiente interior y el ambiente exterior de una vivienda o edificio y que constituyen parte de su envolvente. Las partes o también llamadas regiones que componen a un cerramiento pueden observarse en la **Figura 2.6**.

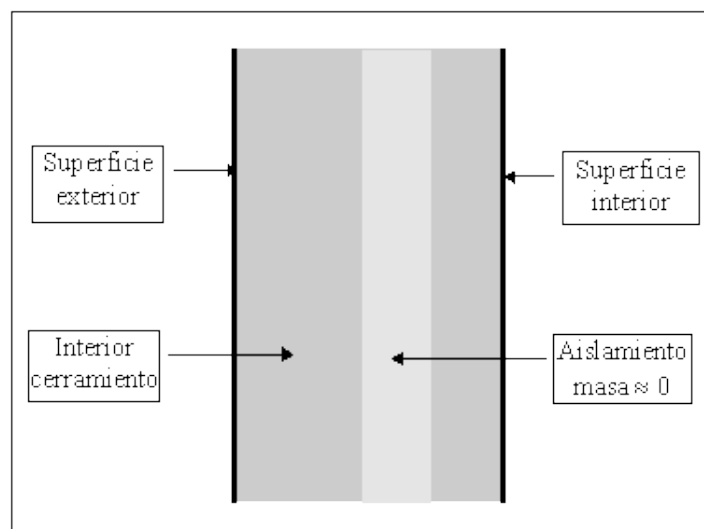


Figura 2.6 Regiones definidas en los cerramientos (Monroy, 2001).

- **Superficies:** es la parte que está en contacto con el ambiente exterior e interior, donde se intercambia calor por radiación y convección entre el ambiente y el interior del cerramiento.
- **Interior del cerramiento:** donde se transmite calor por conducción entre ambas superficies a través de varias capas, y se almacena calor por acumulación en su masa térmica.
- **Aislamientos:** son regiones del interior del cerramiento con elevada resistencia térmica y sin acumulación de calor. Los casos más comunes son las capas de algún material aislante y/o las cámaras de aire, que si bien actúan por mecanismos de convección y radiación, carecen de capacidad para acumular calor.

Para un análisis más completo de la transferencia del calor es necesario considerar los tres mecanismos fundamentales de transmisión: conducción, convección y radiación.

1. **Conducción.** Es la transferencia de calor entre dos puntos de un cuerpo que se encuentran a diferente temperatura sin que se produzca transferencia de materia entre ellos. Este mecanismo se presenta, por ejemplo en los muros o losa (cubierta) de una vivienda, cuando en verano se calienta la superficie exterior del muro o losa y por conducción se calienta el interior.

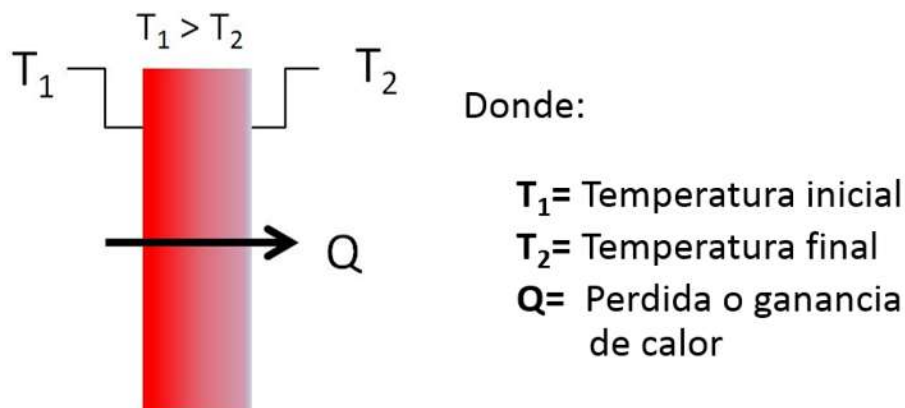


Figura 2.7 Transferencia de calor por Conducción (Carmona, 2013).

2. **Convección.** Es el transporte de calor por medio del movimiento de un fluido (líquido o gaseoso), en zonas con diferentes temperaturas. Por ejemplo, cuando el aire de un ambiente (interior o exterior) se pone en contacto con la superficie de un muro a una temperatura distinta, el proceso resultante de ese intercambio de calor se denomina **transmisión de calor por convección**.

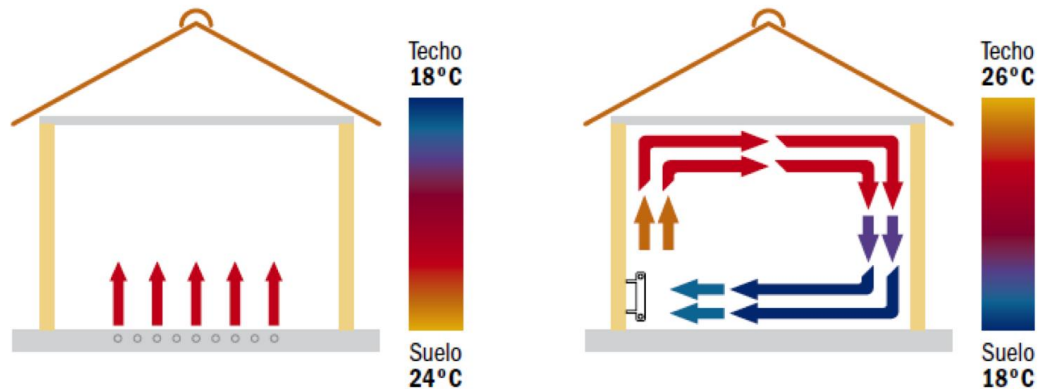


Figura 2.8 Transferencia de calor por Convección (Hernández, 2014).

3. **Radiación.** La transmisión de calor por radiación ocurre cuando la superficie de un muro, cubierta o ventana intercambia calor con el entorno mediante la absorción y emisión de energía por ondas electromagnéticas. A diferencia de la transferencia por conducción y convección donde era preciso la existencia de un medio material para transportar la energía, en la radiación el calor se transmite a través del vacío, o bien, atravesando un medio transparente como el aire.

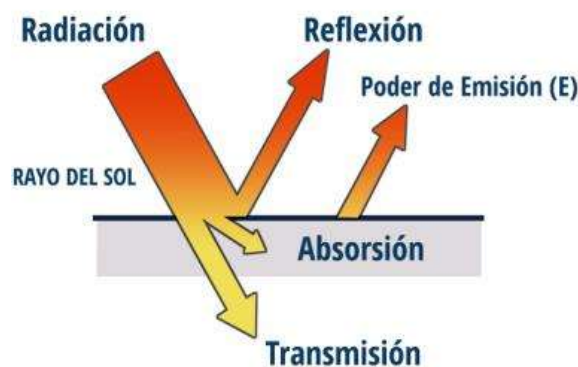


Figura 2.9 Transferencia de calor por Radiación (CDC, 2014).



2.4.1 Aislantes térmicos y Resistencia térmica (valor R)

Los aislantes térmicos son materiales específicamente diseñados para reducir el flujo de calor limitando la conducción, convección o ambos. Existe otro tipo de materiales que se conoce como “barreras de radiación”; estos reflejan la radiación, reduciendo el flujo de calor de fuentes de radiación térmica. Por ejemplo, los metales son excelentes reflectores pero muy malos aislantes.

La efectividad de un aislante está indicado por su resistencia térmica llamada “valor R”. En condiciones uniformes, los valores R son la razón de la diferencia de temperatura a través de un aislador y el flujo de calor (flujo de calor por unidad de área), a través de él. Cuanto mayor sea el valor R, mejor será la eficacia del aislamiento del edificio. En la mayor parte del mundo, los valores R se dan en unidades del sistema internacional (SI), por lo general en Watts/metro cuadrado por Kelvin ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) (Incropera y DeWitt, 1999). Para calcular el valor R de un material se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Dónde: R es la resistencia del material (valor R)
 e es el espesor de una capa o elemento en metros (m), y
 λ es el coeficiente de **conductividad térmica del material**

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_n$$

Dónde: R_t es la resistencia total del elemento formado por varias capas, y
 $R_{1,2,n,\dots}$ es la resistencia de cada una de las capas del elemento

La conductividad térmica es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor. En el SI de Unidades, la conductividad térmica se mide en vatios/ Kelvin por metros ($\text{W}/(\text{K}\cdot\text{m})$). Dicha conductividad puede obtener de dos maneras, la primera por medio del listado de materiales más utilizados en la construcción que ofrece la NMX-C-460-ONNCCE-2009, donde especifica la conductividad térmica de estos materiales; y la segunda por medio de la siguiente ecuación:



$$\lambda = \frac{q}{\nabla T}$$

Dónde: λ = la conductividad térmica del material
 q = el flujo de calor (por unidad de tiempo y unidad de área), y
 ∇T = el gradiente de temperatura

El cálculo del valor R depende de dos factores: (1) el número de zona térmica en el que se va a realizar el estudio en cuestión (las zonas térmicas son áreas de la tierra que describen diferentes tipos de temperatura, debido a diversos factores geográficos); y (2) el propósito inmediato para el que se requiere cierta resistencia térmica en la envolvente (ver **tabla I.2**, anexo I). Dichos propósitos se explican a continuación:

- **Resistencia térmica mínima de la envolvente.** Es el valor mínimo que marcan los códigos y estándares de construcción, sin considerar equipos de climatización, análisis ni demanda energética, considerándose una vivienda pasiva donde se utiliza únicamente la envolvente para protegerse del sol y las temperaturas principalmente.
- **Resistencia térmica para la habitabilidad en el edificio.** Es el valor que busca proporcionar un confort térmico a sus ocupantes, empleando materiales aislantes (ver **Tabla III.5**, anexo III) y analizando la mejor orientación para evitar los asoleamientos prolongados y el empleo mínimo de equipos de climatización.
- **Resistencia térmica para el ahorro de energía.** Es el mejor de los valores a obtener ya que habla de una envolvente con aislante térmico y una elección del sitio de construcción idóneo para la habitabilidad y el uso racional de la energía.

2.4.2 Desempeño térmico de la vivienda

El desempeño térmico es una herramienta que analiza la transferencia y comportamiento de los flujos de calor, los cuales determinan las condiciones de temperatura y humedad del ambiente interior de una edificación. El desempeño térmico de un edificio está determinado por las variables que se muestran en la **Figura 2.10**.



Figura 2.10 Factores que determinan el desempeño térmico de la vivienda
(Vera y Ordenes, 2002).

Por ejemplo, las variables sobre condiciones de uso, materiales y arquitectura, interactúan a través del tiempo y gobiernan los mecanismos de transferencia de calor desde y hacia el interior de la edificación, modificando las temperaturas interiores; cosa contraria a lo que ocurre con la variable del clima que cambia constantemente durante el paso del tiempo.



En términos generales, las variables anteriores condicionan a que en una vivienda existan pérdidas o ganancias de calor en un momento determinado. La vivienda tenderá a calentarse cuando las ganancias de calor sean mayores que las pérdidas, y a enfriarse en la situación contraria. Entonces, lo ideal es lograr un balance térmico, donde la suma algebraica entre las pérdidas y ganancias de calor sean igual a cero (considerado como un punto neutral) (Vera y Ordenes, 2002).

2.4.3 Pérdidas y ganancias de calor en la vivienda

Las pérdidas o ganancias de calor se refieren a las principales fuentes por donde la vivienda intercambia calor, y resulta indispensable conocerlas para emitir estrategias de control térmico. Estas ganancias o pérdidas se pueden sintetizar en seis grupos (Camous y Watson, 1996):

- **Ganancias internas (Qi).** Representan fuentes de calor al interior del edificio generadas por las personas al realizar ciertas actividades físicas como caminar, dormir, sentarse, bañarse, etc. Así mismo, los electrodomésticos y el tipo de iluminación que usen en el edificio genera un calor sensible y un calor latente, los cuales dependerán principalmente de la potencia y el tiempo de uso de cada uno. Para determinar estas ganancias es necesario realizar un análisis de consumo energético en el edificio, así como determinar las tasas metabólicas de cada uno de los usuarios que hacen uso del edificio.
- **Ganancias solares (Qs).** La radiación solar que incide en la vivienda puede generar importantes ganancias de calor. Cuando estas se dan a través de superficies opacas (muros y cubiertas), se denominan **indirectas**, y cuando ocurren a través de superficies transparentes, como el vidrio, se llaman **directas**.

$$Q_{SInd} = U * A * G * a * R_{so}$$

Dónde: Q_{SInd} = Ganancia solar indirecta total en Watts (W).

U = Valor U del elemento.

G = Radiación solar total incidente sobre el elemento opaco (W/m^2).

A = Área del componente opaco en (m^2).

a = Absortancia de la superficie (0-1).

R_{so} = Resistencia de la película exterior de aire.



$$Q_{sdir} = G * A * fgs$$

- Dónde: Q_{sdir} = Ganancia solar directa en Watts (W).
 G = Radiación solar total incidente sobre el elemento opaco (W/m^2).
 A = Área del componente opaco en (m^2).
 fgs = Factor de ganancia solar del vidrio.

- **Pérdidas o ganancias por conducción (Q_c).** Cuando existen flujos de calor que atraviesan la envolvente del edificio (ya sea desde el exterior hacia el interior, o viceversa), se producen pérdidas o ganancias por conducción.

$$Q_c = U * A * \Delta T$$

- Dónde: Q_c = Flujo de calor por conducción (W).
 U = Valor U del elemento.
 A = Área del componente opaco en (m^2).
 ΔT = Diferencia entre la temperatura del aire interior y exterior ($^{\circ}C$).

- **Pérdidas o ganancias por convección (Q_v).** Estas pérdidas o ganancias ocurren cuando el aire exterior ingresa y circula a través del edificio, lo cual implica también que el aire interior sea expulsado hacia afuera. La ventilación puede ser intencional (por ventanas, puertas y ventilas), o bien en forma involuntaria (infiltración de aire a través de la estructura).

$$Q_v = 1300 * V * \Delta T$$

- Dónde: Q_v = Flujo de calor por convección (W).
 1300 = Calor específico volumétrico del aire ($J/m^3^{\circ}C$).
 V = Tasa de ventilación (m^3/s).
 ΔT = Diferencia de temperatura entre el interior y el exterior ($^{\circ}C$)



- **Pérdidas por evaporación (Q_e).** Estas pérdidas ocurren cuando el agua del ambiente se evapora y se incorpora al aire del espacio interior. Para determinar estas pérdidas es necesario conocer o calcular la tasa de evaporación generada en un lapso de tiempo (por lo regular en horas), también es necesario conocer las temperaturas interiores y exteriores, el calor específico del vapor de agua y la densidad del aire.
- **Pérdidas y ganancias por sistemas mecánicos de climatización (Q_m).** Estas están sujetas a la voluntad del proyectista y pueden controlarse deliberadamente. Debido a ello, generalmente se considera como una variable independiente, es decir, que se puede ajustar de acuerdo al balance de los demás factores. Recordemos la ecuación del balance térmico:

$$Q_i + Q_s \pm Q_c \pm Q_v - Q_e \pm Q_m = 0$$

Si la suma de los primeros cinco valores es mayor a cero, entonces el valor Q_m tendría que ser igual a la suma, pero con valor negativo, para lograr el equilibrio. Estaríamos ante la necesidad de un sistema mecánico de refrigeración. Por el contrario, si la suma de los primeros cinco valores es menor a cero el valor Q_m tendría que ser igual a la suma pero con valor positivo, lo que indicaría la necesidad de un sistema mecánico de calefacción.

2.4.4 Estrategias de control térmico

Las estrategias de control térmico de las viviendas se enfocan en incrementar o reducir las ganancias y/o pérdidas de calor, dependiendo de la situación particular de cada vivienda en la época de invierno y de verano, siendo las principales:

- Calefacción solar pasiva (aprovechamiento de la radiación solar para calentar las viviendas a través del uso de materiales masivos en muros y cubiertas, superficies vidriadas orientadas adecuadamente, y aislación térmica exterior).
- Aislación térmica de la envolvente.
- Protección solar.
- Uso de materiales y elementos constructivos con propiedades térmicas adecuadas.



No obstante, las estrategias pueden tener resultados contrapuestos para condiciones de invierno y verano, por ejemplo, utilizar sistemas de protección solar en ventanas en una vivienda para reducir ganancias por radiación solar y sobrecalentamiento en verano, puede producir un incremento de las cargas de calefacción en invierno, ya que se reduce la ganancia de calor a través de superficies vidriadas (Vera y Ordenes, 2002).

2.4.5 Objetivos del análisis del comportamiento térmico

Existe un amplio rango de modelos utilizados para este propósito, los cuales varían significativamente en su facilidad de implementación y comprensión, y en el nivel de detalle que presentan en el ingreso de datos y resultados entregados. Para Hunn (1996), los principales objetivos de un análisis térmico en las edificaciones son:

1. **Evaluación de distintos diseños arquitectónicos:** modelar el desempeño térmico de una vivienda puede ayudar al departamento de diseño a decidir entre diferentes opciones, basándose en el impacto que éstos puedan tener en las condiciones térmicas interiores y el uso de energía de climatización.
2. **Demostración del cumplimiento de códigos de certificación:** en países desarrollados existen códigos energéticos que deben ser cumplidos por los nuevos proyectos de edificación, debiéndose demostrar mediante el uso de modelos el cumplimiento de tales códigos.
3. **Estimación de los costos de operación y manutención durante la vida útil de un edificio:** Estos datos pueden resultar muy importantes dentro de las decisiones financieras de un proyecto constructivo.
4. **Estimación de la huella de carbono:** al hacer el análisis de desempeño térmico se obtiene el gasto energético por calefacción y refrigeración de las edificaciones, y con ellos calcular las emisiones por estas actividades.

Se podrían mencionar un sinnúmero de objetivos adicionales a estos, pero al final todos caerían en un mismo objetivo que es brindar de confort térmico a las viviendas mediante la prevención de altas y bajas temperaturas interiores y así evitar el uso ineficiente de la energía eléctrica.



En conclusión, el análisis de desempeño térmico ve a la vivienda como un sistema dinámico que no se debe cerrar sólo a la evaluación de las propiedades térmicas de los materiales que constituyen la edificación, sino también a entender su funcionamiento y comportamiento como un sistema que integre los factores suficientes para obtener resultados más contundentes de gastos energéticos y cantidad de emisiones, así como las propuestas y recomendaciones para el objeto evaluado, ya sea una casa, edificio, comercio, escuela, oficina, industria, etc. (Hunn, 1996).

3. ANTECEDENTES

3.1 Impacto ambiental de la vivienda

La industria de la construcción, así como el sector habitacional, contribuyen significativamente al consumo de recursos, (energéticos en mayor medida), provocando diversos impactos ambientales, tales como: emisiones de gases efecto invernadero y la generación de residuos que contaminan el planeta. Es importante señalar que el uso energético de la vivienda depende tanto del comportamiento del usuario como del diseño constructivo de la misma; este último engloba factores como la envolvente, clima, orientaciones, entre otros (Wadel, 2009).

Sin embargo, la situación energética actual de las viviendas es una indicación de que dichos factores (principalmente la envolvente, el clima y la orientación), no están ayudando a reducir el consumo de este sector. Esta situación se debe a que los diseñadores y constructores anteponen la reducción del costo monetario de las obras, a los problemas ambientales y de confort, que impactan principalmente a los usuarios e indirectamente al mundo entero. Por tal motivo, la eficiencia energética en las viviendas y edificios es ahora uno de los principales temas de estudio a nivel mundial, con el fin de encontrar sistemas y métodos que permitan optimizar el uso de la energía, reduciendo con ello las emisiones de GEI, causantes del calentamiento global.



3.2 Eficiencia energética en el sector habitacional

La eficiencia energética es, básicamente una práctica que tiene como objetivo reducir el consumo de energía. En el sector habitacional, el consumo energético se puede reducir de varias formas, principalmente a través del uso de electrodomésticos e iluminación más eficiente, modificando los hábitos de consumo de sus habitantes y aumentando la eficiencia en el uso de los sistemas de refrigeración y calefacción. El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014) señaló a esta última recomendación como una de las más importantes en el sector habitacional ya que según datos recabados por este grupo, desde el año 2005 y hasta finales del año 2014 las viviendas alrededor del mundo consumen más del 50% de energía eléctrica por sistemas de climatización (ya sea de refrigeración o calefacción). Cabe recordar que el uso de este tipo de sistemas es para cubrir la ausencia de confort térmico en las viviendas, por lo que estos datos del IPCC muestran que faltan soluciones térmicas en las casas.

3.3 Situación térmica energética en viviendas de países desarrollados

En los últimos 5 años se han realizado estudios sobre rendimiento térmico en viviendas alrededor del mundo. Por ejemplo, Australia ha logrado avances significativos en esta área; el país aplica incentivos y financiamientos para el sector habitacional que se ven reflejados: en la disminución de impuestos, en un mayor número de créditos y apoyos económicos a los interesados (tanto en construir como en comprar una casa), y en el uso de herramientas de calificación ambiental desarrolladas para medir y administrar los requisitos ambientales para construcción. Todo esto se logró a través de estudios en viviendas para ponerlos como ejemplos y así promover viviendas de bajo consumo energético; tal es el caso del estudio que realizaron Patnaikuni y Rahman (2011) en la ciudad de Melbourne, donde usaron una vivienda llamada “*Ecohome*” como objeto de estudio, la cual tiene gran demanda de construcción en la ciudad.



Esta investigación consistió en evaluar, durante poco más de 14 meses, el rendimiento térmico de dicha vivienda proponiendo indicadores a evaluar que podrían ser utilizados en cualquier lugar. Dichos indicadores fueron temperaturas interiores, lapsos de tiempo dentro y fuera de los rangos de confort térmico y demanda energética por calefacción y refrigeración. Los resultados obtenidos ayudaron a mejorar los diseños y construcciones de la vivienda en la entidad; sin embargo, se observan algunas deficiencias en la evaluación ya que no desarrollan los cálculos de pérdidas y ganancias de calor que permitirían obtener datos más claros sobre el comportamiento de los flujos de calor, así como tampoco hablan sobre la resistencia térmica de los materiales que componen la envolvente de la vivienda. Estos cálculos son indispensables en un análisis térmico, y si no se cuenta con ellos, existe un riesgo de incomprensión y uso irregular de la información para próximas investigaciones y en la práctica profesional.

El estudio de Berggren y Wall (2013), realizado en Suecia, compara un edificio de departamentos utilizando diferentes sistemas constructivos y materiales aislantes. Los resultados muestran que las normas y el código de construcción en Suecia son interpretados de maneras diferentes respecto al cálculo de transferencia de calor y eficiencia energética. Berggren y Wall dejan entrever que muchos constructores en Europa se basan en porcentajes predefinidos en los códigos de construcción, más no en un análisis de la envolvente, dejando de lado las características de térmicas de los materiales, haciendo que la ganancia de calor en la vivienda sea mayor, y por ende no cumplan con un confort térmico.

En España, los constructores muestran otra cara frente al estudio del comportamiento térmico de sus viviendas y edificios. En España la escasez de combustible fósil para generar energía va en aumento, siendo las viviendas de más bajos recursos las más vulnerables de estar en riesgo para tener recurso energético. En este sentido, Terés Zubiaga y colaboradores (2013), realizaron una evaluación del comportamiento térmico de unos apartamentos en la ciudad de Bilbao, España; el objetivo de esta evaluación fue describir una metodología para analizar el comportamiento térmico de los edificios bajo una visión general de la vivienda en la ciudad.



El análisis duró 10 meses y mostró que el consumo energético en invierno no es tan alto como se esperaba debido a las temperaturas interiores templadas, lo que habla de una correcta función de la envolvente en invierno, más no así en verano, que siempre estuvo por encima de los 27°C. Los autores concluyen que esto último se debe al comportamiento del usuario, por las actividades que realiza diariamente. Sin embargo, cabe aclarar que el desempeño térmico de la envolvente debe cumplir las condiciones de confort térmico para todo el año, no solo para una época. Tal vez si se toman en cuenta factores como la orientación y el clima, se lograría detectar los puntos térmicos más desfavorables en la estructura que causan altas temperaturas interiores en verano.

Por su parte, en Estados Unidos y Canadá se registran iniciativas e investigaciones en curso para acelerar la adopción de la edificación energéticamente eficiente por parte de los mercados inmobiliarios. Estudios como el de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA, 2013), muestra que existen enormes posibilidades en el sector de la vivienda en lo que respecta a mejoras energéticas y reducción de emisiones de GEI.

La misma CCA menciona que una mayor adopción de tecnologías de ahorro y de envolventes térmicas funcionales podría generar ahorros de hasta un 40% en energía, con reducciones anuales de 1,711 MT de emisiones de CO₂ equivalentes en ambos países para el 2030. Sin embargo, esta información aún deja cabos sueltos, ya que dicho ahorro energético y reducción de emisiones están generalizadas, y por ende, no aclaran que tipo de viviendas tomaron en consideración, ni dimensiones o materiales utilizados.

De hecho, los programas de urbanización orientados al desarrollo de las ciudades estadounidenses no solo se basan en estudios de su propio país, también extraen información del extranjero con el objeto de hacer programas y reglamentos más completos e integradores. Pero, para lograr una eficiencia completa en la edificación se requieren suficientes estudios al respecto que muestren resultados claros, consecuencias, propuestas de mejoras y atender la parte económica. Incluso la Secretaría de energía de los E.U.A está en el entendido de hacer estudios térmicos y energéticos en las viviendas de las principales ciudades de los de Estados Unidos y Canadá, y esperan que en los próximos años logren tener un estudio por cada estado del país, ya que así podrán tomar decisiones más acertadas para el futuro de sus viviendas.



3.4 Análisis térmico en viviendas de Chile y Argentina

En Sudamérica llevan algunos años estudiando el sector habitacional y su contribución al cambio climático, especialmente por el consumo de energía. Estudios sobre eficiencia energética en el sector habitacional han servido para que países como Chile y Argentina desarrollen metodologías de estudio que les permitan detectar los factores que hacen que una vivienda consuma grandes cantidades de energía en su etapa de construcción y uso. Ambos países llevan avances en estudios sobre Análisis de Ciclo de Vida (ACV), los cuales han permitido hacer más eficientes los procesos y uso de materiales y maquinaria en la construcción de edificios.

Sin embargo, la etapa de uso de una vivienda requiere análisis más específicos que permitan reducir el consumo energético y aumentar el confort térmico. Tal como realizaron Vera y Ordenes (2002), donde evaluaron el comportamiento energético-térmico de una vivienda social en Chile, mediante la obtención de las cargas térmicas, para lo cual se utilizó un programa computacional de simulación (*PowerDOE*). Esta evaluación se realizó en un modelo virtual de vivienda de 32 m² de construcción, haciendo una simulación para 3 ciudades con características diferentes (Santiago, Punta Arenas y Concepción). Los resultados muestran las cargas térmicas (energía necesaria para calentar y/o refrigerar un espacio), en la vivienda de Chile: 186, 156 y 370 (kWh/ m² en todo un año) para Santiago, Concepción y Punta Arenas respectivamente. Ellos proponen aislar térmicamente la envolvente para mejorar el comportamiento energético-térmico de la vivienda, aunque no especifican como o con qué materiales, ni hacen una comparativa de sus resultados con otra vivienda que si tenga aislación térmica en la envolvente.

Por otro lado, en la ciudad de Mendoza Argentina, Mercado y colaboradores (2010), hicieron un estudio sobre la calidad térmica de una vivienda de interés social, donde midieron la temperatura en el interior de la vivienda en verano e invierno; realizaron encuestas sobre la percepción térmica de los habitantes en sus viviendas, y finalmente metieron los datos a un simulador para conocer el comportamiento energético de la vivienda. Cabe señalar que no se calcularon las resistencias térmicas de la envolvente ni se obtuvo la cantidad de emisiones de CO₂ derivados del gasto energético.



3.5 Sustentabilidad en la VIS en México

En México, se estima que el sector residencial es responsable del 32% de las emisiones de GEI, lo que representa poco más del 16% del consumo total de energía y el 26% del consumo total de electricidad (SEMARNAT, 2010). Estas cifras son resultado, principalmente de dos factores: (1) las condiciones climáticas que se presentan en el país, y (2) la mala aislación térmica en la envolvente de las viviendas; por tanto, el nivel de adaptación de los usuarios a las condiciones de temperatura de las viviendas, afecta sensiblemente la necesidad de enfriamiento o calefacción para alcanzar un confort.

Se han realizado importantes iniciativas para mitigar los impactos antes mencionados de la vivienda, así como proyectos en los últimos 35 años (Morillón y Rodríguez, 2006), que han contribuido para tener los actuales programas sobre la vivienda sustentable. Este término de vivienda sustentable se refiere a la utilización de prácticas y materiales respetuosos con el medio ambiente, que poseen ventajas ambientales para la planeación, diseño, ubicación, construcción y operación de viviendas.

En la masificación de los criterios sustentables en la vivienda de interés social, hay iniciativas múltiples que buscan cómo mejorar la vivienda; por ejemplo, “La Casa Nueva/La Comunidad Nueva”, era un proyecto internacional que consideraba elementos de la arquitectura bioclimática, así como energías renovables y eficiencia energética en las viviendas (incluyendo desempeño térmico). Sin embargo, este proyecto falló por falta de cumplimiento oficial de la parte mexicana, pero dejó de manifiesto el interés de la iniciativa privada por participar en este tipo de proyectos.

En 2006, Morillón desarrolló y asesoró el proyecto piloto “La Vivienda Sustentable”, para el cual se consideró la construcción de 5,000 viviendas, por parte de la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI), e inició con proyectos piloto de las constructoras URBI, PULTE, BRACSA, y los Institutos Estatales de Vivienda de Nuevo León y Tamaulipas, en ciudades como Monterrey, Mexicali, Hermosillo, Nuevo Laredo y Acapulco, entre otras, donde prevalecían climas: cálido-seco, cálido-seco extremoso y cálido-húmedo. Sin embargo, a pesar de que si hubo un ahorro energético en las viviendas, el consumo de energía por sistemas de climatización siguió presente, lo que indica que en cuestiones de confort térmico las viviendas no satisfacen las necesidades de sus propios habitantes.



La transferencia de calor en las viviendas se puede controlar mediante el adecuado diseño de la envolvente, considerando factores como la ganancia de calor por conducción (que se da a través de los muros y cubiertas principalmente), así como por radiación solar que penetra a través de los vidrios de las ventanas, domos y tragaluces. Ante estos y otros factores, la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE, 2009), llevó a cabo la elaboración de Normas Oficiales Mexicanas (NOM), medidas de carácter obligatorio en materia de ahorro de energía en los edificios que son aplicables desde el mismo diseño del inmueble.

Actualmente se cuenta con la norma NOM-020-ENER-2011, relacionada con el comportamiento térmico de los edificios, cuyo objetivo es limitar la ganancia de calor de las edificaciones a través de su envolvente, y así racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento. Sin embargo, aunque la norma es de carácter obligatorio, las condiciones de confort térmico en las viviendas deja ver que no se está tomando en cuenta, ya que las especificaciones de esta norma dicen que la ganancia de calor a través de la envolvente debe ser igual o menor que la que presenta la misma envolvente; aunado a esto, según el balance energético del 2013 en México, el sector residencial aumento en un 5% el consumo energético por uso de sistemas de refrigeración y calefacción. Esto último puede deberse a factores como la incorrecta interpretación de la norma o a que simplemente no se viene aplicando de acuerdo a sus especificaciones.

Entonces, si se toma en cuenta la forma como se manejan los programas gubernamentales, las normativas y reglamentos, no tendrán impactos significativos positivos en el ambiente, como la mitigación de CO₂ por el ahorro en el consumo energético. En temas de desempeño térmico en viviendas, se requieren nuevos estudios sobre la transferencia de calor en viviendas del territorio nacional que permitan a los gobiernos, constructores y desarrolladores ampliar sus criterios normativos y técnicos, generando proyectos pasivos con el ambiente, la sociedad y usuario. Por lo tanto, la presente investigación pretende ser una guía y herramienta de análisis disponible para estudiantes, profesionistas, gobernantes, constructores y desarrolladores de viviendas; cuya función principal sea mejorar los diseños, las normas y reglamentos en el estado.



4. JUSTIFICACIÓN

Uno de los objetivos fundamentales al diseñar una vivienda, es proveer el confort de sus ocupantes, con una demanda energética compatible con las actividades desarrolladas al interior de la misma. Sin embargo, en México, la vivienda de interés social no cumple con este objetivo debido a situaciones como: (1) diseños con baja relación entre costo/calidad, (2) viviendas con superficies reducidas (menor a 60m²) con una alta tasa de ocupación, y (3) los materiales que componen la envolvente térmica de la vivienda (muros, pisos, cubiertas y ventanas), presentan baja capacidad de aislación térmica. Esto produce un desmejoramiento de la calidad de vida de los usuarios, el uso ineficiente de los recursos energéticos para la climatización de las viviendas, y por ende, un alto impacto al ambiente.

El uso de la energía en la industria de la construcción está fuertemente ligado a la contribución de emisiones de GEI, principalmente por la demanda de recursos naturales para sus procesos. En México se han elaborado reportes que relacionan el tipo de material utilizado en las viviendas con la huella de carbono de la misma, donde se hace evidente que los materiales de la envolvente que poseen menor aislación térmica impiden las condiciones de confort térmico en el interior, obligando a los usuarios a utilizar sistemas de climatización que según reportes de la Secretaría de Energía (2012), tienen un alto consumo energético.

Para solucionar la problemática del confort térmico en el sector residencial es importante analizar la envolvente de la vivienda, así como calcular las pérdidas y ganancias de calor a través de ella (flujos de calor), para conocer la calidad y características térmicas de los materiales usados en este tipo de viviendas (resistencia y transmitancia térmica), el consumo energético necesario para satisfacer el confort de la vivienda y además, determinar su huella de carbono por dicho consumo. Cabe señalar que México carece de datos específicos en cuanto a huella de carbono, por lo que esta investigación pretende sentar una base de datos para ser aplicados principalmente en el sector habitacional y en la legislación vigente de este sector.



Por lo tanto, considerando que la VIS es la que más se construye a nivel nacional y sabiendo que el sector habitacional es un gran emisor de CO₂eq debido a su demanda energética, es necesario estudiar los flujos de calor que interactúan en la VIS y determinar su huella de carbono, ya que sería un paso que detalle la relación del sector con el cambio climático.

5. HIPOTESIS

Las viviendas de interés social de la ciudad de Morelia, que están constituidas por una envolvente que ayuda a mantener las condiciones de confort térmico en el interior, generan menos emisiones de CO₂eq que aquellas viviendas que no cuentan con una envolvente que les permita tener confort térmico.

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

El objetivo de este trabajo es determinar las emisiones de CO₂eq que se generarían al tratar de mejorar las condiciones térmicas actuales dentro de la vivienda de interés social en la ciudad de Morelia.

6.2 Objetivos específicos

- Obtener los valores de resistencia y transmitancia térmica de los elementos de la envolvente que compone la VIS y comparar los resultados con la normativa al respecto.
- Conocer el comportamiento de las temperaturas en el interior de la VIS durante la época de verano.
- Determinar la transferencia de calor en la VIS, calculando las pérdidas y ganancias de calor a través de la envolvente.
- Estimar las emisiones de CO₂eq equivalentes de la VIS de acuerdo a las pérdidas y ganancias de calor.
- Realizar una simulación energética de la VIS (calificación energética).
- Proponer estrategias que mejoren la VIS estudiada y las futuras viviendas de esta tipología.



7. METODOLOGÍA

7.1 Plan general de trabajo

FASE I. Delimitación y selección del área de estudio y su respectiva base de datos.

Actividad 1. Delimitación del área de estudio.

Actividad 2. Selección del Conjunto Habitacional.

Actividad 3. Caso de estudio.

Actividad 4. Base de datos de los materiales utilizados en la VIS.

FASE II. Análisis del desempeño térmico de la vivienda de interés social (caso de estudio).

Actividad 1. Levantamiento de registros de temperaturas (interiores y exteriores).

Actividad 2. Levantamiento de encuestas en las viviendas del Conjunto Habitacional seleccionado.

Actividad 3. Cálculo de resistencia térmica (valor R) y transmitancia térmica (valor U), de la envolvente.

Actividad 4. Cálculo de las pérdidas y ganancias de calor en la vivienda.

FASE III. Uso del software CE3X® y estimación de las emisiones de CO₂ equivalente por consumo energético de la vivienda.

Actividad 1. Uso del software de simulación energética CE3X® para obtener la calificación energética de la VIS.

Actividad 2. Cálculo de Emisión de CO₂eq equivalente derivadas del desempeño térmico de la vivienda por consumo de energía eléctrica y gas L.P.

Actividad 3. Generación de estrategias para reducir la demanda energética y emisiones de CO₂eq en la VIS.

7.2 Desarrollo metodológico

Delimitación y selección del área de estudio y su respectiva base de datos.

Actividad 1. Delimitación del área de estudio. La zona de estudio se encuentra en la ciudad de Morelia, Michoacán; la ciudad se encuentra en la zona térmica 3a (ver **tabla I.1**, en **anexo I**), cuyo clima predominante en la región es templado con lluvias en verano (Cwa) (García, 2004); la localización geográfica de la ciudad es 19°42'00" de latitud Norte y 101°12'00" de longitud Oeste (SMN, 2015). En la **Figura 7.1** se presenta una imagen satelital de la ciudad donde se señala el sector “Independencia” donde se desarrolló este trabajo.

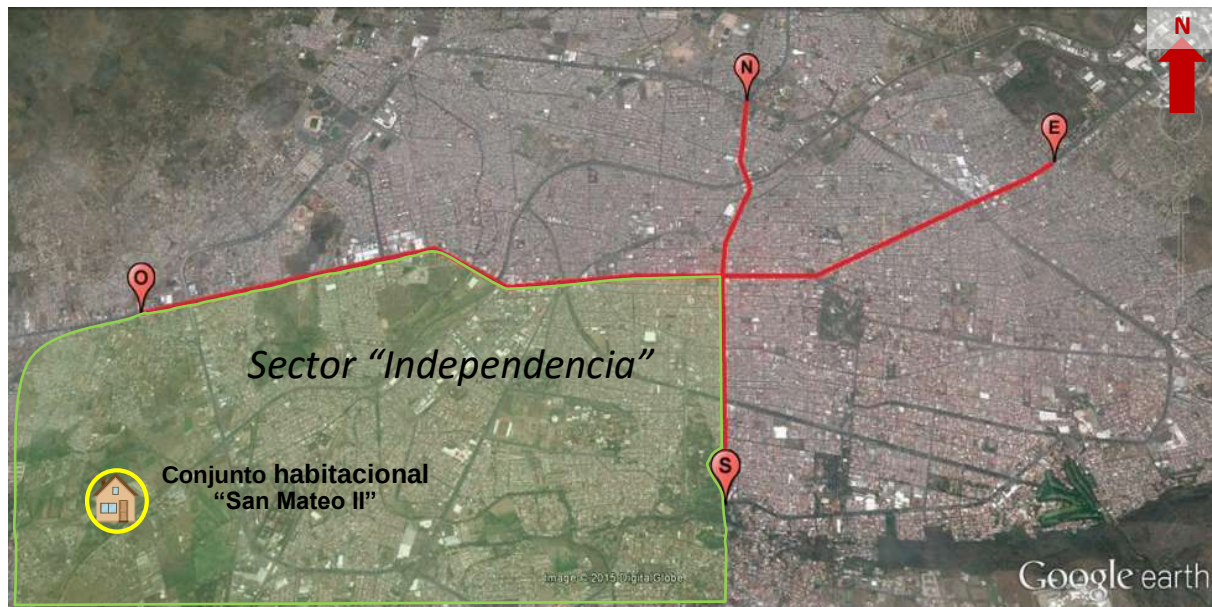


Figura 7.1 Traza urbana de la ciudad de Morelia.

Actividad 2. Selección del Conjunto Habitacional. El conjunto habitacional seleccionada fue “San Mateo II”. Los criterios para seleccionarlo fueron los siguientes:

- Fuera un conjunto habitacional de tipo *interés social*,
- Tuviera una antigüedad mínima de 1 año construido y habitado,
- Que estuviera habitado al menos el 50% de las viviendas del conjunto habitacional,
- Que estuviera dentro del sector independencia de la ciudad de Morelia, a razón de ser el sector con mayor construcción de viviendas de interés social.

Actividad 3. Caso de estudio. Se seleccionó una vivienda de interés social como caso de estudio (**Figura 7.2**), tomando en cuenta los siguientes criterios para su selección:

- Superficie construida igual o menor a 65m²,
- Se buscó una vivienda con la fachada principal orientada al sur (por tener mayor exposición al sol durante el día-año),
- Que la vivienda no hubiera sufrido modificaciones constructivas ni por dentro ni por fuera de su envoltente,
- Que la vivienda estuviera habitada.

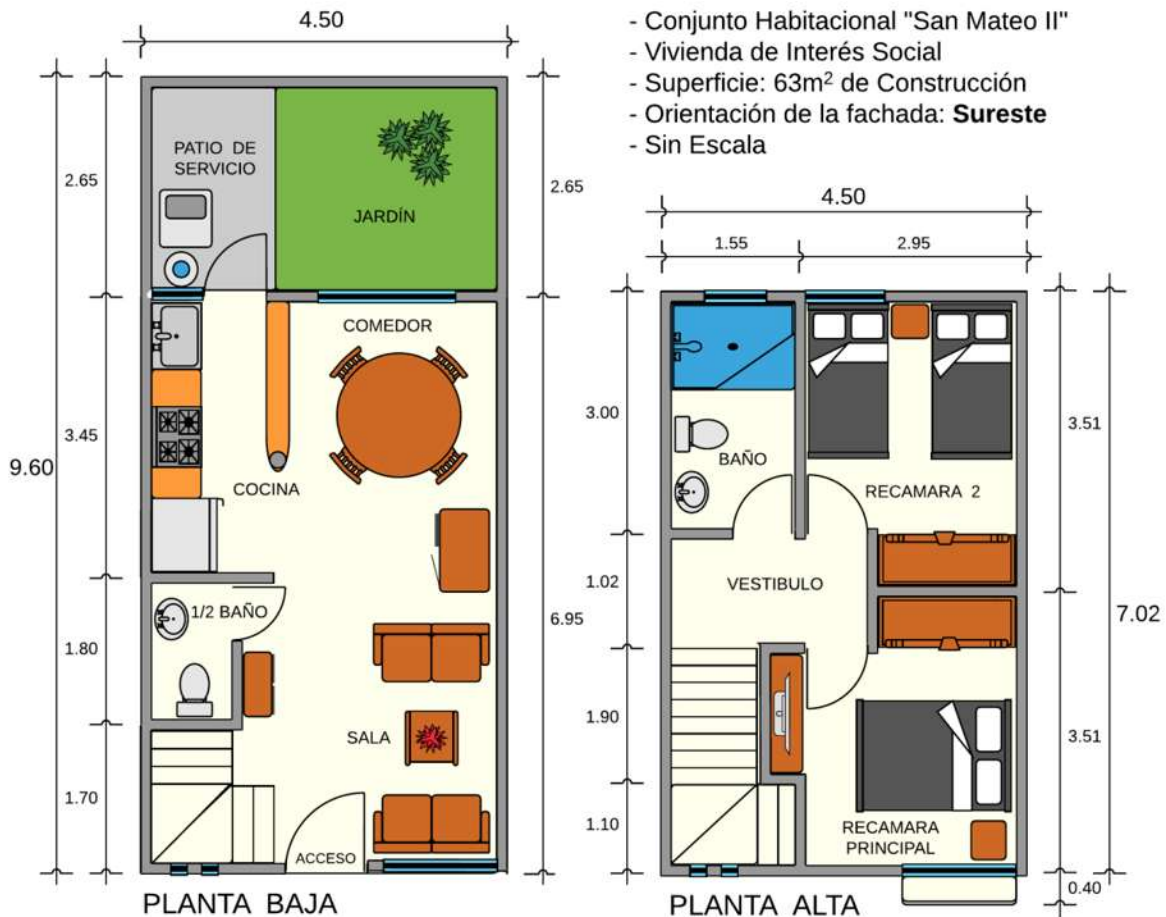


Figura 7.2 Plantas Arquitectónicas de la vivienda.

Una vez seleccionada la vivienda se procedió a la entrega de una solicitud de colaboración entre la universidad, la empresa constructora y el dueño de la vivienda para efectuar la investigación.

Actividad 4. Base de datos de los materiales utilizados en la VIS. La empresa constructora proporcionó la lista de materiales utilizados en la construcción de la vivienda, principalmente los de la envolvente: muros, losas de entrepiso y azotea, ventanas, pisos y puertas (ver **Tabla I.2, Anexo I**).

Análisis del desempeño térmico de la vivienda de interés social (Caso de estudio).

Un análisis de desempeño térmico en la vivienda depende de diversos factores climáticos, de la forma y diseño de la vivienda, de las características térmicas de los materiales de construcción y finalmente, de los usuarios y su comportamiento dentro de la vivienda; por tal motivo en las **Figuras 7.3 y 7.4** se muestran los diagramas de flujo que sintetizan las tres etapas realizadas para llevar a cabo el análisis del desempeño térmico de la VIS.

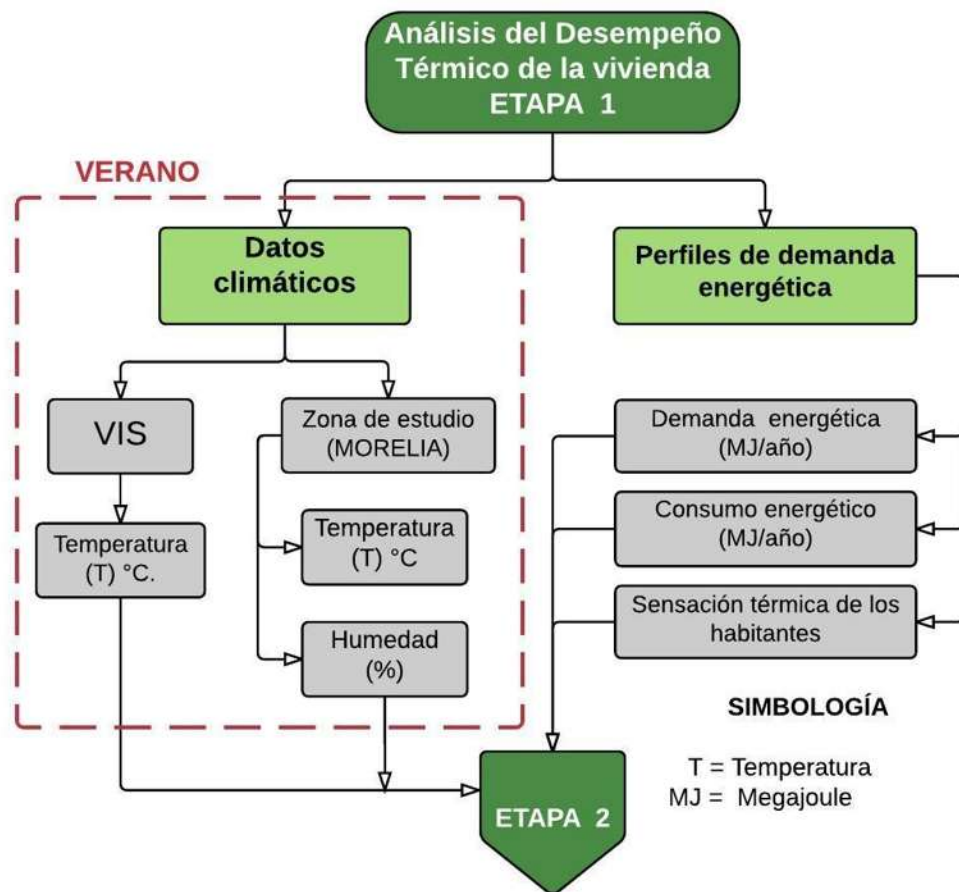


Figura 7.3 Diagrama de la ETAPA 1 del análisis del desempeño térmico de la VIS.

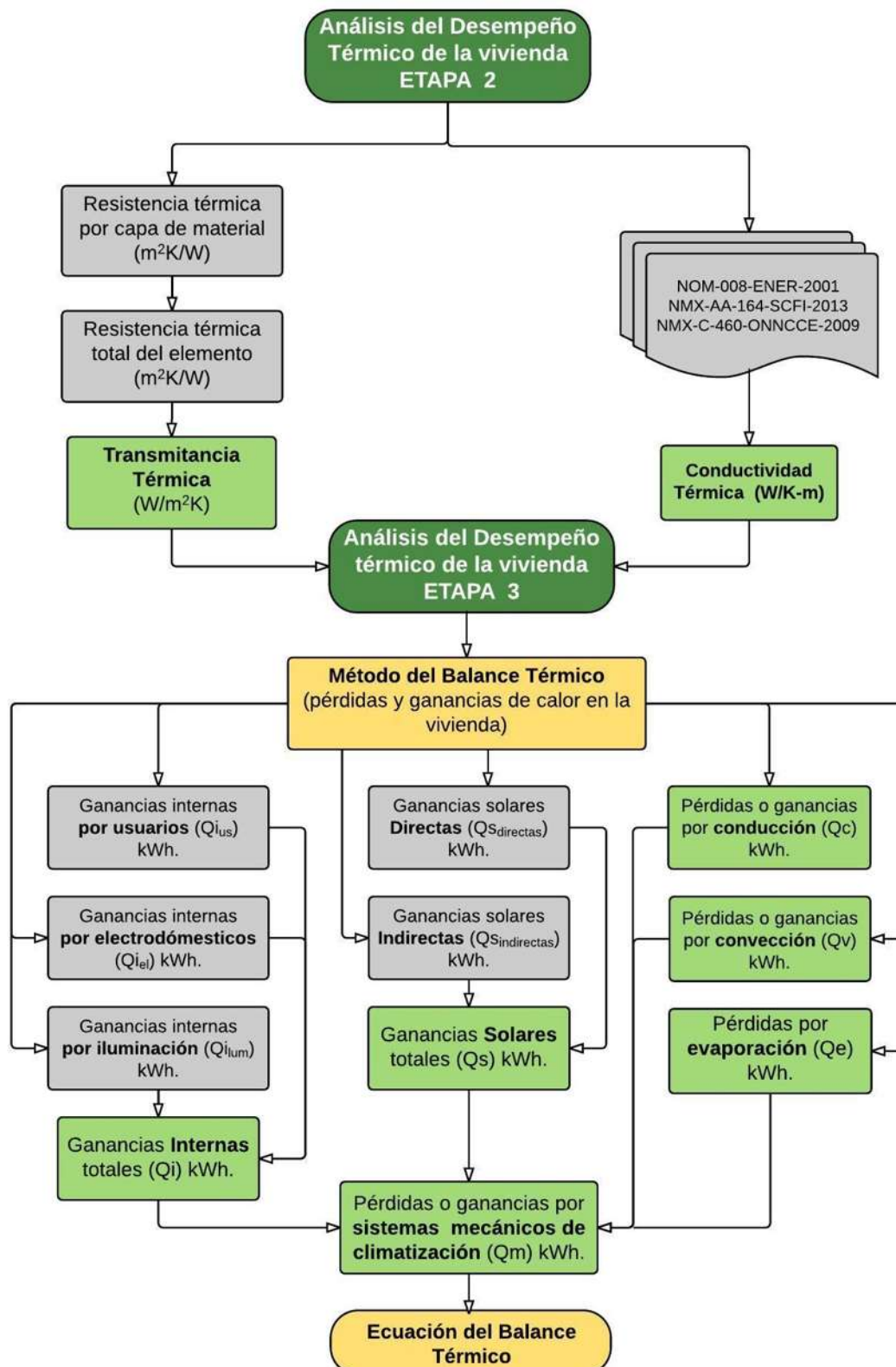


Figura 7.4 Diagrama de la ETAPA 2 y 3 del análisis del desempeño térmico de la VIS.

Actividad 1. Levantamiento de registros de temperaturas (interiores y exteriores). Las mediciones de la temperatura en el interior de la vivienda se tomaron utilizando tres dispositivos tipo *Data Logger* modelo HE-171 programado para tomar lecturas cada 10 minutos, durante las 24 horas del día en la época de verano del año 2015 (ver **Figura II.1, anexo II**). Los equipos se ubicaron al centro de los siguientes espacios: entre el comedor y la cocina, en la recámara principal, y en la recámara trasera (**Figura 7.5**); los tres equipos se colocaron a una altura aproximada de 1.70m (estatura promedio de los mexicanos según INEGI, 2013). Los datos de temperatura en la región se obtuvieron de los registros del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2015).

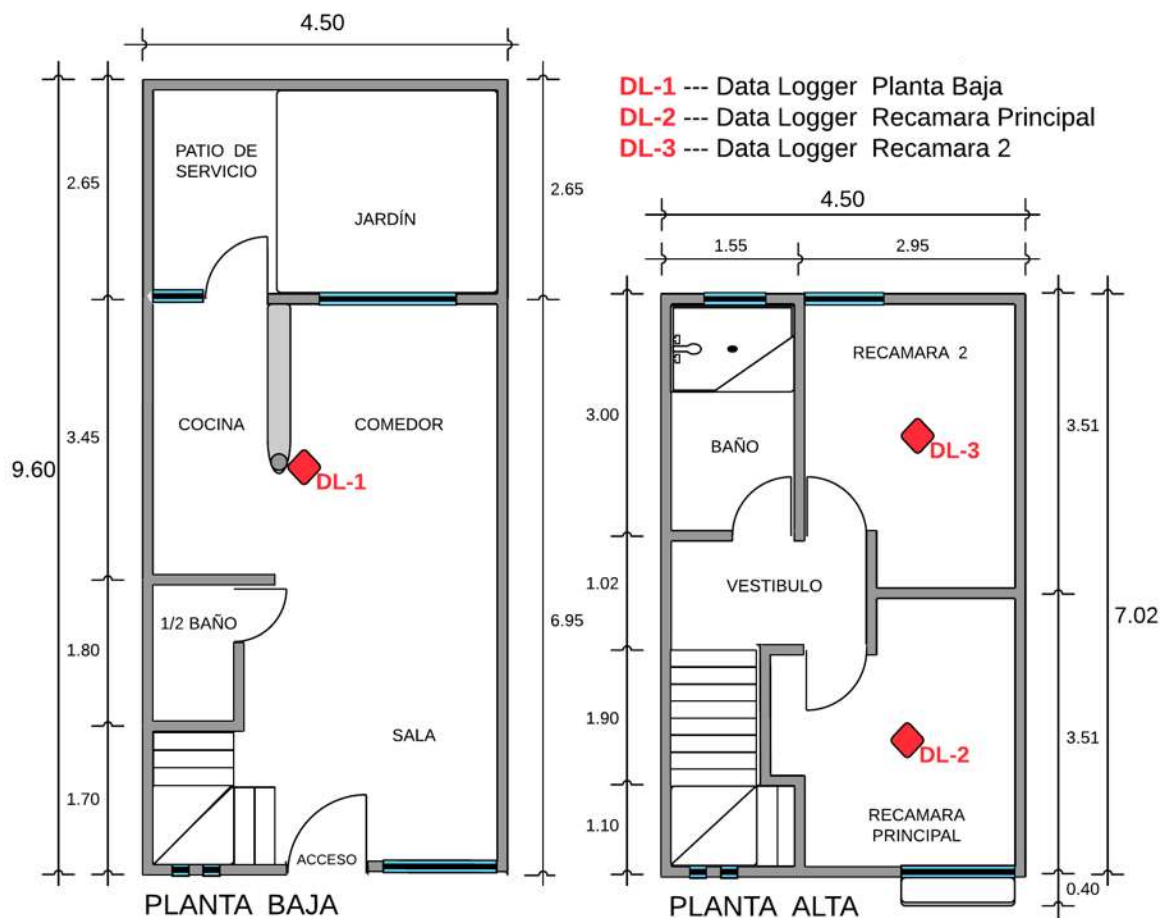


Figura 7.5 Ubicación en planta de los Data Logger en la VIS estudiada.



Actividad 2. Levantamiento de encuestas en las viviendas del Conjunto Habitacional seleccionado. Para determinar el tamaño de la muestra (n), se utilizó la ecuación **Ec. 1** (Murray y Larry, 2009):

$$n = \frac{(K^2)(p)(q)(N)}{(e^2(N - 1)) + ((K^2)(p)(q))} \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde: n = Tamaño de muestra.
 K = Nivel de confianza (constante) = 1.88
 p = porcentaje de viviendas habitadas = 81% = 0.81
 q = porcentaje de viviendas deshabitadas = 19% = 0.19
 N = número total de viviendas = 356 viviendas
 e = error muestral = 6% = 0.06

Una vez determinado el número de muestra (125 viviendas encuestadas), se levantaron las encuestas en las viviendas dentro del conjunto habitacional. Con los resultados de las encuestas se determinaron los perfiles de demanda energética de las viviendas encuestadas, por una vivienda, por habitante y por m^2 de construcción; los perfiles contemplan el consumo de energía eléctrica por iluminación, por el uso de electrodomésticos básicos en el hogar (PROFECO, 2014), y también el consumo de gas L.P.

Cabe señalar que las viviendas encuestadas también se dividieron por orientación para conocer la demanda energética (eléctrica y gas L.P.) bajo esta característica; después, a dicha demanda se le aplicó un análisis estadístico de varianza (ANOVA por sus siglas en inglés), y una prueba de *t-student* (con un nivel de confianza del 95%), con el fin de determinar si la diferencia entre las demandas energéticas de las viviendas según su orientación eran estadísticamente significativas (ver **tablas II.1 y II.2, anexo II**). Así mismo, de las encuestas se obtuvo la sensación térmica que perciben los habitantes de las viviendas durante el año; es decir, si la perciben fría, caliente o confortable. Cabe señalar que de las encuestas obtenidas, se descartaron aquellas viviendas que tuvieran menos de 1 año de habitadas.



Actividad 3. Cálculo de la resistencia térmica (valor R) y transmitancia térmica (valor U), de la envolvente. Para calcular las resistencias térmicas de los materiales, se utilizaron los coeficientes de conductividad térmica de los materiales de construcción de acuerdo a las normas NOM-008-ENER-2001 y NMX-C-460-ONNCCE-2009 (ver **Tabla III.1, anexo III**). Con estos coeficientes se estimó el “valor R” de la envolvente de la vivienda adaptando el método simplificado que marca la norma NMX-C-460-ONNCCE-2009 a las características reales de la envolvente estudiada (ver **Tablas III.2, III.3 y III.4, anexo III**); para esto se utilizó la ecuación **Ec. 2** para determinar la resistencia térmica de cada material de los muros, de la losa de entrepiso y la losa de azotea:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad \text{Ec. 2}$$

Dónde: R = Resistencia térmica del material ($K \cdot m^2/W$).
 e = Espesor de la capa (m).
 λ = Conductividad térmica del material ($W/K \cdot m$).

Resistencia térmica total (R_T):

$$R_T = r_{si} + R_1 + R_2 + R_n + r_{se} \quad \text{Ec. 3}$$
$$r_{si} = \frac{1}{h_i} \quad r_{se} = \frac{1}{h_e}$$

Dónde: R_t = Resistencia total del elemento ($K \cdot m^2/W$).
 $R_{1,2,n}$ = Resistencia térmica de cada material ($K \cdot m^2/W$).
 h_e = Conductancia superficial exterior ($W/K \cdot m^2$), su valor es igual a 13 (NOM-008-ENER).
 h_i = Conductancia superficial interior ($W/K \cdot m^2$), sus valores están dados por la NOM-008-ENER, y son los siguientes:
8.1 = para superficies verticales
9.4 = para superficies horizontales con flujo de calor hacia arriba
6.6 = para superficies horizontales con flujo de calor hacia abajo



Posteriormente, con la resistencia térmica total de los componentes (muros, losa de entrepiso y azotea), se realizó una comparación entre los valores R obtenidos y los valores R que marca la norma NMX-C-460-ONNCCE-2009 (mínimo, para la habitabilidad y para el ahorro de energía), según la zona térmica de la ciudad de Morelia (ver **Tabla I.2, anexo I**).

La estimación del valor U se realizó de acuerdo a la ecuación **Ec. 4** sobre la transmitancia térmica de un material (NMX-C-460-ONNCCE-2009):

$$U = \frac{1}{R_T} \quad \text{Ec. 4}$$

Dónde: U = Transmitancia térmica del material ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$).

R_T = Resistencia térmica total ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$).

Actividad 4. Cálculo de las pérdidas y ganancias de calor de la vivienda. Este proceso se llevó a cabo conforme al método de la ecuación del balance térmico **Ec.5** (ASHRAE, 2001):

$$Q_i + Q_s \pm Q_c \pm Q_v - Q_e \pm Q_m = 0 \quad \text{Ec. 5}$$

Los seis valores en el lado izquierdo de la ecuación corresponden a las principales fuentes de ganancias y pérdidas de calor de la vivienda: internas, solares, conducción, convección, evaporación y sistemas mecánicos de climatización. A continuación se describe de manera general el procedimiento matemático realizado para obtener los valores de las pérdidas y ganancias de calor en la vivienda:



- **Ganancias internas (Q_i).** Se estimaron tomando como base tres factores principales: los usuarios ($Q_{i\text{hab}}$), los electrodomésticos ($Q_{i\text{el}}$), y la iluminación ($Q_{i\text{lum}}$).

Las ganancias internas de calor **por los usuarios ($Q_{i\text{hab}}$)**, se determinaron de acuerdo a los valores metabólicos establecidos en la norma UNE-EN ISO 7730-2006 (ver **Tabla III.5 y III.6, anexo III**). De acuerdo a dicha tabla se dedujo la ecuación **Ec. 6**:

$$Q_{i\text{hab}} = (A * B * C) \quad \text{Ec. 6}$$

Dónde: $Q_{i\text{hab}}$ = Ganancias internas por cada habitante (kWh).
A = Tiempo en que realizan las actividades (horas).
B = Tasa de calor metabólico de actividades (kWh/ habitante).
C = Número de habitantes que realizan las actividades.

La fórmula anterior se aplicó a cada habitante de la vivienda y se sumaron todos los resultados para obtener la ganancia interna total por habitantes ($Q_{i\text{hab}}$):

$$Q_{i\text{HAB}} = Q_{i\text{hab1}} + Q_{i\text{hab2}} + Q_{i\text{hab3}} + Q_{i\text{hab}} \dots \quad \text{Ec. 7}$$

Para determinar las ganancias internas de calor **por los electrodomésticos ($Q_{i\text{el}}$)** y por facilidad, se consideró que la potencia íntegra de funcionamiento de los aparatos presentes en la vivienda se transforma en calor sensible. Así mismo, considerando que no funcionan al mismo tiempo todos los aparatos, se multiplicó el consumo total de electrodomésticos por un coeficiente de simultaneidad de **0.75**, tal como se muestra en la ecuación **Ec. 8**:

$$Q_{i\text{el}} = (E) (C_s) \quad \text{Ec. 8}$$

Dónde: $Q_{i\text{el}}$ = Ganancias internas por los electrodomésticos (kWh).
E = Consumo energético total por electrodomésticos (kWh).
 C_s = Coeficiente de Simultaneidad = 0.75



Para determinar las ganancias internas de calor **por iluminación** (Q_{lum}), se consideró que la potencia íntegra de las luminarias presentes en la vivienda se transforma en calor sensible. En el caso de las luminarias fluorescente de tipo barras o que utilicen un balastro, se multiplica la potencia total de las luminarias por **1.25** para considerar el consumo complementario de la reactancia o base de la luminaria (ver **Ec. 10**). Para la vivienda únicamente se utilizó la **Ec. 9**:

$$Q_{lum} = (N) (P)$$

Ec. 9

Dónde: Q_{lum} = Ganancias internas por iluminación (kWh).
N = Número total de focos en la vivienda.
P = Potencia de focos (W).

$$Q_{lum} = (N) (P) (1.25)$$

Ec. 10

Dónde: Q_{lum} = Ganancias internas por iluminación (kWh).
N = Número total de lámparas en la vivienda.
P = Potencia de lámparas (W).
1.25 = Consumo complementario de la reactancia o base del foco.

Finalmente, sumamos los valores de cada una de las ganancias internas calculadas para obtener Q_i , aplicando la **Ec. 11**:

$$Q_i = Q_{IHAB} + Q_{iel} + Q_{lum}$$

Ec. 11

Dónde: Q_i = Ganancias internas totales (kWh).
 Q_{IHAB} = Ganancias internas por usuario (kWh).
 Q_{iel} = Ganancias internas por electrodomésticos (kWh).
 Q_{lum} = Ganancias internas por iluminación (kWh).



- **Ganancias solares (Qs).** Como estas ganancias pueden ser directas e indirectas, se consideraron ambas ganancias utilizando las ecuaciones **Ec. 12** y **Ec. 13**:

$$Q_{S_{Ind}} = (U) (G) (A) (\Delta T) (a)$$

Ec. 12

Dónde: $Q_{S_{Ind}}$ = Ganancias solares Indirectas (kWh).

U = Transmitancia térmica del elemento (W/m^2K).

G = Radiación solar incidente sobre la superficie opaca (W/m^2).

ΔT = Diferencia de temperatura entre el interior y el exterior (K).

A = Área de la superficie opaca (m^2).

a = Porcentaje de radiación absorbida por el elemento (0.40 para muros y 0.70 para losa de azotea).

Consideraciones: - Para el valor de G se utilizó la radiación solar máxima registrada durante el verano ($580 W/m^2$).

- Para la diferencial de temperaturas (ΔT), se utilizaron las temperaturas máximas registradas en el día que se presentó la mayor radiación solar durante el verano (20 de agosto), y se convirtieron a grados Kelvin:

- Temperatura exterior: $29^{\circ}C = 302.15 K$
- Temperatura interior planta baja: $25^{\circ}C = 298.15 K$
- Temperatura interior recámara principal: $27^{\circ}C = 300.15 K$
- Temperatura interior recámara 2: $26^{\circ}C = 299.15 K$

$$Q_{S_{directas}} = (G) (A) (f_{gs})$$

Ec. 13

Dónde: $Q_{S_{dir}}$ = Ganancias solares directas (kWh).

G = Radiación solar incidente sobre la superficie transparente (W/m^2)

A = Área de la superficie transparente (m^2).

f_{gs} = Factor de ganancia solar del vidrio = 0.88

Consideración: - Para el valor de G se utilizó la radiación solar máxima (W/m^2), registrada durante el verano.



Finalmente, sumamos los valores de cada una de las ganancias solares calculadas para obtener Q_s , aplicando la **Ec. 14**:

$$Q_s = Q_{s\text{Ind}} + Q_{s\text{dir}}$$

Ec. 14

Dónde: Q_s = Ganancias solares totales (kWh).
 $Q_{s\text{Ind}}$ = Ganancias solares Indirectas (kWh).
 $Q_{s\text{dir}}$ = Ganancias solares directas (kWh).

➤ **Pérdidas o ganancias por conducción (Q_c).** Las cargas térmicas por conducción a través de los muros y cubierta de la vivienda se calcularon aplicando la siguiente ecuación:

$$Q_c = (U) (A) (\Delta T)$$

Ec. 15

Dónde: Q_c = Pérdidas o ganancias por conducción (kWh).
 ΔT = Diferencia de temperatura entre el interior y el exterior (K).
 A = Área de la superficie del componente (m^2).
 U = Transmitancia térmica del elemento ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$).

Consideraciones: - Para la diferencial de temperaturas (ΔT), se utilizaron las temperaturas máximas registradas en el día que se presentó la mayor radiación solar durante verano (20 de agosto), y se convirtieron a grados Kelvin:

- Temperatura exterior: $29^\circ\text{C} = 302.15 \text{ K}$
- Temperatura interior planta baja: $25^\circ\text{C} = 298.15 \text{ K}$
- Temperatura interior recámara principal: $27^\circ\text{C} = 300.15 \text{ K}$
- Temperatura interior recámara 2: $26^\circ\text{C} = 299.15 \text{ K}$



- **Pérdidas o ganancias por convección (Q_v).** Se determinó el número de renovaciones necesarias o caudales de aporte de aire exterior considerando el uso de una vivienda y en base a la norma internacional DIN- 1946 (ver **tabla III.8, anexo III**). En función de esto se calculó la tasa de ventilación (E_v), tal como se muestra en la ecuación **Ec. 16**:

$$E_v = (N * Vol) / 3600 \text{ s} \quad \text{Ec. 16}$$

Dónde: E_v = Tasa de ventilación (m^3/s).

N = Número de renovaciones de aire/hora en cada local.

Vol = Volumen de cada local (m^3).

Cabe señalar que la **Ec. 16** se aplicó a cada local estudiado de la vivienda (planta baja, recámara principal y recámara 2). Posteriormente, se utilizó la ecuación **Ec.17** para determinar las pérdidas por convección:

$$Q_v = (C_e * E_v * \Delta T) / 1000 \text{ W} \quad \text{Ec. 17}$$

Dónde: Q_v = Pérdidas o ganancias por convección (kWh).

C_e = Calor específico volumétrico del aire = $1300 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$.

E_v = Tasa de ventilación (m^3/s).

ΔT = Diferencia de temperatura entre el interior y el exterior ($^\circ\text{C}$).

(J/s) = Watts (W).

Consideraciones: - Para la diferencial de temperaturas (ΔT), se utilizaron las temperaturas máximas registradas en el día que se presentó la mayor radiación solar durante verano (20 de agosto):

- Temperatura exterior: 29°C
- Temperatura interior planta baja: 25°C
- Temperatura interior recámara principal: 27°C
- Temperatura interior recámara 2: 26°C



- **Pérdidas por evaporación (Q_e).** Se utilizó la ecuación **Ec. 18** para determinar la tasa de evaporación:

$$E_r = (R_n / (I_v * \rho_w)) * 1000 \quad \text{Ec. 18}$$

Dónde: E_r = Tasa de evaporación (mm/día).
 R_n = Radiación solar máxima durante la época de verano (W/m^2).
 I_v = Calor latente de evaporación del agua = 2 436 280 J/kg.
 ρ_w = Densidad del agua = 997 kg/m^3 .

Cabe señalar que la **Ec. 18** se aplicó a cada local estudiado de la vivienda (planta baja, recámara principal y recámara 2). Posteriormente, se utilizó la ecuación **Ec.19** para determinar las ganancias por evaporación:

$$Q_e = ((E_r * I_v * \rho) / 1 \times 10^6 \text{ mm} / 1000 \text{ W}) \quad \text{Ec. 19}$$

Dónde: Q_e = Pérdidas por evaporación (kWh).
 E_r = Tasa de evaporación (mm/día).
 I_v = Calor latente de evaporación del agua = 2 436 280 J/kg.
 ρ = Densidad del aire = 1.18 kg/m^3 .

Nota: el valor obtenido de las pérdidas por evaporación fue mínimo y no afectó la carga térmica total; por lo tanto, se despreció para el cálculo de las pérdidas y ganancias por sistemas mecánicos de climatización (Q_m).

- **Pérdidas o ganancias por sistemas mecánicos de climatización (Q_m).** El valor de Q_m es igual a la suma algebraica de las pérdidas y ganancias de calor anteriormente calculadas (Q_i , Q_s , Q_c , Q_v y Q_e), pero con signo contrario. Con esto se dio cumplimiento a la ecuación del balance térmico (**Ec. 5**), la cual señala que la suma algebraica de los seis valores debe dar cero.



Uso del software CE3X® y estimación de las emisiones de CO₂ equivalente por consumo energético de la vivienda.

En esta FASE III se realizó una comparación entre el software CE3X® (cuyos factores de emisión corresponden a España), contra los datos obtenidos a raíz del balance térmico (donde los factores usados son los que rigen a México). A continuación se presenta un diagrama de flujo que sintetiza lo desarrollado en esta fase (**Figura 7.6**), y posteriormente se detallan cada una de las actividades:

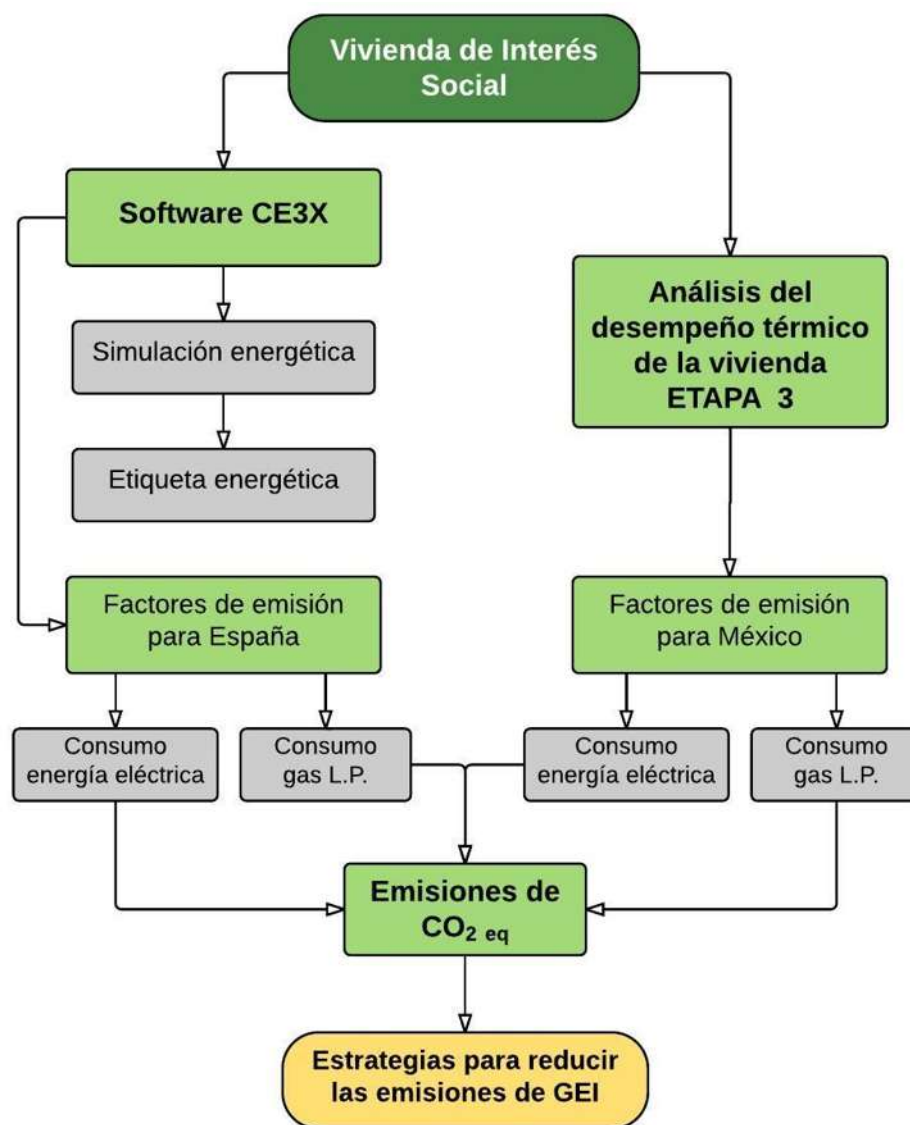


Figura 7.6 Diagrama de flujo de la FASE III.



Actividad 1. Uso del software de simulación energética CE3X® para obtener la calificación energética de la VIS. Se realizó una simulación energética de la vivienda usando el software CE3X. Esta herramienta permitió evaluar la eficiencia energética de la VIS mediante una etiqueta energética constituida por una calificación asignada dentro de una escala de siete letras que va de la A (más eficiente), a la G (menos eficiente).

Actividad 2. Cálculo de Emisión de CO₂ equivalente derivadas del desempeño térmico de la vivienda por consumo de energía eléctrica y de gas L.P. Para estimar las emisiones de CO₂ equivalente por consumo de energía eléctrica, se utilizó el factor de emisión de CO₂ eq para México (SEN, 2013): **0.499 kg de CO₂/ kWh.**

Para estimar las emisiones de CO₂ equivalente por consumo de gas L.P., se utilizó el factor de emisión de CO₂ eq para México, que fue **0.0631 kg de CO₂/ MJ.** Los GEI emitidos en el consumo de energía eléctrica y gas L.P se calcularon conforme a las siguientes ecuaciones (CONUEE, 2009):

$$E_g^C = Q_{\text{electricidad}} * FE_{\text{electricidad, g}}$$

Ec. 19

Dónde: $Q_{\text{electricidad}}$ = Consumo total de energía eléctrica de la vivienda (kWh).
 FE = Factor de emisión (0.499 kg de CO₂/ kWh).

$$E_g^C = C_{\text{gas L.P.}} * FE_{\text{gas}}$$

Ec. 20

Dónde: $C_{\text{gas L.P.}}$ = Consumo total de gas L.P. en la vivienda (1 L_{GLP}= 49.43 MJ).
 FE = Factor de emisión (0.0631 kg CO₂/ MJ).

Actividad 3. Generación de estrategias para reducir la demanda energética y emisiones de CO_2eq en la VIS. Posteriormente, se realizó una comparación entre las emisiones calculadas derivadas del balance térmico de la VIS (considerando los factores de emisión para México), y las emisiones arrojadas por el software *CE3X* (considerando factores de emisión que aplican en España y se encuentran precargados en el software).

De acuerdo al balance térmico realizado y con apoyo del software *CE3X*, se determinaron estrategias para hacer más eficiente a la vivienda de interés social analizando su consumo de energía, y con ello reducir las emisiones de CO_2 (**Figura 7.7**). Así mismo, se espera que estas estrategias funjan como una guía para constructores, estudiantes y sector gubernamental, que permita mejorar desde la etapa de diseño las viviendas que se construyan en el futuro.



Figura 7.7 Proceso para elaborar las estrategias de mejora en la vivienda de interés social.



8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El objetivo de este trabajo fue determinar las emisiones de CO₂eq que se generarían al tratar de mejorar las condiciones térmicas actuales dentro de la vivienda de interés social en la ciudad de Morelia; para lo cual se obtuvieron los siguientes resultados.

8.1 Identificación de los perfiles de demanda energética de la VIS

Para identificar los perfiles de demanda energética de las viviendas, se levantó una encuesta de la cual se generó el perfil para el conjunto habitacional completo, por vivienda, por habitante y por área de construcción (m²). También, se identificaron los promedios de las demandas energéticas de las viviendas, de acuerdo a sus diferentes orientaciones (**Tabla 8.1**).

Tabla 8.1 Demanda de energía eléctrica y gas L.P. (MJ)

Categoría	Energía eléctrica (Σ MJ/año)	Gas L.P. (Σ MJ/año)	Demanda total (MJ/año)	Referencia
Tipo de unidad				
Conjunto Habitacional (125 viviendas)	543,477	1,076,712	1,620,189	Este trabajo
Vivienda	4,348	8,614	12,962	Este trabajo
Habitante	1,501	2,974	4,475	Este trabajo
Área (m ²)	69	138	207	Este trabajo
Media nacional por vivienda	5,400	15,337	20,737	[1, 2]
Media nacional per cápita	3,672	3,087	6,759	[1, 2]
Orientación				
Noreste	4,121 a	9,906 a	14,026	Este trabajo
Noroeste	4,518 a	8,569 a	13,087	Este trabajo
Sureste	4,055 a	8,517 a	12,572	Este trabajo
Suroeste	4,764 a	8,304 a	13,068	Este trabajo

[1] media nacional de energía eléctrica (CFE, 2014); [2] media nacional de gas L.P. (SENER, 2015); “a” indica que no existe diferencia significativa entre las demandas energéticas de las viviendas según su orientación (prueba estadística t-student, con un factor de significancia del 95%).



En las viviendas estudiadas los perfiles de demanda energética por vivienda y por habitante son menores que la media nacional (**Tabla 8.1**), tanto en la demanda de gas LP como de electricidad. Esto se debe a que los indicadores nacionales son un valor producto de todos los tipos de vivienda sin hacer distinciones entre características, número de habitantes o el área geográfica; esto respalda la propuesta de la SENER y AIE (2011), sobre realizar balances de energía que detallen la demanda y consumo del sector residencial, el tipo de vivienda y las condiciones de clima de la región.

Respecto a la orientación de las viviendas, la demanda energética es numéricamente mayor en la orientación noreste (14,026 MJ/año), que el resto de las orientaciones. Sin embargo, al aplicar las pruebas estadísticas de ANOVA y de significancia (*t-student*), se encontró que no existe una diferencia significativa entre las demandas energéticas de estas viviendas. Es decir, la orientación de las viviendas de San Mateo II no es un factor que determine la demanda de energía; contrario a lo que señala Palacios (2011), donde las viviendas analizadas orientadas al oeste demandan mayor cantidad de energía que el resto de las orientaciones. Esto último puede deberse más bien al número de habitantes por vivienda, tal como lo dice Darmstadter (2004), quien señala que los habitantes son los que determinan la demanda energética de un hogar. Al respecto, se realizó una comparativa entre el crecimiento anual de la demanda energética en la VIS y el consumo energético por número de habitantes (**Figura 8.1**).

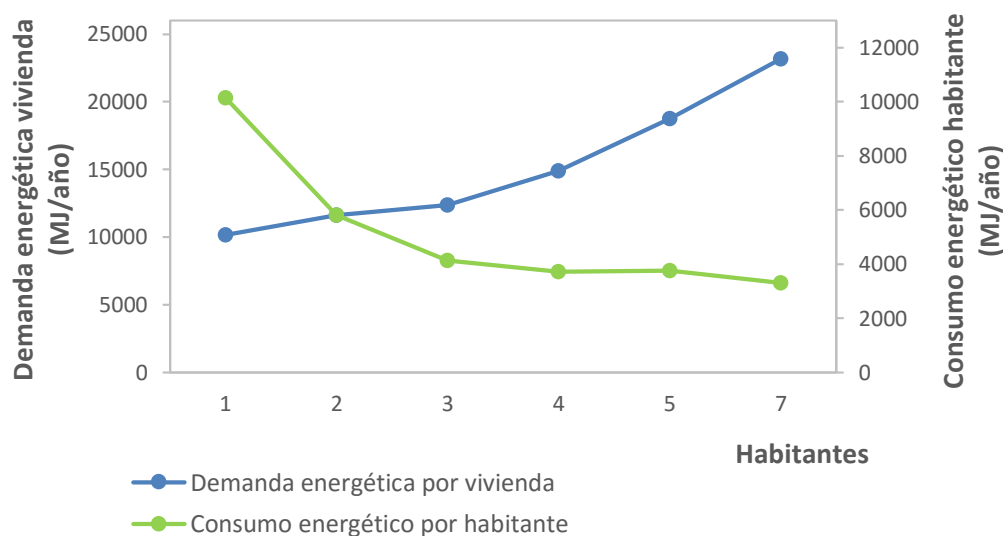


Figura 8.1 Relación entre la demanda energética total de la vivienda y el consumo energético total por habitante en el conjunto habitacional “San Mateo II”.

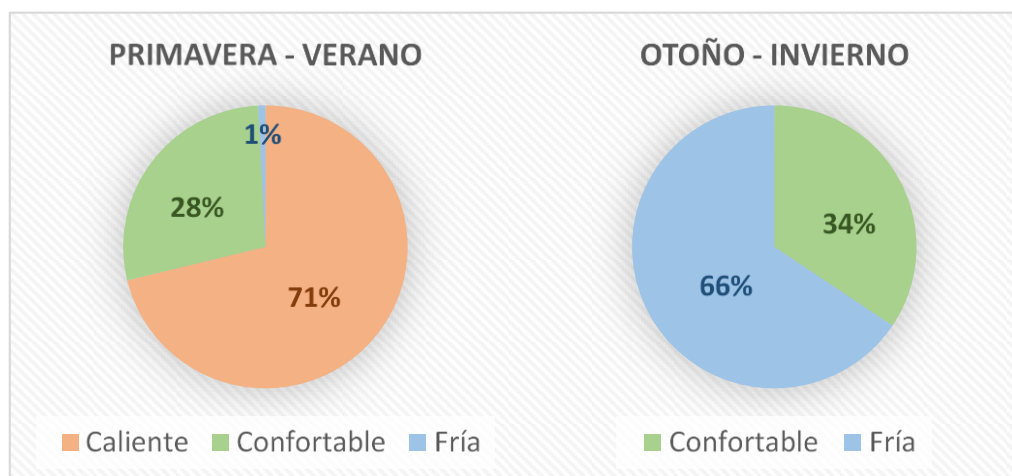


La Figura 8.1 muestra que la demanda energética de la vivienda aumenta a partir de dos habitantes (de 11626 MJ/año a 23340 MJ/año); aunque el mayor consumo energético por habitante se presenta cuando hay un solo habitante por vivienda (10145 MJ/año), dicho consumo se mantiene alrededor de los 4100 MJ/año por persona, después de tres habitantes.

Debido a la carencia de estudios sobre consumo energético en el sector residencial, es importante realizar investigaciones que contemplen información sociodemográfica del sitio de análisis, y que se especifiquen las características de las viviendas, así como el número de habitantes.

8.2 Sensación térmica de los habitantes de “San Mateo II”

Otro de los resultados obtenidos a partir de la encuesta fue la sensación térmica percibida por los habitantes de “San Mateo II”, tanto en la temporada de calor como en la temporada de frío, donde (Figura 8.2).



1
Figura 8.2 Porcentaje de habitantes de San Mateo II que perciben su vivienda caliente, fría o confortable durante el año.

Los resultados de la Figura 8.2 muestran que más del 50% de los habitantes coincidieron no percibir condiciones de confort térmico en sus viviendas, lo que indica que las temperaturas interiores no se mantienen dentro del rango de confort (18°C a 26°C), incitando a que los habitantes utilicen ventiladores o calentadores para compensar las condiciones térmicas de sus hogares.

Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con Mercado *et al.* (2010), quién también obtuvo que entre el 50% y 88% de los habitantes encuestados no perciben confort térmico en sus viviendas, en temporada de calor y frío respectivamente; la variación de los porcentajes entre el estudio de Mercado *et al.* (2010), y el presente trabajo se debe principalmente a las características geográficas y climatológicas del lugar donde se realizaron los estudios. Esta situación afecta, directamente a los habitantes ya que los importantes consumos energéticos les representan un gasto económico extra; e indirectamente al ambiente por las emisiones de GEI que se generan por dicho consumo de energía.

8.3 Comportamiento térmico al interior de la vivienda de interés social

Para entender el comportamiento térmico de la vivienda estudiada, es importante considerar su orientación (sureste- noreste), los niveles con los que cuenta (dos niveles), y la ubicación de los espacios dentro de ella (**Figura 8.3**).

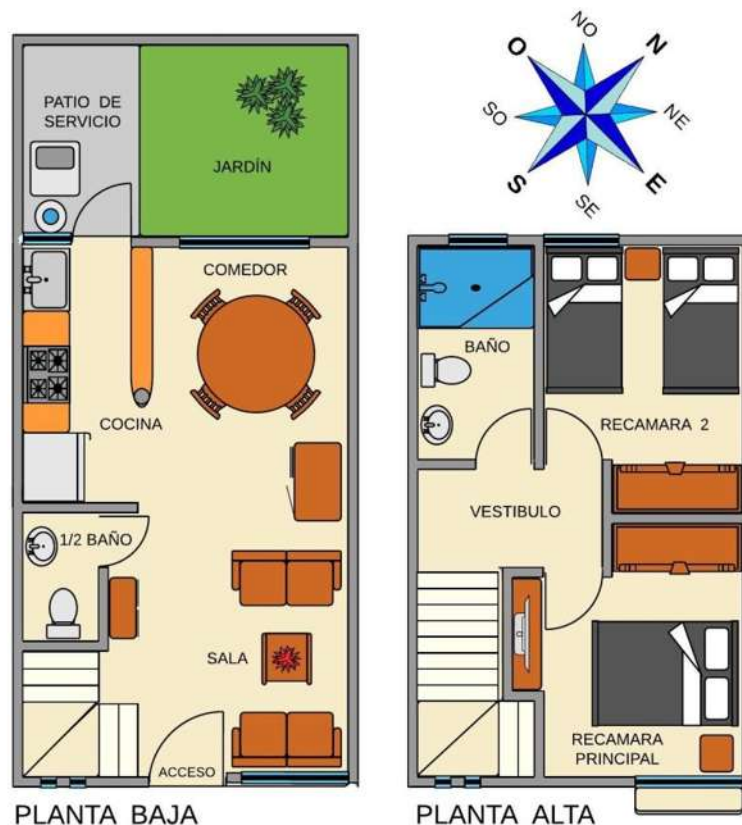


Figura 8.3 Planta arquitectónica de la VIS.



Recordando que las condiciones de confort térmico se definen comúnmente entre los 18°C y 26°C, se obtuvieron los registros de las temperaturas interiores en la vivienda durante la época de verano de 2015. Las condiciones climáticas más críticas que se presentaron a lo largo del estudio fueron una radiación solar de 580 W/m² y temperaturas exteriores entre los 25°C y 34°C; los resultados muestran que los espacios analizados en la vivienda registraron temperaturas que rebasaron los 26°C (**Figura 8.4**). La Recámara 2 resultó ser el espacio más desfavorable presentando temperaturas de hasta 33°C. Esto se debe a la constante radiación solar recibida por la cubierta, permitiendo que el calor se transfiera al interior con mayor rapidez; además, indica que la ventilación de la recámara es inadecuada e insuficiente para regular y mantener las condiciones de confort.

Las temperaturas mostradas en la **Figura 8.4** varían con respecto a las obtenidas por Di Bernardo *et al.* (2008), quienes estudiaron diecisiete viviendas económicas con diferentes características entre sí, obteniendo temperaturas máximas interiores entre los 28°C y 35°C; aunque ambos estudios coinciden en que las viviendas no brindan confort térmico a sus habitantes, la diferencia entre las temperaturas se debe principalmente a las ganancias de calor que se generan en la vivienda debido al número de habitantes, a los materiales de construcción, al diseño y orientación de cada vivienda, y al clima de cada región.



Figura 8.4 Temperaturas registradas en el interior de la VIS estudiada.



8.4 Resistencia y transmitancia térmica de la envolvente de la VIS

Para comprender el comportamiento térmico que registraron las temperaturas al interior de la VIS estudiada, se determinaron las resistencias y transmitancias térmicas que poseen los materiales (ver anexo III) y los componentes de la envolvente. En la **Tabla 8.2** se muestra que los componentes de la vivienda estudiada presentan una transmitancia térmica por arriba de su propia resistencia térmica, provocando que el flujo de calor se transfiera con mayor facilidad a través de la envolvente del exterior hacia el interior y viceversa.

Tabla 8.2 Resistencia y transmitancia térmica de la envolvente de la VIS.

Componente	Resistencia térmica (R)	Transmitancia térmica (U)
	(m ² K/W)	(W/m ² K)
Muros	0.48	2.10
Losa de entrepiso	0.47	2.12
Losa de azotea	0.34	2.92

Los resultados de la Tabla 8.2 se encuentran por arriba de los reportados por Missoum *et al.* (2014), cuya envolvente presentó una transmitancia térmica (valor U) de 1.77 W/m²K en los muros y 2.55 W/m²K en la losa de azotea; esto significa que la envolvente analizada por Missoum *et al.* (2014), tiene una mayor resistencia térmica que la de la vivienda analizada en este trabajo; sin embargo, según Azqueta (2014), para que en una vivienda tenga confort térmico se requiere un valor de U= 1 W/m²K en muros y 0.83 W/m²K en cubiertas.

Por otra parte, con la resistencia térmica obtenida y considerando los valores que especifica la norma NMX-C-460-ONNCCE-2009 para una zona térmica 3A (zona térmica de Morelia), se realizó una comparativa para conocer si la vivienda estudiada cumple con la resistencia térmica mínima, para la habitabilidad y para el ahorro de energía (**Tabla 8.3**).

Tabla 8.3 Comparativa entre los valores “R” calculados y la NMX-C-460-ONNCCE-2009.

Componente	Valor “R” recomendado en la norma (m ² K/ W)			Valor “R” calculado (m ² K/ W)	Cumplimiento con norma
	Mínimo	Habitabilidad	Ahorro de energía		
Muros	1.00	1.23	1.80	0.48	<i>No cumple</i>
Losa de entrepiso	0.90	1.40	1.60	0.47	<i>No cumple</i>
Losa de azotea	1.40	2.30	2.80	0.34	<i>No cumple</i>



En la **Tabla 8.3** se observa que los componentes de la vivienda analizada cuentan con una resistencia térmica (valor R) menor a la recomendada, lo que significa que el flujo de calor se transfiere con mayor facilidad del exterior hacia el interior (en verano); esta situación implica que la vivienda demande el uso de materiales térmicamente aislantes que le permitan lograr la habitabilidad y reducir su consumo energético. En este sentido, la CONAVI (2010), establece que los materiales de construcción considerados como aislantes térmicos son los que tienen un valor R superior a $0.25 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Tomando en cuenta el valor R establecido por la CONAVI (2010) y usando como base los materiales aislantes más comunes en la construcción en México (ver **Tabla III.5**, anexo III), se determinó el espesor necesario de cada material aislante que, de aplicarse a la envolvente, mejorarían las condiciones de habitabilidad en la vivienda y permitirían a los habitantes disminuir el consumo de energía eléctrica para refrigeración (**Tabla 8.4**).

Tabla 8.4 Materiales y espesores necesarios para mejorar la resistencia térmica en la VIS.

Material	Muros		Entrepiso		Azotea	
	Espesor (m)	Nuevo valor R ($\text{m}^2\text{K/W}$)	Espesor (m)	Nuevo valor R ($\text{m}^2\text{K/W}$)	Espesor (m)	Nuevo valor R ($\text{m}^2\text{K/W}$)
Fibra de vidrio	0.05	1.99	0.04	1.72	0.08	2.87
Lana de roca	0.05	1.91	0.05	1.90	0.09	2.91
Poliestireno extruido	0.04	1.85	0.04	1.84	0.07	2.80
Algodón	0.04	1.85	0.04	1.84	0.08	3.10
Cáñamo	0.05	1.83	0.05	1.68	0.09	2.80
Celulosa	0.05	1.95	0.04	1.64	0.09	2.80
Corcho	0.05	1.95	0.05	1.94	0.09	2.98
Fibras de coco	0.06	1.87	0.06	1.86	0.11	2.93
Viruta de madera	0.05	1.80	0.05	1.65	0.10	3.00

Los resultados de la **Tabla 8.4** muestran que al incrementar los espesores actuales de la envolvente con materiales aislantes, aumentaría su resistencia térmica hasta alcanzar o superar la resistencia recomendada por la norma NMX-C-460-ONNCCE-2009. Sin embargo, para determinar cuál de ellos es el más viable para implementar en las viviendas de San Mateo II, se deben considerar aspectos como el espesor y valor comercial de los materiales aislantes.



Considerando que el ingreso económico de los habitantes de las VIS es bajo, el material aislante más viable sería el de menor costo; tal es el caso del Poliestireno extruido que además de ser económico, es el material del que se requiere menor espesor para lograr que los componentes obtengan la resistencia térmica deseable. En este sentido, el Poliestireno aumentaría el valor R de la envolvente de la siguiente manera: de $0.48 \text{ m}^2\text{K/W}$ a $1.85 \text{ m}^2\text{K/W}$ en muros, de $0.47 \text{ m}^2\text{K/W}$ a $1.85 \text{ m}^2\text{K/W}$ en losa de entrepiso y de $0.34 \text{ m}^2\text{K/W}$ a $2.80 \text{ m}^2\text{K/W}$ en losa de azotea.

Para saber dónde conviene aplicar el material aislante se deben considerar dos aspectos importantes; el primero sería identificar los elementos (muros y azotea) que reciben mayor cantidad de radiación durante el día; y el segundo sería en cuál de estos elementos representa (constructivamente) menor intervención, ya que este último va ligado tanto a la cantidad de material que se requiere para aislar, como al costo económico que dicha intervención representaría. Lo ideal es implementar el material aislante en muros que dividen el exterior con el interior y en la losa de azotea, ya que esto impediría las ganancias de calor por radiación indirecta, así como por conducción.

8.5 Pérdidas y ganancias de calor en la VIS

Para conocer la carga térmica de verano en la vivienda analizada se calcularon las pérdidas y ganancias de calor de acuerdo al método del balance térmico. Para ello se consideraron las ganancias internas y los mecanismos de transferencia de calor que inciden en la envolvente (radiación, conducción y convección). A continuación se muestran las cargas térmicas obtenidas de cada espacio analizado en la VIS estudiada (**Figuras 8.5, 8.6 y 8.7**).

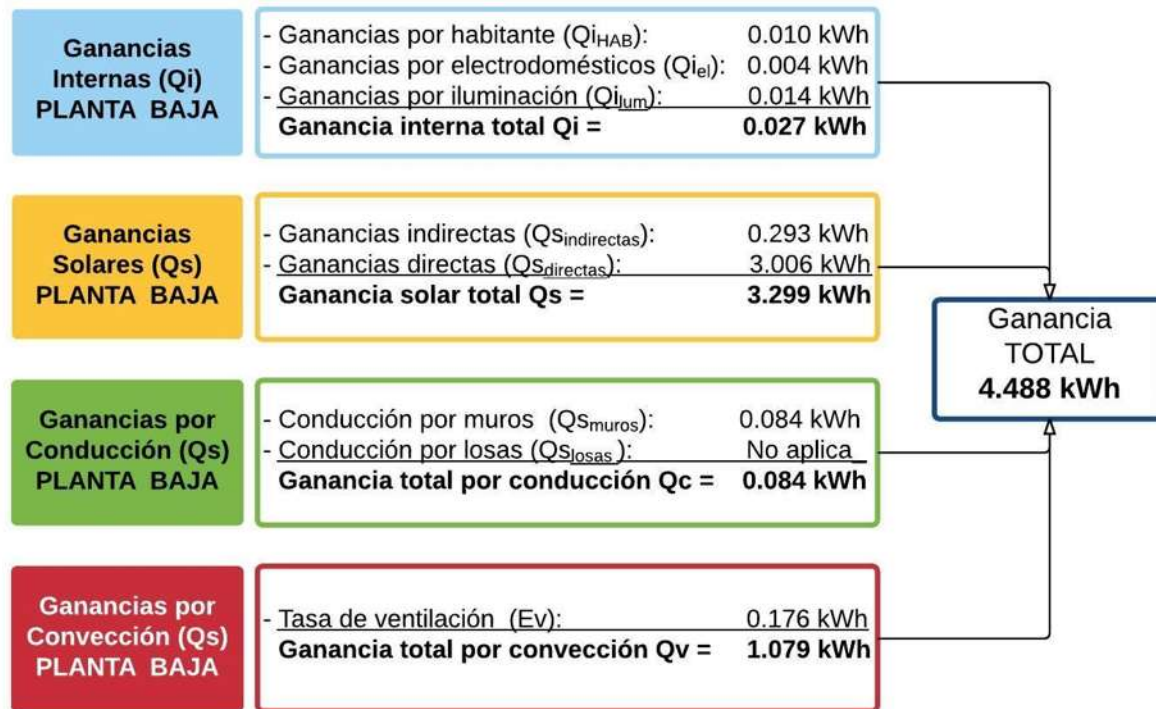


Figura 8.5 Ganancias de calor en la planta baja.

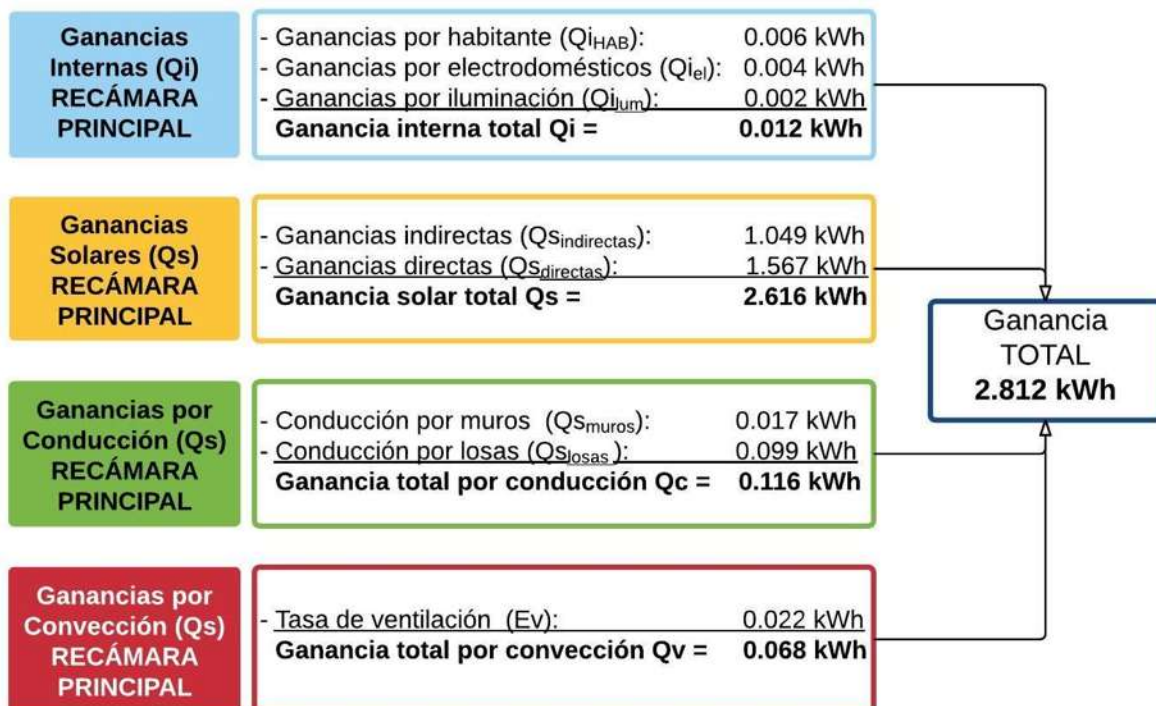


Figura 8.6 Ganancias de calor en la recámara principal.

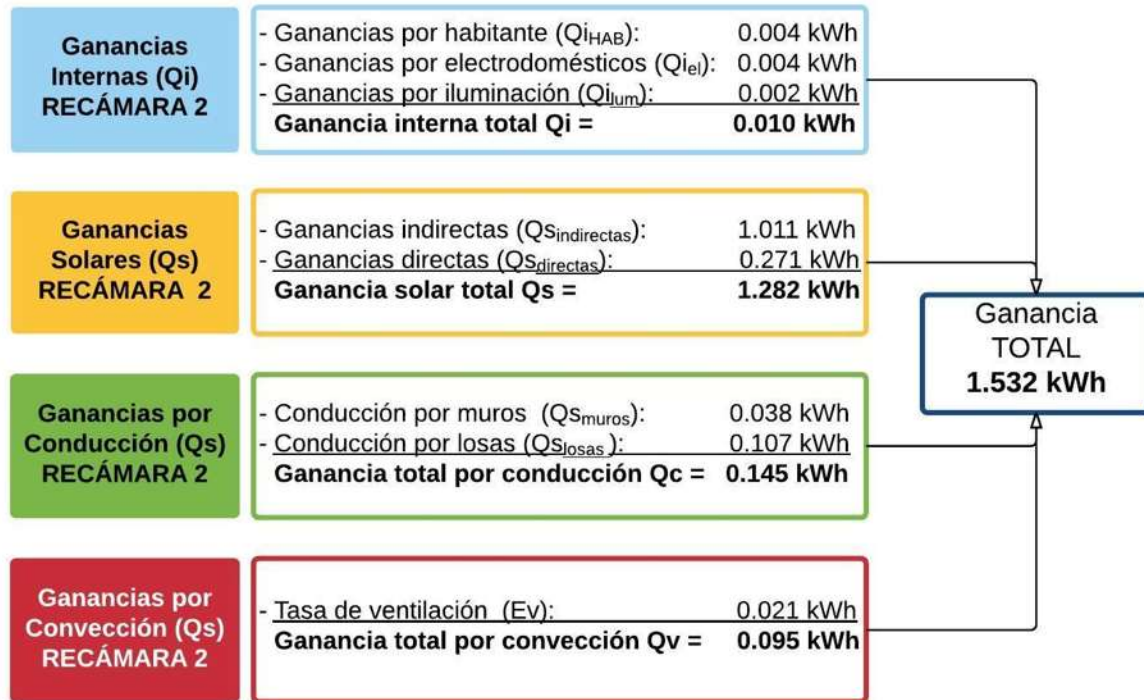


Figura 8.7 Ganancias de calor en la recámara 2.

De los espacios analizados en la VIS, la planta baja fue el que presentó mayor ganancia de calor con una carga térmica total de 4.488 kWh, de la cual las ganancias solares (3.299 kWh), representan más del 70% de la carga térmica total generada en dicho espacio (**Figura 8.5**). Esto se debe a dos situaciones, la primera es que las áreas vidriadas que constituyen a la planta baja representan el 68% de toda el área vidriada que hay en la vivienda (8.66 m² de vidrio en planta baja), generando la mayor carga térmica de la VIS (3.006 kWh); y la segunda situación corresponde a las dos orientaciones (sureste y noroeste) que inciden y afectan las fachadas de la planta baja, generando una ganancia de calor por ambas orientaciones.

En lo que respecta a las recámaras analizadas, las ganancias solares (2.616 kWh en la recámara principal y 1.282 kWh en la recámara 2), constituyen más del 80% de la carga térmica total generada en cada recámara (**Figuras 8.6 y 8.7**); esta situación se debe a las características de los componentes, quienes además de presentar una baja resistencia térmica, absorben más calor que el que pueden reflejar, ya sea por el color de la superficie o por las características del vidrio que integran a las ventanas (espesor, si es reflejante, anti-reflejante, tintado, etc.).

De acuerdo a la norma NOM-015-STPS-2001, la carga térmica permisible debe ser menor a 0.100 kWh/m² para que el organismo humano perciba confortable el ambiente en el que se está desarrollando; sin embargo, la carga térmica en el presente trabajo resultó mayor que la permitida por la norma (0.132 kWh/m²), provocando malestares físicos y psicológicos en los habitantes de la VIS estudiada debido al exceso de calor en su interior; además de generar un importante consumo de energía para tratar de compensar la ausencia de confort.

En otra investigación realizada por Di Bernardo *et al.* (2011), quienes analizaron una vivienda de interés social de 61m² de construcción obtuvieron una carga térmica de 702 kWh/vivienda*año (11 kWh/m²*año), la cual está por debajo de la carga térmica obtenida en el presente trabajo que corresponde a 3224 kWh/vivienda*año (51 kWh/m²*año). La diferencia entre la carga térmica de Di Bernardo *et al.* (2011), y la del presente estudio se debe principalmente al uso de aislación térmica en la losa de azotea, al uso de block hueco en muros y a la orientación de las ventanas; estos tres factores aumentan el confort térmico en la vivienda y reducen las ganancias de calor (carga térmica).

De acuerdo a las cargas térmicas obtenidas y a los mecanismos de ganancia de calor que actúan en la vivienda (internas, radiación, conducción y convección), se determinaron los porcentajes de las ganancias de calor que, tanto la envolvente como los habitantes, electrodomésticos e iluminación generaron durante el verano de 2015 en la VIS (**Figura 8.8**).

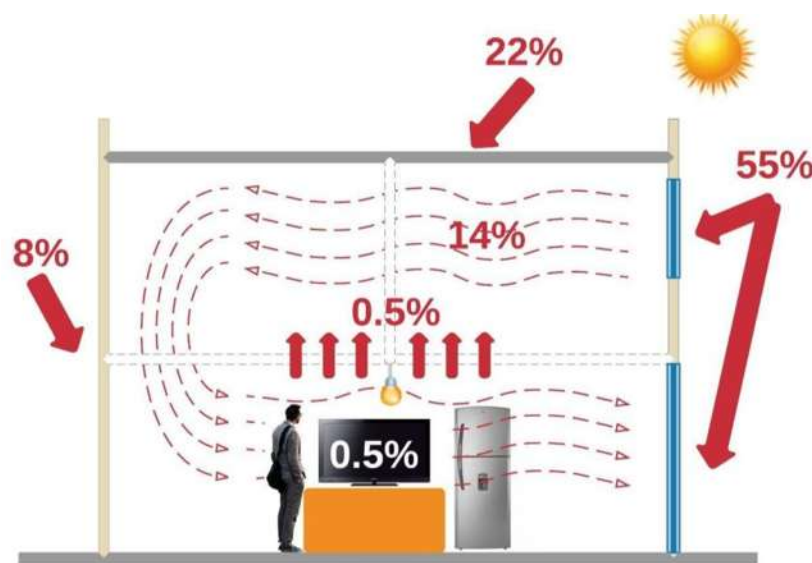


Figura 8.8 Porcentajes de ganancias de calor generadas en la VIS estudiada.



En la **Figura 8.8** se observa que el 85% de las ganancias de calor en la VIS se generan por la envolvente, principalmente por las ventanas ya que a través de ellas se obtiene el 55% de la carga térmica total (7.20 kWh); esto ocurre porque las ventanas presentan el valor más bajo de resistencia térmica en la envolvente ($0.18 \text{ m}^2\text{K/W}$), y la superficie vidriada supera el 20% del área total de los muros que las contienen (este último porcentaje lo recomienda la norma NMX-C-460-ONNCCE-2009).

Las ganancias de calor calculadas en este trabajo varían con las determinadas por Vera y Ordenes (2002), quienes analizaron una vivienda de interés social cuya envolvente contiene materiales aislantes en los muros y losa de azotea, obteniendo que a través de la azotea se genera la mayor cantidad de calor (37%), seguido por las ventanas y muros con un 24% y 21% respectivamente; la diferencia entre los porcentajes de Vera y Ordenes (2002), y los del presente trabajo se deben al tipo y espesor de materiales empleados en la azotea (tanto de construcción como aislantes), a la superficie y orientación de las ventanas y a la cantidad de radiación que estas reciben durante el día.

8.6 Consumo energético derivado del confort térmico en la VIS

Para conocer el consumo energético que se generaría al contrarrestar las cargas térmicas de cada espacio analizado y de la VIS completa, se determinaron los BTU que se deben refrigerar y el consumo de energía de los equipos de aire acondicionado (A.A.) (ver **Tabla IV.1**, anexo IV), según la capacidad que tienen para enfriar el ambiente (**Tabla 8.5**).

Tabla 8.5 Consumo eléctrico de la VIS suponiendo el uso de A.A.

Espacio analizado	Carga térmica (kWh)	Capacidad del equipo (BTU)	Demanda eléctrica del equipo (kW)	Consumo eléctrico anual del equipo (kWh)*
Planta Baja	4.49	15,32	4.10	1,497
Recámara principal	2.81	9,596	2.93	1,069
Recámara 2	1.53	5,229	1.76	642
VIS (total)	8.83	30,144	8.79	3,208

*Consumo de energía eléctrica considerando una hora de funcionamiento del equipo de aire acondicionado al día.



En la **Tabla 8.5** se observa que el 50% del consumo energético por el uso de equipos de climatización se generaría en la planta baja y el otro 50% en ambas recámaras; esto ocurre porque el volumen a refrigerar en la planta baja (75 m^3), es mayor que en la recámara principal y recámara 2 (31 m^3 y 25 m^3 respectivamente), lo que implicaría utilizar durante más tiempo un equipo de climatización o sustituirlo por uno de mayor capacidad para enfriar, aumentando el consumo de energía eléctrica.

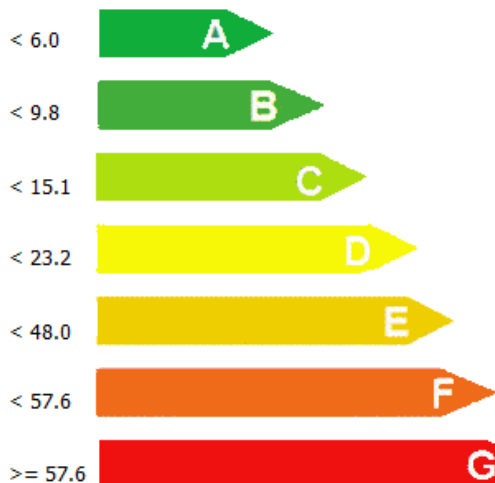
Considerando el consumo eléctrico por cada m^2 de la VIS analizada (únicamente por el uso de aire acondicionado) sería de $51 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{año}$; este consumo es mayor que el reportado por Campos (2011), quién obtuvo un consumo anual de 35 kWh/m^2 en una vivienda cuyos materiales son similares a los de la vivienda analizada en el presente trabajo. La diferencia de consumos de energía eléctrica por climatización entre ambos estudios se debe a las ganancias de calor generadas por las condiciones climáticas del lugar donde se ubican las viviendas estudiadas. Esta situación señala la importancia de diseñar y construir viviendas con soluciones específicas para cada región y el riesgo que implica adoptar indistintamente los mismos sistemas constructivos y de diseño.

8.7 Simulación energética de la VIS analizada

Con los valores previamente obtenidos sobre la resistencia y transmitancia térmica de la envolvente de la VIS, se realizó la simulación energética mediante el software CE3X[®] (CENER y EFINOVATIC, 2015). Esta herramienta diseñada con normativas españolas, permitió obtener una calificación energética de la VIS según la escala precargada en el software (“A” representa la más eficiente, hasta la “G” que es la menos eficiente); todo en función de las características actuales que presenta la vivienda, tales como dimensiones, localización, año de construcción, tipo propiedades de la envolvente, así como las instalaciones de agua y gas (**Figura 8.9**).

2

Indicador: Kg CO₂/m²*año



Demanda de calefacción: 78.8 G
(kWh/m²)

Demanda de refrigeración: 57.7 F
(kWh/m²)

Emisiones de calefacción: 27.9 E
(Kg CO₂/m²*año)

Emisiones de refrigeración: 22.1 D
(Kg CO₂/m²*año)

Emisiones de ACS: 11.5 C
(Kg CO₂/m²*año)

Contribuciones eléctricas: 14.7 C
(Kg CO₂/m²*año)

76.2 G

3

4 **Figura 8.9** Calificación energética de la vivienda, según sus emisiones de CO₂eq.

En la **Figura 8.9** se observa que a pesar de que la vivienda no presenta actualmente ningún sistema de climatización, el software detectó que no se mantienen las condiciones de confort térmico en la VIS debido a la falta de aislamiento en la envolvente, por el diseño y la orientación de la vivienda; esta situación implica una mayor demanda de energía por el uso de un equipo para climatización, viéndose reflejada en las emisiones globales de la vivienda arrojadas por el software (76.2 kg de CO₂/m²*año), y afectando directamente su calificación energética (G).

La calificación energética de la VIS coincide con la reportada por Álvarez (2015), quién simuló una vivienda unifamiliar en España, obteniendo también una calificación energética “G” (65.5 kg CO₂/m²*año); sin embargo, a pesar de que la calificación energética coincide en ambas investigaciones, las emisiones globales de la vivienda analizada por Álvarez (2015) son menores que las del presente trabajo debido a la diferencia en la demanda energética para cubrir las necesidades de confort térmico, agua caliente sanitaria (ACS), y para el funcionamiento de los electrodomésticos e iluminación.



8.8 Emisiones de CO₂eq generadas por el desempeño térmico de la VIS analizada

Para determinar las emisiones de CO₂eq que se generan en la vivienda, se identificaron los consumos de energía eléctrica y gas L.P. por vivienda y por área de construcción (m²), de acuerdo a dos escenarios; el primero considera las condiciones de uso actuales de la VIS, y el segundo suponiendo el uso de aire acondicionado (A.A.) para mantener el confort térmico en verano (**Tabla 8.6**).

Tabla 8.6 Emisiones de CO₂eq generadas por el consumo anual de energía eléctrica y gas L.P. en la VIS estudiada

Concepto	Consumo energético anual		Factor de emisión	Emisiones anuales (kg CO ₂ eq)
	Eléctrica (kWh)	Gas L.P. (MJ)		
Cálculos según las condiciones actuales de la VIS (escenario 1)				
Electrodomésticos	721	-----	[1]	360
Iluminación	371	-----	[1]	185
Refrigeración (ventiladores)	309	-----	[1]	154
(ACS) y Estufa	-----	8,897	[2]	561
Vivienda (total)	1,401	8,897	[1, 2]	1,260
Área (m ²)	22	141	[1, 2]	20
Cálculos suponiendo el uso de A.A. (escenario 2)				
Refrigeración (Aire acondicionado)	3,208	-----	[1]	1,600
Vivienda (total)	4,300*	8,897	[1, 2]	2,707
Área (m ²)	68	141	[1, 2]	42

(ACS) Sistema de Agua Caliente Sanitaria ("boiler"); *Se obtuvo sumando el consumo por electrodomésticos (720.67 kWh), iluminación (371.12 kWh), y suponiendo el uso de A.A. (3208.35 kWh); [1] Factor de emisión (1 kWh = 0.499 kg CO₂eq/kWh) (SEN, 2013); [2] Factor de emisión (1 MJ gas L.P. = 0.0631 CO₂eq/MJ) (CONUEE, 2009).

En la **Tabla 8.6** se muestran las emisiones totales generadas en la vivienda analizada de acuerdo a dos escenarios; el primer escenario corresponde a las emisiones según las condiciones actuales de la VIS (1,260 kg CO₂/año); y el segundo escenario considera las emisiones generadas por el consumo actual de energía en la VIS más las emisiones derivadas del uso de un aire acondicionado que satisfaga las necesidades de confort térmico (2,707 kg CO₂/año).



Así mismo, en la tabla anterior se observa que las emisiones generadas por el consumo de energía eléctrica en ambos escenarios (699 kg de CO₂eq/kWh en el escenario 1; y 1,601 kg de CO₂eq/kWh en el escenario 2), son mayores que las emisiones derivadas del gas L.P. (561 kg de CO₂eq/MJ); esto ocurre porque el gas L.P. se consume únicamente para cocinar y bañarse; mientras que la electricidad se emplea para llevar a cabo numerosas actividades en periodos de tiempo prolongados. Si dichos consumos energéticos se presentan en la mayoría de las viviendas del conjunto habitacional San Mateo II, podrían generarse hasta 460 Ton de CO₂eq/año; esto implicaría una importante demanda de árboles para mitigar tal cantidad de CO₂ (alrededor de 920 árboles al año).

Las emisiones calculadas en este estudio están por debajo de las determinadas por el Centro Mario Molina (CMM, 2012), donde realizaron un análisis de ciclo de vida (ACV) de viviendas de interés social en las zonas metropolitanas de Cancún, Monterrey, Tijuana y Valle de México, en las cuales obtuvieron emisiones anuales de 3820, 2860, 3140 y 3120 kg de CO₂eq respectivamente (incluye demanda energética de las viviendas y transporte). Los resultados de CMM (2012) y los del presente trabajo se ven afectados principalmente por la particularidad de cada vivienda, los hábitos de consumo de los ocupantes y las diferencias entre el tipo de clima; esto reafirma la importancia de realizar estudios que cuantifiquen las emisiones de CO₂eq generadas en los diferentes tipos de viviendas en México y el mundo.

En otra investigación realizada por Monteiro y Freire (2012), calcularon las emisiones de CO₂eq generadas por el consumo energético derivado de la climatización (refrigeración) de una vivienda unifamiliar en Portugal, en donde obtuvieron 36.31 kg de CO₂eq/m²*año; estas emisiones son mayores que las obtenidas por refrigeración en la presente investigación (25.41 kg de CO₂eq/m²*año). Esta diferencia se debe al consumo energético por la climatización de los espacios, ya que la vivienda analizada por Monteiro y Freire (2012) requiere 71.8 kWh/m²*año para refrigeración, mientras que la vivienda del presente estudio consume 51 kWh/m²*año.



En términos generales, los resultados mostrados en el presente trabajo hacen más evidente la problemática energética y ambiental relacionada con el sector residencial, especialmente con la vivienda de interés social, ya que sus diseños y sistemas constructivos se han desarrollado sin considerar criterios (número de habitantes, materiales, clima y orientación) que puedan ofrecer confort a los habitantes y que hagan más eficientes a las viviendas en cuanto a su consumo de energía.

El uso de la energía eléctrica en las VIS es diverso y depende de las actividades que realicen los usuarios, así como de los equipos que empleen para llevarlas a cabo; la actividad que demanda mayor cantidad de energía es la climatización, la cual afecta directamente la economía de los habitantes e indirectamente al ambiente por las emisiones de GEI que se generan. Por lo tanto, como el consumo energético depende de características muy particulares, se deben realizar estrategias focalizadas en el ahorro energético para corregir parte del sector residencial actual y hacer más eficiente energéticamente los futuros desarrollos habitacionales en el país.

9. ESTRATEGIAS DE AHORRO ENERGÉTICO EN LA VIS

De acuerdo al desempeño térmico y energético de la VIS estudiada, se generaron una serie de estrategias que permitirían mejorar las condiciones de confort térmico, reducir el consumo de energía y disminuir las emisiones de CO₂eq derivadas de la vivienda; estas se dividieron en estrategias generales (se pueden aplicar sin que generen algún costo económico), y en estrategias técnicas-constructivas (si requieren una inversión económica). Las estrategias se proponen tomando como base la VIS de la ciudad de Morelia, principalmente las del conjunto habitacional de San Mateo II. Sin embargo, pueden adecuarse para aplicarse al resto de las viviendas en el país, dependiendo del tipo de vivienda (popular, medio, residencial y residencial plus), y de las condiciones climáticas del sitio.



9.1 Estrategias generales

Existen un sinnúmero de estrategias que no son competencia de quien diseña y construye las viviendas, ya que su ejecución es responsabilidad de los usuarios, principalmente las estrategias que hacen referencia al uso de la energía eléctrica y gas L.P. Por ejemplo, aprovechar al máximo la luz natural para iluminar, apagar la luz cuando no se esté utilizando, usar de manera racional los aparatos electrodomésticos, desconectarlos cuando no se estén utilizando, tomar duchas en lapsos de tiempo cortos, entre otras. Es importante hacer notar este tipo de estrategias con el fin de crear una cultura sobre el uso eficiente y racional de la vivienda, principalmente en cuestiones energéticas; estas estrategias se pueden consultar en varios sitios web como el de Greenpeace, CFE, CONUEE, entre otros.

La responsabilidad de los diseñadores y constructores abarca hasta la entrega de la vivienda, la cual debe estar constituida por espacios confortables, con instalaciones y equipos de bajo consumo energético y de buena calidad; de tal manera que dichas instalaciones sean de fácil manejo para los usuarios, optimicen el uso de la energía en la VIS y se reduzcan los gastos económicos de los habitantes. Esto contribuye con la mitigación de emisiones de GEI y con el desarrollo sustentable del sector residencial en México.

9.2 Estrategias técnicas-constructivas

Recordando que la calificación energética que presenta actualmente la VIS estudiada es “D”, se desarrollaron algunas estrategias técnicas-constructivas, que permiten generar un ahorro de energía (eléctrica y gas L.P.) y reducir las emisiones de CO₂eq. En la sección de anexos V se pueden ver imágenes arquitectónicas de las estrategias aplicadas.

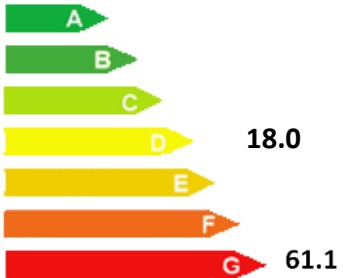
9.2.1 Estrategia A: Renovación de luminarias

Se deben sustituir los focos fluorescentes (ahorradores) por luminarias tipo LED ya que estas reducen el 20% del consumo total de energía eléctrica en la VIS estudiada (en las condiciones actuales de la vivienda). Otra ventaja de los focos LED es que generan una mínima cantidad de calor ya que el 80% de la energía que consumen la convierten en luz, reduciendo con ello las ganancias de calor internas.



La duración de cada foco LED puede llegar hasta 45,000 horas de uso con el mínimo de mantenimiento, haciendo que la vivienda demande menor cantidad de focos durante su etapa de uso. En términos ambientales, las emisiones de CO_{2eq} se reducirían en un 10%, por lo que la calificación energética se mantendría en “D” (**Tabla 9.1**).

Tabla 9.1 Mejoras a la VIS estudiada aplicando la *Estrategia A*

Resultados	Caso base (VIS)	Estrategia A	Ahorro	Calificación energética aplicando estrategia A
Consumo anual de energía eléctrica (kWh/m ²)	22	18	20%	
Emisiones totales de la VIS (Kg CO _{2eq} /m ² año)	20.0	18.0 (D)	10%	61.1

1

9.2.2 Estrategia B: Aislación térmica en la envolvente

Aplicando Poliestireno extruido como aislante térmico en la VIS estudiada, principalmente sobre la superficie interior de los muros que reciben radiación solar directa (muros de fachada sureste y noroeste), así como sobre la losa de azotea, aumentaría la resistencia térmica a 1.85 m²K/W en muros y 2.80 m²K/W en losa de azotea (**Tabla 9.2**). Adicionalmente, se recomienda aplicar impermeabilizante de color blanco para mejorar las propiedades térmicas de la losa de azotea aumentando su reflectividad hacia la radiación solar y disminuyendo la absorción de energía calorífica, manteniéndose así temperaturas de confort durante las horas de sol al interior de la vivienda.

Tabla 9.2 Mejoramiento de la resistencia térmica en la VIS estudiada

Elemento	Resistencia térmica actual (m ² K/W)	Resistencia térmica mejorada (m ² K/W)
Muros	0.48	1.85
Losa de azotea	0.34	2.80



Ambas intervenciones disminuyen en un 80% la necesidad de implementar un sistema de aire acondicionado (A.A.), ya que la aislación térmica que genera el Poliestireno y el uso de un impermeabilizante blanco lograrían que la envolvente mantenga las condiciones de confort en el interior sin ayuda de un equipo de climatización, evitando un importante consumo de energía eléctrica (3,208 kWh/VIS*año), y sus respectivas emisiones (2,707 kg CO₂/VIS*año) (**Tabla 9.3**).

Tabla 9.3 Mejoras a la VIS estudiada aplicando la *Estrategia B*

Resultados	Caso base (VIS)	Estrategia B	Ahorro	Calificación energética aplicando estrategia B
Consumo de energía eléctrica (kWh/m ² año)	22 ¹	4 ¹	80%	 A
	68 ²	13 ²	80%	 B
Emisiones totales de la VIS (Kg CO ₂ eq/m ² año)				 C 11.1¹
				 D 15.7²
	20.0 ¹	11.1 ¹ (C)	45%	 E
	42.9 ²	15.7 ² (D)	63%	 F
				 G 61.1

¹Son valores obtenidos bajo las condiciones actuales de la VIS (sin confort térmico); ²Son valores suponiendo que en la VIS se utilizara un aire acondicionado para mantener las condiciones de confort térmico al interior.

9.2.3 Estrategia C: Ventanas con vidrio doble

Sustituir las ventanas actuales de la VIS (constituidas por marcos de aluminio y una hoja de vidrio), por ventanas compuestas por doble vidrio (ya sea con una cámara interna de aire comprimido o de gas argón, y el marco de Policloruro de vinilo, mejor conocido como PVC). Las ventanas con vidrio doble reducen un 55% las ganancias de calor generadas por la radiación solar directa gracias a la cámara interior (aire comprimido o gas argón) que impide que la energía calorífica se transfiera del exterior hacia el interior y viceversa; además, el marco de PVC disminuyen las infiltraciones de aire y puentes térmicos, además de ser un material con menor conductividad térmica que el Aluminio.

Aplicando esta estrategia se lograría reducir el 25% del consumo anual de energía eléctrica en la VIS, así como entre un 14% y 20% de las emisiones de GEI, dependiendo si se utiliza o no un sistema de aire acondicionado para mantener el confort térmico (**Tabla 9.4**).

**Tabla 9.4** Mejoras a la VIS estudiada aplicando la *Estrategia C*

Resultados	Caso base (VIS)	Estrategia C	Ahorro	Calificación energética aplicando estrategia C
Consumo de energía eléctrica (kWh/m ² año)	22 ¹	16 ¹	25%	
	68 ²	51 ²	25%	
				
Emisiones totales de la VIS (Kg CO ₂ eq/m ² año)	20.0 ¹	17.2 ¹ (D)	14%	 17.2 ¹
				 34.5 ²
	42.9 ²	34.5 ² (E)	20%	
				 61.1

¹Son valores obtenidos bajo las condiciones actuales de la VIS (sin confort térmico); ²Son valores suponiendo que en la VIS se utilizara un aire acondicionado para mantener las condiciones de confort térmico al interior.

9.2.4 Estrategia D: Sistema de energía renovable (paneles fotovoltaicos)

Esta estrategia consiste en instalar paneles fotovoltaicos sobre la losa de azotea para generar la energía eléctrica suficiente para abastecer la demanda anual de la VIS; dichos paneles aprovecharían la energía solar y la transformarían en electricidad, generando un ahorro de energía eléctrica del 100% y reduciendo en más del 50% la huella de carbono de la vivienda (Tabla 9.5).

Tabla 9.5 Mejoras a la VIS estudiada aplicando la *Estrategia D*

Resultados	Caso base (VIS)	Estrategia D	Ahorro	Calificación energética aplicando estrategia D
Consumo de energía eléctrica (kWh/m ² año)	22	0	100%	
				 8.9
				
Emisiones totales de la VIS (Kg CO ₂ eq/m ² año)	20.0	8.9* (B)	55%	
				
				
				 61.1

*Son emisiones de GEI (kg de CO₂eq/m²año) generadas únicamente por el uso de gas L.P. en la VIS.

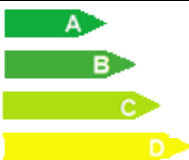
De acuerdo con la empresa Econotecnia (2016), para la VIS se requieren 4 paneles fotovoltaicos capaces de producir de 4 a 5 kWh/día. A pesar de que el mantenimiento de los paneles es mínimo y su vida es bastante larga (entre 15 y 20 años), aún resulta un sistema considerablemente costoso para este sector de la sociedad, ponderando a esta estrategia (con respecto de las demás) como la más óptima ambientalmente pero la menos viable económicamente (ver sección 9.3).



9.2.5 Estrategia E: Calentador solar para agua

Instalar un calentador solar en la VIS con el fin de que este sistema caliente el agua para bañarse, lavar ropa, cubiertos, etc., sin sustituir al calentador de gas (boiler) con el que cuenta actualmente la vivienda, ya que este último seguirá usándose para cocinar alimentos. Esta estrategia reduciría un 90% el consumo anual de gas L.P. en la VIS, lo que representa emisiones anuales de 505 kg de CO₂eq/VIS (**Tabla 9.6**).

Tabla 9.6 Mejoras a la VIS estudiada aplicando la *Estrategia E*

Resultados	Caso base (VIS)	Estrategia E	Ahorro	Calificación energética aplicando estrategia E
Consumo de gas L.P. (MJ/m ² año)	141	14	90%	 11.9
Emisiones totales de la VIS (Kg CO ₂ eq/m ² año)	20.0	11.9 (C)	41%	 61.1

1

9.3 Costo económico de las estrategias para mejorar la VIS

Para determinar la inversión que se requiere para implementar cada una de las estrategias anteriores se consultaron los costos vigentes (Abril, 2016) de los insumos requeridos por estrategia (focos LED, Poliestireno, impermeabilizante blanco, ventanas con vidrio doble, calentador solar y paneles fotovoltaicos); de la mano de obra para ejecutarlas (estrategias B, C, D y E); y también se consultaron los costos de energía eléctrica y gas L.P. (**Tabla IV.2**, anexo IV), para conocer cuál sería el ahorro económico anual y el tiempo de retorno de la inversión (**Tabla 9.7**).

Tabla 9.7 Costo económico de las estrategias para mejorar la VIS estudiada

Costo actual de energía (MXP/año)	Estrategia	Inversión (MXP)	Ahorro anual (MXP)	Retorno de inversión
[1]	A (LED)	\$ 520.00	\$ 277.00	2 años
	B (Aislante térmico)	\$ 9,500.00	\$ 1,108.00	8.5 años
	C (Ventanas dobles)	\$ 18,900.00	\$ 346.00	54 años
	D (Paneles fotovoltaicos)	\$ 37,140.00*	\$ 1,385.00	27 años
[2]	E (Calentador solar)	\$ 9,400.00	\$ 3,095.00	3 años

[1] Costo anual de energía eléctrica (\$ 1,385.00); [2] Costo anual de gas L.P. (\$ 3,538.00)

*Cotización de paneles fotovoltaicos para generar de 4 a 5 kWh/día (Econotecnia, 2016).

La **Tabla 9.7** muestra que la estrategia “A” sería la más factible para implementar ya que dicha estrategia requiere menor inversión y se recupera en poco tiempo con respecto a las demás (2 años). Sin embargo, considerando el ahorro anual como un factor determinante para elegir la mejor estrategia se tendría que la A y C son las más desfavorables por generar el menor ahorro, y la estrategia E sería la óptima para generar mayor ahorro (\$3,095.00/ año) en poco tiempo (3 años); además, a partir del cuarto año el ahorro generado se convertiría en ganancia y podría utilizarse para invertirse en otra estrategia. Lo ideal sería aplicar todas las estrategias para mejorar la eficiencia de la VIS, reducir su huella de carbono y generar el mayor ahorro (\$ 6,211.00); sin embargo, esto resulta difícil de costear para los usuarios ya que la inversión que se requeriría para ejecutarlas es de \$75,460.00, con un tiempo de retorno de 12 años.

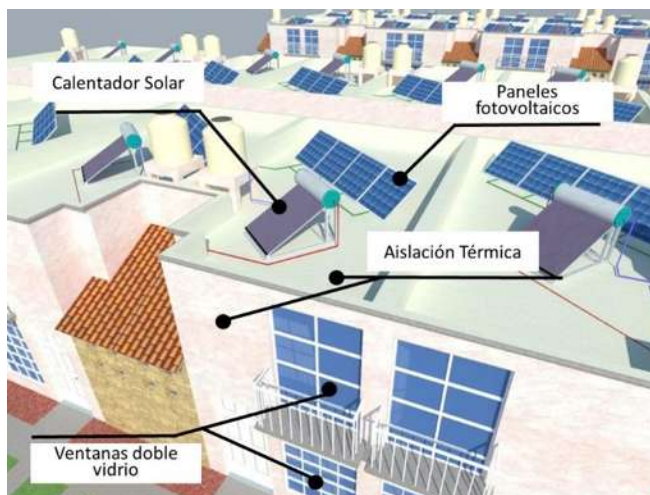


Figura 9.1 Propuesta de estrategias para aplicar en la VIS analizada



9.4 Criterios de diseño para las futuras VIS

Para mejorar los diseños y procesos constructivos de las viviendas (principalmente las de interés social) en la ciudad de Morelia, es necesario considerar normativas y técnicas que aporten soluciones para mantener las condiciones de confort para las personas, sin que esto afecte al medio ambiente. En este sentido, el futuro del sector residencial se debe planificar de una manera ordenada y con el menor uso posible de los recursos naturales; para ellos se proponen los siguientes criterios como una alternativa para aumentar el confort térmico en las viviendas (mejorando el diseño, la envolvente y las técnicas de construcción), y reducir el consumo energético (eléctrico y gas L.P.):

- ✓ La sala, comedor y recámaras deben estar orientados al sur y/o sureste; esto permitirá que la radiación solar más favorable (antes de las 12:00 pm) incida sobre dichos espacios y mantenga temperaturas dentro del rango de confort (18°C a 26°C), durante todo el año.
- ✓ La cocina debe ubicarse al norte; esto evitará dos cosas, la primera que se genere un exceso de calor al interior por cocinar y por la radiación solar a través de muros y ventanas; y la segunda sería para evitar el esparcimiento del vapor y los olores generados en el momento de cocinar.
- ✓ Las áreas de circulación (pasillos) y áreas de aseo (baños, patios, etc.) se deben orientar al noroeste y oeste, considerando que son espacios donde los habitantes estarán por lapsos de tiempo cortos.
- ✓ Es recomendable que la ventilación de las viviendas sea cruzada y acorde a la dirección de los vientos dominantes (suroeste y noroeste en el caso de Morelia); esto permitirá ventilar y mantener el confort térmico en las viviendas de manera natural.
- ✓ En ventanas orientadas al sur y suroeste es recomendable utilizar aleros, parteluces o persianas tipo *Louvers* que impidan el paso de la radiación solar, pero permitan el paso de la luz; esto evitara las ganancias de calor durante primavera y verano. En ventanas que presenten otras orientaciones, se recomienda el uso de árboles de hoja caduca para que en época de invierno el sol penetre al interior y genere calor.



- ✓ Implementar el uso de ventanas con vidrio doble y sellado hermético, principalmente en las fachadas orientadas al sur, suroeste y oeste; este tipo de ventanas también impiden las ganancias de calor por radiación y a su vez, mantienen una temperatura de confort.
- ✓ En cuanto a los materiales de construcción, se recomienda utilizar los que poseen características térmicas, con un valor R mínimo de $1 \text{ m}^2\text{K/W}$, tanto en muros como en losa de azotea.

En relación al sector residencial en México, es importante que los criterios con los que actualmente se rigen los diseños y construcciones estén fundamentados en la arquitectura sustentable, cuyos principios buscan utilizar de manera racional los recursos naturales, así como promover la aplicación de alternativas constructivas y tecnológicas (aislación térmica, iluminación LED, calentador solar y paneles fotovoltaicos) que permitan reducir o eliminar los actuales consumos de gas L.P. y energía eléctrica.

Así mismo, es recomendable realizar acciones que permitan prevenir, controlar, mitigar y compensar los impactos ambientales (afectación de suelos, contaminación de agua, emisiones de GEI, etc.) generados en las distintas etapas de las viviendas (construcción, uso y demolición). Por lo tanto, es necesario que los nuevos proyectos de viviendas consideren la localización del sitio donde se pretenda construir junto con sus condicionantes climatológicas, utilizar sistemas alternativos de energía (paneles y calentador solar), captación de agua pluvial, reutilización de aguas grises, uso preferencial de materiales de la región para construir, reciclar materiales en las etapas de construcción y uso, entre otras.



10. CONCLUSIONES

- La VIS analizada presenta un problema con su envolvente térmica, ya que no posee la resistencia mínima necesaria para mantener las temperaturas dentro del rango de confort, por lo que es recomendable aislar térmicamente dicha envolvente para lograr reducir las ganancias de calor.
- Reducir la demanda energética en la VIS disminuye el impacto ambiental generado por las emisiones de GEI; por lo que esta investigación permitió identificar las áreas de oportunidad para mejorar la eficiencia energética del sector residencial y contribuir con la mitigación del calentamiento global.
- El desempeño térmico tiene que ser parte fundamental del diseño arquitectónico de una edificación, más cuando se trata de una vivienda cuyo diseño integre aspectos como la orientación, las condiciones de uso, los materiales y el medio ambiente. Considerar estas variables no solo reduce las ganancias de calor en la vivienda, también contribuyen con el desarrollo sustentable del sector residencial en México.

11. TRABAJOS FUTUROS

- Para estudios posteriores, se recomienda continuar con el análisis de desempeño térmico en viviendas de interés social, en otras épocas del año (primavera, otoño e invierno); esto permitirá conocer si las temperaturas se mantienen dentro de los rangos confort y determinar las pérdidas y ganancias de calor que se generen de acuerdo a los factores a considerar.
- También, es recomendable realizar estudios de termografía en cualquier tipo de edificación, principalmente en viviendas de interés social; este tipo de investigaciones permiten identificar las temperaturas superficiales de los elementos constructivos de una envolvente térmica, los niveles de aislamiento, problemas de condensación, debilidades en las estructuras y fallos en cerramientos. Es importante conocer toda esta información para localizar con precisión las pérdidas y ganancias de calor por puentes térmicos, así como las demandas energéticas que esto generaría.



12. COMPROBACIÓN DE OBJETIVOS

Objetivo general:

El objetivo de este trabajo es determinar las emisiones de CO₂eq que se generarían al tratar de mejorar las condiciones térmicas actuales dentro de la vivienda de interés social en la ciudad de Morelia.

(CUMPLIDO)

Objetivos particulares:

- ✓ Obtener los valores de resistencia y transmitancia térmica de los elementos de la envolvente que compone la VIS y comparar los resultados con la normativa al respecto.

(CUMPLIDO)

- ✓ Conocer el comportamiento de las temperaturas en el interior de la VIS durante la época de verano.

(CUMPLIDO)

- ✓ Determinar la transferencia de calor en la VIS, calculando las pérdidas y ganancias de calor a través de la envolvente.

(CUMPLIDO)

- ✓ Estimar las emisiones de CO₂eq equivalentes de la VIS de acuerdo a las pérdidas y ganancias de calor.

(CUMPLIDO)

- ✓ Realizar una simulación energética de la VIS (calificación energética).

(CUMPLIDO)

- ✓ Proponer estrategias que mejoren la VIS estudiada y las futuras viviendas de esta tipología.

(CUMPLIDO)



13. VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

Las viviendas de interés social de la ciudad de Morelia, que están constituidas por una envolvente que ayuda a mantener las condiciones de confort térmico en el interior, generan menos emisiones de CO_{2eq} que aquellas viviendas que no cuentan con una envolvente que les permita tener confort térmico.

(VALIDADA TOTALMENTE)

Válida totalmente, ya que la mayor ganancia de calor en la VIS se generó a través de la envolvente (7.54 kWh/día), requiriendo la utilización de un aire acondicionado durante lapsos de tiempo prolongados que afectan los consumos de energía eléctrica y la generación de importantes cantidades de emisiones de GEI. Sin embargo, se constató que aislando térmicamente la envolvente, se reducirían en un 85% las ganancias de calor, el consumo de electricidad y las emisiones de CO_{2eq}.



14. REFERENCIAS

- Álvarez, M., (2015).** *Certificación energética mediante la herramienta CE3X y rehabilitación energética de una vivienda unifamiliar* (Tesis de pregrado). Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, Disponible en: http://oa.upm.es/37763/1/PFC_Marta_San_Emeterio_Alvarez.pdf, Consultada en febrero 2016.
- ASHRAE (2001).** (Sociedad Americana de Ingeniería para Aire Acondicionado, Calefacción y Refrigeración). Método del *Balance Térmico*. Universidad de Buenos Aires, Facultad de ingeniería, Tec. del Frío, consultado en mayo de 2016, disponible en: [http://materias.fi.uba.ar/6732/pdf/67\[1\].32_01-Balance%20termico%20Aire%20Acondicionado.pdf](http://materias.fi.uba.ar/6732/pdf/67[1].32_01-Balance%20termico%20Aire%20Acondicionado.pdf)
- Azqueta, P., (2014).** *Manual práctico del aislamiento térmico en la construcción*. Asociación Argentina del Poliestireno Expandido, Buenos Aires, Argentina, Primera edición, 153 p., Disponible en: <http://www.fapyd.unr.edu.ar/wp-content/uploads/2014/07/ManualPracticoDeLEPS-intectivo-Encriptado-Abril2014.pdf>, Consultado en enero 2016.
- BTS (2001),** (Oficina de tecnología de la construcción), *State and Community Programs. Tools Directory*. Artículo [en línea]. Consultado en enero 2015. Disponible en: http://www.eren.doe.gov/buildings/tools_directory/
- Berggren, B. y Wall M., (2013).** *Calculation of thermal bridges in (Nordic) building envelopes – Risk of performance failure due to inconsistent use of methodology*. ELSEVIER- Energy and Building, vol. 65 Lund University, Suecia, pp. 331-339, ISSN: 0378-7788.
- Calderón, R., (2012).** *Modelo del metabolismo energético, a partir del consumo eléctrico de la vivienda económica de Mexicali*, B.C. Programa de Doctorado en Planeación y Desarrollo Sustentable, Universidad Autónoma de Baja California.
- Camous, R. y Watson, D. (1986).** *El hábitat bioclimático: de la concepción a la construcción*. Editorial Gili, Barcelona, España, 1era. Edición. ISBN: 968-887-022-6
- Campos, L., (2011).** *Estudio de la Optimización de la Eficiencia Energética en Viviendas de Interés Social*. Programa de Energía Sustentable, GOPA, México D.F., p. 190, consultado en febrero 2016, disponible en: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=36288713>
- Carmona, J., (2013).** Blog de Eficiencia Energética y Edificación. Consultado en octubre de 2015, disponible en: <https://julio-carmona-blog.wordpress.com/2013/06/21/transferencia-de-calor-en-edificacion/>
- CCA (2013).** (Comisión para la Cooperación Ambiental). *Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte*. Canadá, E.U.A. y México, consultado en abril 2015, disponible en: <http://www.cec.org>
- CEESP (2010).** (Centro de Estudios Económicos del Sector Privado). *El presente y futuro del mercado de la vivienda en México*. [Artículo en línea], consultado en mayo 2015, disponible en: <http://www.ccpm.org.mx/avisos/ceesp2agostoviviendaen%20mexico.pdf>
- CFE, (2014).** (Comisión Federal de Electricidad). *Informe Anual 2014*. México D.F., p. 128, consultado en diciembre 2015, disponible en: <http://www.cfe.gob.mx/inversionistas/Style%20Library/assets/pdf/InformeAnual.pdf>
- CENER y EFINOATIC (2015).** (Centro Nacional de Energías Renovables, Desarrolladores del procedimiento oficial de certificación energética de los edificios existentes CE3X). *Simulador energético CE3X® versión 1.3*. Navarra (Pamplona), España, consultado en noviembre 2015, disponible en: <http://www.efinova.es>



- CEPAL (2010).** (Comisión Económica para América Latina). *Metodologías de cálculo de la huella de carbono y sus potenciales implicaciones para América Latina*. Gobierno de Francia, Editorial CEPAL, pp. 51, consultado en septiembre 2015, disponible en:
http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37288/Metodolog%EDas_calculo_HC_AL.pdf?sequence=1
- CMM (2012).** (Centro Mario Molina). *Evaluación de la sustentabilidad de la vivienda en México*. Centro Mario Molina para estudios estratégicos sobre energía y medio ambiente, México D.F., p.8, consultado en marzo 2016, disponible en: http://centromariomolina.org/wp-content/uploads/2012/09/14.-Evaluaci%C3%B3nSustetabilidadViviendaM%C3%A9xico_fin.pdf
- CONAPO (2014).** (Comisión Nacional de Población). *Crecimiento demográfico en México 2014*. Primera Edición, Cd. De México, pp. 267, ISBN: 978-607-427-255-0, consultado en marzo 2015, disponible en:
http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Resource/2422/1/images/La_Situacion_Demografica_de_Mexico_2014.pdf
- CONAVI, (2010).** (Comisión Nacional de Vivienda). *Código de Edificación de Vivienda*. Segunda edición, México, D.F., 496 p., Disponible en:
<http://www.cmic.org/comisiones/sectoriales/vivienda/biblioteca/archivos/CEV%20PDF.pdf>, Consultado en enero 2016.
- CONAVI (2014).** (Comisión Nacional de Vivienda). *Proyección de viviendas en México. Déficit de viviendas en MÉXICO 2014- 2030*. Primera Edición, Cd. De México, pp. 161, consultado en febrero 2015, disponible en: <http://www.shf.gob.mx/estadisticas/EdoActualVivienda/Documents/EAVM%202014%20vf.pdf>
- CONUEE (2009).** (Comisión Nacional para Uso Eficiente de la Energía). *Metodologías para la Cuantificación de Emisiones de Gases Invernadero y de Consumos Energéticos Evitados por el Aprovechamiento Sustentable de la Energía*. Cd. De México, pp. 33, consultado en mayo 2015, disponible en:
http://www.conuee.gob.mx/work/files/metod_gei_cons_evit.pdf
- CPEUM (2014).** (Constitución Política de los Estados Unidos mexicanos). Documento [en línea], disponible en:
<http://www.coddehumgro.org.mx/sitio/archivos/leyes/2015/FEDERAL/CPEUM.pdf>
- Darmstadter, J. (2004).** *Energy and Population, Resources for the Future*. Encyclopedia of Population, Washington, DC., USA, Editorial Mcmillan, vol. 1, p. 9, consultado en febrero 2016, disponible en:
<http://home.wlu.edu/~caseyj/RFFEnergy.pdf>
- Di Bernardo, A., Jacobo, A. y Alías, H., (2008),** *Desempeño térmico-energético de viviendas sociales del NEA. Simulaciones con la herramienta informática “ecotect”*. Rev. ASADES, Argentina, v. 12, n. 8, ISSN: 0329-5184, p. 17- 24.
- Di Bernardo A., Filippín C. y Pipa D., (2011).** *Desempeño térmico-energético de un prototipo demostrativo de vivienda de interés social en Córdoba, Argentina*. Rev. ASADES, Argentina, v. 15, n. 8, ISSN: 0329-5184, p. 35- 42.
- DICYT (2011).** (Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia y la Tecnología). *Capas de la atmósfera*. Imagen recuperada en abril 2015, disponible en: <http://www.dicyt.com/viewItem.php?itemId=19112>
- Espíndola C. y Valderrama, J.O., (2012).** *Huella del Carbono. Conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas*. La Serena, Chile, Rev. Inf. tecnol. vol.23 no.1, pp. 163-176, ISSN: 0718-0764.
- Econotecnia (2016).** *Venta e instalación de paneles fotovoltaicos*. Recuperado de:
<http://www.econotecnia.com/index.html>
- Flores, L., Flores Larsen, S. y Filippín, C. (2007).** *Comportamiento térmico de invierno y verano de viviendas de interés social*. Rev. ASADES, Argentina, v. 11, p. 5, ISSN: 0329-5184.



- García, E. (2004).** *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Base de datos climatológicos 1921- 1995.* Instituto de Geografía, UNAM, México D.F., Quinta Edición, p. 90, Versión digital, consultado en septiembre 2015, disponible en:
http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_lib/modific_al_sis.pdf
- Hernández, S. y Valdez, C. (2009).** *Contra el Cambio Climático.* Edit. DIPROEDISA, S.L., Madrid, España, Nva. Rev. Política, cultura y arte; [Revista digital], n. 123, pp. 9-11, ISSN: 1130- 0426
- Hernández P.J., (2014).** *Rehabilitación energética.* Imagen recuperada en abril 2015, disponible en:
<http://pedrojhernandez.com/tag/confort/>
- Hunn B. (1996).** *Fundamentals of building energy dynamics.* Massachusetts, Bruce D., p. 538.
- Incropera F. y DeWitt D. (1999).** *Fundamentos de transferencia de calor.* 4ta. Edición, Edit. Pearson Educación, México, D.F., 283- 516 p.
- INE (2015).** (Instituta Nacional de Ecología). *Reporte Mexicano de Cambio Climático GRUPO II Impactos, vulnerabilidad y adaptación.* 1era. Edición, UNAM, México, v. 2, pp. 185, ISBN: 978-607-02-7370-4
- INEGI (2013).** (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). *Mujeres y Hombres en México 2013.* México, v. 6, 117 p. Disponible en:
http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/sociodemografico/mujeresyhombres/2013/Myh_2013.pdf, Consultado en Septiembre 2015.
- IPCC (2014).** (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático). *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad,* Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)]. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, 34 págs. (en árabe, chino, español, francés, inglés y ruso).
- ISO 7730 (2006).** *Ergonomía del ambiente térmico.* Editada e impresa por AENOR, Madrid, España, pp. 58, consultada en febrero 2015, disponible en:
file:///C:/Users/fernando/Downloads/EXT_90Q3RKIVMRZMWLEPYIK6.pdf
- Mercado, M., Esteves, A. y Filippín, C. (2010).** *Comportamiento térmico-energético de una vivienda social de la ciudad de Mendoza, Argentina.* Rev. Amb. Constr., Porto Alegre, v. 10, n. 2, pp. 87-100, ISSN: 1678-8621
- Missoum, M., Hamidat, A., Loukarfi, L. y Abdeladim, K., (2014).** *Impact of rural housing energy performance improvement on the energy balance in the North-West of Algeria.* Universidad Hassiba Benbouali de Chlef, Argelia. Rev. Energy and Building, ELSEVIER, v. 85, pp. 374-388, ISSN: 0378- 7788
- Monroy M., (2001).** *Claves del diseño bioclimático.* BASA, n. 23, pp. 1-2; Imagen recuperada en marzo 2015, disponible en: http://editorial.cda.ulpgc.es/ambiente/1_calor/4_transm/image2.gif
- Moore T., Horne R. y Morrissey J. (2014).** *Zero emission housing: Policy development in Australia and comparisons with the EU, UK, USA and California.* Environmental Innovation and Societal Transitions, v. 11, 25-45 p.
- Morillón D. (2006).** *Edificios bioclimáticos en México: Acciones, programas y proyectos para la vivienda de interés social, Los edificios bioclimáticos en los países de Ibero América,* Editado por CYTED e INETI, Portugal, 45-56 p.
- Morillón D. y Rodríguez M. (2006).** *30 Años, Evolución y Desarrollo de la Arquitectura Bioclimática en México,* Ed. ANES, México.



- Montero, H. y Freire, F. (2012).** *Life-cycle assessment of a house with alternative exterior walls: Comparison of three impact assessment methods*. Coimbra, Portugal, Rev. Energy and Building, ELSEVIER, Vol. 47, ISSN: 0378-7788, p. 572-583.
- Murray, R. y Larry, J. (2009).** *Estadística*. Edit. Mc Graw-Hill, Cuarta Edición, México D.F., 577 p. ISBN-13: 978-970-10-6887-8.
- NOM- 018- ENER- 2011.** *Aislantes térmicos para edificaciones. Características, límites y métodos de prueba*. Primera Sección, Diario Oficial de la Federación (DOF), consultado en febrero 2015, disponible en: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69983.pdf>
- NOM-020-ENER-2011.** *Comportamiento térmico de los edificios*. Diario Oficial de la Federación (DOF), consultado en febrero 2015, disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5203931&fecha=09/08/2011
- NMX-C-460-ONNCCE-2009.** *Industria de la construcción-aislamiento térmico-valor "R" para las envolventes de vivienda por zona térmica para la república mexicana- especificaciones y verificación*. CMIC, México, D.F., Disponible en: http://www.cmic.org/comisiones/sectoriales/vivienda/2010/conavi/lo_nuevo/Taller_termico/TercerModulo.pdf, Consultado en Febrero 2016.
- Patnaikuni I. y Rahman S., (2011).** *Thermal Performance of the Cairnlea Ecohome Sustainable House*. Procedia Engineering, vol. 14 2957–2963 p.
- Palacios, J.L., (2011).** *La casa ecológica. Como construirla*. Editorial Trillas, 1ra. Edición, México D.F., p. 168, ISBN: 6071709024
- PROFECO (2014).** (Procuraduría Federal del Consumidor). *Electrodomésticos y la Eficiencia Energética*. Disponible en: http://www.profeco.gob.mx/encuesta/brujula/bruj_2015/bol305_Electrodomesticos.asp, Consultado en Agosto 2015.
- Sánchez A., Herrera R.A., López Y., Salas G.V., Conde L.A. y Centeno S.P. (2012).** *Actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990 -2010, para la Categoría de Procesos Industriales*. 8, 122-123 p.
- Sánchez, L., (2012).** *Hogares y consumo energético en México*. Rev. Dig. Univ., Universidad Nacional Autónoma de México, v. 13, n. 10, pp. 1-8, ISSN: 1067-6079
- Sánchez S.A. (2014).** *Normas y Certificaciones de Edificación Sustentable en México*. Artículo [en línea]. Consultado el 22/Diciembre/2014. Disponible en: <http://www.obrasweb.mx/construccion/2014/08/28/11-normas-y-certificaciones-de-edificacion-sustentable-en-mexico>
- Scheuer C., Keoleian G. y Reppe P. (2003).** *Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications*, Energy and Buildings, vol. 35, 1049-1064 p.
- Schneider H. y Samaniego J.L., (2010).** *La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios*. Organización de las Naciones Unidas (ONU), CEPAL, 5, 39- 40 p.
- SE (2010).** (Secretaría de Economía). *Normas Oficiales Mexicanas*. Catálogo [en línea], consultado en febrero 2015, disponible en: <http://www.economia-noms.gob.mx/noms/inicio.do>
- SEDESOL (2012).** (Secretaría de Desarrollo Social). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México*. Documento [en línea], n. 5, pp. 169, ISBN 968-838-594-8, disponible en: http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/zonas_metropolitanas2000/completo.pdf
- SEN (2013).** (Sistema Eléctrico Nacional). *Factores de emisión para el uso de electricidad en México*. Consultado en abril 2015, disponible en: <http://www.geimexico.org/factor.html>



- Seider W.S., Seader J.D. y Lewin D.R., (2004).** *Product and Process Design Principles: synthesis, analysis, and evaluation*, 2da. Ed., U.S.A., Wiley and Sons Inc. 203 p.
- SEMARNAT (2010).** (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) *Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones*. Primera impresión, México, pp. 70, ISBN: 978-607-7908-20-3, consultado en marzo 2015, disponible en: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/CD000951.pdf>
- SEMARNAT (2010).** (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). *Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero 1990- 2010*. Primera edición, Cd. de México, pp. 412, ISBN: 978-607-8246-63-2, consultado en abril 2015, disponible en: http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/inf_inegi_public_2010.pdf
- SENER y AIE, (2011).** (Secretaría de Energía, Agencia Internacional de Energía). *Indicadores de eficiencia energética en México*. Primera Edición, México, D.F., p. 120-121, Disponible en: http://www.energia.gob.mx/taller/res/1858/iee_mexico.pdf, Consultado en Diciembre 2015.
- SENER, (2015).** (Secretaría de Energía). *Balance nacional de energía 2014*. Primera Edición, México D.F., p. 21, consultado en enero 2016, disponible en: http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/44353/Balance_Nacional_de_Energ_a_2014.pdf,
- SIF (2012).** (Sociedad Hipotecaria Federal). *México: Rezago habitacional, Demanda de vivienda 2012 y Bono demográfico*. [Artículo en línea], consultado en febrero 2015, disponible en: <http://www.shf.gob.mx/estadisticas/EstudiosVivienda/Documents/Rezago%20habitacional%20y%20Demanda%20de%20vivienda%202012.pdf>
- SMN (2015).** (Sistema Meteorológico Nacional). Catálogo en línea de estaciones meteorológicas automáticas en México. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/emas/catalogo/MORELIAob.html>, Consultado en Agosto 2015.
- Terés-Zubiaga J., Martín K., Erkoreka A. y Sala J.M., (2013).** *Field assessment of thermal behaviour of social housing apartments in Bilbao, Northern Spain*. ELSEVIER, Energy and Buildings, vol. 67, España, 118-135 p.
- Vera S. y Ordenes M., (2002).** *Evaluación del desempeño energo- térmico de una vivienda social en Chile, utilizando un programa de simulación energética de edificios*. Revista Ing. De construcción. Vol. 17, 2, 11- 12 p.
- Wadel G. (2009).** *La sostenibilidad de la arquitectura industrializada*. El problema ambiental de la arquitectura. Tesis Doctoral, UPC, España.
- Welty J. (1978).** *Transferencia de Calor Aplicada a la Ingeniería*. Primera edición, México, Edit. LIMUSA. 1- 18 p.
- Wiedmann T. y Minx J., (2007),** *A Definition of 'Carbon Footprint'*. ISA, Reino Unido. 7 p.



ANEXO I

TABLAS COMPLEMENTARIAS

**Tabla I.1** Clasificación climática y ecológica de México según las zonas térmicas.

Zona Térmica No.	Clasificación (grados/día)	Clasificación climática (Köppen)	Zona climática de la república mexicana
1	$5\,000 < \text{GDR } 1^{\circ}\text{C}$	Aw, BWh	Zona 1 (Aw), Zona 2 (Af) y Zona 5 (BW)
2	$3\,500 < \text{GDR } 10^{\circ}\text{C} \leq 5\,000$	Cfa, BWh	Zona 3 (BS), Zona 4 (BS) y Zona 7 (Cw)
3A y 3B	$2\,500 < \text{GDR } 10^{\circ}\text{C} \leq 3\,500$ y $\text{GDC } 18^{\circ}\text{C} \leq 3\,000$	Cfa, BSk, / BWh / H	Zona 3 (BS), Zona 4 (BS), Zona 5 (BW) y Zona 7 (Cw)
3C	$\text{GDC } 18^{\circ}\text{C} \leq 2\,000$	Cs	Zona 6 (Cs) y Zona 7 (Cw)
4A y 4B	$\text{GDR } 10^{\circ}\text{C} \leq 2\,500$ y $\text{GDC } 18^{\circ}\text{C} \leq 3\,000$	Cfa / Dfa, BSk / bwH / H	Zona 3 (BS), Zona 4 (BS) y Zona 6 (Cs)
4C	$2\,000 \leq \text{GDC } 18^{\circ}\text{C} \leq 3\,000$	Cfb	Zona 6 (Cs) y Zona 7 (Cw)

Fuente: NMX-C-460-ONNCCE-2009.

Tabla I.2 Resistencia térmica recomendada para mantener condiciones de confort.

Zona Térmica No.	Techos y cubiertas ($\text{m}^2\text{K} / \text{W}$)			Muros ($\text{m}^2\text{K} / \text{W}$)			Losas de entrepiso ($\text{m}^2\text{K} / \text{W}$)		
	Mínima	Habitabilidad	Ahorro de energía	Mínima	Habitabilidad	Ahorro de energía	Mínima	Habitabilidad	Ahorro de energía
1	1.40	2.10	2.65	1.00	1.20	1.40	NA	NA	NA
2	1.40	2.10	2.65	1.00	1.20	1.40	0.70	1.10	1.20
3A, 3B y 3C	1.40	2.30	2.80	1.00	1.80	1.90	0.90	1.40	1.60
4A, 4B y 4C	1.40	2.65	3.20	1.00	2.10	2.30	1.10	1.80	1.90

Fuente: NMX-C-460-ONNCCE-2009.

NOTA: La zona térmica **3A** corresponde a la ciudad de Morelia.



ANEXO II

ENCUESTA, ANÁLISIS ESTADÍSTICO (PRUEBA ANOVA Y T-STUDENTE) Y DATA LOGGER

**Tabla II.1** Valores utilizados en la determinación del número de muestra para levantar encuestas

Concepto	Símbolo	Valor utilizado
Nivel de confianza	K	1.88 (94%)
Porcentaje de viviendas habitadas	p	81% = 0.81
Porcentaje de viviendas deshabitadas	q	19% = 0.19
Total de viviendas	N	356
Error muestra	e	6% = 0.06

$$n = \frac{(1.88^2)(0.81)(0.19)(356)}{(0.06^2(356 - 1) + ((1.88^2)(0.81)(0.19)))} = 106 = 125 \text{ encuestas}$$

Ec. 1

La fórmula anterior nos indica que 106 encuestas es ya una muestra confiable entre el 94% y 95%; sin embargo, considerando que de este número de encuestas se desecharían las que no contarán con información elemental para el estudio (como el consumo de gas L.P., consumo de energía eléctrica por electrodomésticos, etc.), se optó por incrementar a 125 el número de encuestas.



ENCUESTA SOBRE CONSUMO ENERGÉTICO

No. de vivienda: _____ Fecha: _____

Orientación: _____ Encuestador: _____

Parte I: Datos generales:

- 1) ¿Cuántos habitantes viven en la casa? _____
- 2) ¿Cuánto tiempo llevan viviendo en la casa? _____
- 3) ¿Cuántas horas están en la vivienda? _____
* Horas durante el día (horas con Sol): _____
- 4) ¿A qué hora se levantan y se acuestan normalmente? _____
* Hora en que se levantan: _____
* Hora en que se acuestan: _____

Parte II: Consumo de gas L.P.

- 1) ¿De qué capacidad es el cilindro de gas que compran? _____
a. 20 kg
b. 30 kg
c. 50 kg
d. Otro: _____
- 2) ¿Cada cuánto tiempo surten gas L.P.? _____

Parte III: Consumo de energía eléctrica:

- 1) ¿Cuántos y de qué tipo de focos tiene su vivienda? _____
a. Tradicionales: _____
b. Ahorradores: _____
c. LED: _____
d. Otro: _____



2) Llenar la tabla siguiente:

Electrodoméstico	# de aparatos	consumo (W/h)	Tiempo de uso	consumo (W/día)	Consumo Total (kW/día)
Televisor LCD					
Televisor Plasma					
Televisor LED					
Televisor Normal					
Teatro en casa					
Estéreo					
Blue-Ray					
DVD					
Modem Wi-fi					
Teléfono					
Videojuegos					
Horno de microondas					
Refrigerador					
Parrilla eléctrica					
Estufa eléctrica					
Licuada					
Cafetera					
Campana de estufa					
Extractor de jugo					
Arrocera eléctrica					
Horno eléctrico					
Waflera/Sandwichera					
Batidora					
Tostador					
Lavadora					
Secadora de ropa					
Aspiradora					
Extractor de ambiente					
Plancha					
Máquina de coser					
Ventilador de pedestal					
Ventilador fijo					
Ventilador de techo					



Electrodoméstico	# de aparatos	consumo (W/h)	Tiempo de uso	consumo (W/día)	Consumo Total (kW/día)
Aire acondicionado					
Lámparas					
Cargador de celular					
Computadora					
Impresora					
Calentador					
Secadora de cabello					
Plancha de cabello					
Rasuradora					
TOTAL					

- 3) _____ ¿Cuántos kWh consume al bimestre?
* Pedir o corroborar el recibo de luz (CFE): _____

Parte IV: Sensación térmica de los habitantes

- 1) _____ En época de calor (primavera – verano), ¿Cómo perciben el interior de su vivienda?
- Fría
 - Confortable / equilibrada
 - Calurosa
- 2) _____ En época de frío (otoño – invierno), ¿Cómo perciben el interior de su vivienda?
- Fría
 - Confortable / equilibrada
 - Calurosa

**Tabla II.2** Análisis estadístico para la demanda de energía eléctrica

Orientación	Media general de las muestras	Media individual	Desviación estándar	Prueba <i>t-Student</i>
Noreste	4,204.2	4,120.7	943.1	(a)
Noroeste		4375.9	589.8	(a)
Sureste		3992.5	445.5	(a)
Suroeste		4327.9	566.2	(a)

Tabla II.3 Análisis estadístico para la demanda de gas L.P.

Orientación	Media general de las muestras	Media individual	Desviación estándar	Prueba <i>t-Student</i>
Noreste	8,986.2	9,905.6	3,699.5	(a)
Noroeste		9,431.1	5,539.2	(a)
Sureste		8,600.7	1,683.5	(a)
Suroeste		8,007.5	2,001.7	(a)

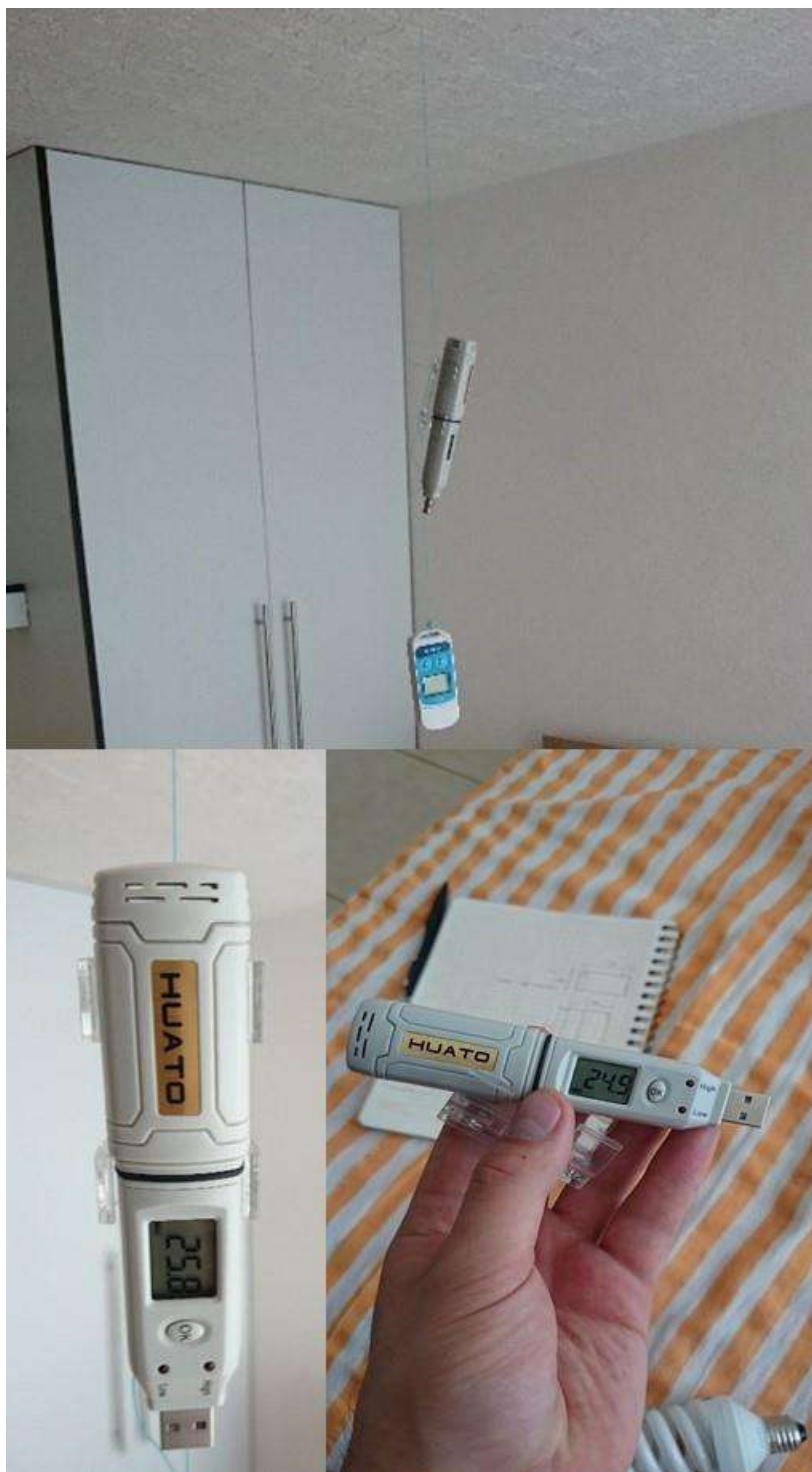


Figura II.1 Equipos Data Logger utilizados en la VIS estudiada



ANEXO III

CÁLCULO DE RESISTENCIA TÉRMICA, TRANSMITANCIA TÉRMICA Y PÉRDIDAS Y GANANCIAS DE CALOR EN LA VIVIENDA

**Tabla III.1** Elementos que componen a la envolvente de la vivienda estudiada.

Material	Espesor (m)	Conductividad (λ)
MUROS		
Aplanado de mortero (cemento – arena) al exterior	0.015	0.63
Tabicón	0.14	1.18
Requemado de yeso al interior	0.005	0.40
Aplanado fino con pasta	0.002	0.872
LOSA DE ENTREPISO		
Loseta de cerámica	0.01	1.00
Pegapiso	0.01	1.40
Losa de vigueta y bovedilla	0.15	1.60
Aplanado de yeso	0.015	0.40
Aplanado fino con pasta	0.002	0.872
LOSA DE AZOTEA		
Impermeabilizante en rollo	0.008	0.17
Losa de concreto armado	0.10	2.00
Requemado de yeso	0.005	0.40
Aplanado fino con pasta	0.002	0.872

Tabla III.2 Resistencia térmica por capa de material en muros.

Material	Espesor e (m)	Conductividad térmica λ (W/K-m ²)	Resistencia térmica R (K-m ² /W)
Mortero	0.015	0.170	0.0882
Tabicón	0.14	0.814	0.172
Yeso	0.005	0.372	0.0134
Pasta / textura	0.002	0.698	0.0029
Resistencia capa exterior (1/he)	---	---	0.0769
Resistencia capa interior (1/hi)	---	---	0.1235
R_T			0.477

**Tabla III.3** Resistencia térmica por capa de material en losa de entrepiso

Material	Espesor e (m)	Conductividad térmica λ (W/K-m ²)	Resistencia térmica R (K-m ² /W)
Piso / loseta de cerámica	0.01	1.3	0.0077
Pegapiso / pegazulejo	0.01	0.14	0.0714
Losa de entrepiso	0.15	1.1	0.1364
Yeso	0.015	0.372	0.0403
Pasta / textura	0.002	0.698	0.0029
Resistencia capa exterior (1/he)	---	---	0.1060
Resistencia capa interior (1/hi)	---	---	0.1060
R_T			0.471

Tabla III.4 Resistencia térmica por capa de material en losa de azotea

Material	Espesor e (m)	Conductividad térmica λ (W/K-m ²)	Resistencia térmica R (K-m ² /W)
Impermeabilizante (en rollo)	0.008	0.170	0.0471
Losa de azotea (concreto)	0.10	2.000	0.0500
Yeso	0.005	0.372	0.0134
Pasta / textura	0.002	0.698	0.0029
Resistencia capa exterior (1/he)	---	---	0.0769
Resistencia capa interior (1/hi)	---	---	0.1520
R_T			0.342

**Tabla III.5** Materiales aislantes más comunes en México

Imagen	Nombre	Conductividad térmica (W/m-K)	Espesor (m)	Resistencias térmicas (m ² -K/W)
	Fibra de vidrio	0.032	0.01	0.31
	Lana de roca	0.035	0.01	0.29
	Poliestireno extruido	0.029	0.01	0.34
	Algodón	0.029	0.01	0.34
	Cáñamo	0.037	0.01	0.27
	Celulosa	0.034	0.01	0.29
	Corcho	0.034	0.01	0.29
	Fibra de coco	0.043	0.02	0.47
	Viruta de madera	0.038	0.01	0.26

Fuente: NMX- -C-460-ONNCCE-2009

(Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C)

**Tabla III.6** Tasas de calor metabólico excedente de un individuo.

Actividad	Wh/m ² piel	Wh/hombre	Wh/mujer	Wh/niño (a)
Dormir	40	72	61	54
Acostado (despierto)	45	81	69	61
Sentado en reposo	60	108	92	81
Sentado con actividad ligera	64	115	98	86
De pie con actividad ligera	78	140	119	105
Cocinando	100	180	153	135
Caminar	110	198	168	149
Lavar platos	145	261	222	196
Limpieza doméstica	150	270	230	203
Planchar	170	306	260	230
Conversiones		- 1 met = 1 m ² de piel - 1 m ² de piel = 58 W - Hombre = 1.83 m ² de piel - Mujer = 1.53 m ² de piel - Menor = 1.35 m ² de piel		

Fuente: Norma UNE-EN ISO 7730-2006

Tabla III.7 Tasas metabólicas de los habitantes de la vivienda estudiada

Género del habitante	Tasa metabólica en Planta Baja (kWh)	Tasa metabólica en Recámara Principal (kWh)	Tasa metabólica en Recámara 2 (kWh)	Tasa metabólica TOTAL (kWh/persona)
Hombre	0.032	0.032	No aplica	0.064
Mujer	0.038	0.035	0.002	0.075
Niño	0.018	No aplica	0.023	0.041
Niña	0.018	No aplica	0.023	0.041
TOTAL	0.106	0.067	0.048	0.221

**Tabla III.8** Renovaciones de aire en diferentes instalaciones

Tipo de local	Nº. Renovaciones de aire por hora
WC, inodoros	Privados: 4 - 5; públicos: 8 - 15
Aseos y baños	5 a 7
Duchas	15 a 25
Bibliotecas	4 a 5
Oficinas	4 a 8
Tintorerías	5 a 15
Armarios roperos	4 a 6
Restaurantes y casinos	8 a 12
Industrias de Fundiciones	8 a 15
Auditorios	6 a 8
Salas de cines y de teatros	5 a 8
Aulas	5 a 7
Salas de conferencias	6 a 8
Cocinas	Privadas: 15 a 25; Colectivas: 15 a 30
Laboratorios	8 a 15
Cuartos de máquinas	10 a 40
Talleres de montaje	4 a 8
Talleres de soldadura	20 a 30
Piscinas cubiertas	3 a 4
Despachos de reuniones	6 a 8
Vestuarios	6 a 8
Gimnasios	4 a 6
Tiendas y comercios	4 a 8
Salas de reuniones	5 a 10
Salas de espera	4 a 6
Lavanderías	10 a 20
Talleres	3 a 20
Habitaciones (hoteles...)	3 a 8
Iglesias modernas (techos bajos)	1 a 2
Oficinas de bancos	3 a 4
Cantinas (de industrias, militares)	4 a 6
Hospitales	5 a 6
Fábricas en general	5 a 10
Discotecas	10 a 12
Cafés	10 a 12
Restaurantes de comida rápida	15 a 18
Obradores de panadería	25 a 35

FUENTE: Norma internacional DIN-1946



ANEXO IV

CAPACIDADES ENERGÉTICAS DE AIRES ACONDICIONADOS, PRECIOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y GAS L.P. EN MÉXICO

**Tabla IV.1** Capacidad de refrigeración de equipos de aire acondicionado.

Capacidad del equipo (BTU)	Consumo de energía (kWh)
6000 - 7999	1.76
8000 - 9999	2.34
10000 - 11999	2.93
12000 - 13999	3.52
14000 - 17999	4.10
18000 - 23999	5.27
24000 - 35999	7.03
36000 o más	10.55

Nota: Las capacidades mostradas en ésta tabla pueden variar según el número de ventanas y su orientación, número de personas en la habitación, materiales de construcción y la ubicación del área a refrigerar (principalmente si es la cocina).

Tabla IV.2 Precio por kWh y cilindro de gas L.P. en Morelia, Mich.

Tipo	Consumo	Precio (M.N.)
BÁSICO	Hasta 150 kWh	\$ 0.809/kWh [1]
INTERMEDIO	De 151-280 kWh	\$ 0.976/kWh [1]
EXCEDENTE	De 281 kWh en adelante	\$ 2.859/kWh [1]
LT GAS L.P.	Cilindro (30 kg)	\$ 442.20/cilindro [2]

[1] Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2016); [2] Gas del lago® (2016)
Precios vigentes a marzo 2016.



ANEXO V

IMÁGENES ARQUITECTÓNICAS DE LA VIS ANALIZADA APLICANDO LAS ESTRATEGIAS PROPUESTAS



Figura V.1 Situación actual de las VIS



Figura V.2 Uso de paneles fotovoltaicos en las VIS (orientación sur)

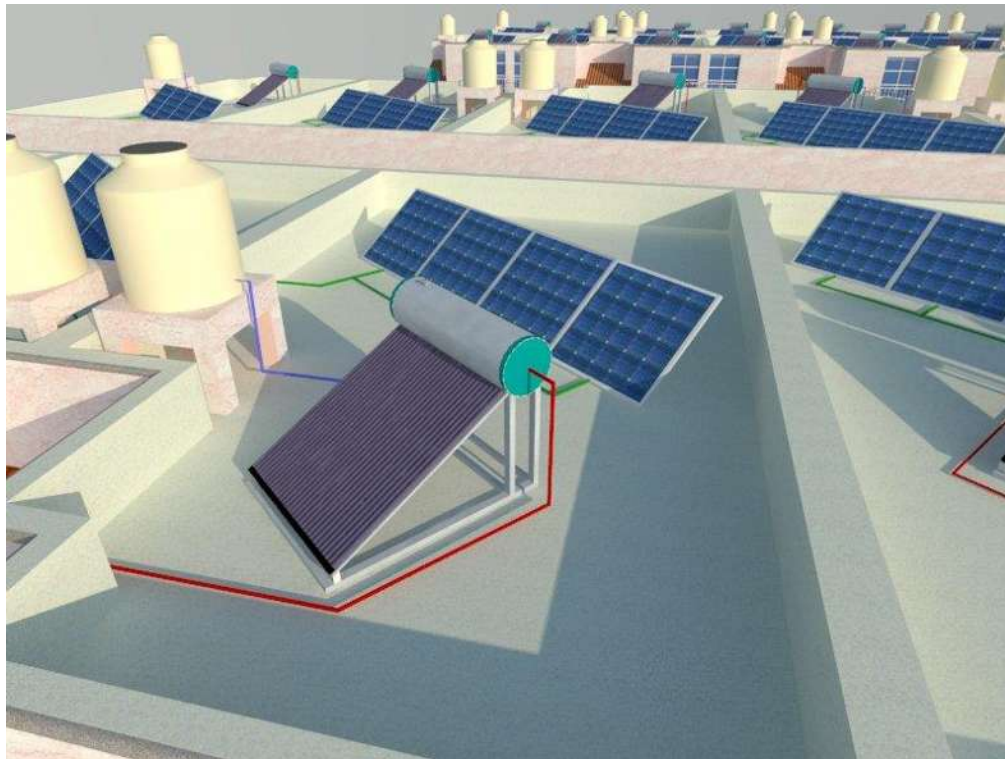


Figura V.3 Uso de calentador solar en las VIS (orientación sur)

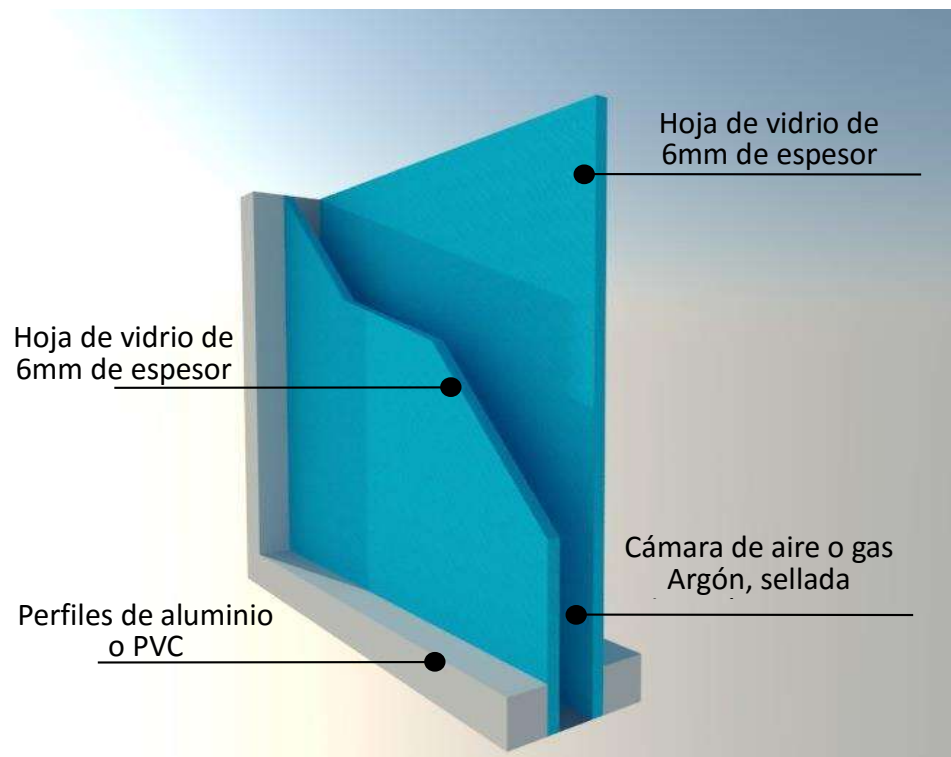


Figura V.4 Uso de ventanas con vidrio doble en las VIS



Figura V.5 Uso de dispositivos de regulación solar en ventanas (*Louvers*)



Figura V.6 Uso de dispositivos de regulación solar en ventanas (*Aleros*)



Figura V.7 Uso de dispositivos de regulación solar en ventanas (*Partesoles*)



Figura V.8 Uso de dispositivos de regulación solar en ventanas (*árboles hoja caduca*)