

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil y Minas

Maestría en Ingeniería Urbana



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**

Trabajo escrito

Análisis del gasto energético y retorno de la inversión al utilizar materiales aislantes en una vivienda media en la ciudad de Hermosillo, Sonora.

Que para obtener el Grado de Maestría en Ingeniería Urbana

Línea terminal Construcción

Presenta

Alejandra Samaniego Montaña

Directora de Tesis

Dra. Ana Cecilia Borbón Almada

Hermosillo, Sonora.

Septiembre 2022

Repositorio Institucional UNISON



**“El saber de mis hijos
hará mi grandeza”**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

RESUMEN

La ciudad de Hermosillo, Sonora (o en México) se caracteriza por la gran cantidad de incidencia solar que recibe durante todo el año, siendo esto una causa para que se utilice mayormente sistemas de climatización en las viviendas, siendo el aire acondicionado, el más común, sin embargo, aporta consecuencias importantes en el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, aunado a los aumentos en el gasto eléctrico de los usuarios. En este trabajo se especifican las condiciones climatológicas del sitio de estudio de la vivienda, se realizó una encuesta a los arquitectos agremiados del Colegio de Arquitectos de la Ciudad de Hermosillo, para describir los materiales más utilizados en las construcciones de vivienda media, donde destaca, en muro, el bloque común y losa de vigueta y casetón. Se diseñó una tipología para caso de estudio de vivienda media de 102 m² de construcción, se mencionan sus características físicas de la envolvente, considerando puertas y ventanas. De acuerdo con los materiales resultados de la encuesta, se investiga las propiedades de conductividad térmica de los materiales de proveedores locales para el análisis energético de las viviendas.

Se realizaron simulaciones energéticas en una vivienda con clasificación media, comparando una vivienda tradicional a base de bloque hueco de concreto en muro y losa a base de vigueta y casetón, y la misma vivienda, pero con 5 mejoras, a través de materiales con propiedades aislantes en muros como el ladrillo recocido, ladrillo térmico, bloque térmico y aplicación de placa de poliestireno de 1” en losa, se analizó el comportamiento costo-beneficio en cuanto al ahorro energético y el periodo de recuperación de la inversión por la diferencia en la utilización de los materiales con propiedades aislantes en las viviendas. Los resultados en las demandas específicas por el uso de refrigeración, se obtuvo la mayor demanda en la vivienda de bloque de concreto hueco y losa de vigueta y casetón, un valor de 15,469.48 kWh anual, comparado con 9,679.19 kWh anual de la vivienda de bloque térmico en muro y losa con vigueta y casetón con aislamiento de placa de poliestireno de 1”, lo que representa también el mayor ahorro energético con el 24%, y un retorno de inversión inicial adicional por la mejora en el material de la envolvente en 4.34 años.

Palabras clave: Ahorro energético. Vivienda. Materiales aislantes.

ABSTRACT

Hermosillo, Sonora, México is well known for the high amount of solar incidence that it receives through the year, causing air conditioning systems to be frequently used and making it the most common high energy consuming systems used in housing. It has important consequences on the increase of greenhouse gas emissions and the increase of cost in electricity. The climate conditions of the study site, a survey that was carried amongst the architects of *Colegio de Arquitectos de la ciudad de Hermosillo*, to describe the common materials used in construction of middle-class housing, where the materials for walls and roofs most frequently used are concrete block and concrete beams. A typology of a house of 102m² of construction was designed, the physical characteristics of the envelope were described, considering doors and windows. According to the results of the survey materials, the thermal conductivity properties of materials from local suppliers were investigated for the energy analysis of dwellings.

Energetic simulations were realized on a house classified as a middle class comparing it with a base house that uses concrete block on walls and concrete beams on roof at the same time 5 different materials with thermic properties were compared in this study being: *ladrillo recocido*, *ladrillo térmico*, *bloque térmico*, and *aplicación of placa de poliestireno de 1"* on the roof, the benefit-cost factor was analyzed on how much energy savings and the invest return is by using different materials considering their thermic properties on housing. The results on specific demands because of air conditioning for cooling the inside of these houses, also the most demanding house built using the compared materials in this case the one with concrete blocks and concrete beams which demands a 15,469.8 kWh annually compared to a thermic block with a demand of 9,679.19 kWh annually, representing a gain of 24% and a invest return additionally for using insulation in the exterior envelope in 4.34 years.

Keywords: Energy savings, housing, insulated construction materials.

Key words: Energy saving. Home. Insulating materials.

DEDICATORIAS

A mis padres quienes a lo largo de mi vida me apoyaron en todo momento, por su amor, motivación y valores, me acompañaron en esta etapa de inicio a fin, darme las pautas para poder realizarme en mis estudios y en la vida, todo mi amor incondicional.

A mi esposo Juan Pablo, mi compañero de vida, por su apoyo, su amor, su paciencia y motivación de ser mejor persona, una meta más que logramos juntos.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo para el desarrollo de esta investigación, de ser parte de la formación profesional en búsqueda de la excelencia.

A mi directora de tesis la Dra. Ana Cecilia Borbón Almada, por guiarme en esta investigación, su dedicación y apoyo en todo momento para cumplir con los objetivos de este programa, ampliar mis conocimientos y habilidades que me llevaron a desarrollar ampliamente esta investigación, mi admiración y respeto.

A mis sinodales la Dra. Gema Ibarra Torua, el Dr. Marco Antonio Ramos Corella y al Dr. José Refugio Silvestre Ortiz por compartir sus conocimientos y guiar esta investigación en todo el proceso, su motivación y acompañamiento durante estos dos años, mi admiración y respeto.

ÍNDICE

	<u>página</u>
1. Introducción	9
1.1 Introducción General	9
Justificación	10
1.2 Objetivo general	12
1.3 Objetivos Específicos	12
2. Revisión Bibliográfica	13
3. Marco Teórico	17
3.1 Aspectos relacionados con el cambio climático	17
3.2 Consumo de energía eléctrica en viviendas, para la república mexicana.	18
3.3 Aislamiento térmico en vivienda y clima	21
3.4 Normatividad de eficiencia energética en México para vivienda.	24
3.5 Clasificación de la vivienda y su evaluación energética	25
3.6 Análisis económico	32
3.7 Costos y clasificación de tarifas eléctricas en México	33
4. Metodología	35
4.1 Etapa I Descripción del sitio de estudio	35
4.1.1 Materiales en la envolvente para su estudio en viviendas de Hermosillo	36
4.1.2 Características de la tipología de caso de estudio.	40
4.2 Etapa II. Simulación térmica	48
4.2.1 Captura de datos generales	48
4.2.2 Captura de superficies de la vivienda.	49
4.2.3 Captura de valores U	49
4.2.4 Propuestas de diseños de mejoras y simulaciones energéticas	51
4.3 Etapa III. Análisis económico	55
4.3.2 Análisis de costos constructivos de la vivienda	57
4.3.3 Cálculo de periodo de recuperación de inversión inicial	59
4.3.4 Resultado ahorro de energía y emisiones de CO₂.	61
5. Resultados y discusión	62
6. Conclusiones y recomendaciones	66
6.1 Conclusiones	66
6.2 Recomendaciones	68

Referencias	69
--------------------------	----

ÍNDICE IMÁGENES

	<u>página</u>
Figura 1 Concentración de Co2 partes por millón a través de los años	10
Figura 2 Los 20 países que más dióxido de carbono emitieron en el 2017. Millones de toneladas métricas provenientes de carburantes	17
Figura 3 Participación de usuarios por sector	18
Figura 4 Consumo final de energía por sector	18
Figura 5 Porcentaje de uso de Equipos de aire acondicionado en México	19
Figura 6 Equipos de aire acondicionado en viviendas particulares.	20
Figura 7 Mapa climático de México	21
Figura 8 Distribución porcentual de viviendas habitadas por condición de algún tipo de aislamiento térmico en vivienda por regiones climáticas	22
Figura 9 Distribución porcentual de viviendas habitadas en la región cálida extrema, por tipo de aislamiento.	22
Figura 10 Clima Hermosillo	35
Figura 11 Principales Actividades laborales. Encuesta envolvente de vivienda.....	36
Figura 12 Proyectos que más elaboran o construyen.....	36
Figura 13 Nivel de vivienda que diseña o construye frecuentemente.....	37
Figura 14 Materiales constructivos que más se utilizan en la envolvente de la vivienda.	37
Figura 15 Razones por que se utilizan los materiales constructivos en la envolvente de la vivienda.	38
Figura 16 Utilización de material térmico adicional en la vivienda	38
Figura 17 Material térmico adicional.....	38
Figura 18 Sistema constructivo en losa.....	39
Figura 19 Uso de material térmico en losa de azotea.....	39
Figura 20 Material térmico en losa de azotea	39
Figura 21 Sembrado de vivienda en lote. Orientación de vivienda respecto al norte	40
Figura 22 Planta arquitectónica de diseño de tipología de vivienda media	41
Figura 23 Fachada sur	42
Figura 24 Cancelería y Puerta principal de fachada sur.....	43
Figura 25 Fachada norte.....	44
Figura 26 Cancelerías en fachada norte	44
Figura 27 Fachada orientación este.....	45
Figura 28 Cancelería y puerta en muro con orientación Este.	45
Figura 29 Fachada Oeste.....	46
Figura 30 Sistema constructivo de losa de azotea de diseño de vivienda.	46
Figura 31 Datos generales de vivienda base unifamiliar 1 nivel. Software Sisevive ecocasa	48
Figura 32 Características de la superficie. Software Sisevive ecocasa.	49
Figura 33 Valor U muro de bloque. Software sisevive ecocasa.....	50
Figura 34 Valor U losa de vigueta y casetón. Software sisevive ecocasa.....	50
Figura 35 Valor U ventanas y marcos. Software sisevive ecocasa.	51

Figura 36 Demanda específica de refrigeración. Simulación base	52
Figura 37 Demanda específica de refrigeración simulación 1.	53
Figura 38 Demanda específica de refrigeración. Simulación 2.	53
Figura 39 Demanda específica de refrigeración. Simulación 3.	54
Figura 40 Demanda específica de refrigeración. Simulación 4.	54
Figura 41 Demanda específica de refrigeración. Simulación 5.	55
Figura 42 Costo paramétrico de construcción.....	57
Figura 43 Diferencia de costo energético de las simulaciones de vivienda.	59
Figura 44 Comparativas en demandas de refrigeración mensual.....	62
Figura 45 Comparativa de demanda de refrigeración anual de viviendas	63
Figura 46 Diferencia del gasto eléctrico anual por vivienda.....	64
Figura 47 Diferencia económica por mejoras en sistemas constructivos y ahorro energético en las viviendas	65
Figura 48 Comparativo retorno de inversión por utilización de materiales aislantes.	65

ÍNDICE DE TABLAS

	<u>página</u>
Tabla 1 Componentes y clasificación de la envolvente de un edificio para uso habitacional	24
Tabla 2 Clasificación de la vivienda por precio promedio.	25
Tabla 3 Tipología de Vivienda	26
Tabla 4 Esquema de tarifas domésticas CFE.....	33
Tabla 5 Tarifa 1F temporada fuera de verano.....	34
Tabla 6 Tarifa 1F temporada de verano	34
Tabla 7 Características envolvente de fachada sur. Vivienda base.....	42
Tabla 8 Características envolvente de la fachada norte. Vivienda base.....	43
Tabla 9 Características envolvente en muros en fachada este. Vivienda base.....	44
Tabla 10 Características envolvente muros, puertas y ventanas orientación oeste. Vivienda base.	45
Tabla 11 Características envolvente losa. Vivienda base.	46
Tabla 12 Características y propiedades térmicas de los materiales para la envolvente de la vivienda base y mejorada.....	47
Tabla 13 - Sistemas constructivos propuestos para la mejora de la vivienda.	52
Tabla 14 kWh y gasto eléctrico anual de vivienda base	56
Tabla 15 Gasto eléctrico anual de viviendas.....	57
Tabla 16 Precios Unitarios de sistemas constructivos base y mejoradas	58
Tabla 17 Diferencia de costo de las mejoras y la vivienda base.	58
Tabla 18 Periodo de recuperación de la inversión inicial por utilización de sistemas aislantes en vivienda.	60
Tabla 19 Ahorro de energía y emisiones de CO ₂ al año	61
Tabla 20 Resultados demanda de refrigeración, costo de inversión adicional y tiempo de recuperación de la inversión inicial.....	67

1. Introducción

1.1 Introducción General

Desde la antigüedad el hombre ha procurado la construcción de una morada confortable; a través del tiempo las edificaciones han sufrido múltiples transformaciones, en diversos aspectos como resistencia, funcionalidad y belleza; al pasar el tiempo diferentes estilos en arquitectura han modificado los materiales y sistemas constructivos, motivo por el cual la arquitectura se ha materializado según diferentes estilos a lo largo de la historia: gótico, barroco, neoclásico, entre otros. También puede agruparse por algún estilo o característica homogénea que reflejan valores o necesidades sociales, independientemente de la tipología que se construyó (casas, hoteles, iglesias, etc.) (Licón, 2007).

Los constructores de la antigüedad, sin saberlo, adaptaban soluciones bioclimáticas, es decir, soluciones que permitían un buen control de la temperatura, ante esto mencionan a la arquitectura vernácula que nace de la relación hombre – entorno, reflejando directamente la manera de habitar, haciendo una conexión de factores determinantes como el clima y los materiales existentes en la zona, resultando de una transformación, en la que el suelo proporciona la materia y el hombre la actividad transformadora. Esta arquitectura autóctona, además de presentar una gran adaptación al medio, construye paisajes, evoca memorias y representa culturas. Sus sistemas constructivos obedecen al entorno y a las condiciones climáticas. Esta arquitectura desarrolló la primera adecuación entre el clima, las necesidades humanas y la construcción sostenible, y aunque históricamente cambiaban los conocimientos y técnicas constructivas, no se perdía la esencia íntimamente vinculada al clima. Es una interpretación de los efectos del clima sobre el hombre, teniendo diferentes adaptaciones en las diferentes regiones de nuestro país, enfrentándose a distintos climas como son, clima cálido seco, cálido - húmedo, templado, frío, o presenten grandes desafíos como lo son las fuertes y abundantes precipitaciones (Padilla, 2015).

Si no se conoce el clima del lugar y se acepta como parte fundamental en los proyectos, difícilmente se proyecta la arquitectura y construcción de forma ejemplar, ya que no se diseña correctamente la envolvente que funge como primer contacto de protección contra el exterior. Tomando en cuenta las principales variables del clima como lo son: la radiación solar, la temperatura, el viento y la humedad, además de otros factores propios del medio como son: latitud, duración de las estaciones de la región donde se habita, se reconoce que impactan directamente a la eficiencia energética de la vivienda.

Si se conocen las características climáticas de la ciudad de Hermosillo, Sonora se pretende analizar la envolvente de una vivienda en relación con sus materiales constructivos y el gasto energético principalmente por la utilización de equipos de climatización artificial, proponiendo mejoras por medio de materiales aislantes y analizar el comportamiento de costo – beneficio en cuanto al ahorro energético que se puede obtener, así como estudiar la diferencia de costos que estos generan y en cuanto tiempo se puede recuperar la inversión, en espera de obtener el beneficio de ahorro económico – energético y a su vez que contribuya a reducir el daño al medio ambiente.

Justificación

Según información científica reciente, de 1750 a la fecha la concentración de gas invernadero en la atmosfera ha aumentado en su mayor parte como resultado de la actividad humana como lo es la quema de combustibles fósiles, carbón, petróleo, gas, y la deforestación, entre otras actividades. Cabe destacar que la temperatura superficial de la tierra fue más alta durante el siglo XX que en cualquier otro de los últimos mil años. Así como las emisiones anuales promedio de CO₂, por quema de combustibles fósiles y cambios de uso de suelo en la década de los 90 fueron de alrededor 7500 millones de toneladas de carbono (MtC), y se espera que para el 2100 sean de entre 5 mil y 35 mil MtC. No obstante, como consecuencia del incremento de los niveles de concentración atmosférica de CO₂ y otros gases de efecto invernadero, se espera que la temperatura media superficial a nivel global aumente entre 1.4 y 5.8° C de 1990 al 2100. Dicho incremento en la temperatura es entre dos y 10 veces superior al observado en los últimos 100 años (0.6° C), y además, no tiene precedente en los mil años anteriores y se pronostica que ocurrirá a un ritmo significativamente más rápido que los cambios observados en los últimos 10 mil años (Estrada Porrúa, 2001).

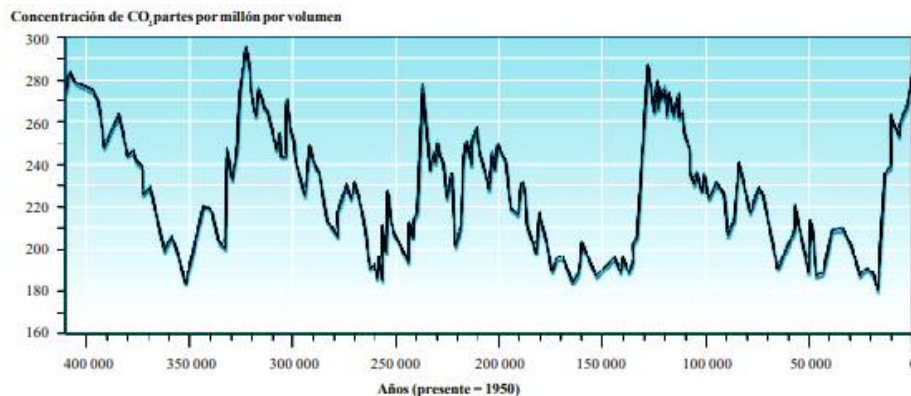


Figura 1 Concentración de Co2 partes por millón a través de los años (Estrada, Porrúa, 2001).

Desde el inicio de la era industrial, el consumo de energía proveniente de los combustibles fósiles – carbón, petróleo y gas natural ha ido en aumento. Esta quema es la responsable de la producción de los gases de efecto invernadero, causantes del calentamiento global. (Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud, 2021).

La capital del estado de Sonora se convirtió en el lugar más caliente de la tierra (Forbes, 2019) al registrar una temperatura de 48°C, colocado por encima de lugares como el desierto del Sahara, Irán, La India y Libia. El récord anterior en la capital se registró el 11 de junio de 1993 cuando el termómetro marcó 45.1°C.

Los climatizadores consumen mucha energía eléctrica, lo que emite más CO₂ a la atmósfera y agrava el calentamiento global. Además, las emisiones de gases de efecto invernadero que liberan las plantas de carbón y gas natural al momento de generar electricidad para el funcionamiento de

esos aires acondicionados casi se duplicaría: de 1250 millones de toneladas en 2016 a 2280 millones de toneladas en 2050 en el mundo. Esas emisiones contribuirían al calentamiento global (Pierre-Louis, 2018).

Hermosillo forma parte de los municipios que cuentan con subsidio de electricidad en los meses más calurosos del año, que comprenden aproximadamente del 1 de mayo al 31 de octubre, aplicando dicho apoyo en las facturaciones del servicio de suministro eléctrico, que aumenta principalmente para buscar el confort térmico por las altas temperaturas que registra la capital. Esta investigación tiene como finalidad analizar la conveniencia de los hermosillenses al utilizar sistemas constructivos con aislante térmico para contrarrestar estos gastos en el uso de energías, si bien la inversión inicial para la aplicación de estos sistemas llega a ser un poco más elevada a los sistemas convencionales, se realizará el análisis del retorno de inversión por la utilización de aislantes en un periodo de tiempo determinado.

1.2 Objetivo general

Determinar el gasto energético y retorno de la inversión por la utilización de material aislante para una vivienda media ubicada en Hermosillo, Sonora.

1.3 Objetivos Específicos

- Diseñar la tipología de vivienda a analizar (caso de estudio).
- Determinar los sistemas constructivos en la envolvente de la vivienda a estudiar por medio de la aplicación de una encuesta.
- Realizar la comparativa en relación al gasto energético por sus características constructivas en la envolvente, mediante una simulación de las viviendas, utilizando el sistema Sisevive Ecocasa de Infonavit (DEEVi versión 1.0).
- Generar un análisis del retorno de inversión por la utilización de un sistema constructivo con aislamiento térmico.

2. Revisión Bibliográfica

A continuación, se presenta una revisión bibliográfica de trabajos investigados, que tratan temáticas similares a las de este estudio, con la intención de reforzar el estado del arte con las últimas investigaciones realizadas en el tema, para enriquecer los contenidos y discusiones de esta investigación y poner en perspectiva los resultados de este estudio.

En un estudio realizado por Silvana Angiolini, *et al.* (2007), de la comparación del gasto energético para acondicionamiento térmico en vivienda social en Córdoba, España, siendo una ciudad con temperaturas máximas medias que superan los 30°C y mínimas de 17°C, temperatura máxima extrema de 39°C en noviembre, compararon dos viviendas con diferente sistema constructivo en la envolvente, la primera una construcción construida hace 80 años, con muros laterales a base de ladrillo común de 0.30 m de espesor con acabado grueso y fino, espesor final de 0.34 m, una cubierta a base de ladrillo, relleno de pendiente, bovedilla con aislamiento y plafón en el interior, comparada con una vivienda de interés social a base de muro de bloque, con acabados de mortero con un espesor total de 0.19 m, y una cubierta de concreto armado de 0.04 m de espesor, nervios perimetrales y centrales de 0.12 m, sobre la losa se colocó membrana asfáltica de 4 mm. Con base a estas especificaciones se realizaron simulaciones con base al análisis térmico, riesgo de condensación, coeficiente volumétrico de pérdida de calor y carga térmica anual, para al final obtener el consumo de energía que se produce por estas características constructivas en estos dos casos, se obtuvieron los siguientes resultados:

De los estudios realizados para ambos sistemas constructivos, separados en el tiempo por un período de 80 años, en el cuál hubo grandes cambios en los materiales, en las técnicas, y en las exigencias de confort, se pueden establecer las siguientes conclusiones: Con relación a la envolvente: se modifican los materiales, espesores y capas que conforman la envolvente exterior. Con base a la envolvente lateral se deja de utilizar el mampuesto de ladrillo, por bloque común hueco a base de cemento, más económico y rápido en la ejecución, pero con mal comportamiento térmico. En cuanto a los espesores se pasa de una envolvente de 0.34 m de espesor final con revoques, a una de 0.19 m, sin revoques ni aislaciones, lo que significa una reducción del espesor de un 40 %, y la envolvente de estar conformada por cinco capas de diferentes materiales donde cada uno aporta a la mejora de su comportamiento, a una única capa de material y con puente térmico, dando como resultado final una envolvente no apta para ser utilizada en Córdoba. Según investigaciones realizadas con block y agregados de un material aislante térmico convencional de conductividad térmica media (poliestireno expandido), se logra una baja conductividad térmica, confort, y ahorro energético. Con base a los resultados de consumo de energía la opción del sistema de block común obtuvo un incremento del 31% con relación al consumo de energía eléctrica anual que el análisis del caso con la envolvente con 0.34 m de espesor a base de mampostería de ladrillo.

De acuerdo a R. García-Alvarado, (2014), los procedimientos de cálculo energético de las edificaciones emergieron a partir de la crisis del petróleo en los años 70, y en las últimas décadas se han implementado en sistemas computacionales. En la actualidad se dispone de una amplia variedad de sistemas de simulación energética, el departamento de Energía de los Estados Unidos

mantiene desde 1996 un directorio de herramientas computacionales, entre ellas versiones gratuitas, validadas por las normas ISO 13790:2008-09. Recientemente proveedores de software para diseño arquitectónico han elaborado y adquirido programas de análisis energético como Eco designer, para facilitar la vinculación conjunta al proyecto que se esté elaborando. No obstante, a ello han surgido servicios de internet, que ofrecen análisis del comportamiento energético de edificios como el *Green Building Studio* de Autodesk, pero estos no explican condiciones del tipo de construcción y localización

(García-Alvarado *et al.*, 2014), menciona que los sistemas de simulación energética de edificios permiten analizar la calidad y demanda ambiental de las construcciones, constituyen en general programas informáticos, en los cuales se deben indicar una variedad de características de los edificios, se calculan internamente sus transferencias térmicas, obteniendo resultados específicos, la información que se debe de proveer son en base a condiciones climáticas del lugar, forma de los recintos, vanos y entorno del edificio, materiales de la envolvente, etc. En base a esta información se efectúan procesamientos matemáticos que indican las condiciones ambientales interiores como la humedad, temperatura, calidad de aire, emisiones de CO₂, así como las demandas energéticas por periodos, en algunos casos se expresan también características de radiación solar, iluminación natural, conducciones térmicas, circulación de aire, ciclo de vida de materiales o certificación ambiental. Como resultado se comparan y evalúan condiciones constructivas y se presentan sus características.

(Delacoste, *et al.* 2015) presentan un análisis económico – energético de una vivienda tipo con el objetivo de evaluar diferentes alternativas de materiales para la construcción de los muros. Se pone énfasis en analizar las ventajas que presentan los ladrillos de suelo-cemento en relación con la eficiencia térmica en el confort habitacional. El análisis se realizó con los balances térmicos de la vivienda calculados mediante un software. Las investigaciones se complementan con mediciones en laboratorio del coeficiente de conductividad térmica de distintos materiales usados en la ingeniería de la construcción. Los resultados obtenidos indican que la construcción de muros utilizando ladrillos de suelo-cemento compactado es una solución económica, de simple ejecución en obra y energéticamente eficiente (20% en comparación con los bloques cerámicos) para la construcción de viviendas en la ciudad de Córdoba, Argentina

(F. Rizzarello, 2018) mencionan una visión detallada de los factores que afectan la vida útil de las viviendas en términos de demanda energética y confort térmico. Analizaron una vivienda social tipo entregada por el Instituto Provincial de Vivienda en la ciudad de Salta y detectaron las problemáticas que afectan su comportamiento térmico con vistas a encontrar soluciones económicamente sostenibles para reducir el gasto energético. El análisis se realizó a través del software SIMEDIF, que analiza el comportamiento dinámico del edificio y de sus componentes permitiendo estimar el nivel de confort esperado. Teniendo como resultado de la investigación que el aislante exterior resulta ser la estrategia más eficiente, aunque se destaque la importancia de otros factores como la tecnología constructiva, las infiltraciones, la orientación y el color.

(Borbon-Almada *et al.*, 2019) mencionan que el sector de la edificación se considera un área clave para el desarrollo sostenible, debido al potencial de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en las numerosas actividades económicas que implica este sector. Se fabricó y evaluó un compuesto cementoso liviano de bajo costo que consiste en un mortero de perlita. La conductividad térmica y la capacidad calorífica del compuesto propuesto se probaron en el laboratorio. El compuesto liviano se integró en una casa prototípica y su rendimiento térmico se probó en dos climas áridos diferentes durante un año meteorológico típico. Se llevó a cabo un análisis técnico-económico de esta integración, que mostró que la integración del sistema liviano podría reducir la demanda de energía hasta en un 10,3% debido a la disminución del uso de los sistemas de calefacción y refrigeración. Las emisiones de CO₂ asociadas al uso de electricidad y gas en los sistemas de refrigeración y calefacción podrían reducirse hasta un 10,9%.

(Yu *et al.*, 2009) mencionan que el empleo del aislamiento térmico es una de las formas más efectivas de conservar la energía de los edificios para refrigeración y calefacción. Por lo tanto, la selección de un material de aislamiento adecuado y la determinación del espesor de aislamiento óptimo son particularmente vitales. seleccionaron cuatro ciudades típicas de Shanghái, Changsha, Shaoguan y Chengdu para representar las subzonas A, B, C y D de la zona de verano caluroso e invierno frío en China, respectivamente. Los espesores óptimos de cinco materiales de aislamiento, incluidos el poliestireno expandido, el poliestireno extruido, el poliuretano espumado, la perlita y el cloruro de polivinilo espumado, se calculan con un muro residencial típico mediante el análisis de grados-día de calefacción y refrigeración por aire solar y el modelo económico P1-P2; y luego, los costos totales del ciclo de vida, los ahorros del ciclo de vida y los períodos de recuperación se calculan en función del análisis del costo del ciclo de vida. Teniendo en cuenta diferentes orientaciones, colores de superficie, materiales de aislamiento y climas, los espesores óptimos de los cinco aislamientos varían de 0,053 a 0,236 y los períodos de recuperación varían de 1,9 a 4,7 años durante una vida útil de 20 años. Los ahorros máximos del ciclo de vida son 54,4 \$/m² en Shanghái, 54,8 \$/m² en Changsha y 41,5 \$/m² en Shaoguan (con una pared noreste de color intenso) y 39,0 \$/m² en Chengdu (con una pared noroeste de color claro). Finalmente, se desarrolla un enfoque para analizar la eficiencia económica de los materiales de aislamiento, el resultado muestra que el poliestireno expandido es el material de aislamiento más económico de los cinco debido al ahorro de ciclo de vida más alto y el período de recuperación más bajo

(Borbon-Almada *et al.*, 2020) mencionan que el comportamiento térmico de viviendas económicas ubicadas en climas cálidos sigue siendo una asignatura pendiente, especialmente en las economías emergentes. Se diseñó una mezcla de concreto celular, considerando sus propiedades termofísicas, para aplicar el nuevo material en envolventes de edificios. Los materiales tienen baja densidad y conductividad térmica para ser utilizados como elemento de construcción ligero no estructural. Desde la etapa de diseño se propusieron una serie de sistemas de muros a base de concreto celular. Mientras que en la segunda fase se analizaron los materiales para obtener los ahorros energéticos potenciales mediante simulaciones dinámicas. Se prevé que el consumo de energía en los edificios ubicados en estos climas seguirá aumentando de forma crítica debido al aumento de temperatura asociado al cambio climático.

Se calcularon las temperaturas previstas de voto medio (PMV), el consumo de energía eléctrica y las emisiones de CO₂ para tres escenarios del IPCC. Estos resultados ayudarán a identificar el impacto del cambio climático en el uso de energía de las viviendas construidas bajo estas condiciones climáticas. Los resultados muestran que, si se siguen utilizando los bloques de concreto convencionales, los requerimientos energéticos de climatización aumentarán a 49% para 2030 y 61% para 2050. El concreto celular propuesto podría reducir el consumo de energía entre 15% y 28%, y estas tasas de ahorro se mantendrían en el futuro. Los resultados indican que es necesario impulsar la adopción de materiales livianos, de modo que se pueda reducir el impacto del uso de energía en el cambio climático.

3. Marco Teórico

3.1 Aspectos relacionados con el cambio climático

Estudios realizados en los últimos años en núcleos de hielo, han encontrado una sólida correlación entre el contenido de CO₂ en la atmósfera y la temperatura terrestre. Estas altas concentraciones de gas en la atmósfera han generado incrementos en la temperatura media global. En cuando al riesgo en México a los efectos del cambio climático analizada se menciona que la temperatura podría aumentar de 3 a 4°C en el noroeste, reduciéndose ligeramente hacia el sureste, donde el incremento sería de poco más de 2°C (Estrada Porrúa, 2001).

Datos recopilados por la Agencia Internacional de Energía que calcula las emisiones de dióxido de carbono, gas natural, petróleo y otros combustibles fósiles emitidas por los principales países del mundo, nos señala que México se encuentra en el puesto número doce.

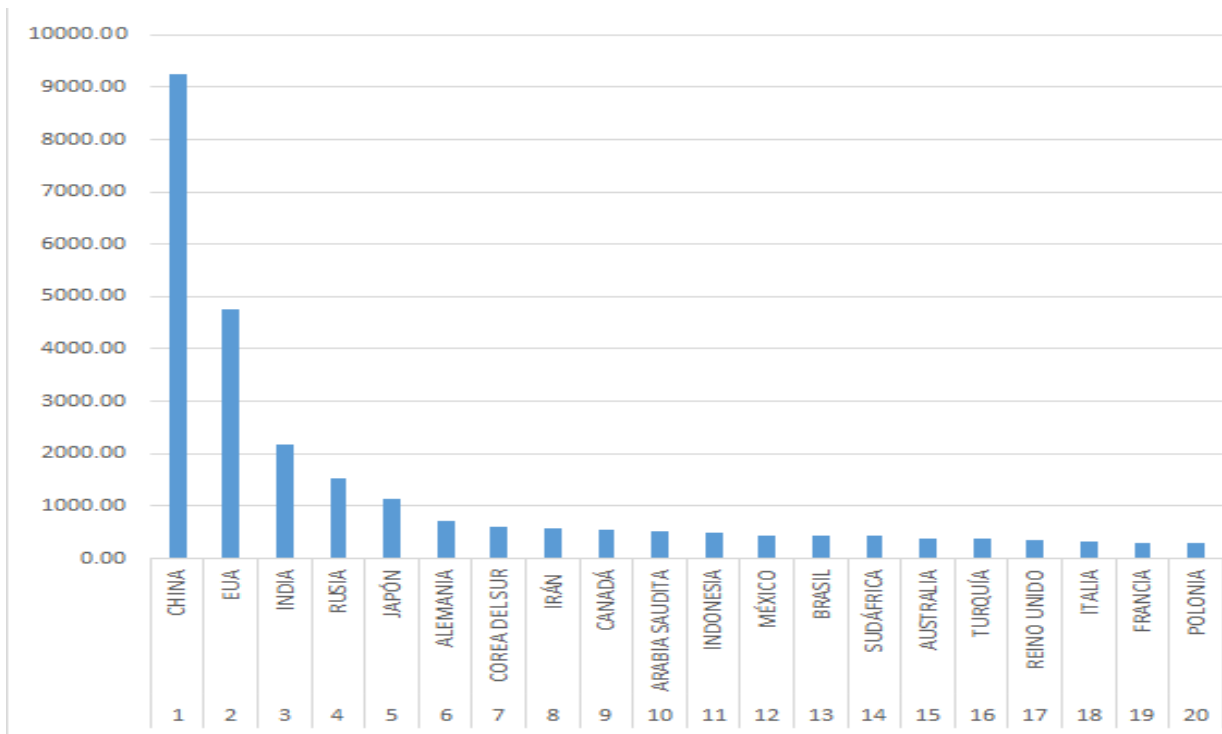


Figura 2 Los 20 países que más dióxido de carbono emitieron en el 2017. Millones de toneladas métricas provenientes de carburantes (Ucsusa, 2020)

Desde el inicio de la era industrial, el consumo de energía proveniente de los combustibles fósiles – carbón, petróleo y gas natural ha ido en aumento. Esta quema es la responsable de la producción de los gases de efecto invernadero, causantes del calentamiento global.

3.2 Consumo de energía eléctrica en viviendas, para la república mexicana.

El 99% de las viviendas habitadas del país tiene electricidad; de ellas, el 0.25% utilizan como fuente alternativa la energía solar, ya sea de forma exclusiva o en sistema bidireccional o híbrido (solar y de red pública). Al cierre del 2016, el sector residencial concentra el 88.6% de los usuarios en energía eléctrica, seguido del comercial con el 9.8%, industrial 0.8%, servicios con el 0.5% y el Agrícola con el 0.3% del total (INEGI, 2018).

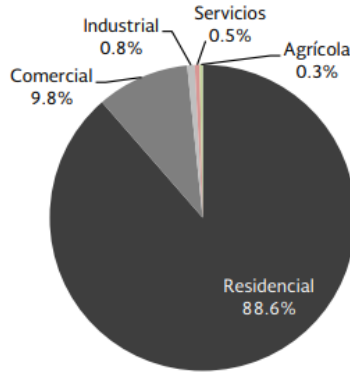


Figura 3 Participación de usuarios por sector (SENER, con información de CFE, 2016)

De acuerdo con el sistema de información energética (SENER, 2018) el sector del transporte se encuentra en primer lugar por consumo final de energía, este lo representa en mayor parte el uso de automóviles de uso propio para transporte privado, después lo tiene las actividades por uso de aviones y barcos, en segundo lugar, el sector industrial y en tercer lugar el residencial como se muestra en la siguiente figura:

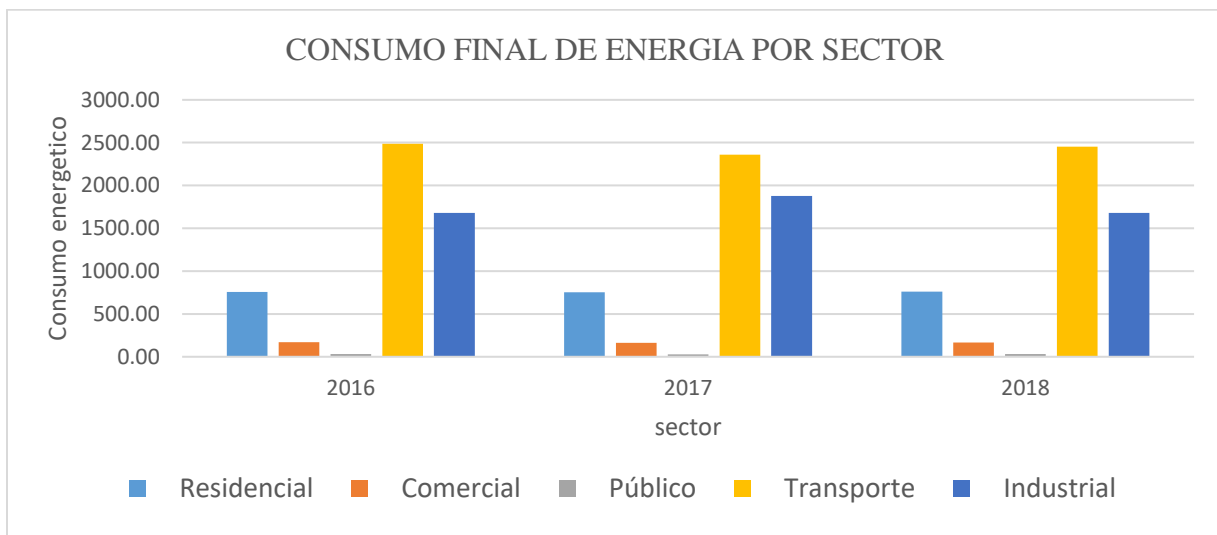


Figura 4 Consumo final de energía por sector
Elaboración propia con datos de (SENER, 2018)

De acuerdo con la Secretaría de Energía (SENER, 2018) el consumo de energía en el sector residencial se integra por aquellas actividades de uso final realizadas en todas las viviendas del país. Los principales usos de energía eléctrica son calentamiento de agua, cocción de alimentos, calefacción y enfriamiento de espacio, iluminación, refrigeración y uso de equipos electrodomésticos.

El aire acondicionado, el más común de los sistemas utilizados para la climatización, tiene consecuencias importantes sobre el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero debido a la utilización de gas refrigerante y el consumo de electricidad de los aparatos. Los climatizadores consumen mucha energía eléctrica, lo que emite más CO₂ a la atmósfera y agrava el calentamiento global (Pierre-Louis, 2018).

El enfriamiento de espacios, en los últimos años ha ido en aumento, la presencia de equipos de aire acondicionado es mucho más alta en la región cálida extrema, en donde el 48% de las viviendas tiene al menos un equipo de aire acondicionado. El número de equipos de aire acondicionado por región climática varía, identificando que la mayor concentración se da también en la región cálida extrema (INEGI, 2018).

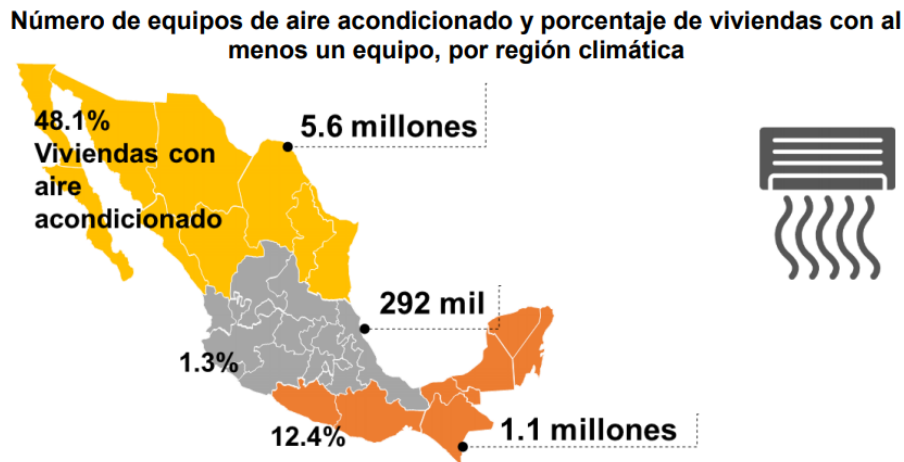


Figura 5 Porcentaje de uso de Equipos de aire acondicionado en México (INEGI. Encuesta nacional sobre consumo de energéticos en viviendas particulares, 2018.)

De manera general, existen tres tipos de aires acondicionado para el uso residencial, que son el de ventana, mini Split y central. En años recientes se han incorporado al mercado los aires acondicionados tipo inverter, que posee atributos de autorregulación dependiendo de las necesidades de enfriamiento y es una tecnología más eficiente. Como se puede observar en la gráfica, en suma, el 45% de los equipos en el país son tipo mini Split (INEGI, 2018).

Número de equipos de aire acondicionado en uso en viviendas particulares habitadas por tipo de equipo de aire acondicionado

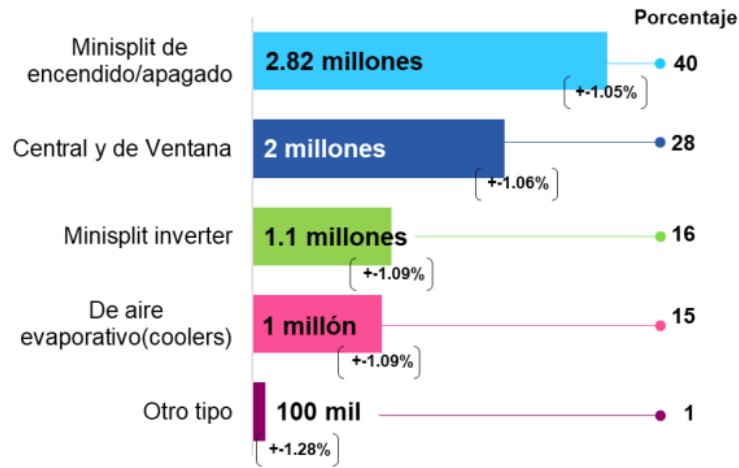


Figura 6 Equipos de aire acondicionado en viviendas particulares. (ENCEVI, 2018)

En el 45% de las viviendas particulares habitadas ubicadas en localidades urbanas, utilizan ventiladores, mientras que en las localidades rurales la proporción es de 41%. Se contabilizan poco más de 7 millones de equipos de aire acondicionado en uso en viviendas particulares en el país. A nivel nacional 6.3% de las viviendas en el país usan algún tipo de equipo de calefacción. En total se contabilizan poco más de 2.6 millones de equipos en uso (INEGI, 2018).

La Agencia Internacional de la Energía (IEA) presentó una lista de recomendaciones para la eficiencia energética en edificaciones, transporte, iluminación, electrodomésticos, industria, entre otros. Por lo tanto, algunas de las acciones para reducir las emisiones de CO₂ y sus consecuentes efectos sobre el cambio climático es la implementación de tareas que conducen a la reducción global de energía. El uso final de la energía para refrigeración, edificios residenciales y comerciales en todo el mundo se ha triplicado entre 1990 y 2016.

En México, la energía eléctrica necesaria para la temporada de verano representa aproximadamente 31 000 millones de pesos anuales. Además, el gobierno incurre en un gasto de 46,000 millones de pesos por año en subsidios a la tarifa eléctrica doméstica. Existe una gran complicación en la red eléctrica nacional para atender la refrigeración debido a la mayor demanda en áreas geográficas concentradas, durante una fracción del año e incluso horas específicas del día. En las regiones cálidas, la electricidad necesaria para operar los sistemas de enfriamiento triplica la demanda normal de electricidad. Además, entre 2000 y 2015, la demanda de energía residencial para los sistemas de refrigeración y calefacción aumentó un 33,4 % y un 19,6 %, respectivamente (Borbon-Almada *et al.*, 2019).

3.3 Aislamiento térmico en vivienda y clima

México cuenta con una diversidad de climas, que pueden clasificarse según su temperatura y humedad relativa, en cálidos y templados, así como en húmedos, subhúmedos y muy secos, de acuerdo con la figura 7.

Sonora cuenta con climas, seco, muy seco y templado subhúmedo, colocando a la capital del estado en la clasificación de cálido muy seco.



Figura 7 Mapa climático de México (INEGI, 2005)

La arquitectura de climas cálido seco se caracteriza principalmente por la incidencia de la radiación solar que es mayor durante el día y al caer la noche, llegan a presentar bajadas bruscas de temperatura al ponerse el sol; esto provoca una oscilación diaria de temperaturas, con extremos, que afectan las zonas de confort térmico al interior de los edificios.

En la región cálida extrema en donde se tiene el mayor porcentaje de vivienda con algún tipo de aislante térmico, asimismo en esta misma región se identifica que en el techo en donde se tiene este tipo de recubrimiento térmico. (Climate data, 2020).

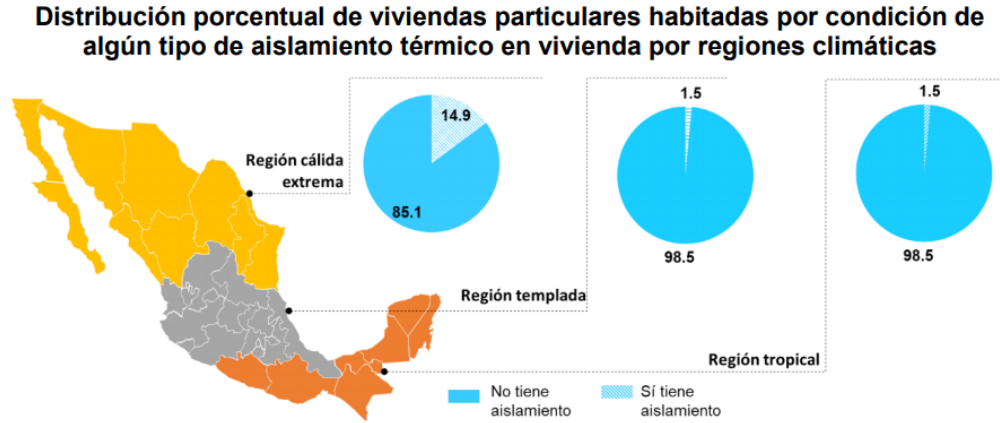


Figura 8 Distribución porcentual de viviendas habitadas por condición de algún tipo de aislamiento térmico en vivienda por regiones climáticas (ENCEVI, 2018)

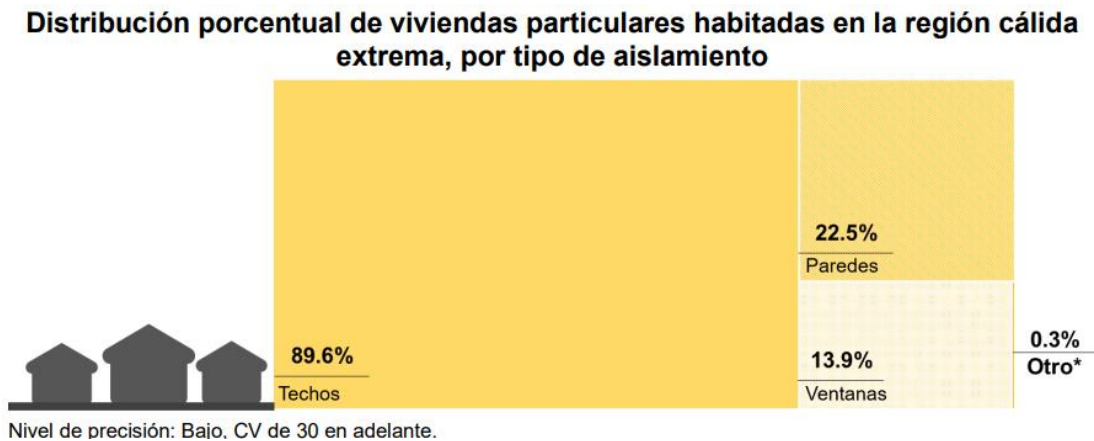


Figura 9 Distribución porcentual de viviendas habitadas en la región cálida extrema, por tipo de aislamiento. (ENCEVI, 2018)

El aislante térmico se encarga de evitar el paso del calor del interior o el exterior de una edificación, basándose en un sistema integrado a la construcción, lo que otorga beneficios a los consumidores como el confort térmico al interior de las viviendas, lo que incide en condiciones de salud y productividad laboral, ahorro económico, al disminuir los gastos en energía eléctrica por el menor uso de equipos de aire acondicionado y ventajas ambientales al disminuir las emisiones de CO₂ al reducir el consumo de energía (Acevedo, 2022).

Aislante térmico es un producto, elemento o componente que se utiliza para proporcionar resistencia al flujo de calor, también identificado como termoaislante (NOM-018-ENER-2011). Entre los materiales aislantes utilizados en la vivienda se encuentran, el poliuretano que es un material no es reciclable y se relaciona principalmente en la construcción como aislante térmico y acústico. Celulosa, es ecológico, utilizado como aislante térmico y acústico, está hecho de papel

periódico reciclado con hidróxido de aluminio. Fibra de vidrio, material con alto índice de área superficial en relación con su peso, así que sus bloques atrapan aire entre ellos permitiendo que tenga baja conductividad térmica. Fibras naturales, tienen como materia prima productos de origen vegetal o animal que por lo general son fácilmente recicladas y reutilizadas y tiene un bajo impacto en el medio ambiente, entre algunos productos de origen vegetal encontramos el corcho, el cual es aislante térmico y acústico natural que proviene de los árboles, no libera gases tóxicos, es reutilizable. (COMECA, 2018). Poliestireno expandido, se utiliza como aislante térmico en muros y techos, tiene resistencia a la compresión, es resistente a la humedad, es reciclable. Lana mineral, es producida a partir de la roca volcánica y utilizada como aislamiento térmico, tiene una estructura fibrosa que permite albergar aire en su interior (AR&PR MEXICO, 2020).

En las últimas décadas los países desarrollados se han caracterizado por la constante búsqueda de la eficiencia en la utilización de sus recursos energéticos. Bajo esta mirada, y otros como son, la sustentabilidad y la dependencia energética, las comunidades han impulsado innumerables planes con vista a estos propósitos, planes que subyacen a los distintos sectores productivos de la economía. No obstante, a ello, la industria de la construcción es uno de los sectores económicos más importantes a nivel mundial, constituyendo al menos un décimo de la economía global. Asimismo, los edificios utilizan al menos el 40% de la energía mundial y es responsable por al menos el 50% de las emisiones de CO₂ al ambiente (H. Hernandez, 2011).

Bajo esta perspectiva, es importante que las construcciones principalmente las habitacionales sean más eficientes en el uso de energía. El *know-how* existe, y cada vez es más fácil acceder a este tipo de información, sin embargo, existen otros factores como lo económico que impiden que esto suceda.

Para lograr una vivienda de bajo consumo energético o eficiente energéticamente, es necesario: lograr que la vivienda adopte estrategias bioclimáticas como son: orientación y ubicación de ventanas, selección de materiales de envolvente, aislamiento que permitan controlar flujos de energía a través de elementos en la envolvente. La estanqueidad por otra parte, permiten el control y regulación de la ventilación.

La demanda energética será entendida como la cantidad de energía en kWh m²/año necesario para generar condiciones de habitabilidad y funcionalidad de una vivienda / edificación en función de su uso. Es decir, la energía necesaria para refrigerar o iluminar los espacios habitacionales, así como la energía demandada para el abastecimiento de agua caliente, entre otros. De esta manera, la demanda dependerá básicamente del diseño del edificio, de sus condiciones de uso y de las condiciones de emplazamiento, clima y geografía (H. Hernandez, 2011).

3.4 Normatividad de eficiencia energética en México para vivienda.

La Norma Mexicana NOM-020-ENER-2011, relacionada con la eficiencia energética en edificaciones y la envolvente en edificios para uso habitacional, tiene objetivo limitar la ganancia de calor de los edificios para uso habitacional a través de su envolvente, con objeto de racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento. La aplicación de esta norma es hacia todos los edificios nuevos para uso habitacional y las ampliaciones de los edificios para uso habitacional existente. Esta norma clasifica la envolvente de la manera siguiente:

Tabla 1 Componentes y clasificación de la envolvente de un edificio para uso habitacional

Nombre de la componente y ángulo de la normal a la superficie exterior con respecto a la vertical		Partes
Techo	Desde 0° y hasta 45°	Opaco No opaco (domo y tragaluz)
Pared	Mayor a 45° y hasta 135°	Opaca (muro) No opaca (vidrio, acrílico)
Superficie inferior	Mayor a 135° y hasta 180°	Opaca No opaca (vidrio, acrílico)
Piso	Generalmente 180°: también se deben considerar los pisos inclinados	Opaco No opaco (vidrio, acrílico)

(Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011)

Analizando estas partes de la envolvente de un edificio se realizan cálculos de ganancia de calor, en W, a través de la suma de la ganancia de calor por conducción, más la ganancia de calor por radiación solar, es decir;

$$\phi_p = \phi_{pc} + \phi_{ps}$$

En donde

ϕ_p Es la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio para uso habitacional proyectado, en W.

ϕ_{pc} Es la ganancia de calor por conducción a través de las partes opacas y no opacas de la envolvente del edificio para uso habitacional proyectado.

ϕ_{ps} Es la ganancia de calor por radiación solar a través de las partes no opacas de la envolvente del edificio para uso habitacional proyectado.

El criterio de aceptación para esta norma se basa en que la ganancia de calor a través de la envolvente debe ser menor o igual a la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio. Determinando el Ahorro de energía = (1 – ganancia de calor del edificio proyectado / ganancia de calor del edificio residencial de referencia) x 100. También existe la NOM-008-ENER-2001, que aplica los mismos criterios, pero para edificios no residenciales.

También podemos encontrar la NOM-018-ENER-2011, relacionada con aislantes térmicos para edificaciones, tiene como objeto establecer los métodos de prueba para evaluar la

conductividad o resistencia térmica, densidad aparente y permeabilidad al vapor de agua y absorción de humedad, que se comercializan en el país. Esta norma tiene como objetivo establecer las características y métodos de prueba que deben cumplir los materiales y elementos termoaislantes, para techos, plafones y muros de las edificaciones.

3.5 Clasificación de la vivienda y su evaluación energética

Según el Código de edificación de la vivienda, las viviendas se pueden clasificar de acuerdo con su superficie construida promedio, el costo promedio por unidad de medida (UMA) y el número de cuartos y cajones de estacionamiento en, económica, popular, tradicional, media, residencial y residencial plus como lo muestra la tabla 3.

Tabla 2 Clasificación de la vivienda por precio promedio.

PROMEDIOS	ECONÓMICA	POPULAR	TRADICIONAL	MEDIA	RESIDENCIAL	RESIDENCIAL PLUS
Superficie construida promedio (en m ²):	40	50	71	102	156	más de 188
Costo promedio:						
Unidad de medida de actualización (UMA)	hasta 118	de 118.1 a 200	de 200.1 a 350	de 350.1 a 750	de 750.1 a 1,500	mayor de 1,500
Número de cuartos y cajones de estacionamiento	1 Baño Cocina Área de usos múltiples	1 Baño Cocina Estancia-comedor De 1 a 2 recámaras 1 cajón de estacionamiento	1 y ½ Baños Cocina Estancia-comedor De 2 a 3 recámaras 1 cajón de estacionamiento	2 Baños Cocina Sala Comedor De 2 a 3 recámaras Cuarto de servicio 1 a 2 cajones de estacionamiento	De 3 a 4 baños Cocina Sala Comedor De 3 a 4 recámaras Cuarto de Servicio Sala familiar 2 o 3 cajones de estacionamiento	De 3 a 5 baños Cocina Sala Comedor De 3 a más recámaras De 1 a 2 cuartos de servicio Sala familiar Más de 3 cajones de estacionamiento Gimnasio Salón de juegos Jardín

(CONAVI, 2017)

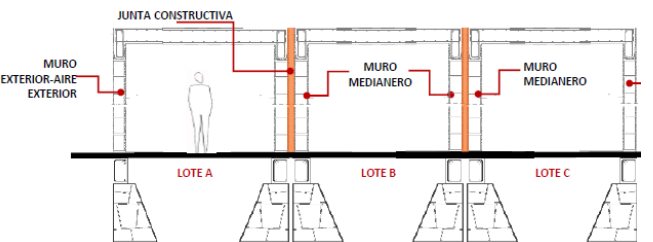
El Infonavit se formó el 21 de abril de 1972, con el objetivo de cumplir con el derecho a la vivienda de los trabajadores, establecido en la constitución política de México, otorga créditos hipotecarios relacionados a la vivienda, es decir, puede darte un crédito para comprar una casa, para construirla o remodelarla, (Occ mundial, 2022); en cumplimiento a su responsabilidad social de mejorar la calidad de vida de los trabajadores y sus familias, desarrolló el Programa de Hipoteca Verde, que tiene un doble beneficio: generar ahorros en el gasto familiar de los acreditados a través de la incorporación de ecotecnologías eficientes en el consumo de agua y energía, así como el de apoyar en la mitigación del Cambio Climático. Los resultados comprobados de este programa han generado importantes beneficios económicos, ambientales y sociales; sin embargo, conscientes que las casas más eficientes son aquellas que desde su construcción contemplan diseños y materiales adecuados. El Infonavit como siguiente etapa de la mejora continua de este programa, ha desarrollado en colaboración de la Agencia de Cooperación Alemana al Desarrollo GIZ y la

Embajada Británica en México una herramienta que permita conocer el desempeño energético y medioambiental de la vivienda: el sistema de evaluación de la vivienda verde – sisevive-ecocasa, donde se puede conocer el desempeño energético y medio ambiental de la vivienda, ubicada en cualquier punto de la República Mexicana. Este sistema considera las condiciones del clima, diseño y sistemas constructivos, materiales y ecotecnologías, entre otros, para determinar las condiciones de confort de sus habitantes, así como su consumo y ahorro proyectado en energía (kWh/m²) y en gasto familiar, considerando como línea base una vivienda de concreto. La mejor clasificación se otorga a las viviendas que proporcionen mayor confort en menor impacto ambiental, la escala de evaluación es de la A a la G, siendo la A la más eficiente. El objetivo principal es que, a través de la evaluación de la eficiencia energética de la vivienda, se guíe a los usuarios hacia diseños de vivienda más sustentables y se cree conciencia de las medidas clave que pueden ser aplicadas para la eficiencia en edificaciones habitacionales. (Albarran *et al.*, 2014)

En México, para el análisis energético en el software DEEVi es necesario considerar la tipología registrada en el Registro Único de Vivienda (RUV) para identificar el criterio correspondiente la guía de evaluación de vivienda sustentable (CONAVI, 2018) menciona las tipologías de vivienda que se dividen por tipología RUV y tipología por eficiencia energética como se muestra en la tabla 3.

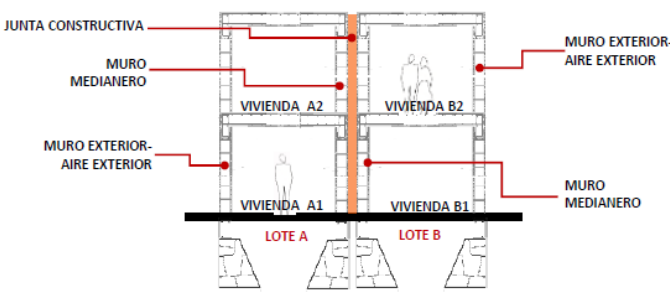
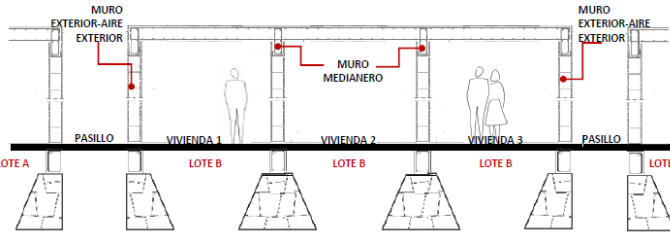
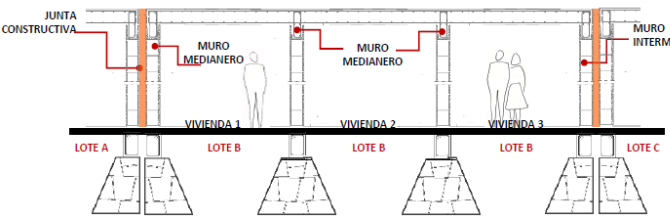
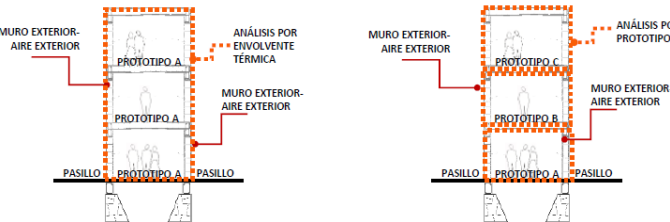
Esta tabla representa las clasificaciones de la tipología de acuerdo con criterios de eficiencia energética, ya que el hecho de que las viviendas estén adosadas o separadas como sería el caso de la vivienda aislada, o que fueran verticales o con trenes de viviendas horizontales muy grandes, marcan una diferencia en la eficiencia energética puesto que en algunas de estas disposiciones se protegen las superficies exteriores de la radiación solar directa y suelen ser más eficientes. El criterio que se aplica en este caso se denomina *Compacidad*.

Tabla 3 Tipología de Vivienda

Tipología RUV	Tipología por eficiencia energética	Tipo	Descripción
Unifamiliar	Adosada	Con junta constructiva 1 nivel	<p>Varias viviendas se encuentran separadas solo por una junta constructiva.</p>  <p>El diagrama ilustra una sección transversal de una vivienda adosada de un nivel. Se muestran tres unidades habitacionales adyacentes etiquetadas como LOTE A, LOTE B y LOTE C. Cada lote tiene un muro exterior-aire exterior y un muro medianero que comparte con el lote vecino. Una línea horizontal superior indica la 'JUNTA CONSTRUCTIVA' que separa las unidades. Una figura humana se muestra dentro de una de las unidades para proporcionar escala.</p>

		Con junta constructiva 2 niveles	<p>Varias viviendas se encuentran separadas solo por una junta</p>
	Asilada	Con pasillo 1 nivel	<p>La vivienda cuenta con pasillos que permiten el contacto directo del muro con el exterior.</p>
		Con pasillo 2 niveles	<p>La vivienda cuenta con pasillos que permiten el contacto directo del muro con el exterior.</p>
Tipología RUV	Tipología por eficiencia energética	Tipo	Descripción
Dúplex	Adosada	Con pasillo. Horizontal. 1 nivel	<p>Dos viviendas se encuentran en un mismo lote y comparten muro.</p>
		Con junta constructiva o muro	Una tipología dúplex horizontal, las viviendas se encuentran separadas por una junta constructiva.

		intermedio. Horizontal. 1 nivel	
	Con pasillo. Horizontal. 2 niveles	La vivienda cuenta con pasillos que permiten el contacto directo del muro con el exterior.	
	Con junta constructiva o muro intermedio. Horizontal. 2 niveles	Dos o más viviendas se encuentran separadas solo por una junta constructiva.	
Adosada	Con pasillo. Vertical	Cuenta con pasillos que permiten el contacto directo del muro con el exterior.	
Duplex	Con junta constructiva o muro	Varias viviendas se encuentran separadas solo por una junta constructiva.	

		intermedio. vertical	
Tríplex	Adosada	Con pasillo horizontal	<p>Un bloque de tres viviendas se encuentran en el mismo lote separado por un pasillo.</p> 
		Con junta constructiva o muro intermedio. Horizontal	<p>Un bloque de tres viviendas se encuentran en un mismo lote separado por un muro con o sin junta constructiva del siguiente bloque de vivienda.</p> 
	Adosada	Con pasillo Vertical	<p>Tres prototipos de vivienda se encuentren en un solo lote agrupados verticalmente.</p> 
Cuádruplex	Adosada	Vivienda con pasillo	<p>Un bloque de cuatro viviendas se encuentra en un mismo lote separado por un pasillo del siguiente bloque de vivienda.</p>

		Con junta constructiva o muro intermedio	<p>Un bloque de cuatro viviendas se encuentra en un mismo lote separado por un muro con o sin junta constructiva del siguiente bloque de vivienda.</p>
		Con pasillo	<p>Cuenta con pasillos que permiten el contacto directo del muro con el exterior.</p>
		Con junta constructiva	<p>Dos o mas bloques cuadruplex se encuentran separadas solo por una junta constructiva.</p>
Multifamiliar horizontal	Adosada	Con junta constructiva	<p>Dos o mas viviendas s encuentran en el mismo lote separadas solo por una junta constructiva.</p>

		Con muro intermedio	<p>Dos o mas viviendas se encuentran dentro del mismo lote y comparten muro.</p>
		Con pasillo	<p>Dos o mas viviendas se encuentran en un lote y no comparten muro.</p>
Vertical		Con pasillo	<p>Se encuentra en un bloque de viviendas y no comparten la envolvente termica.</p>
		Con jun junta constructiva	<p>El edificio se encuentra en un bloque de viviendas y no comparten la envolvente termica debido a juntas constructivas.</p>

(CONAVI, 2018)

La energía para climatizar una vivienda, tanto en invierno como en verano, es una de las principales fuentes de gasto energético que deben asumir las familias, y que más variaciones estacionales causa a la carga de los costos de las facturas energéticas. Al igual que sucede con la iluminación o los electrodomésticos, existen edificios más o menos eficientes en el consumo de energía en función de su aislamiento térmico y el uso de energías de origen renovable. El consumo de energía se expresa en kWh/m² año, es decir energía necesaria (kWh) para mantener la vivienda en condiciones de confort durante un año y por metro cuadrado. Las emisiones de CO₂ se expresa en kgCO₂/m²año, es decir, la cantidad de emisiones contaminantes que realiza el edificio o vivienda. Esta calificación hace referencia al origen de la energía consumida. (Asociación de ciencias ambientales, 2022)

3.6 Análisis económico

Newnan *et al.*, (2014) menciona en su libro análisis económico de ingeniería que el análisis económico de ingeniería es adecuado para problemas intermedios y aspectos económicos de problemas complejos. Poseen cualidades como si el problema es lo suficientemente importante como para justificar que le dediquemos un pensamiento y un esfuerzo serios, el problema no se puede resolver mentalmente, es decir, un análisis cuidadoso requiere que organicemos el problema y todas las diversas consecuencias, y esto es demasiado para hacerlo de una sola vez y si el problema tiene aspectos económicos importantes para llegar a una decisión

El dinero es un activo bastante valioso, tan valioso que la gente está dispuesta a pagar para tener dinero disponible para su uso. El dinero se puede alquilar aproximadamente de la misma manera que se alquila un apartamento, solo que, con dinero, el cargo se llama interés en lugar de alquiler. La importancia del interés está demostrada por los bancos y las cajas de ahorro ofreciendo continuamente pagar para el uso del dinero de la gente, para pagar intereses.

El interés simple es el interés que se calcula solo sobre la suma original y no sobre el interés acumulado. Por lo tanto, si prestara una suma actual de dinero P a alguien a una tasa de interés anual simple i (expresada como decimal) durante un período de n años, la cantidad de interés que recibiría del préstamo sería:

$$\text{Interés total ganado} = P * i * n$$

Con el interés simple, la cantidad ganada (por dinero invertido) o adeudada (por dinero prestado) en un período no afecta el capital para el cálculo de interés en periodos posteriores. Sin embargo, no es así como normalmente se calcula el interés. En la práctica, el interés se calcula utilizando el método de interés compuesto. Para un préstamo, cualquier interés adeudado, pero no pagado al final del año se suma al saldo adeudado. Así, los intereses del próximo año se calculan con base en el saldo adeudado, que incluye los intereses no pagados del período anterior. De esta manera, el interés compuesto puede considerarse como un interés por encima del interés. Esto distingue interés compuesto del interés simple

En ocasiones encontraremos series uniformes de recibos o egresos. Los préstamos para automóviles, los pagos de la vivienda y muchos otros préstamos se basan en una serie de pagos uniformes. A menudo será conveniente utilizar tablas basadas en una serie uniforme de ingresos o egresos.

La serie A se define de la siguiente manera:

A = desembolso de efectivo al final del período en una serie uniforme, que continúa durante n períodos, la serie completa equivale a P o F a la tasa de interés i .

Por lo cual se usa esta relación en derivación de series uniformes, cuando se invierte una cantidad A en n periodo de tiempo la cantidad total P será la suma de las cantidades compuestas de las inversiones individuales en el caso para n periodos se utiliza la formula siguiente, que

representa una ecuación para P cuando se conoce A y tiene por nombre factor compuesto de serie uniforme y tiene la notación (P/ A, i%, n).

$$P = A \left[\frac{(1 + i)^n - 1}{i(1 + i)^n} \right]$$

3.7 Costos y clasificación de tarifas eléctricas en México

A continuación, se presenta información de la única fuente en México que es la Comisión Federal de Electricidad CFE de los costos y la clasificación de las tarifas domésticas de electricidad para ser aplicadas a los análisis de demandas de las viviendas estudiadas resultado de la simulación.

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) es la única empresa en México responsable de comercializar la energía eléctrica para usuarios de bajo consumo. La CFE provee energía eléctrica a un total de 46 millones de clientes y cada año incorpora un millón de nuevos usuarios (Comisión Federal de Electricidad, 2022). Las tarifas de luz las determina según el tipo de cliente: Hogar, negocio, industria, agrícola y servicio, las tarifas para el sector residencial, la tarifa 1 representa la tarifa menos subsidiada, mientras que la 1F es la más subsidiada, la tarifa DAC es la tarifa más cara que se aplica a los consumidores domésticos de alto consumo. El Precio del kWh de cada tarifa depende de la cuantía de la subvención aplicada, que también depende de la temperatura media mínima mensual aplicada a cada municipio. Se aplican tarifas diferenciadas entre verano y fuera de verano, con tres niveles de consumo (básico, intermedio y exceso) para cada nivel aumenta el precio del kWh.

El esquema de tarifas de luz doméstica se divide de la siguiente manera:

Tabla 4 Esquema de tarifas domésticas CFE

Tarifa	Temperatura media mínima en verano	Consumo límite para aplicación de Tarifa DAC
Tarifa 1	menor a 25°C	250 kWh al mes
Tarifa 1A	25°C	300 kWh al mes
Tarifa 1B	28°C	400 kWh al mes
Tarifa 1C	30°C	850 kWh al mes
Tarifa 1D	31°C	1,000 kWh al mes
Tarifa 1E	32°C	2,000 kWh al mes
Tarifa 1F	33°C	2,500 kWh al mes

(CFE, elaboración propia, 2022)

A la ciudad de Hermosillo le corresponde la tarifa 1F esta se aplicará a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo con lo establecido en la Tarifa DAC, conectadas individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda, en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 33 grados centígrados como mínimo. Estos servicios

sólo se suministrarán en baja tensión y no deberá aplicárseles ninguna otra tarifa de uso general. Se considerará que una localidad alcanza la temperatura media mínima en verano de 33 grados centígrados, cuando alcance el límite indicado durante tres o más años de los últimos cinco de que se disponga de la información correspondiente. Se considerará que durante un año alcanzó el límite indicado cuando registre la temperatura media mensual durante dos meses consecutivos o más, según los reportes elaborados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (CFE, 2022).

Tabla 5 Tarifa 1F temporada fuera de verano

Temporada fuera de verano. Cantidad de pesos x kWh		
Consumo básico	0.882	por cada uno de los primeros 75 (setenta y cinco) kilowatts-hora.
Consumo intermedio	1.073	por cada uno de los siguientes 125 (ciento veinticinco) kilowatt-hora.
Consumo excedente	3.134	por cada kilowatt-hora adicional a los anteriores.

(CFE, 2022. Elaboración propia)

Tabla 6 Tarifa 1F temporada de verano

Temporada de verano. Cantidad de pesos x kWh		
Consumo básico	0.685	por cada uno de los primeros 300 (trescientos)
Consumo intermedio bajo	0.855	por cada uno de los siguientes 900 (novecientos) kilowatts-hora.
Consumo intermedio alto	2.080	por cada uno de los siguientes 1300 (mil trescientos) kilowatts-hora.
Consumo excedente	3.286	por cada kilowatt-hora adicional a los anteriores.

(CFE, 2022. Elaboración propia)

4. Metodología

El proceso metodológico propuesto para realizar la presente investigación consta de tres etapas principales.

4.1 Etapa I Descripción del sitio de estudio

El proyecto de vivienda a analizar se encuentra en la ciudad de Hermosillo, capital de Sonora ubicado en el Noroeste de México; cuenta con clima desértico y se caracteriza por la gran cantidad de incidencia solar que recibe durante todo el año. La temperatura media anual es de 24.2°C, la época cálida comprende cinco meses, las temperaturas más altas se registran en los meses de junio a agosto presentando un promedio de 38°C, la mínima en los meses de diciembre a febrero con 8 a 11°C y las máximas en verano en junio de 39.1°C. Así como la precipitación media es de 450 mm anuales y se presentan en los meses de julio y agosto (Climate-Data, 2020).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	16	17.5	19.3	23	26.2	30.8	32	31.2	30.7	26.5	20.5	16.6
Temperatura mín. (°C)	8.3	9.3	11	13.9	17.1	22.5	25.5	24.9	24	18.6	12.5	8.9
Temperatura máx. (°C)	23.8	25.8	27.7	32.1	35.4	39.1	38.6	37.6	37.5	34.5	28.5	24.3
Temperatura media (°F)	60.8	63.5	66.7	73.4	79.2	87.4	89.6	88.2	87.3	79.7	68.9	61.9
Temperatura mín. (°F)	46.9	48.7	51.8	57.0	62.8	72.5	77.9	76.8	75.2	65.5	54.5	48.0
Temperatura máx. (°F)	74.8	78.4	81.9	89.8	95.7	102.4	101.5	99.7	99.5	94.1	83.3	75.7
Precipitación (mm)	19	13	6	4	2	6	76	86	30	13	8	17

Figura 10 Clima Hermosillo
(Climate-Data, 2020)

4.1.1 Materiales en la envolvente para su estudio en viviendas de Hermosillo

Se realiza una encuesta a los arquitectos agremiados del Colegio de Arquitectos de la Ciudad de Hermosillo, para conocer, de acuerdo con su experiencia, cuáles son los materiales más utilizados en la envolvente de la vivienda y cuáles son los factores que influyen en la selección de los mismos.

La muestra de la encuesta es de 55 de una población de 90 arquitectos colegiados los cuales el 58.2% se dedica principalmente a la construcción y remodelación, mientras que el 36.4% a generar proyectos. Así mismo el 85.5% de los proyectos que más trabajan son los del sector residencial.

Resultados de las encuestas

¿A qué se dedica principalmente?

55 respuestas

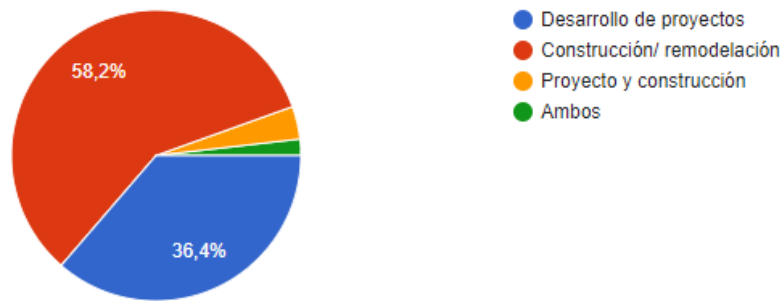


Figura 11 Principales Actividades laborales. Encuesta envolvente de vivienda. (Elaboración propia, 2021)

¿Qué proyectos son los que más elabora-construye?

55 respuestas

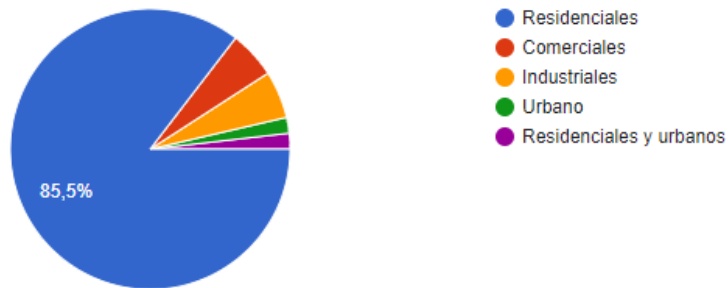


Figura 12 Proyectos que más elaboran o construyen. (Elaboración propia, 2021)

El nivel de vivienda medio es el que más trabajan representando el 52.7% seguido por el nivel alto con 32.7%. El ladrillo es el material constructivo de la envolvente más utilizado entre el ladrillo común y el térmico suman el 47.3% seguido del block con un 43.6%, entre otros materiales con el que se construyen mencionan block térmico (3.6%) y hebel (1.8%).

Para el tipo de proyecto: VIVIENDA seleccione el tipo de vivienda que diseña o construye frecuentemente?

55 respuestas

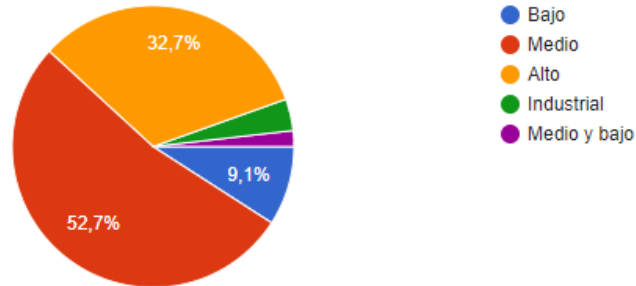


Figura 13 Nivel de vivienda que diseña o construye frecuentemente. (Elaboración propia, 2021)

¿Qué material constructivo utiliza mas en la envolvente de la vivienda en sus proyectos / construcciones en Hermosillo?

55 respuestas

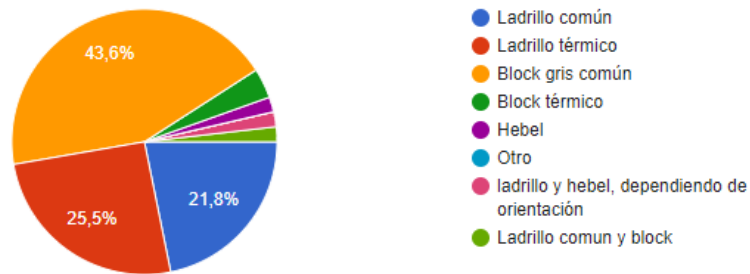


Figura 14 Materiales constructivos que más se utilizan en la envolvente de la vivienda. (Elaboración propia, 2021)

El Factor por el cual se utiliza más el material anteriormente mencionado es en primer lugar por el costo con el 47.2% y en segundo lugar el 37.7%, siendo estos dos factores los más importantes en la toma de decisión, entre otros motivos ajenos al cliente o propietario de la vivienda se encuentran, por menos desperdicio de material en la obra (1.9%) y rapidez (7.5%).

¿Por qué utiliza más este material constructivo en la envolvente de la vivienda?

53 respuestas

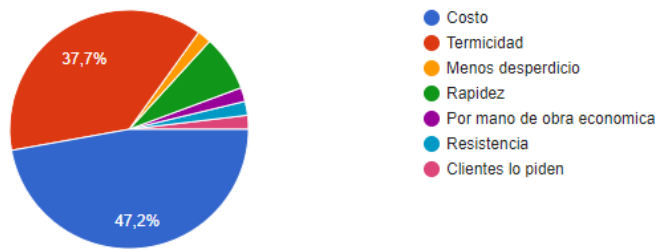


Figura 15 Razones por que se utilizan los materiales constructivos en la envolvente de la vivienda. (Elaboración propia, 2021)

El 69.1% de los arquitectos encuestados utilizan algún material térmico adicional en la vivienda, de los cuales el 36% menciona que utiliza placa de poliestireno, y con muy poca frecuencia el poliuretano con el 4%.

Utiliza algún material térmico adicional en los muros de la vivienda?

55 respuestas

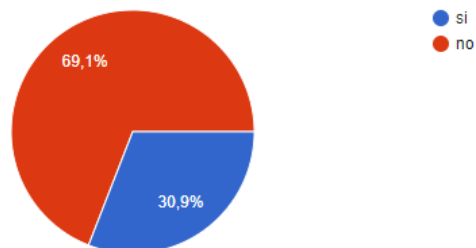


Figura 16 Utilización de material térmico adicional en la vivienda (Elaboración propia, 2021)

En caso de utilizar un material térmico adicional en muros especifique cual utiliza.

50 respuestas

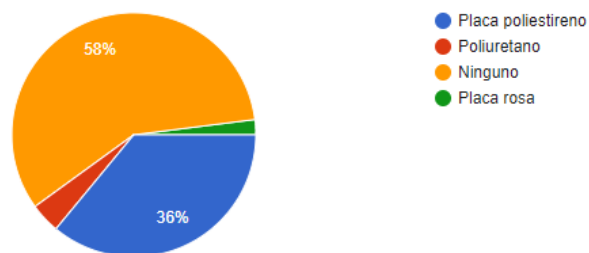


Figura 17 Material térmico adicional (Elaboración propia, 2021)

El 96.6% de los arquitectos encuestados utilizan en mayores ocasiones el sistema de vigueta y casetón en losa, solo el 39.4% utiliza algún material con propiedades aislantes de los cuales la placa de poliestireno está en primer lugar con el 24.2%.

Qué material constructivo utiliza frecuentemente para LOSA en proyecto / construcción de vivienda en Hermosillo. (vivienda media)

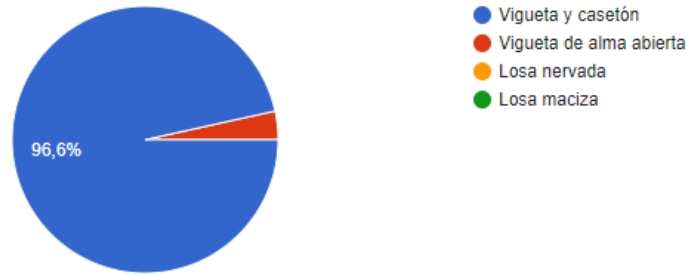


Figura 18 Sistema constructivo en losa (Elaboración propia, 2021)

Utiliza algún tipo de aislante / material térmico en la losa de azotea?

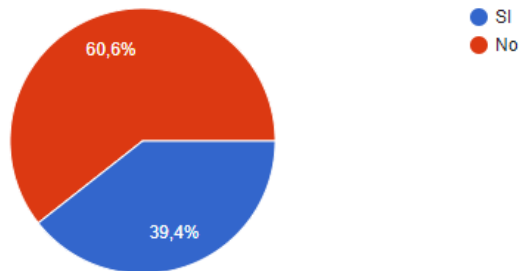


Figura 19 Uso de material térmico en losa de azotea (Elaboración propia, 2021)

Que tipo de aislante térmico utiliza para aplicar en la losa de la vivienda.

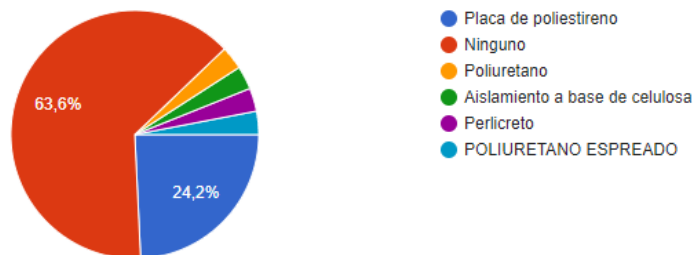


Figura 20 Material térmico en losa de azotea (Elaboración propia, 2021)

De acuerdo con los resultados obtenidos de la encuesta, se determina que los materiales más utilizados para la composición de los sistemas constructivos para la vivienda base, en muros se obtiene el bloque común gris como el más utilizado para la vivienda base y en losa el sistema de vigueta y casetón sin ningún tipo de aislante adicional; los materiales obtenidos en la encuesta se utilizarán como sistemas constructivos base, para de ahí elaborar las propuestas de mejoras para el análisis de la eficiencia térmica y energética de la vivienda.

4.1.2 Características de la tipología de caso de estudio

Se elabora un diseño de una vivienda como caso de estudio, con referencia al código de edificación de vivienda (CONAVI, 2017), clasificada como vivienda media de 102 m² de construcción. Se trata del modelo unifamiliar aislado de un nivel, mismo que cuenta con posibilidades de realizarle adecuaciones y aplicaciones de propuestas de mejora, se consideran como material base los más utilizados según la encuesta realizada al Colegio de Arquitectos de la Ciudad de Hermosillo, considerando los materiales más utilizados en la encuesta para muro bloque común gris y losa a base de vigueta y casetón. El sembrado de la vivienda tiene fachada con orientación al Norte.

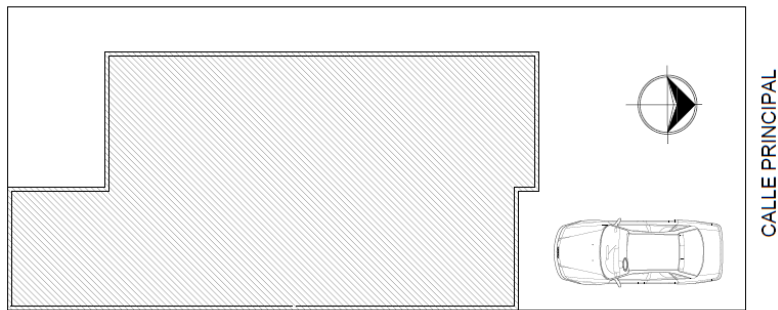


Figura 21 Sembrado de vivienda en lote. Orientación de vivienda respecto al norte (elaboración propia, 2021)

Se diseña la planta arquitectónica de la vivienda de acuerdo a lo establecido en el código de vivienda de la CONAVI, la cual cuenta con tres recamaras, dos baños completos, cocina, estancia y comedor, este diseño nos brinda la información del área de incidencia en los muros y losa para el análisis de la eficiencia energética.

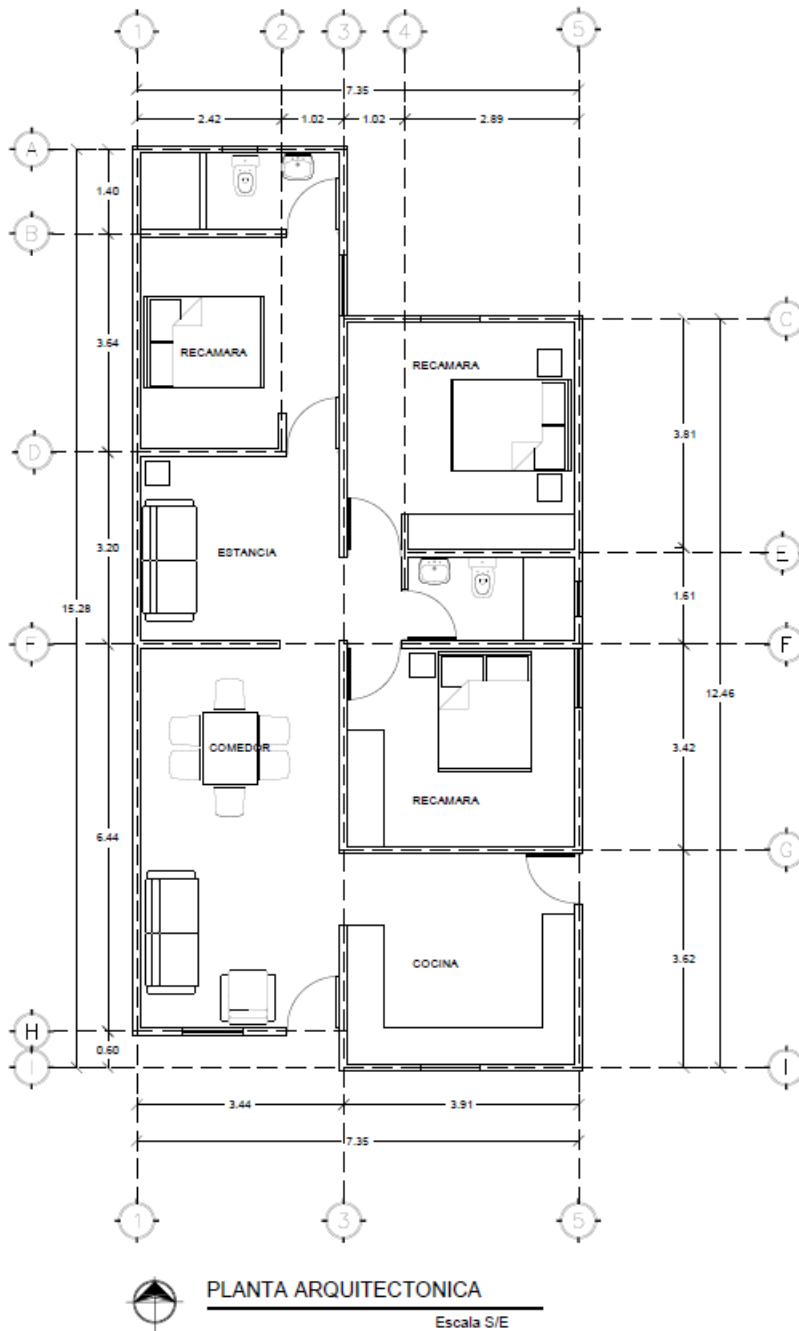


Figura 22 Planta arquitectónica de diseño de tipología de vivienda media (Elaboración propia, 2022)

Se describen las características físicas en cuanto a los sistemas constructivos y las dimensiones en muros, utilizando los materiales resultados en la encuesta para la vivienda base, se representan según su orientación, en fachada norte, sur, este y oeste, en las siguientes figuras se muestra las dimensiones de los muros, la composición del sistema constructivo, para la vivienda base elaborada de bloque gris, con recubrimiento exterior a base de mortero e interior de yeso y

pintura vinílica a dos manos, además el espesor del material que influye directamente con el cálculo de la ganancia o pérdida de calor a través de los materiales, además se describen el área y la composición de puertas y ventanas.

Tabla 7 Características envolvente de fachada sur. Vivienda base

Muro				
Concepto	Dimensión del muro	Área	Material	Espesor
Fachada Sur	7.47 m x 3.05 m	22.80 m ²	Block gris 12-20-40cm	0.12
			Mortero cemento arena 1:4	0.025
			Yeso pulido	0.02
			Pintura vinílica a dos manos	0.001
Puertas y ventanas				
Código	Dimensión	Piezas	Material	Área m ²
C1	1.10 m x 1.0 m	2.00	Aluminio 1 1/2" y cristal de 3"	2.20
P1	1.0 m x 2.10 m	1.00	puerta de acero rellena	2.10

(Elaboración propia, 2022)

En las siguientes figuras se observa el alzado de la fachada sur de la vivienda, donde se muestra elementos que inciden en el cálculo del análisis energético que son dos ventanas con dimensión de 1.0 m x 1.10 m y la puerta principal de 2.10 m x 1.0 m.

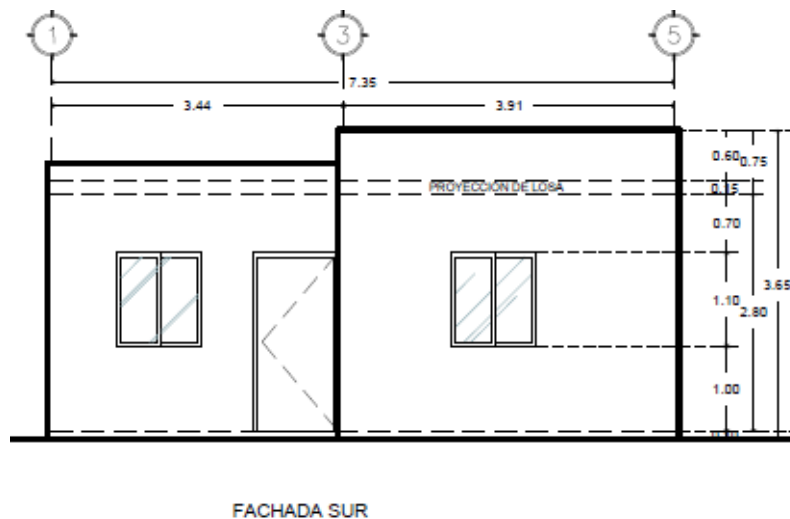


Figura 23 Fachada sur
(Elaboración propia, 2021)

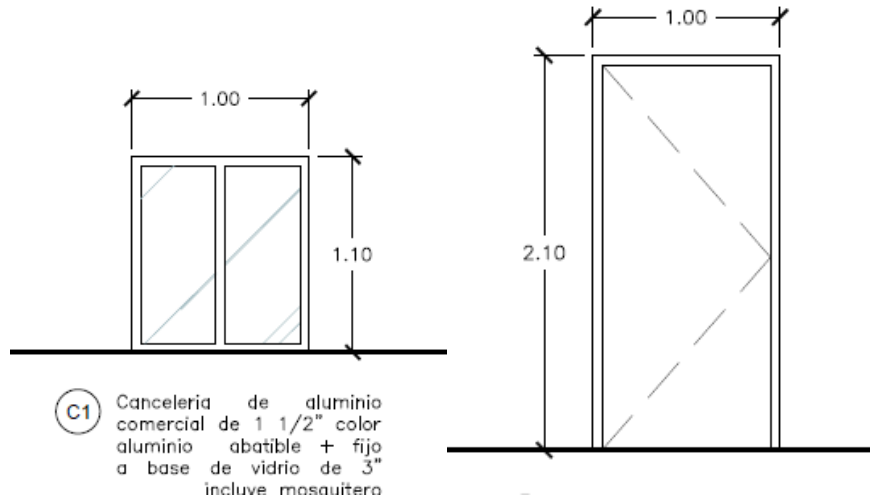


Figura 24 Cancelería y Puerta principal de fachada sur.
(Elaboración propia, 2021)

Tabla 8 Características envolvente de la fachada norte. Vivienda base

Muros				
Concepto	Dimensión	Área	Material	Espesor
Fachada Norte	7.47 m x 3.05 m	22.80 m ²	Block gris 12-20-40cm	0.12
			Mortero cemento arena 1:4	0.025
			Yeso pulido	0.02
			Pintura vinílica a dos manos	0.001
Puertas y ventanas				
Código	Dimensión	Piezas	Material	Área m ²
C1	1.10 m x 1.0 m	1.00	Aluminio 1 1/2" y cristal de 3"	1.10
C2	0.60 m x 0.40 m	1.00	Aluminio 1 1/2" y cristal de 3"	0.24

(Elaboración propia, 2022)

En las siguientes figuras se observa el alzado de la fachada norte de la vivienda, que cuenta con dos ventanas con dimensión de 1.0 m x 1.10 m y otra más pequeña de 0.60 m x 0.40 m.

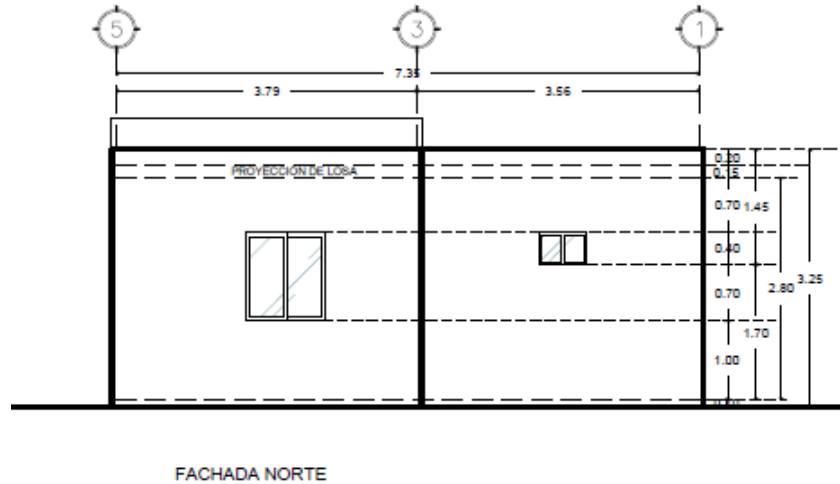


Figura 25 Fachada norte
(Elaboración propia, 2021)

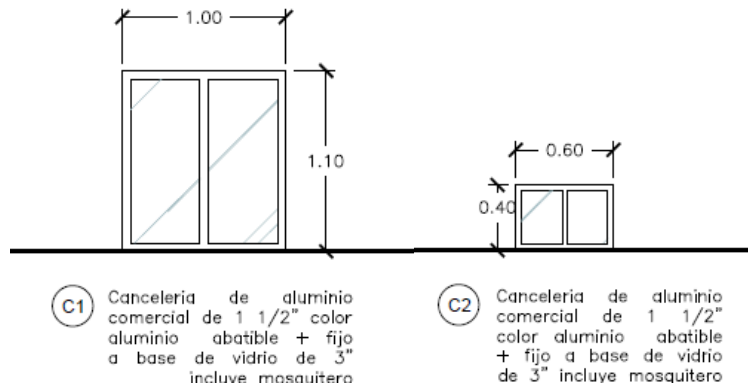


Figura 26 Cancelerías en fachada norte
(Elaboración propia, 2021)

Tabla 9 Características envolvente en muros en fachada este. Vivienda base

Muro				
Concepto	Dimensión	Área	Material	Espesor
Fachada Este	15.40 m x 3.05 m	46.97 m ²	Block gris 12-20-40cm	0.12
			Mortero cemento arena 1:4	0.025
			Yeso pulido	0.02
			Pintura vinílica a dos manos sobre sellador	0.001
Puertas y ventanas				
Código	Dimensión	Piezas	Material	Área m ²
C1	1.10 m x 1.0 m	2.00	Aluminio 1 1/2" y cristal de 3"	2.20
C2	0.60 m x 0.40 m	1.00	Aluminio 1 1/2" y cristal de 3"	0.24
P2	0.85 m x 2.10 m	1.00	Puerta de madera	1.79

(Elaboración propia, 2022)

En las siguientes figuras se observa el alzado de la fachada este de la vivienda, donde se muestra elementos que inciden en el cálculo del análisis energético por sus dimensiones y características de los materiales que la componen, son dos ventanas con dimensión de 1.0 m x 1.10 m, una ventana de 0.40 m x 0.60 m y una puerta de 2.10 m x 0.85 m.

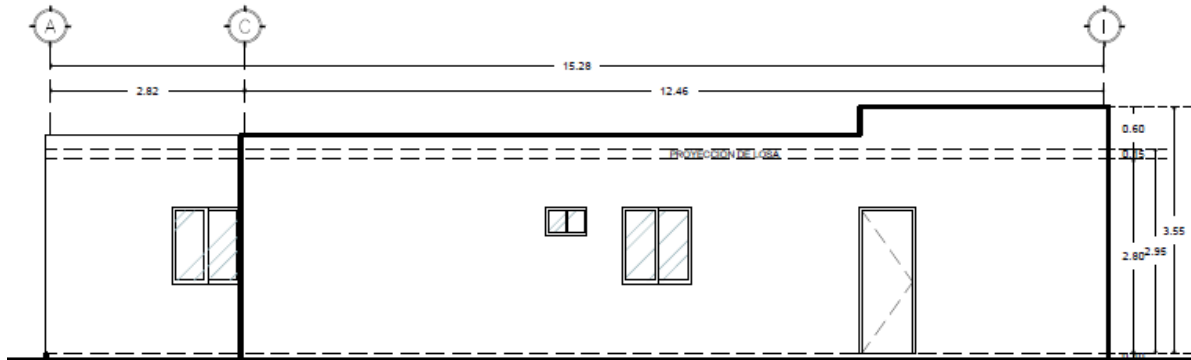
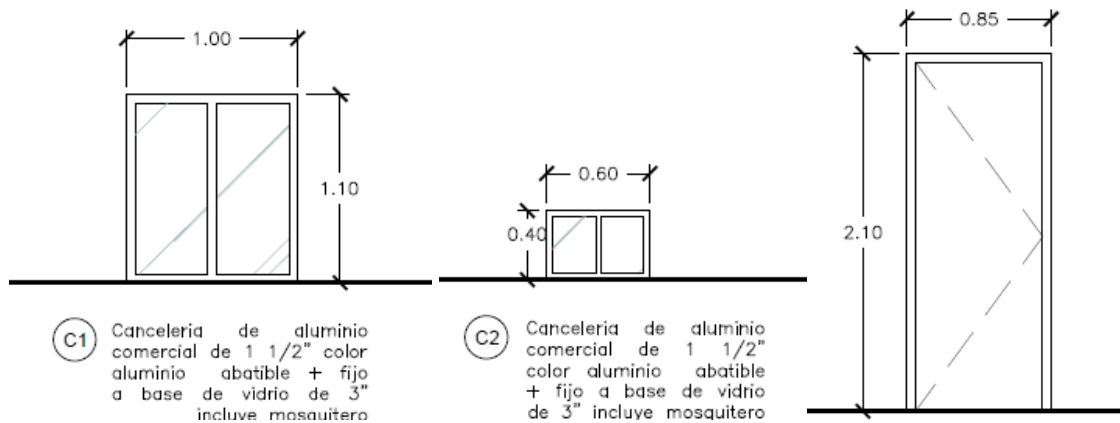


Figura 27 Fachada orientación este
(Elaboración propia, 2021)



(C1) Cancelería de aluminio comercial de 1 1/2" color aluminio abatible + fijo a base de vidrio de 3" incluye mosquitero

(C2) Cancelería de aluminio comercial de 1 1/2" color aluminio abatible + fijo a base de vidrio de 3" incluye mosquitero

Figura 28 Cancelería y puerta en muro con orientación Este.
(elaboración propia, 2021)

Tabla 10 Características envolvente muros, puertas y ventanas orientación oeste. Vivienda base.

Muro				
Concepto	Dimensión	Área	Material	Espesor
Fachada Oeste	15.40 m x 3.05 m	46.97 m ²	Block gris 12-20-40cm	0.12
			Mortero cemento arena 1:4	0.025
			Yeso pulido	0.02
			Pintura vinílica a dos manos sobre sellador	0.001

(Elaboración propia, 2022)

En la siguiente figura se observa el alzado de la fachada oeste de la vivienda, se observa un muro macizo que no cuenta con presencia de puertas y ventanas.

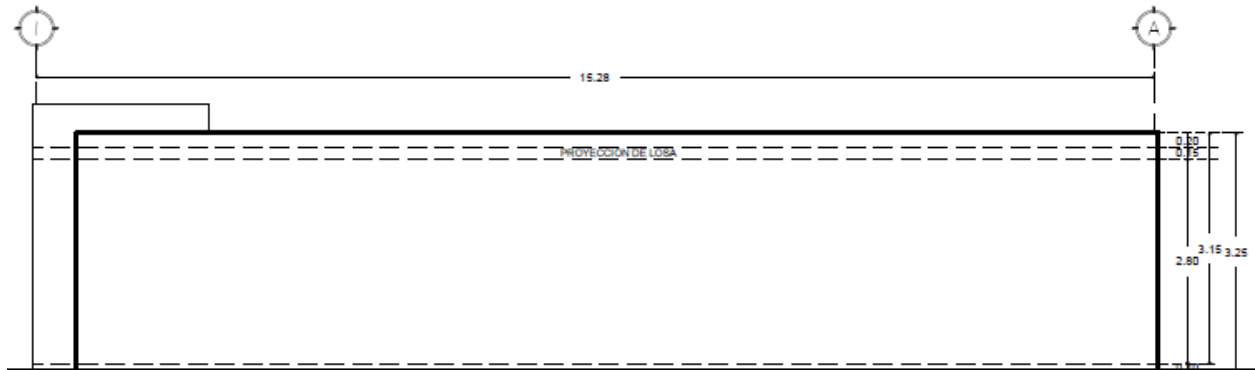


Figura 29 Fachada Oeste
(Elaboración propia, 2021)

En la siguiente tabla se describen las características constructivas de la losa más utilizada en vivienda media según la encuesta realizada, a base de vigueta y casetón de poliestireno, considerando un impermeabilizante elastomérico, y las características del espesor que incluirá junto con las propiedades de la conductividad térmica para el análisis energético.

Tabla 11 Características envolvente losa. Vivienda base.

Losa	
Área	102 m ²
Sistema constructivo	
Material	Espesor
Impermeabilizante elastomérico thermotek 5 años sobre malla reforzada	0.015
Concreto armado f'c 200kg/cm ² con malla electrosoldada 6-6 10/10	0.04
Vigueta y casetón	0.15

(Elaboración propia, 2022)

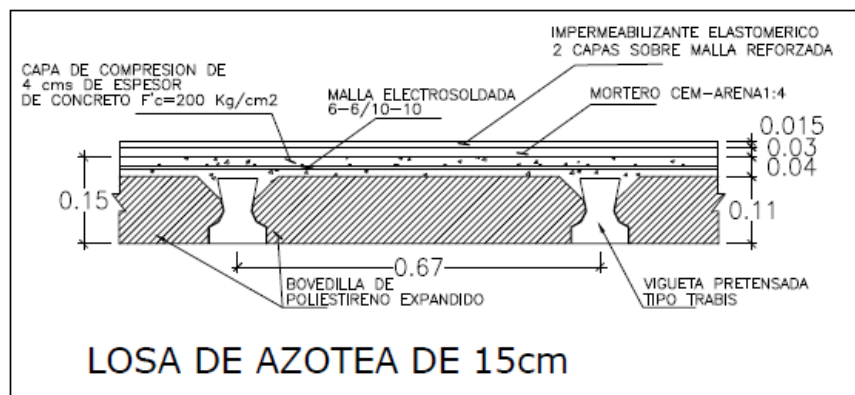


Figura 30 Sistema constructivo de losa de azotea de diseño de vivienda.
(Elaboración propia, 2021)

De acuerdo con los materiales resultado de la encuesta, se investigan las propiedades de conductividad térmica con que cuenta cada material, obtenidos principalmente de fichas técnicas de proveedores locales y normas técnicas, mismos que servirán para realizar los análisis térmicos y energéticos de la vivienda; con los materiales en la siguiente tabla se realizarán las propuestas de mejora a la vivienda base. Con estas características de conductividad térmica y espesores de materiales se obtendrán los valores U que significa la cantidad de energía que pasa por m² de superficie.

Tabla 12 Características y propiedades térmicas de los materiales para la envolvente de la vivienda base y mejorada

Material	Unidad	Espesor	Conductividad térmica (w/ mk)	Fuente
Envolvente material macizo				
Bloque común gris 12x20x40 cm	Pza	0.12	1.20	(Argudin, 2007)
Bloque térmico 12X20X40 cm	Pza	0.12	0.219	Ficha técnica Carolina Block
Ladrillo común recocido 7x14x28 cm	Pza	0.14	0.872	NOM-020-ENER-2011
Ladrillo térmico 7x12x25cm	Pza	0.12	0.228	Ficha técnica Carolina Block
Concreto armado	m ²	0.04	1.74	NOM-020-ENER-2011
Poliestireno expandido	m ²	0.11	0.03	FAO
Envolvente material ligero				
Placa poliestireno 1" Formular 1.22x2.44 m	Pza	0.25	0.024	Ficha técnica FORMULAR
Recubrimientos				
Mortero cemento arena	m ²	0.025-0.03	0.63	NMX-C-460-ONNCCE- 2009
Yeso	m ²	0.025	0.372	NOM-020-ENER-2011
Impermeabilizante Thermotek	m ²	0.002	0.119	NMX-C-181-ONNCCE- 2010

(Elaboración propia, 2022)

4.2 Etapa II. Simulación térmica

Se realizará una simulación térmica para un caso de estudio de una vivienda base de interés medio ubicada en la ciudad de Hermosillo Sonora, en un primer caso, utilizando los materiales convencionales para muros a base de bloque de concreto hueco y techos fabricados con el sistema de losa de vigueta y casetón de poliestireno descritos anteriormente.

Para la simulación se utiliza el software Sisevive Ecocasa DEEVi en la versión 1, que permite conocer el desempeño energético de la vivienda, bajo unas condiciones promedio de confort para sus habitantes, así como su consumo y ahorro proyectado en energía (kWh/m²), en él se registran datos específicos de la vivienda, como ubicación, tipo de clima, volumen, superficies en diferentes orientaciones, si es de uno o dos niveles y las propiedades térmicas de los materiales.

4.2.1 Captura de datos generales

Se inicia la captura con datos generales de la vivienda base. Se determina la ubicación en Hermosillo Sonora, para clima caído seco. La tipología de la vivienda es aislada y cuenta con un volumen de 298.9 m³.

Comprobación DEEVi	
1	Foto o dibujo
2	
3	Edificio: unifamiliar un nivel
4	Calle:
5	CP / Ciudad: hermosillo
6	País:
7	Tipo de edificio: Vivienda aislada
8	
9	Clima DEEVi: 3 - Muy seco Hermosillo -- Sonora
10	Datos propios: Latitud geográfica * Longitud * Altitud m
11	
12	Clima elegido: Hermosillo -- Sonora Distancia: km
13	
14	Promotor:
15	Calle: Universidad de Sonora
16	CP / Ciudad: Hermosillo
17	
18	Proyectista / Arq.: Alejandra Samaniego
19	Calle: Universidad de Sonora
20	CP / Ciudad: Hermosillo
21	
22	Instalaciones:
23	Calle: Universidad de Sonora
24	CP / Ciudad: Hermosillo
25	
26	
27	
28	Tipo de construcción: masiva Temperatura interior invierno: 20.0 °C Vol. construido V _c m ³ : 298.9
29	Año construcción: 2021 Temperatura interior verano: 25.0 °C Mostrar dem. refrigeración: x
30	Nr. de viviendas: 1 Ganancias internas de calor (GIC): 2.1 W/m ² Ventilador de techo:
31	Nr. de personas: 1 GIC Verano: W/m ² Nr. de personas:

Figura 31 Datos generales de vivienda base unifamiliar 1 nivel. Software Sisevive ecocasa (Elaboración propia, 2021).

4.2.2 Captura de superficies de la vivienda

Se ingresa la información referente a las características físicas de la envolvente, como las dimensiones de cada fachada. Se ingresan dimensiones de puertas, ventanas, losa de azotea y los datos del piso, de acuerdo con la elaboración previa de generadores. Una vez ingresado los datos de cada muro se determina la orientación de cada fachada de la vivienda, así como las características del sistema constructivo de cada elemento de la envolvente. La superficie de referencia energética con la que se trabaja es la superficie libre interior en la cual se resta la superficie de los muros interiores, en la vivienda unifamiliar de un nivel le corresponde una superficie libre de 92.28 m².

Introducción de superficies																			
Denominación del elemento constructivo	al grupo Nr.	Asignación al grupo	Cantidad	x (	a (m)	x	b (m)	+	Definido por el usuario [m ²]	-	Restado por el usuario [m ²]	-	Deducción de las ventanas [m ²]	) =	Superficie [m ²]	Selección de la composición correspondiente del elemento constructivo	Nr.	Desvia- ción respecto al norte	Ángulo inclinación con la horizontal
Superficie ref. energética (SRE)	1	Sup. de ref. energética (SRE)	1	x (		x		+		-		-		) =	0.0				
Ventanas al Norte	2	Ventanas al norte													2.2	Valor hoja "Ventanas"			
Ventanas al Este	3	Ventanas al este													2.4	Valor hoja "Ventanas"			
Ventanas al Sur	4	Ventanas al sur													1.3	Valor hoja "Ventanas"			
Ventanas al Oeste	5	Ventanas al oeste													0.0	Valor hoja "Ventanas"			
Ventanas horizontales	6	Ventanas horizontales													0.0	Valor hoja "Ventanas"			
¡Por favor rellenar únicamente en la hoja "Ventanas" !																			
PROTOTIPO A, ID | 10001	1	Sup. de ref. energética (SRE)	1	x (		x		+	92.28	-		-		) =	92.3				
Muro fachada	8	Muro exterior- aire exterior	1	x (	7.47	x	3.05	+		-	2.20	-	2.2	) =	18.4	muro bloque común 12x21	1	0	90
muro trasero	8	Muro exterior- aire exterior	1	x (	7.47	x	3.05	+		-	1.10	-	1.3	) =	20.3	muro bloque común 12x21	1	180	90
muro lateral derecha	8	Muro exterior- aire exterior	1	x (	15.40	x	3.05	+		-	2.44	-	2.4	) =	42.1	muro bloque común 12x21	1	90	90
muro lateral izquierda	8	Muro exterior- aire exterior	1	x (	15.40	x	3.05	+		-		-	0.0	) =	47.0	muro bloque común 12x21	1	270	90
losa	10	Techo amb exterior/Sup inf.	1	x (	15.00	x	6.80	+		-		-	0.0	) =	102.0	losa de vigueta y caseton	2	180	0
piso	11	Piso / losa sobre sótano	1	x (	15.00	x	6.80	+		-		-	0.0	) =	102.0	piso de concreto	4	0	180
Puerta principal	7	Puerta exterior	1	x (	1.00	x	2.10	+		-		-	0.0	) =	2.1	puerta madera	3	0	90
puerta servicio	7	Puerta exterior	1	x (	0.85	x	2.10	+		-		-	0.0	) =	1.8	puerta madera	3	90	90
				x (		x		+		-		-	0.0) =					
				x (		x		+		-		-	0.0) =					
				x (		x		+		-		-	0.0) =					
				x (		x		+		-		-	0.0) =					
				x (		x		+		-		-	0.0) =					
				x (		x		+		-		-	0.0) =					
				x (		x		+		-		-	0.0) =					
				x (		x		+		-		-	0.0) =					
				x (		x		+		-		-	0.0) =					
				x (		x		+		-		-	0.0) =					
				x (		x		+		-		-	0.0) =					
				x (		x		+		-		-	0.0) =					
				x (		x		+		-		-	0.0) =					
				x (		x		+		-		-	0.0) =					
				x (		x		+		-		-	0.0) =					

Figura 32 Características de la superficie. Software Sisevive ecocasa. (Elaboración propia, 2021)

En base a las características de la conductividad térmica y espesores de los materiales más utilizados en la encuesta, se ingresa la información para la composición de los sistemas constructivos de la envolvente; la simulación base es de muros de block común gris, aplanado exterior de mortero e interior de yeso, la losa a base de vigueta y casetón sin ningún tipo de aislante térmico.

4.2.3 Captura de valores U

En la captura de valores U del sistema, se detallan las superficies de la envolvente que son techos, muros, y puertas, donde se debe ingresar la información presentada en tablas anteriores que detallan los materiales, los espesores y la conductividad térmica de los sistemas constructivos.

Una vez ingresado los datos nos proporciona el Valor U, que con base a la NMX-C-460-ONNCCE-2009, que evalúa el aislamiento térmico para envolventes de vivienda, la cual nos

menciona si cumple o no la norma. Con referencia a las puertas y ventanas, se ingresan datos precargados en el sistema para puertas a base de madera y ventanas con vidrio simples.

Las figuras 33 y 34 muestran las características de los materiales, así como el valor de resistencia térmica por metro cuadrado para cada sistema constructivo, además de declarar el cumplimiento con la norma.

Edificio: forma de cuña (pej.: cubiertas planas), capas de aire sin ventilar y desvanes no acondicionados ver a la derecha de esta hoja.

Nr. elem. const.	Denominación de elemento constructivo	ID Ecotecnología aislamiento	Techo	Pared	Sup. inf.	Piso
1	muro bloque común 12x20x40cm sin aislante			x		

ID Ecotecnología recubrimiento

Resistencia térmica superficial [m²K/W] interior R_{si}: exterior R_{se}:

Coefficiente de absorptividad: Coeficiente de emisividad:

Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Superficie parcial 2 (opcional)	λ [W/(mK)]	Superficie parcial 3 (opcional)	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]
1. bloque gris 12x20x40cm	1.200					120
2. mortero exterior	0.630					25
3. yeso interior	0.372					25
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						

Proporción superficie parcial 1: 100% Proporción superficie parcial 2: Proporción superficie parcial 3:

Total: cm

Suplemento valor-U: W/(m²K) Valor-U: W/(m²K) Coeficiente K: W/(m²K)

¡No cumple con NMX-460!

Figura 33 Valor U muro de bloque. Software sisevive ecocasa. (Elaboración propia, 2021)

Nr. elem. const.	Denominación de elemento constructivo	ID Ecotecnología aislamiento	Techo	Pared	Sup. inf.	Piso
2	losa de vigueta y caseton			x		

ID Ecotecnología recubrimiento

Resistencia térmica superficial [m²K/W] interior R_{si}: exterior R_{se}:

Coefficiente de absorptividad: Coeficiente de emisividad:

Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Superficie parcial 2 (opcional)	λ [W/(mK)]	Superficie parcial 3 (opcional)	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]
1. impermeabilizante	0.119					5
2. concreto armado	1.740					40
3. yeso	0.372					25
4. vigueta	1.740	caseton	0.030			100
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						

Proporción superficie parcial 1: 20% Proporción superficie parcial 2: Proporción superficie parcial 3:

Total: cm

Suplemento valor-U: W/(m²K) Valor-U: W/(m²K) Coeficiente K: W/(m²K)

El margen de error en el cálculo del valor-U está probablemente por encima del 10%. ¿Reparar el cálculo de puentes térmicos? Cumple con NMX-460

Figura 34 Valor U losa de vigueta y caseton. Software sisevive ecocasa. (Elaboración propia, 2021)

Se ingresa la información referente a las ventanas de tipo corredizas de cada lado de la envolvente de acuerdo con la tipología de vivienda, como su ancho y alto, la ubicación de cada ventana, el tipo de acristalamiento y marco que se utiliza en este caso el precargado por el software, que representa vidrio simple de 4 mm de espesor (Valor G= 0.87, Valor U= 5.8 W/m²k) con marco metálico sencillo 14cm de espesor (Valor U = 5.50 W/m²K) sin división térmica, como se aprecia en la figura 35.

Anti- dad	Denominación	Desviación respecto a la orientación norte	Ángulo de inclinación respecto a la horizontal	Orientación	Medidas vano (hueco de albañilería)		Instalado en		Acristalamiento		Marco		Valores-U		Borde vidrio		Instalación	
					Anchura	Altura	En superficie en la hoja "Superficies"	Nr.	Selección acristala- miento en hoja "Tipo de Ventanas"	Nr.	Selección marco en hoja "Tipo de Ventanas"	Nr.	Radiación perpen- dicular	Acristala- miento U _v	Marco (centro) U _r	Ψ _{Borde vidrio (centro)}	Ψ _{Instalación Valor promedio}	
					m	m	seleccionar:		seleccionar:		seleccionar:		-	W/(m ² K)	W/(m ² K)	W/(mK)	W/(mK)	
2	ventana fachada princ	0	90	Norte	1.100	1.000	Muro fachada	2	vidrio simple d	1	marco sencill	1	0.87	5.80	5.50	0.080	0.080	
1	ventana sur	180	90	Sur	1.100	1.000	muro trazero	3	vidrio simple d	1	marco sencill	1	0.87	5.80	5.50	0.080	0.080	
1	ventana baño posterio	180	90	Sur	0.600	0.400	muro trazero	3	vidrio simple d	1	marco sencill	1	0.87	5.80	5.50	0.080	0.080	
2	ventana lateral derec	90	90	Este	1.100	1.000	muro lateral de	4	vidrio simple d	1	marco sencill	1	0.87	5.80	5.50	0.080	0.080	
1	ventana lateral baño	90	90	Este	0.600	0.400	muro lateral de	4	vidrio simple d	1	marco sencill	1	0.87	5.80	5.50	0.080	0.080	

Figura 35 Valor U ventanas y marcos. Software sisevive ecocasa.
(Elaboración propia, 2021)

Una vez determinado el comportamiento térmico de la vivienda base, se cambian los sistemas constructivos de la misma vivienda, para determinar el impacto en la disminución de las demandas de energía por refrigeración a partir de propuestas de materiales y sistemas constructivos con capacidades aislantes que se han propuesto en este proyecto.

En base a la tipología elaborada para el caso de estudio se hace la propuesta de incorporar recubrimientos y cambios de material en la envolvente para realizar diferentes simulaciones y buscar las mejoras energéticas.

Se conservan las mismas dimensiones de la vivienda, así como las características de puertas y ventanas.

4.2.4 Propuestas de diseños de mejoras y simulaciones energéticas

Se presenta en la siguiente tabla las características de los sistemas constructivos aplicados a la envolvente de la vivienda base y cinco combinaciones diferentes utilizando los materiales de la encuesta realizada, la vivienda base cuenta con los materiales más utilizados como se mencionó anteriormente, en muro a base de bloque común gris y losa de vigueta y casetón sin ningún tipo de aislante, y las combinaciones utilizadas para las mejoras constan de aplicación de bloque térmico,

ladrillo recocido y ladrillo térmico en muros, y la losa de vigueta y casetón con y sin presencia de aislante a base de placa de poliestireno de 1”.

Tabla 13 - Sistemas constructivos propuestos para la mejora de la vivienda.

Simulación #	Sistema en muros	Sistema en losa
BASE	Bloque común	Vigueta y casetón
1	Bloque común	Vigueta y casetón con placa de poliestireno de 1”.
2	Bloque térmico	Vigueta y casetón con placa de poliestireno de 1”
3	Ladrillo recocido común	Vigueta y casetón
4	Ladrillo térmico	Vigueta y casetón
5	Ladrillo térmico	Vigueta y casetón con placa de poliestireno de 1”

(Elaboración propia, 2022)

Resultados de las simulaciones

Se realizaron las simulaciones de vivienda en las 5 opciones de mejora para analizar el comportamiento del ahorro energético y la demanda de aire acondicionado que requiere cada opción, ingresando las características de las diferentes envolventes obteniendo los siguientes resultados.

Simulación: Base. Se muestra en la gráfica la demanda de refrigeración por cada mes del año, los meses de enero a marzo y noviembre -diciembre muy poca demanda requerida debido a las bajas temperaturas, se observa en los meses de junio a septiembre la mayor demanda requerida con un máximo de 53.0 kWh /m² /mes) en julio.

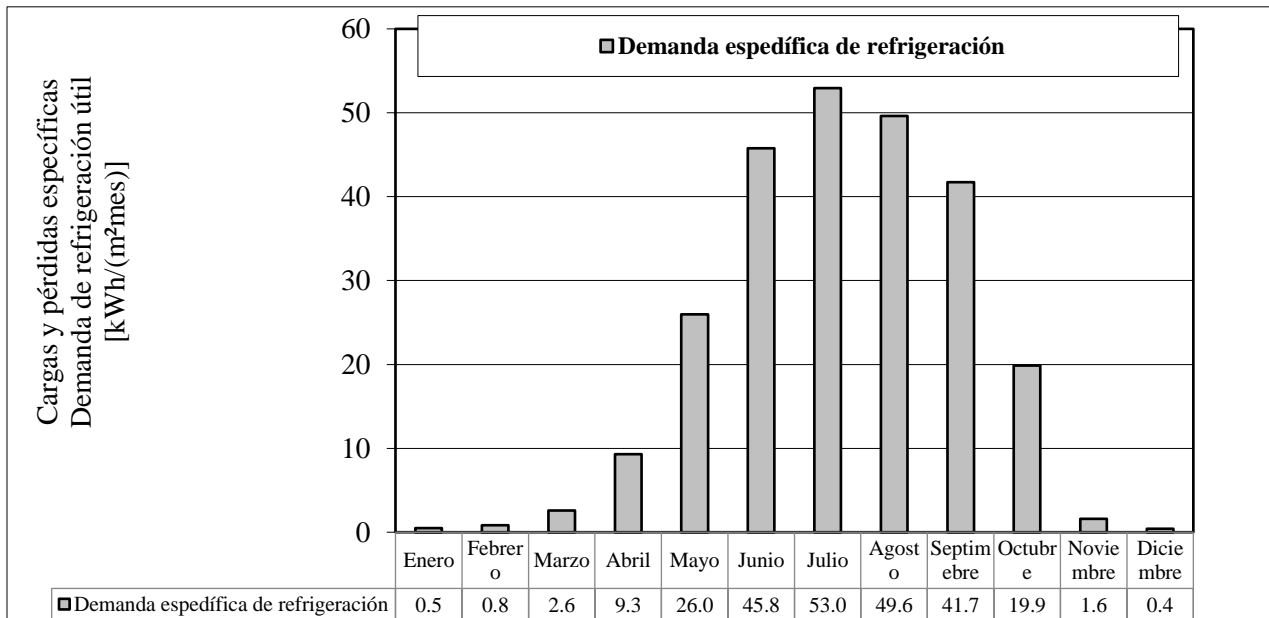


Figura 36 Demanda específica de refrigeración. Simulación base (Sisevive Ecocasa DEEVi 1, 2022)

Simulación 1. Muro de block común y losa de vigueta y casetón con placa de poliestireno de 1". Se observa la demanda específica mayor en los meses de junio y septiembre, alcanzando la máxima de 45.5 kWh (m² mes) en julio.

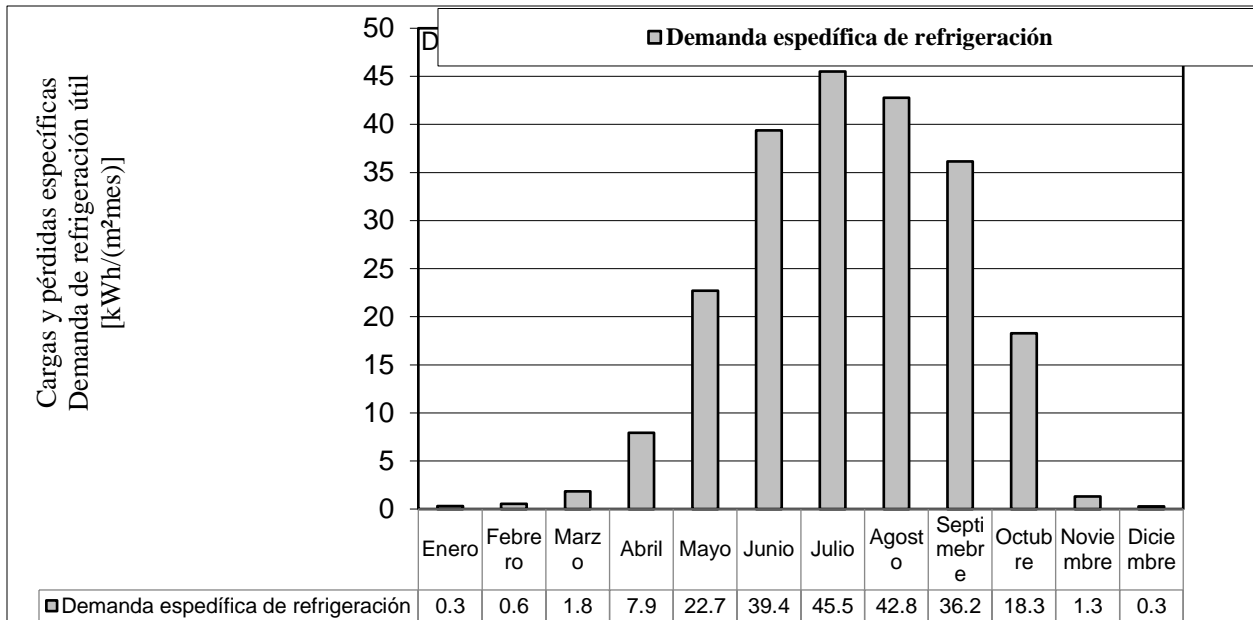


Figura 37 Demanda específica de refrigeración simulación 1. (Sisevive Ecocasa DEEVi 1, 2022)

Simulación 2. Muro de block térmico y losa de vigueta y casetón con placa de poliestireno de 1". Se observa la demanda específica mayor en los meses de junio y septiembre, alcanzando la máxima de 32.6 kWh (m² mes) en julio.

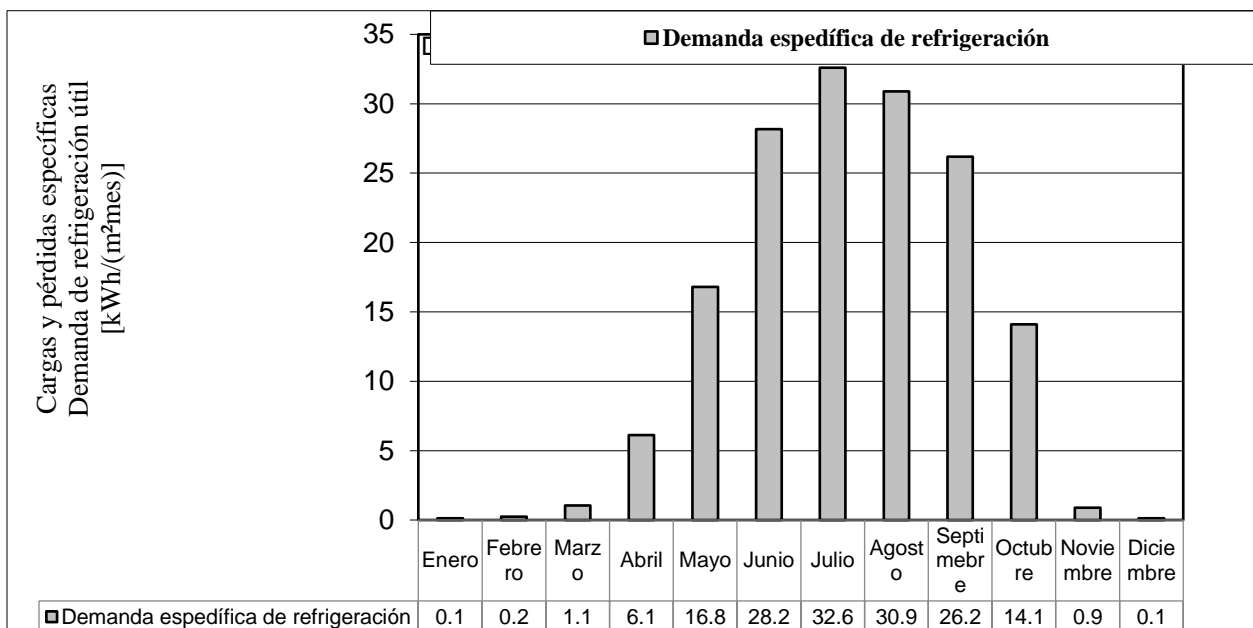


Figura 38 Demanda específica de refrigeración. Simulación 2. (Sisevive Ecocasa DEEVi 1, 2022)

Simulación 3. Muro de ladrillo recocido y losa de vigueta y casetón sin aislante. Se observa la demanda específica mayor en los meses de junio y septiembre, alcanzando la máxima de 50.1 kWh (m² mes) en julio.

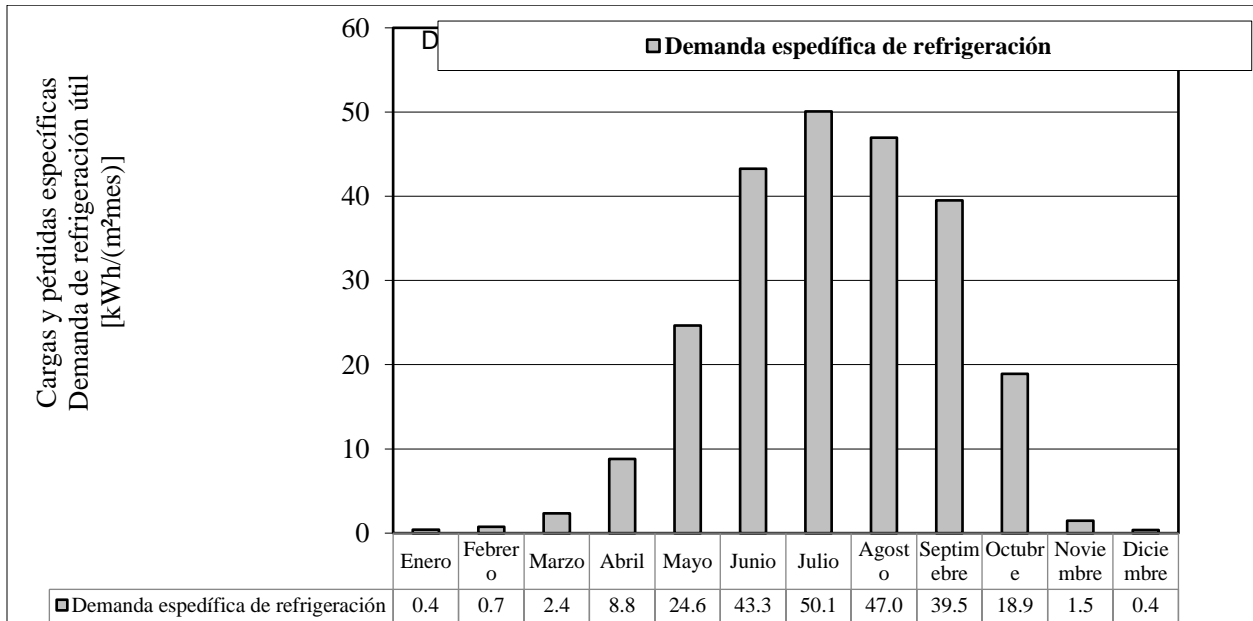


Figura 39 Demanda específica de refrigeración. Simulación 3. (Sisevive Ecocasa DEEVi 1, 2022)

Simulación 4. Muro de ladrillo térmico y losa de vigueta y casetón sin aislante. Se observa la demanda específica mayor en los meses de junio y septiembre, alcanzando la máxima de 40.4 kWh (m² mes) en julio.

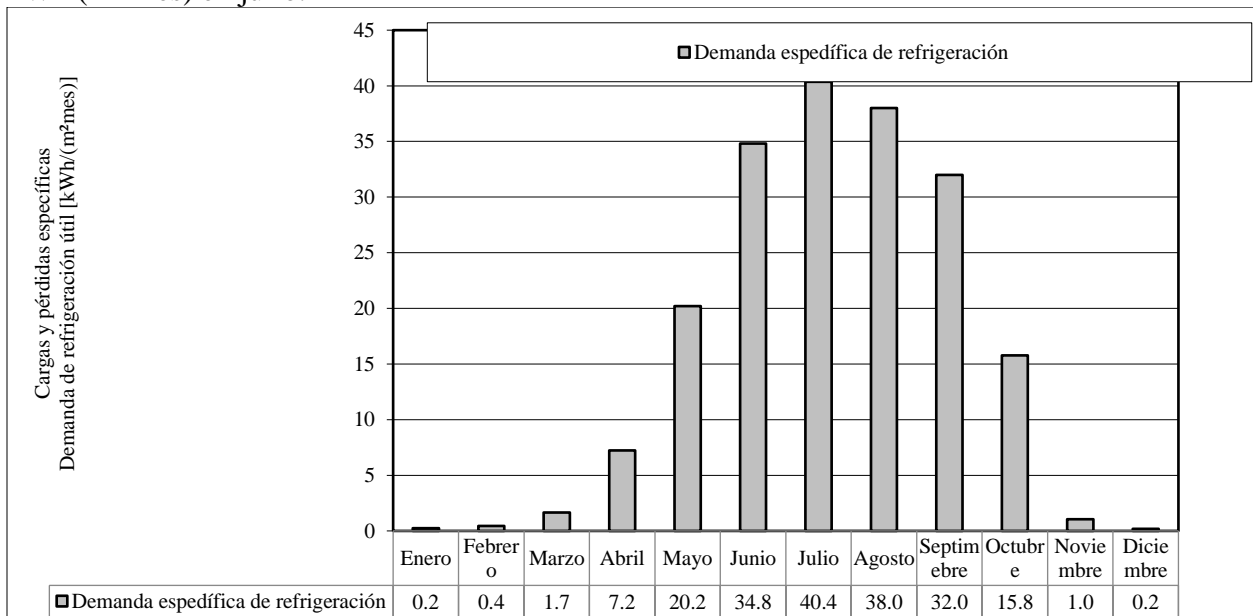


Figura 40 Demanda específica de refrigeración. Simulación 4. (Sisevive Ecocasa DEEVi 1, 2022)

Simulación 5. Muro de ladrillo térmico y losa de vigueta y casetón con placa de poliestireno de 1". Se observa la demanda específica mayor en los meses de junio y septiembre, alcanzando la máxima de 32.9 kWh (m² mes) en julio.

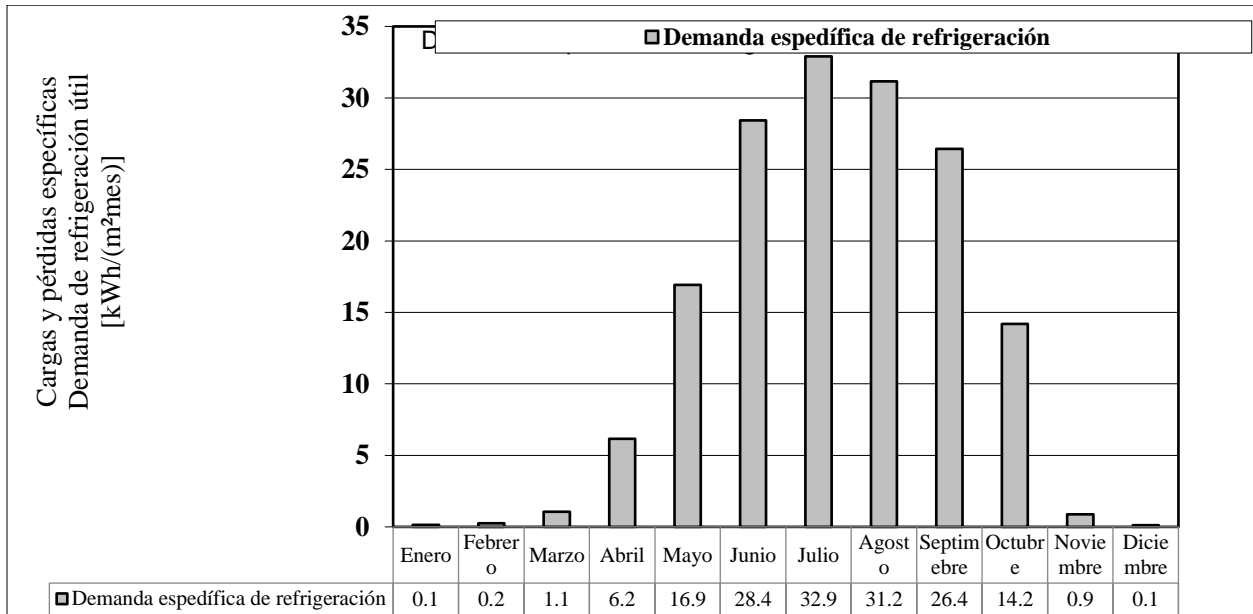


Figura 41 Demanda específica de refrigeración. Simulación 5.
(Sisevive Ecocasa DEEV i 1, 2022)

4.3 Etapa III. Análisis económico

Con los resultados de la demanda mensual de refrigeración útil del software de Infonavit multiplicados por los m² de área de superficie energética a su vez multiplicados por las tarifas de la CFE, donde se considera el subsidio de la tarifa 1F en los meses de mayo a octubre se obtiene la demanda anual de la vivienda base como se presenta en la siguiente tabla, se consideró un promedio de 2/3 de ocupación en la vivienda ya que un promedio de 8 horas los usuarios salen a trabajar, por lo que no se contabilizan estas horas en consumo de energía.

Tabla 14 kWh y gasto eléctrico anual de vivienda base

Simulación base						
Mes	kWh	m ²	kWh m ²	Tarifa	Gasto electrico por tarifa	Total gasto electrico
Enero	0.5	92.3	46.2	\$ 0.88	\$ 40.70	\$ 40.70
	2/3	30.77		\$ 1.07		
Febrero	0.8	92.3	73.8	\$ 0.89	\$ 65.50	\$ 65.50
		49.23		\$ 1.08		
Marzo	2.6	92.3	75.0	\$ 0.89	\$ 66.75	\$ 158.96
	total	239.98	85.0	\$ 1.09	\$ 92.21	
		159.99		\$ 3.17	\$ -	
Abril	9.3	92.3	75.0	\$ 0.89	\$ 66.75	\$ 1,391.01
	total	858.39	125.0	\$ 1.09	\$ 136.38	
		572.26	372.3	\$ 3.19	\$ 1,187.88	
Mayo	26	92.3	300.0	\$ 0.67	\$ 200.70	\$ 1,764.73
	total	2399.8	900.0	\$ 0.84	\$ 751.50	
		1599.87	399.9	\$ 2.03	\$ 812.53	
Junio	45.8	92.3	300.0	\$ 0.67	\$ 201.00	\$ 4,641.75
	total	4227.34	900.0	\$ 0.84	\$ 756.00	
		2818.23	1300.0	\$ 2.04	\$ 2,657.20	
			318.2	\$ 3.23	\$ 1,027.55	
Julio	53	92.3	300.0	\$ 0.67	\$ 201.00	\$ 6,072.33
	total	4891.9	900.0	\$ 0.84	\$ 756.00	
		3261.27	1300.0	\$ 2.04	\$ 2,657.20	
			761.3	\$ 3.23	\$ 2,458.13	
Agosto	49.6	92.3	300.0	\$ 0.67	\$ 201.00	\$ 5,457.96
	total	4578.08	900.0	\$ 0.85	\$ 765.00	
		3052.05	1300.0	\$ 2.07	\$ 2,688.40	
			552.1	\$ 3.27	\$ 1,803.56	
Septiembre	41.7	92.3	300.0	\$ 0.67	\$ 201.00	\$ 3,891.18
	total	3848.91	900.0	\$ 0.86	\$ 769.50	
		2565.94	1300.0	\$ 2.08	\$ 2,704.00	
			65.9	\$ 3.29	\$ 216.68	
Octubre	19.9	92.3	300.0	\$ 0.69	\$ 206.70	\$ 1,031.98
	total	1836.77	900.0	\$ 0.86	\$ 774.00	
		1224.51	24.5	\$ 2.09	\$ 51.28	
Noviembre	1.6	92.3	75.0	\$ 0.93	\$ 69.98	\$ 96.69
	total	147.68	23.5	\$ 1.14	\$ 26.71	
		98.45		\$ 3.33		
Diciembre	0.4	92.3	36.9	\$ 0.94	\$ 34.67	\$ 34.67
kWh anual			15469.48			
Gasto Electrico Anual			\$ 24,647.46			

(Elaboración propia, 2022)

En base al ejercicio de la tabla anterior se realiza el cálculo de kWh anual y gasto eléctrico anual de las 5 propuestas de mejoras a la vivienda, donde se los resultados en la siguiente tabla , donde la vivienda base obtuvo el mayor gasto eléctrico anual con un monto de 24,647.46 pesos, seguido de la vivienda a base de ladrillo común en muro y losa de vigueta y casetón sin aislante con un monto de 22,256.20 pesos, y así sucesivamente en forma descendiente, donde la vivienda a base de bloque térmico en muro y vigueta y casetón con aislante de poliestireno de 1” como la

vivienda con menor gasto anual con un valor de 11,304.69 pesos. Se muestra en la tabla la diferencia de gastos eléctricos anual con referencia a la vivienda base que van desde los 5,774.03 pesos a los 13,342.76 pesos con respecto a la vivienda base.

Tabla 15 Gasto eléctrico anual de viviendas

Simulación	Gasto eléctrico anual	kWh anual	Diferencia gasto eléctrico anual
BASE	\$ 24,647.46	15,469.48	
S3	\$ 22,256.20	14,620.32	\$ 2,391.26
S1	\$ 18,873.43	13,358.89	\$ 5,774.03
S4	\$ 14,655.90	11,463.66	\$ 9,991.55
S5	\$ 11,461.42	9,759.19	\$ 13,186.04
S2	\$ 11,304.69	9,679.19	\$ 13,342.76

(Elaboración propia, 2022)

4.3.2 Análisis de costos constructivos de la vivienda

Para conocer el costo de la construcción de la vivienda media se toma como referencia los costos paramétricos por m² de la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC, 2021), los cuales incluyen parámetros de indirectos y utilidad de contratistas del 28%, para la vivienda de interés medio en el período de jun -2021 que representa la vivienda base la cual tiene un valor de \$10,582 por metro cuadrado de construcción y tiene un costo paramétrico de \$1,079,364 pesos para la vivienda completa de 102 m².



Tipo de Edificación	Unidad	Costo/M2			
		oct-20	ene-21	mar-21	jun-21
VIVIENDA UNIFAMILIAR					
Interés Social	M2	6,433	6,726	7,013	7,149
Interés Medio	M2	9,647	10,076	10,419	10,582
Semilujo	M2	14,139	14,698	15,124	15,347
Lujo	M2	19,812	20,502	21,089	21,427

Figura 42 Costo paramétrico de construcción.
(Cámara mexicana de la industria de la construcción, 2021)

El costo real de la obra puede variar dependiendo de las necesidades de cada proyecto en particular, si se requiere mayores o menores requerimientos de instalaciones y acabados; por ello, solo se analizaron los sistemas constructivos a los que se le aplicará una mejora. En tal caso en la tabla 17 se calculó el precio unitario del sistema base del muro de bloque común, así como del bloque térmico, ladrillo recocido y ladrillo térmico que corresponden a las distintas simulaciones, en el caso de la losa solo se analizó el sistema aislante adicional de la placa de poliestireno de 1”.

Tabla 16 Precios Unitarios de sistemas constructivos base y mejoradas

Envolvente muro				
concepto	unidad	cantidad	pu	importe
Construcción de muro de bloque común gris 12-20-40, asentado con cemento- arena prop:1:4 a plomo y nivel, incluye material herramienta, equipo, mano de obra.	m ²	212.32	\$ 498.26	\$ 105,789.07
Construcción de muro de bloque térmico 12-20-40, asentado con cemento-arena 1:4, incluye mano de obra y equipo.	m ²	212.32	\$ 563.16	\$ 119,568.44
Construcción de muro a base de ladrillo recocido 7x14x28cm, asentado con cemento arena 1:4, incluye material, mano de obra, herramienta y equipo	m ²	212.32	\$ 594.78	\$ 126,281.91
Construcción de muro a base de ladrillo térmico 7x12x25 asentado con cemento arena 1:4 incluye material, mano de obra.	m ²	212.32	\$ 662.84	\$ 140,732.20
Recubrimiento en losa				
Instalación de placa de poliestireno 1" marca formular rosa, incluye malla fibra de vidrio, cemendbond, mano de obra.	m ²	97.00	\$ 370.40	\$ 35,928.80

(Elaboración propia, 2022)

En la siguiente tabla se observa la diferencia del costo por la utilización de las mejoras en los sistemas constructivos en cada simulación con referencia a la vivienda base de bloque común y losa de vigueta y casetón, que van desde los 20,492.84 pesos en incorporar el ladrillo en los muros hasta los 70,871.93 en aplicar el ladrillo térmico y aislante en la losa a base de placa de poliestireno de 1". También se observa el porcentaje de ahorro energético en base a la NOM-020 que presenta el software.

Tabla 17 Diferencia de costo de las mejoras y la vivienda base.

Simulación #	Muros	Losa	Diferencia costo	Ahorro Energético
base	Bloque común	Vigueta y casetón	\$ -	-41%
3	Ladrillo recocido común	Vigueta y casetón	\$ 20,492.84	-32%
4	Ladrillo térmico	Vigueta y casetón	\$ 34,943.13	1%
1	Bloque común	Vigueta y casetón con aislante	\$ 35,928.80	-19%
2	Bloque térmico	Vigueta y casetón con aislante	\$ 49,708.17	24%
5	Ladrillo térmico	Vigueta y casetón con aislante	\$ 70,871.93	23%

(Elaboración propia, 2022)

En la siguiente grafica se puede observar el comportamiento de la comparativa de las inversiones de las mejoras en la vivienda como se aproxima la simulación 1 a base de bloque común y vigueta y casetón con aislante y la simulación 4 a base de ladrillo térmico y vigueta y casetón sin aislante, pero tienen una diferencia en cuanto al ahorro energético que representa cada

uno, en el primer caso tiene un ahorro energético negativo del -19% y el segundo caso el ahorro de 1%, siendo la simulación 2 y 5 las que presentan mayor ahorro energético con el 24 y 23%.



Figura 43 Diferencia de costo energético de las simulaciones de vivienda.
(Elaboración propia, 2022)

4.3.3 Cálculo de periodo de recuperación de inversión inicial

Una vez que se obtiene el resultado de la diferencia energética y el costo por la utilización de sistemas constructivos con propiedades térmicas se calcula el tiempo de recuperación de la inversión inicial por la utilización de estas mejoras.

Se realiza un ejercicio simple de recuperación de la inversión utilizando la tasa de interés real que es el porcentaje que verdaderamente se paga por un préstamo o que se recibe por una inversión dentro de un período, una vez que se ha descontado la inflación, que provoca que el dinero no pierda el valor (BBVA, 2022).

Se utiliza la fórmula de interés compuesto de “Newnan”

Siendo:

i: tasa de interés por periodo de interés (en forma decimal). Se utiliza tasa real sin inflación. (TIE= préstamos considerados 6% anual)

n: número de periodos (en años)

P: inversión inicial. valor gastado en el presente por la diferencia de sistema constructivo de la envolvente

A: ahorro en el gasto energético anual (ingresos o desembolso de fin de periodo de una serie uniforme (pagos iguales) que continúan por n periodos).

$$P = A \left[\frac{(1 + i)^n - 1}{i(1 + i)^n} \right]$$

Se realizan iteraciones en una hoja de cálculo con la fórmula de *Newnan* para obtener el periodo de retorno de interés en años, donde:

En la tabla 19 se observan los resultados del análisis del tiempo de recuperación de inversión utilizando la fórmula de *Newnan* donde se observa que el periodo de mayor tiempo con 12.39 años la vivienda de ladrillo recocido sin aislante en losa, ya que cuenta con una baja diferencia en el costo de la energía anual en relación al costo de la energía de la vivienda base, y con menor tiempo para el retorno de inversión la vivienda con ladrillo térmico sin aislante en losa con un período de 4.04 años ya que cuenta con una mayor diferencia en el gasto de la energía anual y el gasto por la diferencia de la mejora constructiva no es tan alto.

Tabla 18 Periodo de recuperación de la inversión inicial por utilización de sistemas aislantes en vivienda.

Simulación	Sistema constructivo en muro	Sistema constructivo en losa de vigueta y casetón	A Costo por la diferencia energética anual	P Costo de inversión adicional por utilización de materiales aislantes	n Tiempo de recuperación de la inversión inicial en años
Base	Bloque común	Sin aislante		\$ -	0.00
S4	Ladrillo térmico	Sin aislante	\$ 9,991.55	\$ 34,943.13	4.04
S2	Bloque térmico	Con placa de poliestireno 1"	\$ 13,342.76	\$ 49,708.17	4.34
S5	Ladrillo térmico	Con placa de poliestireno 1"	\$ 13,186.04	\$ 70,871.93	6.68
S1	Bloque común	Con placa de poliestireno 1"	\$ 5,774.03	\$ 35,928.80	8.02
S3	Ladrillo recocido	Sin aislante	\$ 2,391.26	\$ 20,492.84	12.39

(Elaboración propia.2021)

4.3.4 Resultado ahorro de energía y emisiones de CO₂

Entre los resultados generados por el software de Infonavit sisevive ecocasa se analizó si los sistemas constructivos de la envolvente cumplen con la NOM 020, obteniendo resultados positivos la vivienda con muros de bloque térmico y losa con aislamiento de poliestireno de 1” de espesor, la vivienda con muro de ladrillo térmico con y sin aislante de poliestireno en losa de 1” de espesor, además de la cantidad de emisiones de CO₂ que se generan anualmente, la vivienda que menor ahorro energético tiene y que tiene relación con mayor emisiones de CO₂ al año es la vivienda base, y la que mayor ahorro tiene y menores emisiones de CO₂ al año es la de bloque térmico con losa de vigueta y casetón con aislante a base de placa de poliestireno.

Tabla 19 Ahorro de energía y emisiones de CO₂ al año

Simulación	Gasto por diferencia del sistema constructivo	Periodo de retorno de inversión años	Cumple con la NOM 20	Ahorro de energía	Emisiones de CO ₂ kg/año
Base	\$ -		no	-41%	9016
S3	\$ 20,492.84	12.39	no	-32%	8372
S1	\$ 35,928.80	8.02	no	-19%	7176
S4	\$ 34,943.13	4.04	si	1%	6808
S5	\$ 70,871.93	6.68	si	23%	5888
S2	\$ 49,708.17	4.34	si	24%	5796

(Elaboración propia, 2022)

5. Resultados y discusión

En los resultados de las demandas específicas de refrigeración de viviendas se obtuvo la vivienda base en primer lugar con las demandas más altas en todo el año, siendo julio el que requiere mayor demanda con 53 kWh/m², las menores demandas se obtuvieron con la simulación 2 a base de muro de bloque térmico y losa a base de vigueta y casetón con placa de poliestireno de 1” y la simulación 5 a base de ladrillo térmico y losa a base de vigueta y casetón con placa de poliestireno de 1”.

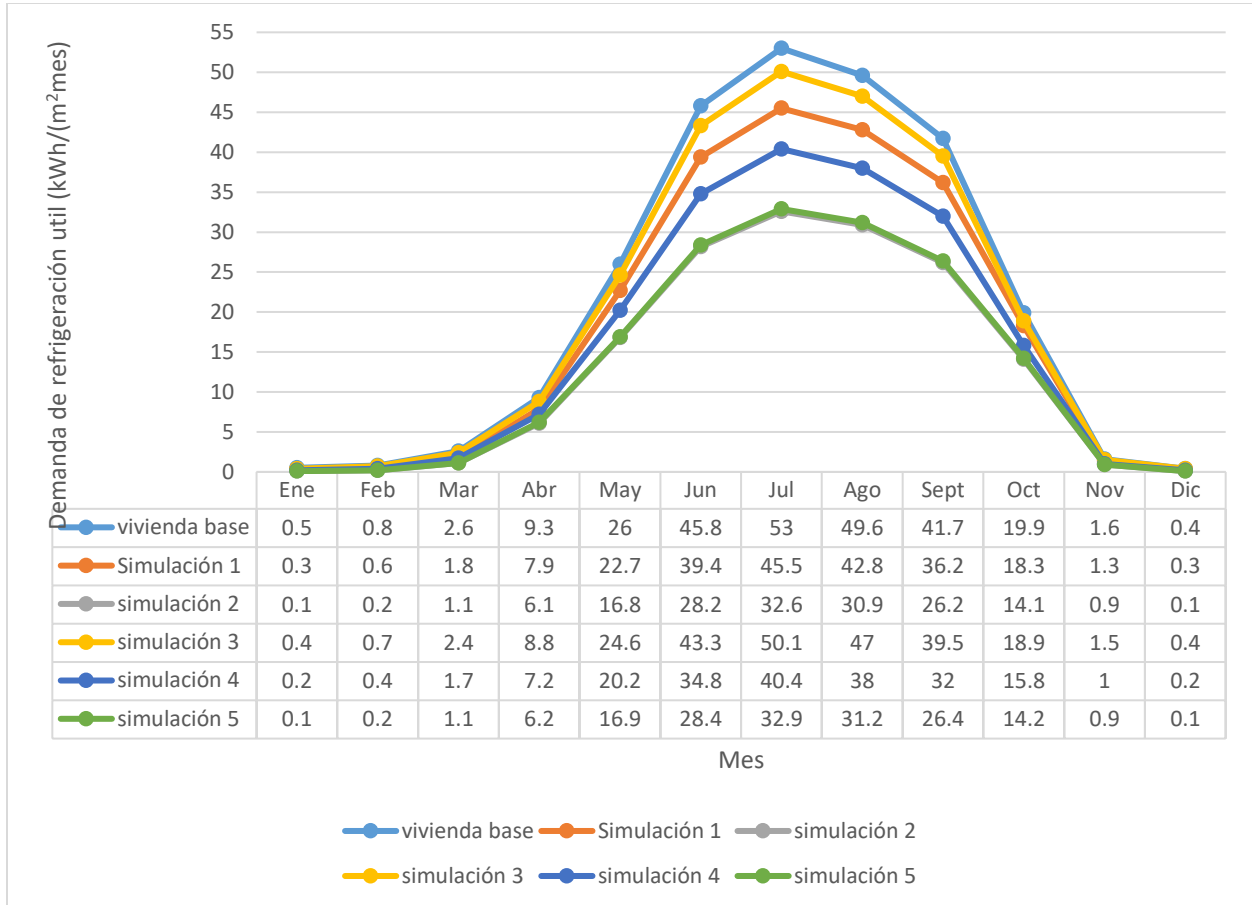


Figura 44 Comparativas en demandas de refrigeración mensual
Elaboración propia, 2022.

Considerando los 102m² de construcción de la vivienda se obtiene la demanda de refrigeración anual para cada simulación obteniendo los siguientes resultados de la figura 45, la vivienda base obtiene 15,469.48 kWh en el año, seguida de la vivienda a base de muro de ladrillo recocido y losa de vigueta y casetón sin aislante con 14,620.32 kWh, mientras que las viviendas con muros de bloque térmico y ladrillo térmico con losa de vigueta y casetón con asilamiento obtuvieron las menores demandas con muy poca diferencia entre ellas, se observa que a partir de la simulación 1 que cuenta con aislamiento en losa pero con muros de bloque de concreto comienza

a bajar la demanda pero aún no es significativa, se observa la vivienda con ladrillo térmico en muros y losa sin aislamiento con una menor demanda de refrigeración en comparada con la vivienda base.

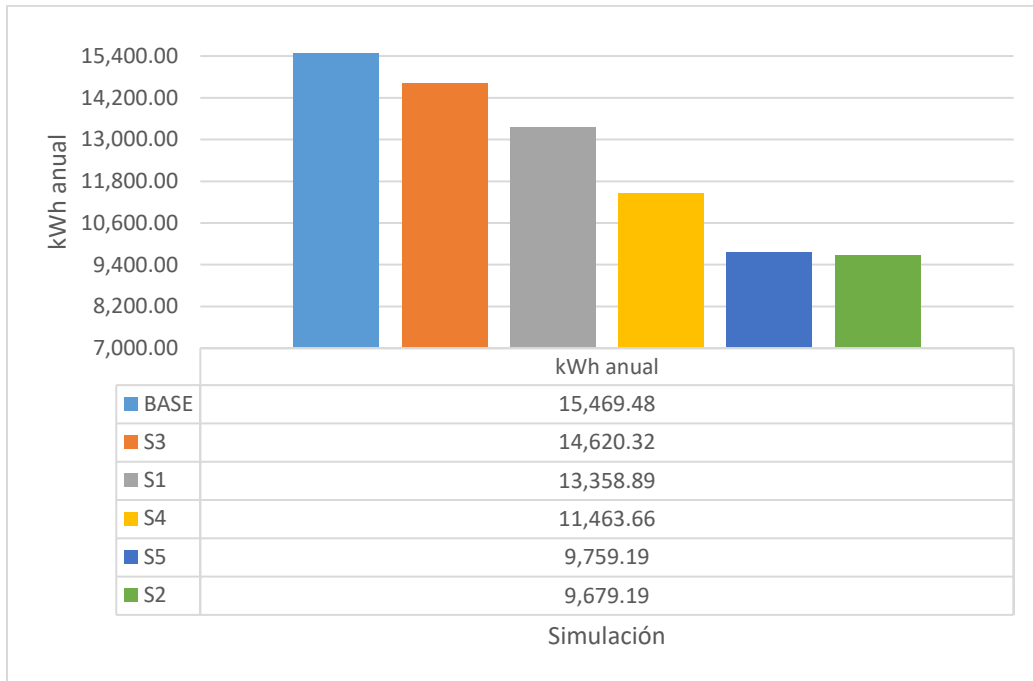


Figura 45 Comparativa de demanda de refrigeración anual de viviendas
Elaboración propia, 2022.

Con los resultados de la conversión de las demandas de refrigeración y la tarifa 1F de la CFE para la ciudad de Hermosillo, se obtuvo la diferencia proporcional en el ahorro económico que representa el implementar las mejoras en la vivienda en comparación a la vivienda base de bloque de concreto y losa de vigueta y casetón sin aislamiento, el mayor ahorro económico se obtiene en la simulación 5 y 2 con 13,342 y 13186 pesos, y con el menor ahorro de la simulación 3 con 2,391 pesos.

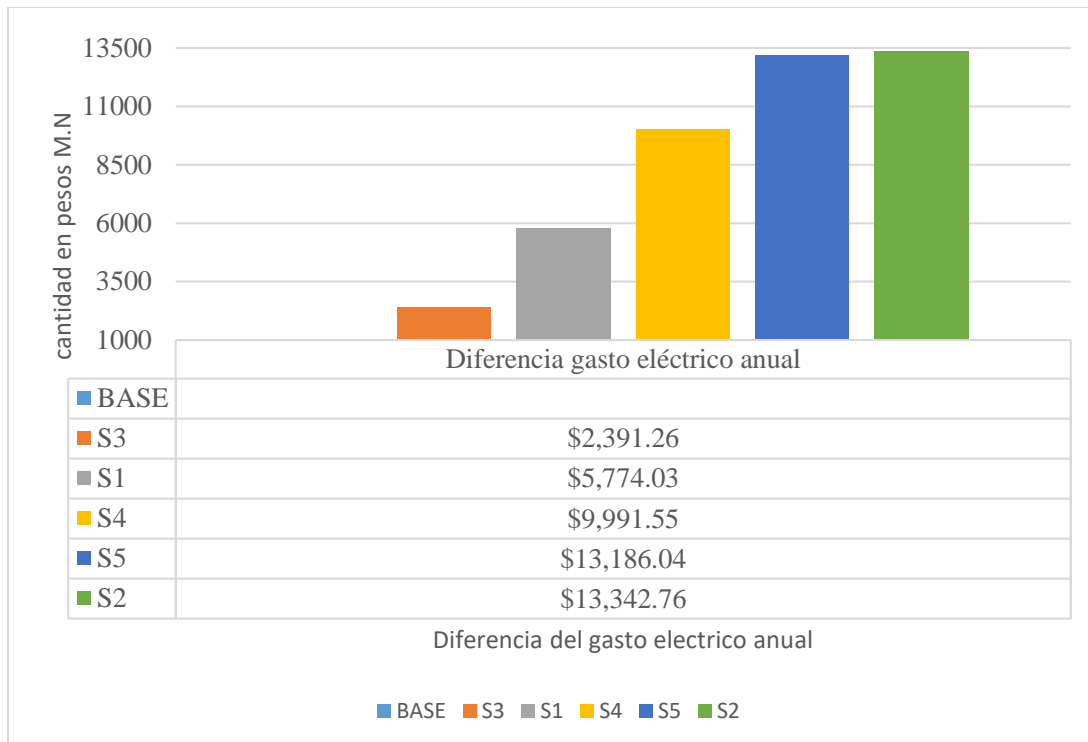


Figura 46 Diferencia del gasto eléctrico anual por vivienda
Elaboración propia, 2022.

En la siguiente figura se observa la diferencia económica por la implementación de las mejoras en el sistema constructivo de la vivienda y el porcentaje de ahorro energético, representando el mayor costo la vivienda de ladrillo térmico y losa de vigueta y casetón con aislante con 70,871.90 pesos y el 23% en ahorro energético, comparando con un ahorro energético similar pero un menor costo de inversión por materiales la vivienda de muros de bloque térmico y aislamiento de poliestireno de 1” en losa, la simulación de vivienda 1 y 4 cuentan con inversión similar en cuanto al material pero una diferencia en el ahorro energético la simulación 1 cuenta con un ahorro energético negativo con el -19% y la simulación 4 llega al 1% del ahorro energético positivo, en cuanto a las simulaciones en la vivienda base y la simulación 3, cuentan con los ahorros energéticos mas bajos con el -41% y el -32%.

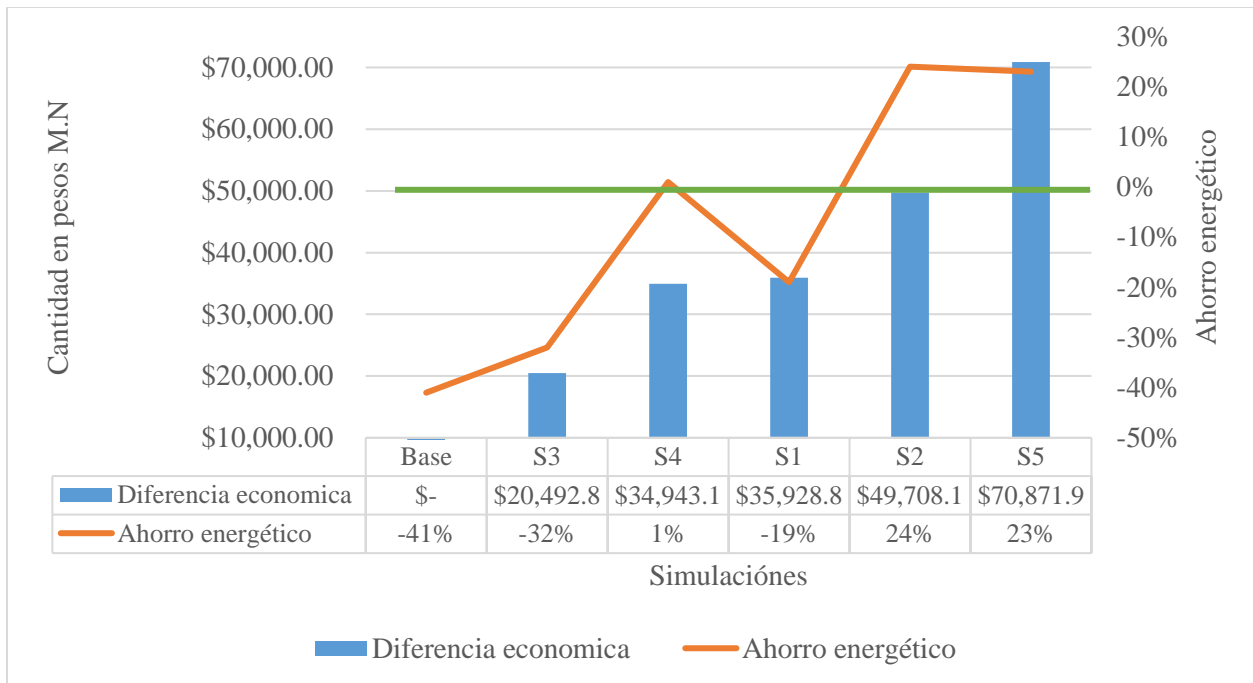


Figura 47 Diferencia económica por mejoras en sistemas constructivos y ahorro energético en las viviendas
Elaboración propia, 2022.

En los resultados obtenidos con el ejercicio de tiempo de recuperación de inversión inicial en años, donde se observa en el siguiente grafico la comparativa en el período en cada simulación de vivienda, obteniendo que la simulación 3 es la que mayor tiempo representa con 12.39 años, pero no es la que genera más inversión en dinero, solo se invirtió 20 mil pesos pero por ser muy poco lo que se ahorra en energía al año se extiende más el periodo de recuperación, lo que se traduce en que no es equivalente el costo del material si no la eficiencia energética que representa para el ahorro de energía anual y que el retorno de inversión por la utilización sea más rápida.

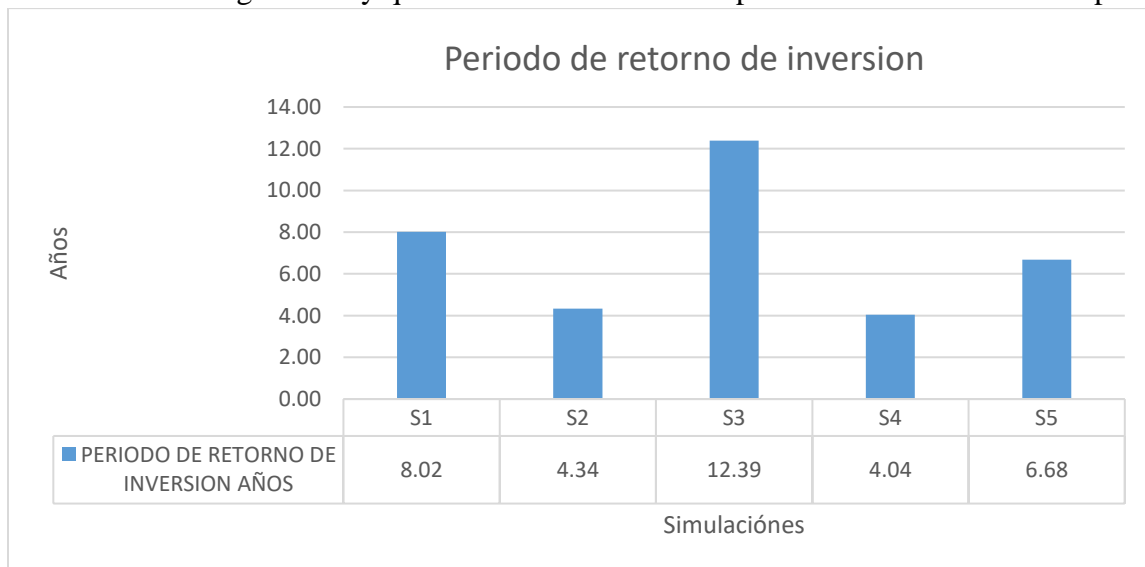


Figura 48 Comparativo retorno de inversión por utilización de materiales aislantes.
(Elaboración propia, 2022)

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

Hermosillo es una ciudad con mucho potencial para el ahorro energético, debido a su ubicación geográfica y a su clima es de suma importancia el uso de sistemas constructivos con propiedades aislantes, para mantener condiciones de confort habitables en las viviendas, ya que esto influye en condiciones de salud, productividad laboral, ahorro económico, al disminuir los gastos en energía eléctrica por el menor uso de equipos de aire acondicionado y ventajas ambientales al disminuir las emisiones de CO₂ al reducir el consumo de energía.

Según la encuesta realizada a los arquitectos del colegio de arquitectos de la ciudad de Hermosillo el mayor porcentaje de los proyectos y construcciones se eligen por factores del costo del material más que de las propiedades térmicas.

Esta investigación permite conocer el comportamiento de los materiales en la vivienda de caso de estudio en cuanto a su eficiencia y ahorro energético, y como estos impactan en el gasto y ahorro económico.

De acuerdo a los resultados obtenidos la mayor demanda de refrigeración que presentan las tipologías de vivienda se concentran en los meses de mayo a octubre, siendo el mes de julio el más alto en el uso de sistemas de enfriamiento, la vivienda base con muro de bloque hueco de concreto y losa de vigueta y casetón es la que presenta mayor demanda de refrigeración y las propuestas de mejora que se implementan sistemas con propiedades térmicas presentan disminución en las demandas y a su vez incrementos en los ahorros energéticos.

Los resultados de la demanda de aire acondicionado no tienen relación proporcional al costo de la inversión por la utilización de materiales aislantes, ni al periodo de retorno de recuperación por la inversión adicional del material aislante. La vivienda base es la más económica en cuanto al sistema constructivo de la envolvente, pero es la vivienda que mayor demanda de refrigeración al año presenta, en las viviendas con las mejoras aplicadas se presentan resultados muy particulares, presentan variaciones en cuanto al monto de inversión adicional al sistema constructivo de la envolvente que van desde los 20 mil hasta los 70 mil pesos, pero los bajos costos en la implementación de las mejoras no garantiza un ahorro considerable en la energía, a partir de una inversión de 34,900 pesos se alcanza a cumplir con 1% de ahorro de energía, hasta las inversiones de 49 mil y 70 mil pesos en materiales por un 23% y 24% de ahorro energético.

En el periodo de recuperación de la inversión inicial al implementar las mejoras, se presentaron periodos de corto y mediano plazo que van desde los 4 años a los 12 años, que no tienen relación proporcional al porcentaje del ahorro energético.

Analizando los resultados con relación al costo beneficio al usuario en primer lugar la obtiene la vivienda a base de bloque térmico en muro y losa con aislante de poliestireno de 1" ya que a pesar de que no es la inversión menor se obtiene una baja demanda en la refrigeración y el tiempo de

recuperación es de los mas rápidos con 4.34 años, en segundo lugar se considera el muro de ladrillo térmico sin asilamiento en losa con 4.04 años de recuperación pero aumenta un poco la demanda de refrigeración, pero a diferencia si se le aplica aislante en losa de placa de poliestireno de 1” aumenta considerablemente la inversión más del doble y el tiempo de recuperación pasa a 6.68 años.

Tabla 20 Resultados demanda de refrigeración, costo de inversión adicional y tiempo de recuperación de la inversión inicial

Simulación	Sistema constructivo en muro	Sistema constructivo en losa vigueta y casetón	Demanda de refrigeración y gasto eléctrico anual	P Costo de inversión adicional por utilización de materiales aislantes	n Tiempo de recuperación de la inversión inicial
Base	Bloque común	Sin aislante	15,469.48		
S1	Bloque común	Con placa de poliestireno 1”	13,358.89	\$ 35,928.80	8.02 años
S2	Bloque térmico	Con placa de poliestireno 1”	9,679.19	\$ 49,708.17	4.34 años
S3	Ladrillo recocido	Sin aislante	14,620.32	\$ 20,492.84	12.39 años
S4	Ladrillo térmico	Sin aislante	11,463.66	\$ 34,943.13	4.04 años
S5	Ladrillo térmico	Con placa de poliestireno 1”	9,759.19	\$ 70,871.93	6.68 años

Elaboración propia, 2022.

6.2 Recomendaciones

El uso de materiales aislantes en vivienda tiene ventajas significativas en el ahorro energético, hasta un 24% por el uso de aislante en muros y losa, lo que permite lograr una sensación de confort interior de la vivienda y a su vez menor gasto económico por la utilización de sistemas artificiales de enfriamiento.

Para el usuario en general que construye su casa se recomienda el uso de sistemas con propiedades térmicas, utilizando una mejora mínima se pueden observar rápidamente disminuciones en la demanda de refrigeración y a su vez en el gasto económico de electricidad, para un costo intermedio de inversión y pronta recuperación esta la vivienda de bloque térmico y losa con aislamiento térmico de placa de poliestireno de 1”.

La recomendación para el desarrollador de vivienda, donde los altos incrementos en los materiales pueden ser temas complejos, se recomiendan las viviendas que obtengan el cumplimiento mínimo de la NOM 020 que va desde la vivienda de ladrillo térmico sin aislante en losa, y la vivienda de bloque térmico con aislamiento en losa, la vivienda de ladrillo térmico y aislamiento en losa quedaría descartada por los altos costos que implican.

Para el arquitecto o constructor de vivienda se recomienda con base a las necesidades físicas y económicas del cliente o usuario final, la incorporación de materiales con propiedades térmicas en la envolvente de la vivienda en muros y losas, implementar diseños que puedan beneficiar adicionalmente a estos materiales como es proteger las áreas en muros de mayor incidencia solar, así como proteger los demás componentes de la envolvente como son puertas y ventanas que captan el calor, colocar estratégicamente la posición de la vivienda con respecto al sol y los vientos dominantes, estrategias bioclimáticas que puedan contribuir a los ahorros energéticos de la vivienda.

Para las personas que les interese explorar más alternativas y combinaciones de los materiales con propiedades térmicas en el mercado local para la envolvente de la vivienda, para obtener más opciones que beneficien directamente la economía de los usuarios y a su vez contribuir al medio ambiente disminuyendo las emisiones de CO₂.

Referencias

- Asociación de ciencias ambientales. (15 de mayo de 2022). ACA. Obtenido de <https://www.cienciasambientales.org.es/index.php/conoce-la-energia-de-tu-vivienda/eficiencia-energetica/eficiencia-energetica-de-la-vivienda>
- Acevedo, G. (15 de mayo de 2022). *Mundo HVACR*. Obtenido de <https://www.mundohvacr.com.mx/2011/05/aislamiento-termico-en-casas-de-interes-social/>
- Albarran, A., Beele, A., Gruner, A., & Montaña, R. (2014). *Manual Operativo, Version 1.1*. Alemania: Passivhaus Institut.
- AR&PR MEXICO. (10 de mayo de 2020). Obtenido de <https://www.arprmexico.com/post/materiales-t%C3%A9rmicos-para-mantener-tu-casa-fresca-en-tiempos-de-calor-arpr-m%C3%A9xico>
- Argudin, J. A. (2007). *Evaluación del comportamiento térmico y estructural en vivienda típica de interés social*. Monterrey, N.L.
- BBVA. (17 de 04 de 2022). Obtenido de https://www.bbva.mx/educacion-financiera/t/tasa_de_interes_real.html#:~:text=La%20tasa%20de%20inter%C3%A9s%20real%20es%20el%20porcentaje%20que%20verdaderamente,que%20el%20dinero%20pierda%20valor.
- Borbon-Almada, A. c., Rodriguez-Muñoz, N. A., & Najera-Trejo, M. (2019). Energy and Economic Impact on the Application of low-cost lightweight materials in economic housing located in dry climates. *sustainability*, 11,1586.
- Borbon-Almada, A., Lucero-Alvarez, J., Rodriguez-Muñoz, N., Ramirez-Celaya, M., Castro-Brockman, S., Saau-Soto, N., & Najera-Trejo, M. (20 de Noviembre de 2020). *MDPI*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/22/8225>
- CFE. (06 de abril de 2022). *CFE*. Obtenido de <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRECasa/Tarifas/Tarifa1F.aspx>
- Claudia S. Gpomez-López, L. A. (2012). Uso, precio y gasto de energía en la economía mexicana. *SciELO Analytics*, 123-139.
- Climate data. (16 de noviembre de 2020). *Climate Data*. Obtenido de <https://es.climate-data.org/america-del-norte/mexico/sonora/hermosillo-3415/#:~:text=Hermosillo%20se%20considera%20que%20tiene,24.2%20%C2%B0C%20en%20Hermosillo>
- Climate-Data. (2020). *Climate date*. Obtenido de <https://es.climate-data.org/america-del-norte/mexico/sonora/hermosillo-3415/>

- CMIC. (abril de 2021). *Scribd*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/525311972/Costos-M2-IMIC-CMIC-Abril-2020-Abril-2021>
- COMECA. (23 de febrero de 2018). *Materiales aislantes para proteger la vivienda*. Obtenido de <https://comeca.com.mx/materiales-aislantes-para-protger-tu-casa/>
- Comisión Federal de Electricidad. (06 de abril de 2022). *CFE*. Obtenido de <https://www.cfe.mx/nuestraempresa/Pages/historia.aspx>
- CONAVI. (2022 de abril de 2017). *Código de edificación de vivienda*. Obtenido de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/conavi/documentos/codigo-de-edificacion-de-vivienda-3ra-edicion-2017>
- CONAVI. (07 de noviembre de 2018). *Guía de evaluación de vivienda sustentable*. Obtenido de https://www.conavi.gob.mx/documentos/SGAVPS/SUSTENTABILIDAD/GUIA_DE_EVALUACION_DE_VIVIENDA_SUSTENTABLE_07112018.pdf
- Delacoste, E., Carro Pérez, M., & Francisca, F. (2015). Ahorro energético en construcciones con mampuestos no convencionales. *avances en energías renovables y medio ambiente*, 08.147-08.156.
- Estrada Porrúa, M. (2001). Cambio climático global: causas y consecuencias. *Revista de información y análisis*, 16.
- F. Rizzarello, M. H. (2018). Simulación computacional del comportamiento térmico de una vivienda social en salta capital. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 15-27.
- Forbes, s. (12 de junio de 2019). *Forbes México*. Obtenido de Forbes México: <https://www.forbes.com.mx/hermosillo-es-el-lugar-mas-caliente-del-planeta-supera-al-sahara/#:~:text=Hermosillo%20se%20convirti%C3%B3%20en%20el,45.1%C2%BAC%20alcanzado%20en%201993>.
- H. Hernandez, L. M. (2011). Propuesta de una metodología de certificación de eficiencia para viviendas en Chile. *Revista de la construcción. Vol.10. SciELO*. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2011000100006>, 53-63.
- INEGI. (2005). *Cuentame*. Obtenido de www.cuentame.inegi.org.mx
- INEGI. (7 de noviembre de 2018). Primera encuesta nacional sobre consumo de energéticos en viviendas particulares. *Comunicado de prensa núm 541/18*, pág. 1/3.
- Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud. (24 de enero de 2021). *Istas*. Obtenido de <https://istas.net/medio-ambiente/energia-cambio-climatico-y-centro-de-energias-renovables-y-empleo/#:~:text=Desde%20el%20inicio%20de%20la,natural%2D%20ha%20ido%20en%20aumento.&text=Pero%20la%20quem%20de%20los,invernadero%2C%20causantes%20del%20calentamien>

- Jinghua Yu, Y., Changzhi, Y., Liwei, T., & Dan Liao, L. (Noviembre de 2009). *ScienceDirect*.
Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261909000841>
- Jocelyn, T. G. (2010). La arquitectura sin arquitectos, algunas reflexiones sobre la arquitectura vernacula. *AUS*, 12-15.
- Licón, H. J. (2007). Arquitectura Vernácula, Estrategia y clima. *Revista de divulgación de la Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo*.
- Newnan, D. G., Eschenbach, T. G., & Lavelle, J. P. (2014). *Engineering Economic Analysis*. New York: oxford univervity press.
- NOM-008-ENER-2001. (2001). *Norms oficiales mexicanas ENER*. Diario oficial de la federación . Obtenido de <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/ener/ener008.pdf>
- NOM-018-ENER-1997. (1997). Norma Oficial Mexicana, asilantes termicos para edificaciones, características, limites y metodos de prueba. *Diario Oficial*, 2-5.
- NOM-020-ENER-2011. (2011). Norma oficial Mexicana, eficiencia energetica en edificaciones. Envolverte de edificios para uso habitacional. *Diario Oficial*.
- Occ mundial. (21 de agosto de 2022). Obtenido de <https://www.occ.com.mx/blog/que-es-el-infonavit-credito/>
- Padilla, D. P. (diciembre de 2015). *Interpretación bioclimatica de la arquiteutura vernácula*. Obtenido de Politecnica Biblioteca universitaria UPM: <http://oa.upm.es/43959/>
- Pierre-Louis, K. (18 de mayo de 2018). *The New York Times*. Obtenido de www.nytimes.com/es/2018/05/18/espanol/aire-acondicionado-calentamiento-global.html
- R. García-Alvarado, A. G. (2014). Características relevantes de la simulación energética de viviendas unifamiliares.
- SENER. (2018). *Sistema de información energetica*. Obtenido de SIE: <https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas>
- Silvana Angiolini, A. P. (2007). Comparación del gasto energético para acondicionamiento térmico en vivienda social de distintos períodos en Córdoba. *Revista avances en Energías Renovables y Medio Ambiente vol. 11*, 1-7.
- Ucsusa. (29 de enero de 2020). *Ucsusa*. Obtenido de emisiones de Co2: <https://es.ucsusa.org/resources/emisiones-de-co2-por-pais/>