



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES**

CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN

TESIS

**SISTEMA DE VENTILACION CONTROLADA, BAJO EL ESTANDAR
INTERNACIONAL PASSIVE HOUSE, APLICADA EN LA VIVIENDA EN MEXICO**

PRESENTA

JAIME NOE ORTIZ MENDIOLA

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRIA EN INGENIERIA CIVIL

TUTOR

DR. GERARDO ARAIZA GARAYGORDOBIL

COTUTOR

DR. FRANCISCO MERCADO DÍAZ DE LEON

ASESOR

DRA. EDITH ESTEFANÍA ORENDAY TAPIA

AGUASCALIENTES, AGS.

DICIEMBRE 2023

Autorizaciones

CARTA DE VOTO APROBATORIO INDIVIDUAL

MTRA. DE ING. AMB. MA. GUADALUPE LIRA PERALTA
DECANA DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCION

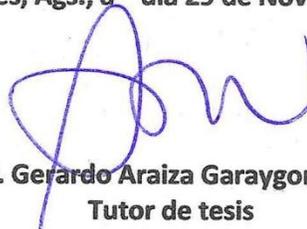
PRESENTE

Por medio del presente como **TUTOR** designado del estudiante **JAIME NOE ORTIZ MENDIOLA** con ID **145126** quien realizó la tesis titulado: **SISTEMA DE VENTILACION CONTROLADA, BAJO EL ESTANDAR INTERNACIONAL PASSIVE HOUSE, APLICADA EN LA VIVIENDA EN MEXICO**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que él pueda proceder a imprimirlo así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a día 29 de Noviembre de 2023.



Dr. Gerardo Araiza Garaygordobil
Tutor de tesis

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado

**CARTA DE VOTO APROBATORIO
INDIVIDUAL**

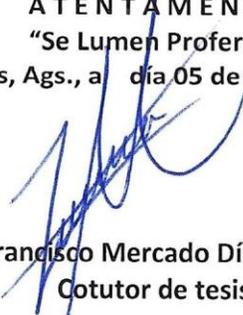
MTRA. DE ING. AMB. MA. GUADALUPE LIRA PERALTA
DECANA DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCION

PRESENTE

Por medio del presente como **COTUTOR** designado del estudiante **JAIME NOE ORTIZ MENDIOLA** con ID **145126** quien realizó la tesis titulado: **SISTEMA DE VENTILACION CONTROLADA, BAJO EL ESTANDAR INTERNACIONAL PASSIVE HOUSE, APLICADA EN LA VIVIENDA EN MEXICO**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que él pueda proceder a imprimirlo así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"
Aguascalientes, Ags., a día 05 de Diciembre de 2023.


Dr. Francisco Mercado Díaz de León
Cotutor de tesis

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado

**CARTA DE VOTO APROBATORIO
INDIVIDUAL**

**MTRA. DE ING. AMB. MA. GUADALUPE LIRA PERALTA
DECANA DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCION**

PRESENTE

Por medio del presente como **ASESOR** designado del estudiante **JAIME NOE ORTIZ MENDIOLA** con ID **145126** quien realizó la tesis titulado: **SISTEMA DE VENTILACION CONTROLADA, BAJO EL ESTANDAR INTERNACIONAL PASSIVE HOUSE, APLICADA EN LA VIVIENDA EN MEXICO**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que él pueda proceder a imprimirlo así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a día 29 de Noviembre de 2023.



**Dra. Edith Estefanía Orenday Tapia
Asesor de tesis**

c.c.p.- Interesado

c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado

Fecha de dictaminación dd/mm/aaaa: 29 de noviembre de 2023

NOMBRE: Jaime Noe Ortiz Mendiola **ID** 145126

PROGRAMA: Maestría en Ingeniería Civil **LGAC (del posgrado):** Área de Construcción

TIPO DE TRABAJO: () Tesis () Trabajo Práctico

TÍTULO: SISTEMA DE VENTILACION CONTROLADA, BAJO EL ESTANDAR INTERNACIONAL PASSIVE HOUSE, APLICADA EN LA VIVIENDA EN MEXICO

IMPACTO SOCIAL (señalar el impacto logrado): Sustentabilidad y Ahorro Energetico

INDICAR SI NO N.A. (NO APLICA) SEGÚN CORRESPONDA:

INDICAR	SI	NO	N.A. (NO APLICA)	SEGÚN CORRESPONDA:
<i>Elementos para la revisión académica del trabajo de tesis o trabajo práctico:</i>				
SI				El trabajo es congruente con las LGAC del programa de posgrado
SI				La problemática fue abordada desde un enfoque multidisciplinario
SI				Existe coherencia, continuidad y orden lógico del tema central con cada apartado
SI				Los resultados del trabajo dan respuesta a las preguntas de investigación o a la problemática que aborda
SI				Los resultados presentados en el trabajo son de gran relevancia científica, tecnológica o profesional según el área
SI				El trabajo demuestra más de una aportación original al conocimiento de su área
SI				Las aportaciones responden a los problemas prioritarios del país
N.A.				Generó transferencia del conocimiento o tecnológica
SI				Cumple con la ética para la investigación (reporte de la herramienta antiplagio)
<i>El egresado cumple con lo siguiente:</i>				
SI				Cumple con lo señalado por el Reglamento General de Docencia
SI				Cumple con los requisitos señalados en el plan de estudios (créditos curriculares, optativos, actividades complementarias, estancia, predoctoral, etc)
SI				Cuenta con los votos aprobatorios del comité tutorial, en caso de los posgrados profesionales si tiene solo tutor podrá liberar solo el tutor
NO				Cuenta con la carta de satisfacción del Usuario
SI				Coincide con el título y objetivo registrado
SI				Tiene congruencia con cuerpos académicos
SI				Tiene el CVU del Conacyt actualizado
N.A.				Tiene el artículo aceptado o publicado y cumple con los requisitos institucionales (en caso que proceda)
<i>En caso de Tesis por artículos científicos publicados</i>				
N.A.				Aceptación o Publicación de los artículos según el nivel del programa
N.A.				El estudiante es el primer autor
N.A.				El autor de correspondencia es el Tutor del Núcleo Académico Básico
N.A.				En los artículos se ven reflejados los objetivos de la tesis, ya que son producto de este trabajo de investigación.
N.A.				Los artículos integran los capítulos de la tesis y se presentan en el idioma en que fueron publicados
N.A.				La aceptación o publicación de los artículos en revistas indexadas de alto impacto

Con base a estos criterios, se autoriza se continúen con los trámites de titulación y programación del examen de grado:

Sí
 No

Elaboró:

* NOMBRE Y FIRMA DEL CONSEJERO SEGÚN LA LGAC DE ADSCRIPCION:

FIRMAS

Dr. Miguel Angel Soto Zamora

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO TÉCNICO:

Dr. Martín Hernández Marín

* En caso de conflicto de intereses, firmará un revisor miembro del NAB de la LGAC correspondiente distinto al tutor o miembro del comité tutorial, asignado por el Decano

Revisó:

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO:

Dr. Mario Ernesto Esparza Díaz de León

Autorizó:

NOMBRE Y FIRMA DEL DECANO:

M. en I. Ma. Guadalupe Lira Peralta

Nota: procede el trámite para el Depto. de Apoyo al Posgrado

En cumplimiento con el Art. 105C del Reglamento General de Docencia que a la letra señala entre las funciones del Consejo Académico: Cuidar la eficiencia terminal del programa de posgrado y el Art. 105F las funciones del Secretario Técnico, llevar el seguimiento de los alumnos.

Agradecimientos

Agradezco al Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción, por haberme permitido formarme en ella, brindarme las herramientas, al igual que las distintas instalaciones en la Universidad que me permitían el desarrollo de mi proyecto de investigación. Por su contribución se logró llevar a cabo de manera efectiva y lograr alcanzar nuestros objetivos.

Gracias a Grupo San Cristóbal por proporcionarnos un espacio en el Fraccionamiento Bosque Sereno y llevar a cabo nuestra campaña experimental, así como el Sr. Gerardo Ernesto Padilla Díaz, Gerente Comercial.

Gracias a mi tutor Dr. Gerardo Araiza Garaygordobil, por darme su apoyo en la realización de este proyecto, así como su iniciativa en brindarme un tema interesante para desarrollar.

Agradezco a mi Cotutor Dr. Francisco Mercado Díaz de León y mi asesor Dra. Edith Estefanía Orenday Tapia por cada espacio que me brindaron para aclarar cualquier duda y sobre todo por la dedicación en apoyarme en el contenido de mi proyecto de investigación para darle un mayor peso y significado a los objetivos planteados, fueron pieza fundamental para la realización de este proyecto, muchas gracias.

Dedicatorias

A mi familia, porque son lo más importante que tengo en la vida, por siempre respaldarme en mis decisiones y retos a lo largo de ella; sus consejos, paciencia y enseñanzas todos estos años son nuestras de su apoyo que me motivan a seguir buscando nuevos retos, ya que compartimos nuestros logros.

Mi Padre, Jaime Ortiz Herrera, gracias por siempre darme tus consejos, tu soporte y por acompañarme en todos mis logros, así como mis fracasos y orientarme a un camino seguro.

Mi Madre, Ma. Belem Mendiola Noyola, gracias por tu cariño y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, tu comprensión me brindo una visión distinta para afrontar los problemas que se me presenten.

Gracias a mis hermanos por ser mis compañeros de vida y aportarme distintas vivencias que sirvieron como experiencias, por abrirme las puertas en distintos rubros, así como brindarme su asesoría y vasto conocimiento en cada etapa de mi vida.

Índice general

CAPITULO I: INTRODUCCION 9

 1.1 Justificación 11

 1.2 Objetivo general..... 12

 1.3 Objetivos particulares..... 12

 1.4 Hipótesis..... 12

CAPITULO II: CONSIDERACIONES TEORICAS 13

 2.1 Conceptos empleados en el análisis 14

 2.1.1 Estándar Passive House 14

 2.1.2 Aislantes térmicos 15

 2.1.3 Puentes térmicos 15

 2.1.4 Hermeticidad en la vivienda 16

 2.1.5 Conductividad térmica 16

 2.1.6 Calculo de la transmitancia térmica..... 18

 2.2 Antecedentes del sistema Passive House..... 19

 2.2.1 Formalización y expansión del estándar..... 19

 2.2.2 Aplicación del estándar en la actualidad..... 20

 2.2.3 Ventilación bajo el Código Técnico de Edificación..... 21

 2.3 Antecedentes de la aplicación del estándar Passive House en México..... 22

 2.4 Clasificación del concepto Passive House aplicado en el sistema de ventilación mecánica..... 23

 2.5 Consumo de energéticos en viviendas particulares en México. 23

 2.6 Modelo del Sistema de Ventilación Mecánica Controlada 25

 2.6.1 Software DesignPH 25

 2.6.2 Software Passive House Planning Package 27

 2.6.3 Dimensiones y Métodos de instalación del Sistema de ventilación 29

 2.6.4 Ventilación con control de demanda y materiales..... 31

 2.7 Importancia de los materiales de construcción para el análisis en los Software DesignPH y PHPP 34

CAPITULO III: DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 36

 3.1 Metodología 37

3.2 Tipo de investigación..... 38

3.3 Estrategias para recabar información..... 38

CAPITULO IV: ELEMENTOS QUE SE CONTEMPLAN EN EL SVM Y SU DISEÑO BAJO EL ESTANDAR PASSIVE HOUSE 40

4.1 Sistema de ventilación Mecánica Controlada viable para las viviendas..... 40

4.2 Funcionamiento del Doble Flujo en el Sistema de Ventilación Mecánica Controlada. 41

4.3 Viviendas analizadas..... 42

4.4 Características de la satisfacción de confort en la vivienda. 44

CAPITULO V: CAMPAÑA EXPERIMENTAL..... 47

5.1. Variaciones de temperatura presentes en la vivienda de Bosque Sereno..... 47

5.2 Variacion de temperatura exterior con la interior..... 52

5.3 Variaciones de temperatura presentes en la vivienda de Prados del sur..... 57

5.4 Variación de temperatura exterior con la interior..... 59

5.5 Viviendas examinadas mediante el software DesignPH. 64

5.5.1 Modelo analizado en Bosque Sereno 64

5.5.2 Modelo analizado en Prados del Sur..... 69

5.6 Viviendas examinadas mediante el software PHPP 72

5.6.1 Modelo analizado en Bosque Sereno 73

5.6.2 Modelo analizado en Prados del Sur..... 76

CAPITULO VI: RESULTADOS 78

6.1 Datos obtenidos del software DesignPH en la vivienda de Bosque Sereno..... 78

6.2 Datos obtenidos del software DesignPH, en la vivienda de Prados del Sur 80

6.3 Ganancias y pérdidas en la vivienda 83

CAPITULO VII: CONCLUSIONES 87

BIBLIOGRAFÍA..... 90

Índice de tablas

Tabla No. 1 Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m²*K/W 18

Tabla No. 2 Partes del sistema de ventilación mecánica controlada. 32

Tabla No. 3 Medidas de los tubos de polipropileno para los ductos de ventilación. 33

Tabla No. 4 Elementos constructivos y su valor referente a la conductividad térmica del material..... 35

Tabla No. 5 Espacios de una vivienda y áreas a las que pertenecen con base en las necesidades humanas establecidas. 45

Tabla No. 6 Datos registrados con la cámara termográfica en Bosque Sereno..... 48

Tabla No. 7 Datos registrados con la cámara termográfica en Bosque Sereno..... 50

Tabla No. 8 Promedios de las temperaturas del exterior con áreas de interior de la vivienda en Bosque Sereno. 56

Tabla No. 9 Diversos valores captados por la cámara termográfica..... 58

Tabla No. 10 Valores de importancia realizada por la cámara termográfica..... 60

Tabla No. 11 Valores captados por la cámara termográfica..... 61

Tabla No. 12 Promedios de las temperaturas del exterior con áreas de interior de la vivienda en Prados del Sur. 63

Tabla No. 13 Transmitancia térmica de la envolvente de los muros, en Bosque Sereno. 66

Tabla No. 14 Transmitancia térmica de la losa, en Bosque Sereno. 66

Tabla No. 15 Transmitancia térmica del firme, en Bosque Sereno..... 67

Tabla No. 16 Transmitancia térmica de las ventanas, en Bosque Sereno..... 67

Tabla No. 17 Transmitancia térmica de la envolvente de los muros, en Prados del Sur..... 70

Tabla No. 18 Transmitancia térmica de la losa, en Prados del Sur. 71

Tabla No. 19 Transmitancia térmica del firme, en Prados del Sur..... 71

Tabla No. 20 Transmitancia térmica de las ventanas, en Prados del Sur..... 71

Tabla No. 21 Características de la vivienda analizada Bosque Sereno..... 74

Tabla No. 22 Datos climáticos de la vivienda ubicada en el fraccionamiento Bosque Sereno..... 74

Tabla No. 23 Proyección del comportamiento del clima a lo largo del año, por la estación meteorológica. 75

Tabla No. 24 Características de la vivienda analizada Prados del Sur..... 76

Tabla No. 25 Datos climáticos de la vivienda ubicada en Prados del Sur. 77

Tabla No. 26 Proyección del comportamiento del clima a lo largo del año, por la estación meteorológica. 77

Tabla No. 27 Análisis de la vivienda en Bosque Sereno, Software DesignPH. 79

Tabla No. 28 Perdidas de calor de la vivienda sin un sistema de ventilación, Software DesignPH 80

Tabla No. 29 Perdidas de calor de la vivienda con un sistema de ventilación, Software DesignPH 80

Tabla No. 30 Análisis de la vivienda en Prados del Sur, Software DesignPH 81

Tabla No. 31 Perdidas de calor de la vivienda sin un sistema de ventilación, Software DesignPH 82

Tabla No. 32 Perdidas de calor de la vivienda con un sistema de ventilación, Software DesignPH 82



Índice de figuras

Figura No. 1 Componentes de un aislamiento térmico, en una vivienda Passive House.. 15

Figura No. 2 Puente Térmico, generando acumulación de temperatura..... 16

Figura No. 3 Software de SketchUp y su complemento Design PH 26

Figura No. 4. Datos que nos arroja el software, respecto a las pérdidas de calor de los muros. 27

Figura No. 5 Diagrama de flujo, de cómo se complementa distintos datos en el software PHPP..... 28

Figura No. 6 Vista de Planta, tomada de la ficha técnica del HRU- PremAIR 450..... 29

Figura No. 7 Vista lateral, tomada de la ficha técnica del HRU- PremAIR 450..... 30

Figura No. 8 Diseño del sistema de ventilación mecánica controlada. 32

Figura No. 9 Eficiencia del sistema de ventilación de acuerdo con el volumen de la envolvente y ensamblaje del tubo de ventilación. 33

Figura No. 10 Circulación del aire en el interior de la vivienda por el SVM..... 41

Figura No. 11 Comportamiento de un área en la vivienda con humedad, así como ventajas y desventajas del SMV. 42

Figura No. 12 Vivienda del fraccionamiento Bosque Sereno y su diseño para el Sistema de VMC 43

Figura No. 13 Vivienda en Prados del Sur y su diseño para el sistema de VMC..... 43

Figura No. 14 Representación de la circulación del aire. 45

Figura No. 15 Sala de estar, Vivienda Bosque Sereno 48

Figura No. 16 Sala de estar en Bosque Sereno. 49

Figura No. 17 Temperatura en la recámara principal a las 8:30 am y 5:00 pm, en Bosque Sereno..... 50

Figura No. 18 Recámara Conjunta en Bosque Sereno. 51

Figura No. 19 Vivienda del Fraccionamiento Bosque Sereno 52

Figura No. 20 Variación de temperaturas del exterior a las 8:30 am y 1:30 pm..... 53

Figura No. 21 Variación de temperaturas del exterior a las 5:00 am y 7:30 pm..... 54

Figura No. 22 Temperaturas en la habitación principal 54

Figura No. 23 Temperaturas en la habitación principal 55

Figura No. 24 Temperaturas en la habitación, con cara al oeste. 55

Figura No. 25 Habitación con cara al oeste. 56

Figura No. 26. Vivienda ubicada en Prados del Sur. Aguascalientes 57

Figura No. 27. Exterior de la vivienda, área de la cochera. Prados del Sur..... 58

Figura No. 28 Áreas de interés de la vivienda, orientación el noroeste, exterior y parte de la losa y muro de la cochera. 59

Figura No. 29 Área de interés de la vivienda, Cuadro 1. 60

Figura No. 30 Espectro captado por la cámara termográfica para analizar el comportamiento de los materiales..... 61

Figura No. 31 Espectro captado del comportamiento de los materiales en el área de la cochera..... 62

Figura No. 32 Temperaturas capturadas del exterior de la vivienda e interior de la habitación principal. 63

Figura No. 33 Temperaturas capturadas del exterior de la vivienda e interior de la habitación normal. 63

Figura No. 34 Diferentes vistas de la vivienda analizada de Bosque Sereno 65

Figura No. 35 Características del sistema de ventilación aplicado en la vivienda de Bosque Sereno (Tomada del Software DesignPH). 68

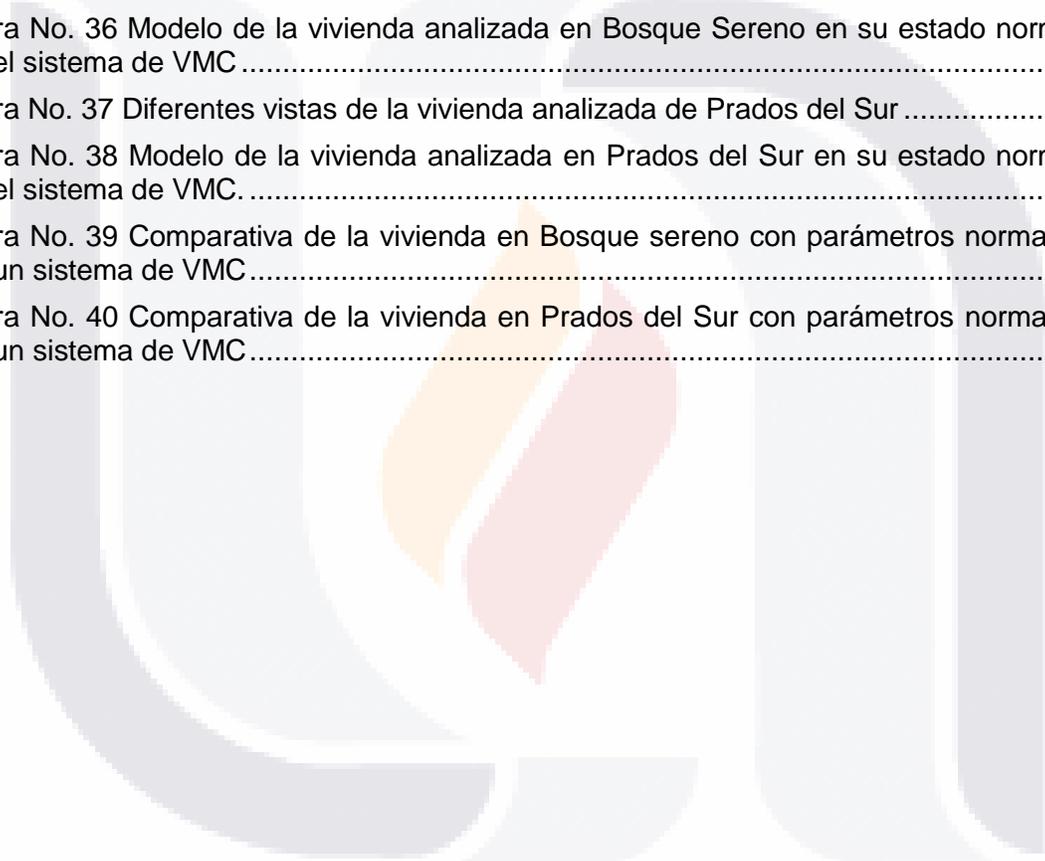
Figura No. 36 Modelo de la vivienda analizada en Bosque Sereno en su estado normal y con el sistema de VMC 69

Figura No. 37 Diferentes vistas de la vivienda analizada de Prados del Sur 70

Figura No. 38 Modelo de la vivienda analizada en Prados del Sur en su estado normal y con el sistema de VMC. 72

Figura No. 39 Comparativa de la vivienda en Bosque sereno con parámetros normales y con un sistema de VMC 83

Figura No. 40 Comparativa de la vivienda en Prados del Sur con parámetros normales y con un sistema de VMC 85



Resumen

El estándar Passive House se centra en optimizar el aislamiento del edificio mediante técnicas pasivas, teniendo en cuenta los factores de construcción existentes en el terreno. En esta investigación, se propone un modelo de análisis con el objetivo de evaluar el impacto de la implementación de un Sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC) según el estándar Internacional Passive House en la vivienda. A través del funcionamiento de un ventilador que extrae el aire viciado del interior del edificio, reemplazándolo por aire limpio y fresco. El análisis se enfoca determinar la calidad de los aislantes térmicos, así como en la hermeticidad de las viviendas.

Para los casos de estudio, se seleccionaron las viviendas del Fraccionamiento Bosque Sereno y otra ubicada en la colonia de Prados del Sur. La metodología empleada se basa en determinar la temperatura de los materiales presentes en las viviendas mediante el uso de una cámara termográfica, con el objetivo de evaluar las variaciones térmicas entre el interior y el exterior de las construcciones. Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis detallado de ambas viviendas utilizando el software DesignPH para la creación de modelos tridimensionales y el software Passive House Planning Package para un análisis más exhaustivo de los materiales de construcción y cómo reaccionan.

Los resultados arrojados señalan que la vivienda en Bosque Sereno logra reducir las pérdidas de calor por ventilación en un notable 79.77%, mientras que la vivienda en Prados del Sur alcanza una reducción del 83.30% en este aspecto. En relación con el análisis efectuado mediante el software PHPP, se observa un aumento en la eficiencia de la ventilación del 89.55% en Bosque Sereno y una mejora del 70.34% en la vivienda de Prados del Sur. En conclusión, los cambios implementados por el software al introducir el Sistema de Ventilación Mecánica Controlada indican su viabilidad en estas viviendas, traduciéndose en una reducción sustancial en el consumo eléctrico y una mejora del rendimiento térmico de los materiales.

Palabras clave: Sistema de Ventilación Mecánica Controlada, Passive House, confort térmico en la vivienda, transmitancia térmica, aislantes térmicos, hermeticidad, DesignPH, PHPP.

Abstract

The Passive House standard focuses on optimizing the insulation of the building through passive techniques, taking into account the existing building factors on the site. In this research, an analysis model is proposed with the objective of evaluating the impact of the implementation of a Controlled Mechanical Ventilation System (CMV) according to the International Passive House standard in the house. Through the operation of a fan that extracts the stale air from inside the building, replacing it with clean and fresh air. The analysis focuses on determining the quality of the thermal insulation, as well as the airtightness of the houses.

For the case studies, the homes of Bosque Sereno and another in the Prados del Sur neighborhood were selected. The methodology is based on determining the temperature of the materials present in the houses through the use of a thermographic camera, with the objective of evaluating the thermal variations between the inside and outside of the constructions. Additionally, a detailed analysis of both houses was carried out using the DesignPH software for the creation of three-dimensional models and the Passive House Planning Package software for a more exhaustive analysis of the construction materials and how they react.

The results indicate that the house in Bosque Sereno manages to reduce ventilation heat losses by 79.77%, while the house in Prados del Sur achieves a reduction of 83.30%. In relation to the analysis in the PHPP software, an increase in ventilation efficiency of 89.55% is observed in Bosque Sereno and an improvement of 70.34% in the house in Prados del Sur. In conclusion, the changes implemented by the software when introducing the Controlled Mechanical Ventilation System indicate its feasibility in these houses, resulting in a substantial reduction in electricity consumption and an improvement in the thermal performance of the materials.

Keywords: Controlled Mechanical Ventilation System, Passive House, thermal comfort in housing, thermal transmittance, thermal insulation, airtightness, DesignPH, PHPP.

CAPITULO I: INTRODUCCION

En el municipio de Aguascalientes, se han llegado a presentar elevadas temperaturas, donde hacen resaltar la importancia del rendimiento de los materiales y sistemas constructivos para garantizar el confort térmico. Al analizar el estándar Passive House y su impacto en términos de innovación en construcción, diseño, instalaciones y tecnología, se evidencian cambios significativos. Estos cambios abren la puerta a enfoques más sostenibles en el diseño y la construcción en el estado de Aguascalientes.

Con lo anterior mencionado, se examinan las dimensiones del confort térmico que la implementación de un Sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC) puede proporcionar, así como la mejora en el rendimiento de los materiales. Esto se logra mediante la renovación constante del aire en las diferentes áreas y la eliminación de contaminantes. Los caudales del sistema de VMC facilitan un intercambio constante del aire, que luego es conducido al exterior por el recuperador de calor, contribuyendo así a mejorar la eficiencia energética en la vivienda.

El diseño de una vivienda implica la cuidadosa consideración de diversos factores, desde la ubicación del terreno hasta la orientación, los materiales seleccionados, las instalaciones y los costos asociados. En particular, al abordar un proyecto en el estado de Aguascalientes, caracterizado por un clima seco y semiseco, es esencial tener en cuenta las condiciones climáticas locales.

El análisis de las temperaturas y la orientación de la vivienda son aspectos críticos en el desarrollo del proyecto de construcción. La disposición de las diferentes áreas de la edificación se convierte en un factor clave para optimizar el confort térmico y aprovechar al máximo las condiciones climáticas particulares de la región.

Para analizar estas características del clima, el estándar Passive House realiza modelos de análisis previos de sus diseños, donde se tienen en cuenta las pérdidas de temperatura, independientemente de los materiales utilizados en la construcción, para observar la variación entre el interior y el exterior de la vivienda. Cuando se manifiesta la variación mencionada, señala un problema relacionado con el

aislamiento térmico en la vivienda, dando lugar a un flujo constante de temperatura a través de los materiales de construcción.

Para abordar esta problemática, se ha llevado a cabo un análisis de las viviendas implementando el sistema de ventilación mecánica controlada, específicamente siguiendo el estándar Passive House, en los casos de estudio del Fraccionamiento Bosque Sereno y Prados del Sur. Este estándar, centrado en el sistema de VMC, implica una construcción eficiente que considera aspectos ecológicos, económicos y energéticos. Donde se controla el flujo de aire que entra y sale de la vivienda mediante conductos ubicados estratégicamente en diferentes zonas, donde la prioridad es eliminar el aire contaminado y proporcionar un confort térmico duradero.

Stefano Piraccini y Kristian Fabbri (2018) proponen una estrategia para garantizar una buena calidad del aire interior en las viviendas, destacando la importancia de evitar el uso de materiales y sustancias que emitan contaminantes. En este estudio, se examinan las viviendas construidas con materiales convencionales, evaluando el impacto y los cambios asociados a la implementación de un sistema de ventilación mecánica controlada.

Considerando lo anterior, se examina un caso real de una vivienda ubicada en el Fraccionamiento Bosque Sereno y en la colonia Prados del Sur. Se utiliza una cámara termográfica de la marca FLIR C3-X para detectar posibles anomalías o alteraciones ocultas en la construcción. El análisis se centra en las variaciones de calor en la vivienda, teniendo en cuenta su orientación. Este enfoque permite establecer parámetros para evaluar los cambios de temperatura y observar la presencia de posibles pérdidas de calor en la estructura.

Para realizar una comparativa entre los modelos en su estado normal y aquellos bajo la aplicación del Sistema de Ventilación Mecánica Controlada, se recurre a herramientas certificadas como DesignPH y Passive House Planning Package (PHPP). Estos programas posibilitan la inserción de valores relacionados con la conductividad térmica de los materiales, así como de puertas y ventanas en la vivienda. A través de estos softwares, se obtiene información sobre la cantidad de

temperatura que fluirá a través de estos elementos, lo que facilita la evaluación de la demanda de calor en el estado actual de la vivienda.

Para un análisis más detallado, se implementan modelos tridimensionales de las viviendas a través del software DesignPH y PHPP. Posteriormente, se lleva a cabo un diseño en tres etapas, que comprende la calefacción, el enfriamiento y la energía primaria de las viviendas. Este enfoque integral busca determinar cómo la implementación de un sistema de ventilación mecánica controlada no solo impacta el consumo eléctrico, sino también si hay mejoras significativas en el rendimiento térmico de los materiales, cerrando así el ciclo de evaluación desde la demanda de calor hasta la eficiencia térmica final.

1.1 Justificación

El constante aumento de la contaminación año tras año tiene repercusiones directas en la salud de las personas. La actividad metabólica de los residentes, así como la presencia de materiales de construcción, como el radón, y productos de limpieza aplicados en la vivienda, contribuyen a la acumulación de sustancias perjudiciales para la salud. Las variaciones de temperatura entre el interior y el exterior de la vivienda pueden generar problemas en los materiales de construcción debido a la falta de hermeticidad.

Surge así la necesidad de abordar el rendimiento térmico de los materiales de construcción aplicados con el fin de prevenir la generación de contaminantes y el desgaste de los mismos.

La implementación de un sistema de Ventilación Mecánica Controlada no solo responde a las necesidades mencionadas, sino que también contribuye significativamente a mejorar la salud de los ocupantes del hogar al proporcionar un ambiente interior más confortable.

En diciembre de 2023, en el municipio de Aguascalientes, se ha registrado un nivel de PM_{2.5} (materia particulada) que actualmente supera en 2.8 unidades el valor guía anual de calidad del aire establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) según los datos de IQAir (2023). Estas partículas, con un diámetro de 2.5

micrómetros, contienen sustancias químicas orgánicas, polvo y metales, los cuales son producidos por diversas fuentes como la industria, vehículos y otras actividades, según la Agencia de Evaluación de Riesgos para la Salud Ambiental de California (OEHHA.2023).

1.2 Objetivo general

Evaluar el impacto de la implementación de un Sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC) según el estándar Internacional Passive House en una vivienda en México.

1.3 Objetivos particulares

- Determinar los cambios presentados en el rendimiento térmico de los materiales, aislantes térmicos, su hermeticidad, y el confort térmico de la vivienda.
- Aplicar los principios fundamentales del estándar Passive House, en el análisis del sistema de VMC aplicado en 2 viviendas con características de diseño y materiales diferentes, analizadas en el software DesignPH y PHPP.

1.4 Hipótesis

En Aguascalientes, las viviendas que incorporan el sistema de ventilación controlada bajo el estándar Passive House experimentan mejoras en el rendimiento térmico de sus materiales de construcción. Esto resulta en una reducción del consumo eléctrico y un aumento en el aislamiento térmico de la vivienda.

CAPITULO II: CONSIDERACIONES TEORICAS

En el presente estudio, se propone la implementación del estándar Passive House en viviendas del estado de Aguascalientes, considerando las condiciones locales y manejando un diseño que abarque varios parámetros para su análisis. El objetivo es comprender el impacto real en términos de ahorro energético y confort que conlleva la aplicación de este estándar.

Hildebrandt Gruppe (2022) indica que, para controlar (Ahorro energético y Confort) establecidos de acuerdo con la certificación, las viviendas deben contar con un clima del interior cómodo, calidad del aire óptima, un buen aprovechamiento de la energía del sol y contar con un sistema de aislamiento térmico, así como cumplir con otras condiciones y principios que son parte fundamental de la normatividad.

Estos parámetros independientemente a la ubicación geográfica son, entre otros las condiciones básicas que requieren para que una vivienda sea acreedora de una certificación Passive House, considerando sus materiales de construcción.

Para el presente análisis se contempla la orientación y la zona en específico; y se consulta la NOM-172-SEMARNAT-2019 para determinar los lineamientos que se manejan en el diseño de un sistema de ventilación o bien si contemplan detalles enfocados en una edificación residencial.

Dicha norma oficial mexicana se refiere a de los lineamientos para la obtención y control del índice de calidad del aire y riesgos de la salud, con el fin de tener espacios libres de contaminantes. Sin embargo, en enfoque de la norma se vuelca hacia un contexto industrial, en donde se renueva el aire, a través de los sistemas de ventilación convencionales, porque hay bastantes pérdidas de temperatura y, además un alto consumo eléctrico, debido a la ventilación continua. Esta es una de las normativas que se manejan más completas en el tema de ventilación, pero no para espacios reducidos como la vivienda.

2.1 Conceptos empleados en el análisis

Para comenzar, hay que comprender distintos aspectos que están presentes en las viviendas y que son objeto de análisis, pero, sobre todo asimilar a qué se refieren específicamente y cómo repercuten directamente en el comportamiento de la temperatura en la vivienda. El estándar Passive House se enfoca en mejorar continuamente el ámbito de la temperatura y en cómo conseguir una alta eficiencia energética, así como en el confort térmico de la vivienda. El estándar maneja cinco principios: El aislamiento térmico, reducción o eliminación de puentes térmicos, la hermeticidad, la implementación de ventanas y puertas de altas prestaciones y, el que es nuestro objeto de estudio en este trabajo: El Sistema de Ventilación Mecánica Controlada.

2.1.1 Estándar Passive House

El estándar alude a un tipo de construcción que busca eficientemente mejorar el rendimiento del consumo eléctrico, además de proporcionar comodidad y confort térmico a los usuarios en sus viviendas, tal como menciona el Dr. Wolfgang Feist (2023). Este objetivo se logra mediante el empleo de técnicas pasivas y el uso de materiales prefabricados que no generan contaminación ambiental debido a su desgaste.

El estándar de construcción es un concepto probado que proporciona resultados positivos en diversas condiciones climáticas y frente a diferentes exposiciones externas a las que pueda estar sometida una vivienda. Esto se logra mediante la aplicación de cinco principios fundamentales en la construcción de una Casa Pasiva: Aislamiento térmico, ventanas y puertas de altas prestaciones, eliminación de puentes térmicos, hermeticidad del edificio y la implementación de un Sistema de Ventilación Mecánica Controlada. Estos principios se han consolidado como requisitos clave para cumplir con los estándares de una Casa Pasiva (Requisitos de la Casa Pasiva, 2023).

2.1.2 Aislantes térmicos

Los aislantes térmicos contribuyen a mantener las estancias del interior a una temperatura agradable, sin importar que sea invierno o verano. Su función es mantener sellada en la envolvente de la edificación, misma que involucra todos los elementos que encierran a la vivienda como recinto, tales como los muros o paredes de fachada, los firmes, puertas y ventanas, los domos o tragaluces, entre otros. Evitando que existan esas variaciones drásticas de temperatura del interior en función del exterior. Cuando no se cuenta con un correcto aislamiento se pueden generar pérdidas de temperatura que provocan variaciones térmicas.

Si la envolvente se encuentra adecuadamente aislada, “Se logrará un adecuado confort térmico y, el grosor de la misma puede ir de 20 a 30 centímetros” (Sostenibilidad y medio ambiente, 2022), (Ver Figura No.1).

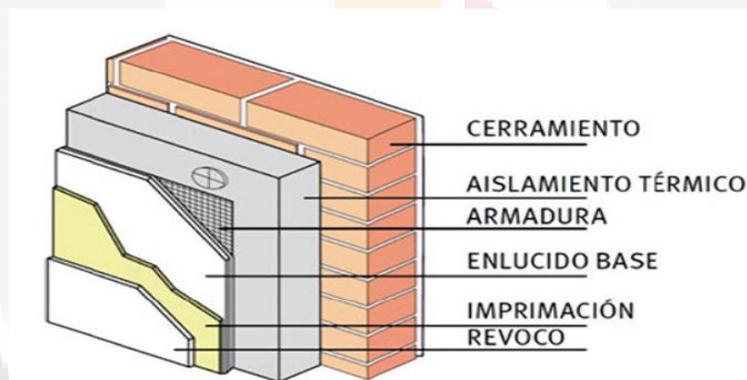


Figura No. 1 Componentes de un aislamiento térmico, en una vivienda Passive House.

Nota. Envolvente Térmica (Figura), por Efidistrict, 2023, (<https://www.efidistrict.eu/edificios/envolvente-termica/>)

2.1.3 Puentes térmicos

Cuando se habla de la generación de puentes térmicos, “Se hace referencia a una zona de la vivienda, donde la envolvente está generando más calor de lo habitual” (Sostenibilidad y medio ambiente, 2022). Un ejemplo de lo anterior es una habitación donde a determinada hora, la temperatura se eleva, debido a la incidencia solar directa en ventanas, puertas o cerramientos como paredes o muros

inadecuados (Ver Figura No.2). Por el contrario, al utilizar materiales de construcción con alta resistencia al flujo de calor, se evitarán los puentes térmicos, mejorando la temperatura del interior.

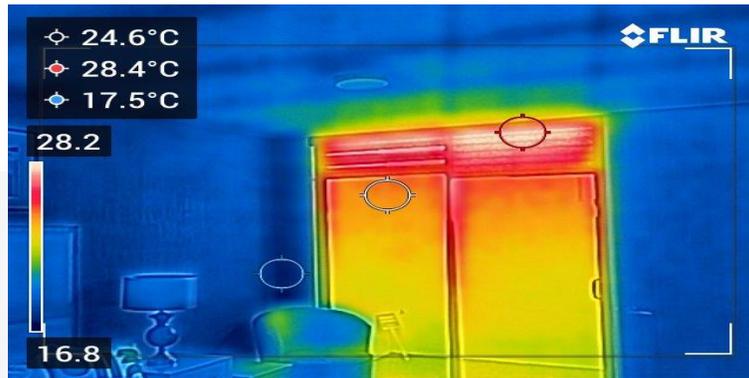


Figura No. 2 Puente Térmico, generando acumulación de temperatura

2.1.4 Hermeticidad en la vivienda

En términos generales, hermeticidad se refiere a la capacidad que tienen los cerramientos de evitar las filtraciones del aire exterior. Dichas filtraciones o exfiltraciones son corrientes de aire entran o salen de la vivienda de manera incontrolada. “Este fenómeno ocurre porque el viento genera presión en la envolvente y, como esta no se encuentra protegida, hay un flujo de viento constante” (Control y gestión de obras. s.f).

Por lo anterior, es importante remarcar que, uno de los elementos esenciales para implementar de manera óptima un sistema de VMC, es la hermeticidad.

2.1.5 Conductividad térmica

Se refiere a las propiedades de los materiales, en este caso enfocados a la construcción, que permiten la transmisión de calor. Es muy importante tener en cuenta los parámetros de Conductividad térmica en la fase del diseño de la vivienda,

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

puesto que el flujo y la retención de calor están directamente relacionados con este aspecto.

A manera de referencia puesto que en México aún no se ha implementado alguna normatividad y, para revisar el procedimiento seguido para la determinación de los parámetros correspondientes, se cita una fuente española:

La conductividad térmica se expresa como Vatios por Kelvin-metro W (K*m) y también como Lambda (λ) y sus valores están en el Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de la Edificación, ya que esos valores nos ayudan a calcular la resistencia total y la transmitancia térmica, (La cantidad de calor que fluye a través de los materiales, ya sea un muro, losa o firme).

Asimismo, para calcular la resistencia térmica de los materiales, es necesario conocer Lambda (λ) e indicar el espesor que tiene el material, y esta viene definida por la expresión:

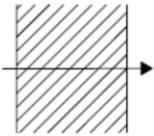
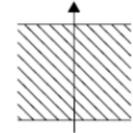
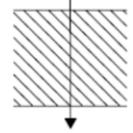
$$R = \frac{e}{\lambda}$$

e: es el espesor de la capa

λ : la conductividad térmica del material.

Esta expresión se repite para cada material empleado en la envolvente, por lo que, para calcular la resistencia total, basta con sumarlas todas. Dicho esto, hay otras resistencias técnicas superficiales, como sería la de los cerramientos y esto es importante para calcular el flujo de temperatura a través de los muros, firmes y losas, que vienen expresadas en la Tabla No.1 Código Técnico de Edificación. DA DB-HE / 1 de 2015. Febrero 2015 (España).

Tabla No. 1 Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m²*K/W

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R _{se}	R _{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo Horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente (Techo)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (Suelo)		0,04	0,17

2.1.6 Calculo de la transmitancia térmica

Al certificar una vivienda bajo el estándar de Passive House, el dato principal que se considera es su transmitancia térmica. Este indicador representa la cantidad de calor que fluye a través de muros, firme, losa, puertas y ventanas por unidad de tiempo y superficie. Un valor elevado de transmitancia térmica señala una baja hermeticidad en la vivienda, lo que indica una deficiencia en el aislamiento térmico y la posibilidad de acumulación de puentes térmicos. Este valor se expresa como Valor U en Vatio por metro cuadrado-Kelvin (W/m²·K), según el Código Técnico de Edificación, DA DB-HE/1 de 2015, febrero 2015 (España).

En relación con el punto 2.1.4, se abordó el cálculo de la resistencia total. Una vez que se obtiene este dato, es bastante sencillo determinar el valor de la transmitancia térmica de un muro, firme o losa utilizando la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{RT}$$

RT: es la resistencia total del componente constructivo.

2.2 Antecedentes del sistema Passive House

“Este innovador sistema se diseñó en 1988 por los profesores Bo Adamson de la Universidad Lund en Suecia, junto con Wolfgang Feist del instituto Für Wohnen und Umwelt. Se desarrolló el concepto como parte de un proyecto de investigación subvencionado por el Ministerio de Medio Ambiente en Alemania”. (Hildebrandt Gruppe.2022).

En 1990, se inauguró el primer edificio que implementaba el estándar Passive House. Se trató de una unidad de casas particulares de cuatro pisos construida en Darmstadt, Alemania. Este proyecto, pionero en su tipo, fue habitado por familias con el objetivo de documentar el consumo eléctrico. Se registró un consumo energético en calefacción menor a 12 kWh/m²a (kilovatios hora por metro cuadrado y año).

Al evaluar la documentación, se demostró que el sistema funciona incluso en climas poco favorables, como en Darmstadt, Alemania. Se inició el análisis del consumo en las diferentes partes del edificio, monitorizando cuidadosamente para un posterior análisis. Este éxito inicial confirmó la viabilidad del sistema, dando lugar a la construcción de complejos residenciales adicionales. Se continuó monitoreando las distintas áreas de los edificios para avanzar en investigaciones, esta vez con el objetivo de encontrar opciones más económicas para cumplir con el estándar. El enfoque no solo estaba en reducir el costo del consumo eléctrico, sino también en el material de construcción.

2.2.1 Formalización y expansión del estándar

“Dada a conocer la experiencia práctica a los conocimientos teóricos, en 1996 se fundó el Instituto Passive House. El objetivo principal en el cual se rige esta institución en la actualidad es en proporcionar, controlar y promover el desarrollo de este estándar”. (Hildebrandt Gruppe. 2022)

En el año 1996 se creó el equipo llamado “Economical Passive Houses Working Group”, el cual compilo las prácticas y las ordeno en un método más simplificado de planteamiento para las casas con este sistema llamado Passive House Planning Package (PHPP). Esto significó una iniciativa en donde aumenta la importancia en la transición desde la teoría a la práctica, lo que provocó que con una masificación aparecieron constantemente proveedores de materiales y elementos para crear los sistemas de ventilación, aislamiento y los vidriados de alta eficacia, lo que genera precios más bajos y un impulso en el desarrollo de la tecnología.

Se consideró por parte de la Unión Europea el proyecto CEPHEUS, el cual es un programa que maneja los términos en busca de que las viviendas pasivas sean rentables, según los estándares europeos que manejan bajo este sistema. Por lo que comercializo los productos desarrollados por Passive House. Este programa incluyo la construcción de 250 unidades residenciales pasivas en cinco países europeos para continuar en las investigaciones y evaluar el comportamiento del estándar.

Esto significó grandes avances en el sistema Passive House, por lo que a principios del año 2000 Katrin Klinberg, arquitecto con estudios junto con Wolfgang Feist en Alemania, llevo el concepto a Estados Unidos. El estándar demoro tres años en consolidarse y fue en 2003 cuando se construyó el primer edificio pasivo ubicado en la ciudad de Urbana en Illinois.

2.2.2 Aplicación del estándar en la actualidad

En la actualidad, según la International Passive House Association (iPHA), una entidad dedicada a capacitar y certificar profesionales, y garantizar la calidad de los edificios con sistema Passive House, se observa un aumento continuo en la adopción de este estándar. La asociación reporta que existen más de 50 mil edificaciones residenciales y no residenciales en todo el mundo con alrededor de 5 mil 500 certificados, todos cumpliendo con los criterios de certificación del Passive House Institut.

La tendencia hacia la creación de viviendas Passive House se expande gradualmente en todo el mundo, especialmente en países como Alemania y Austria, donde este sistema ya es obligatorio para la construcción de edificaciones públicas. Destacando la expansión global de esta iniciativa, Chile se destacó al implementar la primera vivienda no residencial con certificación Passive House en América Latina en el año 2012

2.2.3 Ventilación bajo el Código Técnico de Edificación.

El propósito principal de este código es asegurar la ventilación en los edificios, mejorando la calidad del aire interior y evitando condensaciones, tanto superficiales como entre elementos constructivos. Un segundo aspecto crucial es que este código cuenta con el respaldo del Instituto Passive House, estableciendo medidas que deben seguirse para obtener la certificación. Por lo tanto, sirve como referencia en el cálculo de la transmitancia térmica de los materiales.

Además, se establece que los edificios residenciales deben contar con un sistema general de ventilación, ya sea híbrido o mecánico. La ventilación híbrida se refiere a un contexto natural en el que las condiciones de presión y temperatura ambiental son favorables, permitiendo un flujo de ventilación libre dentro de la edificación. La extracción mecánica se logra mediante equipos electromecánicos, como el sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC). El objetivo es que el aire circule de los espacios secos a los húmedos, requiriendo aberturas de admisión en recámaras, comedor y salas, y aberturas de extracción en baños y cocina.

2.3 Antecedentes de la aplicación del estándar Passive House en México.

En el periodo comprendido entre 2015 y 2019, como parte del programa denominado EcoCasa, la Sociedad Hipotecaria Federal (SHF) recibió recursos del Fondo de Inversión de América Latina de la Unión Europea (LAIF) para la construcción de viviendas Passive House. Durante este proceso, contaron con la asistencia técnica del consorcio GOPA Consultants del Instituto Passive House, encargado de regular y certificar que las viviendas cumplan con una reducción aproximada del 80% de emisiones de gases de efecto invernadero, entre otros requisitos. El consorcio GOPA trabajó en colaboración con asesores locales para asegurar que los proyectos alcanzaran el estándar Passive House.

Fue en el año 2015 cuando, a través de un proceso de selección abierto, la Sociedad Hipotecaria Federal (SHF) recibió propuestas de proyecto de 14 de los desarrolladores de viviendas más importantes de México. En mayo de 2016, tras un riguroso proceso, se seleccionaron las cinco mejores propuestas. Las empresas elegidas tomaron uno de sus prototipos existentes y lo adaptaron para cumplir con los criterios de Passive House “Estos proyectos consistieron en casas en serie ubicadas en diferentes ciudades y zonas climáticas de México, ya que la exigencia no es la misma para todos los estados. Asimismo, en septiembre de 2016 el Instituto Passive House y la LAIF, organizaron talleres para presentar las tecnologías que los ayudarían a lograr el confort térmico, por lo que a principios de 2018 ya estaban en construcción”. (Elena Reyes Bernal, Javier Flórez, Jürgen Schieders y Susanne Theumer.2022)

En el año 2019, la LAIF finalizó 30 proyectos piloto a cargo de cuatro empresas, ubicadas en Sonora, Guadalajara, Monterrey y Morelia. Esto marcó la creación de suministros de tecnologías para viviendas, un recurso previamente no disponible en el país, respaldando así la difusión del concepto Passive House. Es importante destacar que se demostró que el estándar Passive House se adapta de manera efectiva a las diversas condiciones climáticas de México, demostrando un buen desempeño tanto en la fase de diseño como en la ejecución.

2.4 Clasificación del concepto Passive House aplicado en el sistema de ventilación mecánica

Desde la perspectiva que promueve el Instituto Passive House, se propone liderar iniciativas para el desarrollo de proyectos de edificación que consuman una menor cantidad de recursos y tengan un impacto positivo en el medio ambiente. Este enfoque demanda una planificación e implementación minuciosa, con el objetivo de incorporar el principio de un sistema de ventilación controlada y evaluar su impacto en el aislamiento térmico.

Para el control de las infiltraciones, el sistema de ventilación cuenta con un recuperador de calor que regula las entradas de aire. De esta manera, la edificación gestiona su calefacción a través de la ventilación mecánica, prescindiendo de la necesidad de cualquier otro sistema de climatización. Esto permite una ventilación más fluida y continua en la edificación. Por esta razón, al analizar los modelos en el Fraccionamiento Bosque Sereno y la colonia Prados del Sur, es esencial comprender el equipo y su rendimiento, ya que, según la superficie de la vivienda, el sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC) tendrá un impacto mayor o menor.

Para garantizar el eficiente funcionamiento del sistema de ventilación mecánica, es crucial considerar las dimensiones de la vivienda y las áreas específicas donde el Sistema de Ventilación Mecánica Controlada tendrá un impacto significativo. Se requiere una envolvente específica, un área designada para el análisis, con el objetivo de evaluar los cambios en ventilación, hermeticidad y verificar si hay una reducción de los puentes térmicos en la vivienda, contribuyendo así a evitar pérdidas de temperatura

2.5 Consumo de energéticos en viviendas particulares en México.

Al considerar la problemática del consumo en México, los datos indican una variabilidad significativa dependiendo de la región. En muchos estados, las altas temperaturas son un factor determinante que demanda el uso constante de fuentes

de ventilación, como ventiladores o mini Splits, como se observa comúnmente en el norte del país, para facilitar las actividades diarias

El ENCEVI indico: “En cuanto al consumo energético del sector residencial este se refiere a una cuarta parte del consumo final del total mundial, donde se manejan las actividades de uso final del consumo eléctrico en las viviendas particulares: iluminación, refrigeración, calefacción, enfriamiento de espacios y además del uso de electrodomésticos”. (Encuesta Nacional sobre consumo de energías en Viviendas Particulares (ENCEVI).2018). El INEGI realizó una encuesta nacional (ENCEVI), con el fin de cubrir las necesidades amplias de información sobre el consumo de energía en el sector residencial. En relación con esto se llevaron a cabo dos pruebas del cuestionario (una de tipo cognitivo y otra piloto), y como resultado de estas, se rediseño la herramienta y materiales de apoyo para el levantamiento de la ENCEVI.

Así mismo esta información proporciona un estudio social respecto a las medidas que toman las diferentes viviendas, para tener una temperatura agradable en el interior, así como el consumo eléctrico que este implica. Si bien esto permite un panorama de los patrones de consumo energético de las viviendas de México, se buscan sustentar decisiones a futuro para crear políticas públicas y el impulso de programas de apoyo de acuerdo con las necesidades específicas de la población y por región.

La presente encuesta proporciona una visión clara del nivel de acceso a las fuentes de energía modernas y el equipamiento de las viviendas en términos de sistemas consumidores de energía, tamaños y tipos de tecnologías. Es importante destacar que en el país se utilizan diversos métodos para suministrar energía eléctrica, en comparación con los requisitos del estándar Passive House. La encuesta revela que aproximadamente el 0.10% de las viviendas están equipadas con paneles solares para el suministro eléctrico. Por otro lado, la zona de Aguascalientes, perteneciente a la región templada, muestra un interés significativo en el ahorro eléctrico y tecnologías eficientes de iluminación, como los focos ahorradores fluorescentes, con un 70% de adopción en comparación con otras regiones

Por lo tanto, existe un gran interés en mejorar la eficiencia en el ahorro eléctrico, especialmente en el ámbito de la climatización. Se estima que el 45% de las viviendas particulares habitadas en localidades urbanas utilizan ventiladores, mientras que en las localidades rurales esta cifra es del 41%. La información indica que un sistema de ventilación mecánica controlada no es usado en esta área y optan por otras opciones. En cuanto a la climatización mediante aire acondicionado, la región de Aguascalientes se destaca como la que menos invierte en este servicio, con un 1.3%. Además, el promedio de uso diario va de 5 a 9 horas, principalmente por las noches (INEGI. Encuesta nacional sobre Consumo de energéticos en viviendas particulares 2018)."

2.6 Modelo del Sistema de Ventilación Mecánica Controlada

En relación con los beneficios que ofrece este sistema de ventilación, es crucial resaltar las características más relevantes para el análisis de los modelos de estudio. La búsqueda del confort térmico en la vivienda implica evaluar el impacto en los materiales de construcción, optando por la implementación del sistema de ventilación HRU-PremAIR 450.

2.6.1 Software DesignPH

Este software, certificado por el Instituto Passive House, desempeña un papel fundamental en la investigación y certificación de construcciones que siguen este estándar. En el estudio, se emplea el software SketchUp junto con su extensión DesignPH para crear modelos 3D. Al ingresar dimensiones, orientación y características específicas de las viviendas analizadas, se obtienen datos preliminares sobre el rendimiento del diseño en SketchUp. Aunque el software permite abordar los cinco principios de Passive House y evaluar su comportamiento, el objetivo se centra exclusivamente en analizar el sistema de VMC.

Al seleccionar la vivienda del fraccionamiento Bosque Sereno como ejemplo, se destaca su representación en color rojo (ver Figura No.3). Este color específico indica que es el único modelo que se analizará, mientras que las demás construcciones sirven como sombras proyectadas que afectarán el análisis de la vivienda seleccionada. Además, se proporciona su geolocalización, permitiendo una orientación precisa y una estimación del comportamiento de la radiación solar en esa zona. Estos datos se obtienen automáticamente de la estación climatológica (ver Figura No.3).

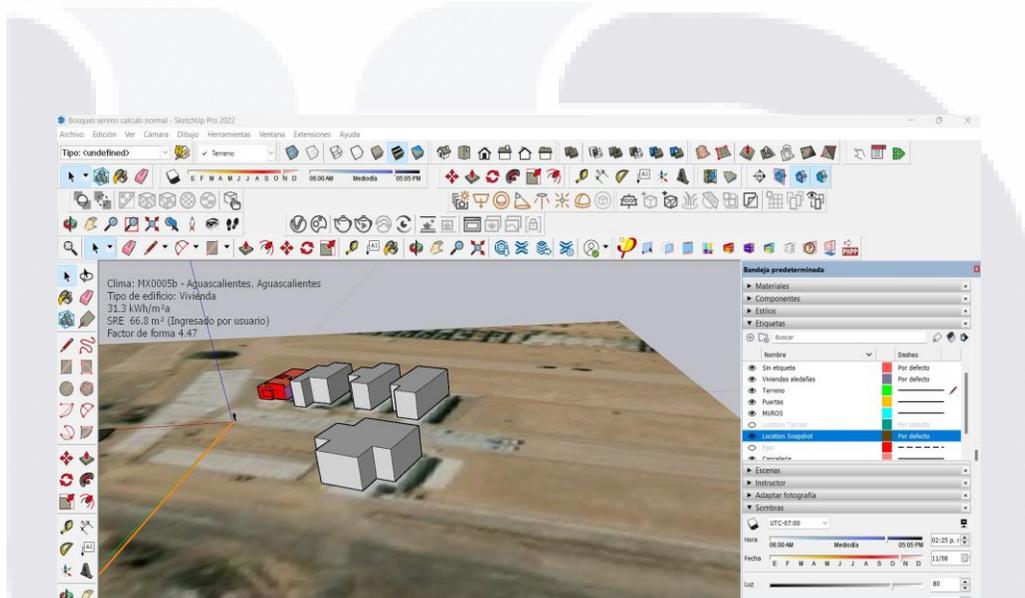


Figura No. 3 Software de SketchUp y su complemento Design PH

Para analizar el modelo, se identifican los materiales utilizados en la vivienda, lo cual permite visualizar el flujo de temperatura a través de los distintos elementos, como muros, firme y losa. Estos elementos exhiben un comportamiento específico en relación con la temperatura que retienen (Ver Figura No.4). Estos datos revelan las pérdidas de calor que ocurren a través de los muros.

Este software facilita el análisis de una vivienda durante su fase de diseño o la incorporación de diversos parámetros para examinar sus modificaciones bajo el estándar Passive House. Este análisis implica la evaluación de los cambios provocados por la introducción de un sistema de VMC, junto con otras características del estándar."

▼ Superficie de referencia energética											
SRE total											
Total - ingresado por usuario 66.80											
¿Utilizar la SRE ingresada por usuario? Entrada directa SRE total											
<input checked="" type="checkbox"/> 66.8											
▼ Superficies opacas											
Asignación al grupo: 8 - Muro ext. - Aire ext. Más columnas >> Bloquear nombres automáticos filter 8 - Muro ext. - Aire ext.											
Seleccionar	ID del área	Descrip. elemento del edificio	Asignación al grupo	Orientación	Superficie total (m ²)	Áreas de las ventanas (m ²)	Número de ventanas	Superficie neta (m ²)	Descripción elemento constructivo	Valor-U	Pérdidas de calor por transmisión (kWh/a)
<input type="checkbox"/>	2	Pared_002_W	8 - Muro ext. - Aire ext.	W	0.53	0.00	0	0.53	01ud - Muro exterior	1.39	4.12
<input type="checkbox"/>	4	Pared_004_S	8 - Muro ext. - Aire ext.	S	1.72	0.00	0	1.72	89ud - PH External Door	0.50	4.79
<input type="checkbox"/>	5	Pared_005_N	8 - Muro ext. - Aire ext.	N	3.15	0.00	0	3.15	04ud - Ventanas	6.00	105.32
<input type="checkbox"/>	6	Pared_006_N	8 - Muro ext. - Aire ext.	N	2.16	0.00	0	2.16	89ud - PH External Door	0.50	6.03
<input type="checkbox"/>	7	Pared_007_N	8 - Muro ext. - Aire ext.	N	3.09	0.00	0	3.09	83ud - PH External wall	0.15	2.59
<input type="checkbox"/>	8	Pared_008_N	8 - Muro ext. - Aire ext.	N	3.63	0.00	0	3.63	83ud - PH External wall	0.15	3.03
<input type="checkbox"/>	9	Pared_009_N	8 - Muro ext. - Aire ext.	N	6.70	0.00	0	6.70	01ud - Muro exterior	1.39	51.86
<input type="checkbox"/>	10	Pared_010_S	8 - Muro ext. - Aire ext.	S	4.15	0.00	0	4.15	83ud - PH External wall	0.15	3.46
<input type="checkbox"/>	11	Pared_011_E	8 - Muro ext. - Aire ext.	E	39.63	0.00	0	39.63	01ud - Muro exterior	1.39	306.63
<input type="checkbox"/>	12	Pared_012_W	8 - Muro ext. - Aire ext.	W	7.05	0.00	0	7.05	83ud - PH External wall	0.15	5.89

Figura No. 4. Datos que nos arroja el software, respecto a las pérdidas de calor de los muros.

2.6.2 Software Passive House Planning Package

Este software, al trabajar en conjunto con el DesignPH, simplifica el análisis detallado que se realiza en el PHPP, aprovechando los datos proporcionados por este último. Ofrece una planificación alineada con lo que conocemos como proyecto ejecutivo, permitiendo evaluar la eficiencia energética de los modelos estudiados. Este proceso consta de tres etapas, donde se examinan las instalaciones de la vivienda, la naturaleza de la superficie del terreno, la orientación, ubicación y los materiales utilizados en la construcción

Se realiza el cálculo anual de la demanda de calefacción [kWh/ (m²a)] y la carga máxima de calefacción [W/m²], teniendo en cuenta el consumo del sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC), que opera las veinticuatro horas del día. Este enfoque busca prevenir la acumulación de humedad y garantizar una temperatura constante en el interior. El estándar Passive House guía el análisis de la vivienda en tres etapas clave para su certificación: calefacción, enfriamiento y energía primaria.

Considerando el primer aspecto de calefacción, se destaca la importancia de la superficie en el diseño, así como los elementos clave como las ventanas y la ventilación, esta última siendo preferentemente natural o cruzada en la vivienda, sin depender exclusivamente del sistema de VMC (Ver Figura No.5). Además, se consideran datos climáticos, materiales de construcción, tipo de terreno y sombras presentes en las ventanas, entre otros aspectos, para evaluar la eficacia de la calefacción en la vivienda. Por último, en cuanto al enfriamiento y la energía primaria, se focaliza en las instalaciones de la vivienda y diversos componentes que optimizan el gasto térmico, como paneles solares, calentador solar y electricidad auxiliar.

Después de ingresar los datos en el software, obtenemos información sobre la demanda de calor, reflejando el consumo energético y los niveles de confort térmico, conforme al estándar Passive House. Esto permite analizar tanto viviendas recién construidas como adaptar el estándar a construcciones ya existentes.

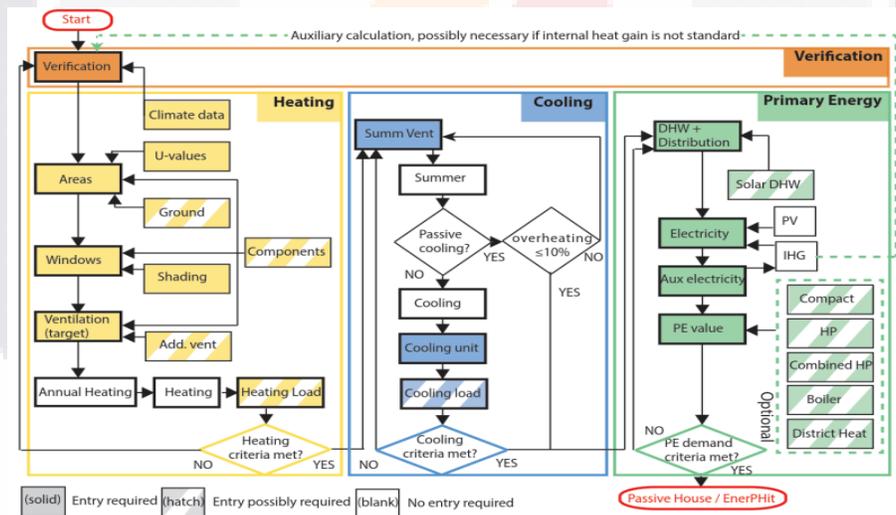


Figura No. 5 Diagrama de flujo, de cómo se complementa distintos datos en el software PHPP.

Nota. PHPP- Passive House Planning Package (Figura), por Passipedia, The Passive House Resource, 2015([https://test.passipedia.de/planning/calculating_energy_efficiency/phpp_the_passive_house_planning_p ackage](https://test.passipedia.de/planning/calculating_energy_efficiency/phpp_the_passive_house_planning_package)).

2.6.3 Dimensiones y Métodos de instalación del Sistema de ventilación

Para el análisis de la vivienda, se tienen en cuenta las dimensiones y especificaciones del sistema de ventilación para conocer su rendimiento y los beneficios que aportará a la vivienda. Al aplicar el sistema de VMC seleccionado en el software DesignPH y PHPP, se realiza un análisis detallado de los modelos en Bosque Sereno y Prados del Sur, utilizando diversos parámetros.

El sistema de VMC HRU-PremAIR 450 se caracteriza por sus dimensiones y especificaciones (Ver Figura No.6). Este sistema incluye conectores que facilitan la entrada y salida de la ventilación en la vivienda. Con su diseño de doble flujo, asegura un flujo constante de ventilación en el interior, liberando la vivienda de contaminantes. Además, el sistema funciona como la tapa del circuito de control en la parte central.

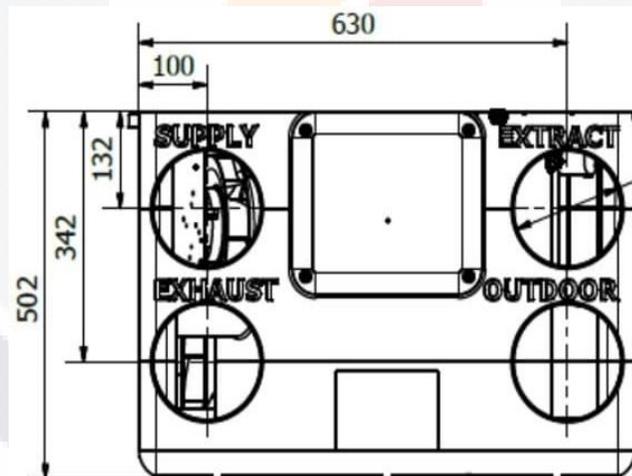


Figura No. 6 Vista de Planta, tomada de la ficha técnica del HRU- PremAIR 450.

Nota. Heat recovery ventilation unit with counterflow exchanger HRU-PremAIR-450 (Figura), por Alnor Systemy Wentylacji, 2023, (<https://www.ventilation-alnor.co.uk/index/products-en/heat-recovery-%E2%80%93-air-handling-units/heat-recovery-ventilation-hru-premair/heat-recovery-unit-hru-premair.html>)

Las dimensiones del sistema de ventilación mecánica controlada se encuentran dentro del rango de un mini Split (ver Figura No.7), indicando que requiere un espacio reducido para operar. Este sistema puede mantener un óptimo nivel de

ventilación en una vivienda convencional sin dificultades, ya que puede generar hasta 450m³. Además, un solo sistema puede proporcionar ventilación a toda la vivienda, cubriendo todas las áreas del inmueble.

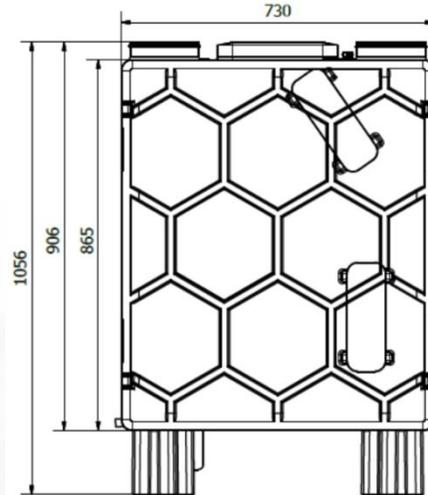


Figura No. 7 Vista lateral, tomada de la ficha técnica del HRU- PremAIR 450.

Nota. Heat recovery ventilation unit with counterflow exchanger HRU-PremAIR-450 (Figura), por Alnor Systemy Wentylacji, 2023, (<https://www.ventilation-alnor.co.uk/index/products-en/heat-recovery-%E2%80%93-air-handling-units/heat-recovery-ventilation-hru-premair/heat-recovery-unit-hru-premair.html>)

Por recomendación del Instituto Passive House, se sugiere instalar el ventilador de extracción en el área del lavadero o en un falso techo, dependiendo del diseño de la vivienda, para integrarlo de manera eficiente al modelo existente. Aunque en los modelos analizados en Bosque Sereno y Prados del Sur hay un espacio disponible (patio) para colocar este ventilador, es esencial que otras áreas también se encuentren dentro de la envolvente de análisis.

En cuanto a la tubería utilizada, esta puede estar empotrada en la pared y tener una salida a través de la losa de la vivienda. De esta manera, las rejillas en los dormitorios y salones se ubican en la parte superior de los marcos de las ventanas o en áreas estratégicas para eliminar la humedad.

2.6.4 Ventilación con control de demanda y materiales

En relación con la hipótesis que sugiere una mejora en el aislamiento térmico y hermeticidad, el sistema se ajusta conforme a la demanda de ventilación de la vivienda. En este sentido, se logra un confort térmico significativo y se elimina la humedad de diversas áreas, así como los contaminantes generados por la presencia de los usuarios, gracias a la acción de filtros integrados. El sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC) detecta los niveles de dióxido de carbono en el interior y se adapta a la demanda requerida, evitando la acumulación de humedad, mediante el uso de una placa de control (Ver Figura No.8), que regula constantemente el flujo.

Como resultado, se asegura una ventilación continua, ya que el sistema detecta la diferencia entre la presión dinámica alrededor del ventilador y la presión estática en el conducto frente al mismo (Ver Tabla No.2). Se lleva a cabo un monitoreo constante de la presión en los conductos, de manera que, si la resistencia aumenta, también lo hace la velocidad de los ventiladores de impulsión y extracción (Ver Figura No.8), garantizando así un flujo constante.

A continuación, se detallan las partes que conforman este Sistema de ventilación mecánica controlada, que se adapta a los modelos realizados en el software de las casas de Bosque Sereno y Prados del sur, con la finalidad de analizar los cambios que se generan.

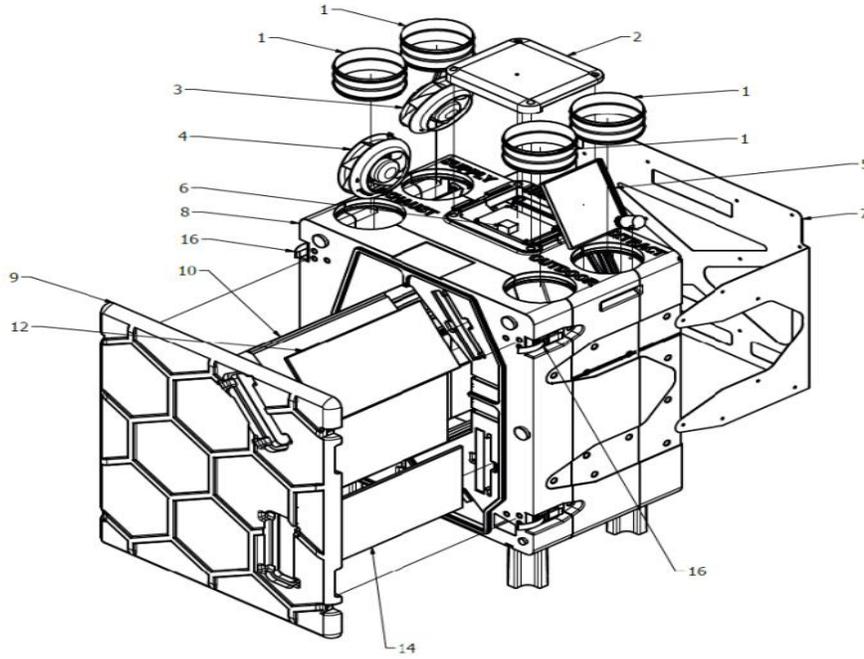


Figura No. 8 Diseño del sistema de ventilación mecánica controlada.

Nota. Heat recovery ventilation unit with counterflow exchanger HRU-PremAIR-450 (Figura), por Alnor Systemy Wentylacji, 2023, (<https://www.ventilation-alnor.co.uk/index/products-en/heat-recovery-%E2%80%93-air-handling-units/heat-recovery-ventilation-hru-premair/heat-recovery-unit-hru-premair.html>)

Tabla No. 2 Partes del sistema de ventilación mecánica controlada.

1. Conectores (4 Uds.)	9. Cubierta frontal.
2. Tapa del circuito de control.	10. Intercambiador de calor.
3. Ventilador de impulsión.	11. Tapa del filtro de extracción.
4. Ventilador de extracción.	12. Filtro de extracción.
5. Compuerta de derivación.	13. Tapa del filtro de suministro.
6. Circuito de control.	14. Filtro de alimentación.
7. Manipulación del chasis.	15. Pie de montaje (4 Uds.)
8. Carcasa HRU.	16. Abrazadera (4 Uds.)

Los materiales utilizados para la ventilación, como el conducto de ventilación, están compuestos por un tubo de polipropileno expandido. Estos materiales se caracterizan por ser rígidos y livianos. Además, incluyen accesorios como codos de 90° y 45°, junto con el acoplamiento hembra. Las dimensiones de estos elementos pueden variar, pero no afectan el rendimiento ni la eficiencia en la renovación del aire en la vivienda, ya que se adaptan al diseño y las dimensiones de los muros (Ver Tabla No. 3).

Tabla No. 3 Medidas de los tubos de polipropileno para los ductos de ventilación.

Código del producto	Diámetro (mm)	Espesor de Pared (mm)	Longitud (mm)
EPP-SRGL-125-0050	125	15	500
EPP-SRGL-150-0050	150	15	500
EPP-SRGL-160-0050	160	15	500
EPP-SRGL-180-0050	180	15	500
EPP-SRGL-125-0100	125	15	1000
EPP-SRGL-150-0100	150	15	1000
EPP-SRGL-160-0100	160	15	1000
EPP-SRGL-180-0100	180	15	1000

El rendimiento de la ventilación varía en relación con el volumen de la envolvente de las viviendas en metros cúbicos (m³). En el modelo de Bosque Sereno, con un volumen de 100 m³, la eficiencia de la ventilación es del 90%. En cambio, en la vivienda de Prados del Sur, con un volumen de 321 m³, la eficiencia es del 85% (Ver Figura No.9).

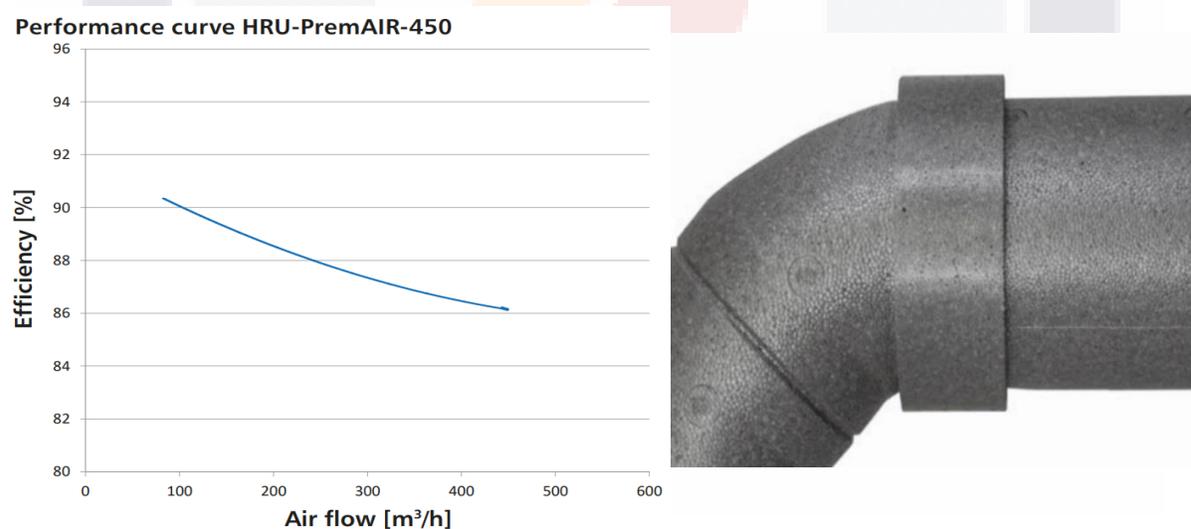


Figura No. 9 Eficiencia del sistema de ventilación de acuerdo con el volumen de la envolvente y ensamble del tubo de ventilación.

Nota. Heat recovery ventilation unit with counterflow exchanger HRU-PremAIR-450 (Figura), por Alnor Systemy Wentylacji, 2023, (<https://www.ventilation-alnor.co.uk/index/products-en/heat-recovery-%E2%80%93-air-handling-units/heat-recovery-ventilation-hru-premair/heat-recovery-unit-hru-premair.html>)

2.7 Importancia de los materiales de construcción para el análisis en los Software DesignPH y PHPP

Las propiedades esenciales que se consideran para analizar las viviendas abarcan los materiales utilizados en su construcción y cómo reaccionan ante las estaciones del año y otros factores externos. Se ha mencionado que existen métodos para preservar el confort en la vivienda, ya sea mediante el uso de aislantes térmicos o mejorando la hermeticidad con yeso en los cerramientos, evitando así los puentes térmicos. Sin embargo, en estos ejemplos, el tipo de material desempeña un papel crucial, ya que presenta propiedades distintas en términos de conductividad térmica (λ) en $W/m\ K$ y resistencia térmica (R) en m^2K/W , lo que influye en el flujo constante de temperatura.

En el análisis constructivo, se deben considerar diversas propiedades, seleccionando materiales según su impacto en la salubridad, grado de impermeabilidad de las fachadas y capacidad de protección contra el ruido. Incluyendo la reducción acústica y absorción en huecos, fachadas y cubiertas ante cualquier fuente de ruido externo. Por último, el enfoque del análisis se centra en el Ahorro de Energía (HE), evaluando la transmitancia térmica, la resistencia térmica de los elementos constructivos y factores que pueden afectarlo, como los puentes térmicos y la hermeticidad.

Cabe destacar que los valores térmicos de diseño corresponden a materiales y productos utilizados en diversos tipos de construcciones, donde la conductividad térmica puede variar. Este trabajo se centra en resaltar los materiales comúnmente empleados en el mercado español. Estos valores son similares y se aplican a la construcción de edificios, abarcando los cálculos de los valores de transmitancia térmica según el Documento Básico HE-1 Ahorro de Energía del CTE. En este contexto, se presentan los distintos materiales utilizados en la construcción en México, junto con sus valores de conductividad térmica, que serán analizados en los programas DesignPH y PHPP (ver Tabla No. 4).

Tabla No. 4 Elementos constructivos y su valor referente a la conductividad térmica del material.

Elementos constructivos y su valor referente a la conductividad térmica del material.			
Ahorro de Energía		Ahorro de Energía	
Material	λ W/m K	Material	λ W/m K
Arcilla o limo	1.50	Concreto en masa	1.65 - 2.00
Arena y grava	2.00	Concreto convencional	0.97 - 1.90
Arenisca	3.00	Bovedilla o casetón de concreto	1.58
Piedra caliza	2.30	Bovedilla o casetón losa aligerada	1.26
Mármol	3.50	Bloque convencional	1.18
Tierra vegetal	0.52	Bloque hueco	0.45
Ladrillo recocido	0.80	Bloque macizo	0.30
Acero	50	Mortero	0.30 - 1.80
Aluminio	230	Mortero de yeso	0.80
Concreto armado	2.30 - 2.50	Azulejo cerámico	1.30

CAPITULO III: DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El estudio actual adopta un enfoque de investigación descriptiva, considerando diversos parámetros al diseñar una vivienda. El software PHPP proporciona información detallada sobre las dimensiones de la vivienda, así como sobre las instalaciones eléctricas, sanitarias y pluviales. Esta información permite evaluar con mayor precisión el impacto que puede tener la implementación del Estándar Passive House en el interior de la vivienda.

El diseño y análisis de viviendas bajo el estándar Passive House implica una minuciosa planificación, optimización y verificación de diversos criterios para lograr una viabilidad efectiva. El objetivo es visualizar el rendimiento térmico de los materiales, así como la demanda específica de calor en la vivienda, con el fin de determinar el ahorro energético y proporcionar una perspectiva innovadora en el proceso constructivo.

Para evaluar las viviendas en Bosque Sereno y Prados del Sur, se inicia examinando el comportamiento tanto del exterior como del interior en diversas horas del día. Esta observación se lleva a cabo mediante el uso de la cámara termográfica FLIR C3-X, que permite identificar las variaciones de temperatura en la vivienda, establecer parámetros específicos y profundizar en el análisis con el software PHPP y la extensión de SketchUp denominada DesignPH.

En el análisis del software, se detallan los materiales utilizados en la vivienda y diversos componentes presentes en ambas, con el objetivo de observar si experimentan algún cambio con la implementación del sistema de VMC. En relación con el estudio a través del PHPP, se consideran parámetros más específicos relacionados con las instalaciones, como la superficie de la vivienda y las condiciones externas a las que está expuesta a lo largo del año, considerando su ubicación y orientación.

3.1 Metodología

Se inicia la campaña experimental para desarrollar la metodología realizada para la obtención de datos cuantitativos que nos indicaran los cambios que se presentan en las viviendas.

- A. Aplicar una prueba piloto de dos viviendas, tomando la temperatura de los cuerpos a partir de su radiación infrarroja presente en los materiales de construcción con una cámara termográfica.
 - Bosque Sereno
 - Prados del Sur
- B. Determinar la variación cuantitativa de temperatura, presente del exterior con relación con el interior de la vivienda (Habitaciones).
- C. Modelar por medio de software sketchup la representación tridimensional de las dos viviendas, considerando la superficie real y el entorno.
 - Bosque Sereno
 - Prados del Sur
- D. Determinar mediante un análisis cuantitativo el comportamiento térmico de los materiales de construcción, ventilación y pérdidas de temperatura presente en las viviendas por medio de software DesignPH y PHPP. (Es el estado normal de la vivienda).
- E. Determinar mediante un análisis cuantitativo el comportamiento térmico de los materiales de construcción, ventilación y pérdidas de temperatura presente en las viviendas por medio de software DesignPH y PHPP. (Aplicando el Sistema de VMC a la vivienda).

F. Conclusión de resultados, con respecto a la eficiencia y viabilidad cuantitativa del Sistema de VMC, aplicado en ambas viviendas.

- Bosque Sereno
- Prados del Sur

3.2 Tipo de investigación

Se analizan las variables y bases de datos recopiladas para una investigación cuantitativa, dado que se dispone de información sobre el consumo y la demanda energética. Mediante el software PHPP, al ingresar la zona y estación climatológica de las viviendas examinadas, se obtiene una proyección de la radiación solar que incidirá en las viviendas a lo largo del año.

Para el análisis de estos datos, se ha optado por una investigación cuantitativa, utilizando el enfoque Causal-Comparativa. De esta manera, se procede a examinar las viviendas mediante el software DesignPH y PHPP. Este proceso se lleva a cabo una vez que se confirma la existencia de variaciones de temperatura mediante el registro de la temperatura en el interior y exterior de la vivienda con la cámara termográfica.

3.3 Estrategias para recabar información.

Para analizar los datos, se recopila información sobre el comportamiento térmico de las viviendas utilizando el método lógico inductivo. Este enfoque busca obtener información medible, partiendo de casos particulares hacia generalizaciones. Basándonos en las observaciones de los fenómenos presentes en viviendas con características similares a las seleccionadas como casos de estudio y en diferentes condiciones climáticas, se observa que los datos registrados permiten establecer generalizaciones sobre el rendimiento y, a partir de ahí, determinar las diferencias de temperatura.

Se procede a analizar la información recopilada mediante registros obtenidos con la cámara termográfica para determinar la diferencia de temperatura entre el interior y

el exterior. Posteriormente, se lleva a cabo un análisis detallado utilizando el software DesignPH y PHPP. Retomando lo anterior, se identifican las características de diseño, superficies y todos los aspectos relacionados con la infraestructura de las viviendas. Luego, se consideran los factores externos durante el análisis para registrar los cambios presentes en el estado actual de la vivienda y las modificaciones que surgen al aplicar un segundo análisis con el sistema de VMC.



CAPITULO IV: ELEMENTOS QUE SE CONTEMPLAN EN EL SVM Y SU DISEÑO BAJO EL ESTANDAR PASSIVE HOUSE

En líneas generales, se examina el diseño de viviendas en el estado de Aguascalientes, tomando en consideración las variables y limitaciones asociadas con la implementación de un sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC).

Este sistema demanda la presencia de espacios destinados a los conductos de ventilación, recomendando la instalación de un falso techo para albergarlos. No obstante, existe la posibilidad de adaptarlo a viviendas preexistentes, integrando estos espacios de manera coherente con el diseño previamente establecido.

4.1 Sistema de ventilación Mecánica Controlada viable para las viviendas.

El sistema de doble flujo constituye una característica fundamental del sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC), destacándose por su capacidad para reducir el consumo eléctrico y cumplir con los estándares de Passive House. Esta reducción se basa en la gestión eficiente de flujos mediante caudales de extracción y expulsión, permitiendo la renovación constante del aire en la vivienda. Este proceso no solo contribuye a la eliminación de contaminantes, sino que también optimiza el confort ambiental.

El sistema de ventilación seleccionado para este estudio es una unidad con recuperación de calor, específicamente el intercambiador a contracorriente de la marca HRU-PremAIR-450. Dicha unidad presenta un caudal de aire de 450 m³/h y una eficiencia de recuperación de calor del 92%. La comprensión detallada de estas características resulta imperativa para llevar a cabo un análisis exhaustivo mediante software, con el objetivo de evaluar su viabilidad.

A continuación, se proporciona una descripción puntual de la ubicación del sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC) (consulte la Figura No. 10), así como un esquema de la disposición de los conductos de ventilación que conectan las áreas correspondientes a los baños y la cocina en la vivienda.



Figura No. 10 Circulación del aire en el interior de la vivienda por el SVM.

Nota. ¿Qué es y cómo funciona un sistema de VMC o ventilación mecánica controlada?, (Figura), por Instalaciones Barcelona, 2023, (<https://instalacionesbarcelona.net/ventilacion-mecanica-controlada/>)

4.2 Funcionamiento del Doble Flujo en el Sistema de Ventilación Mecánica Controlada.

El sistema de doble flujo efectúa la extracción del aire de manera mecánica, proporcionando una mayor estanqueidad al edificio debido a la reducción de admisión en las fachadas, como se señala en la "Guía de Ventilación Mecánica" (s.f.). En virtud de lo anterior, es crucial tener en cuenta los mantenimientos adecuados del sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC) para garantizar que los filtros continúen eliminando de manera eficaz los contaminantes, como se ilustra en la Figura No. 11. Estos mantenimientos son esenciales tanto para el correcto funcionamiento del recuperador de calor como para mejorar el confort en la vivienda.

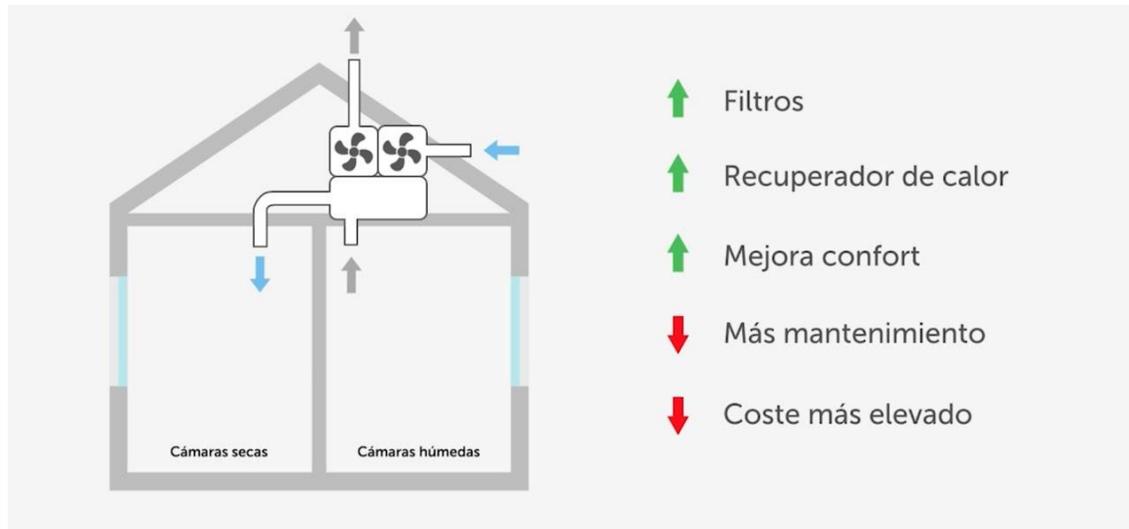


Figura No. 11 Comportamiento de un área en la vivienda con humedad, así como ventajas y desventajas del SMV.

Nota. Ventilación Mecánica, (Figura), por Agenda de la Construcción Sostenible, 2015, (<https://images.app.goo.gl/eYpvv6HcYvHG8fVJ9>)

Considerando las inherentes características y ventajas asociadas al sistema de doble flujo, que se encuentra integrado en el sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC), se propone su implementación en los modelos de análisis para las viviendas ubicadas en Bosque Sereno y Prados del Sur. El objetivo principal es generar un confort térmico sustancial, aprovechando las capacidades específicas que este sistema aporta en términos de ventilación y regulación climática.

4.3 Viviendas analizadas

Para llevar a cabo las mediciones en el fraccionamiento Bosque Sereno y la colonia Prados Del Sur, se inicia con el levantamiento mediante el uso del software AutoCAD (ver Figura No. 12 y Figura 13), detallando la estructura preexistente en los modelos. A continuación, se delimita el área de análisis y la envolvente de la vivienda, al tiempo que se propone la instalación del sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC). Se examinan las características de los materiales mediante el uso de una cámara termográfica y se traduce esta información en un modelo en el software SketchUp. Este enfoque integral proporciona una base sólida

para la evaluación y mejora de las condiciones ambientales en las residencias consideradas.

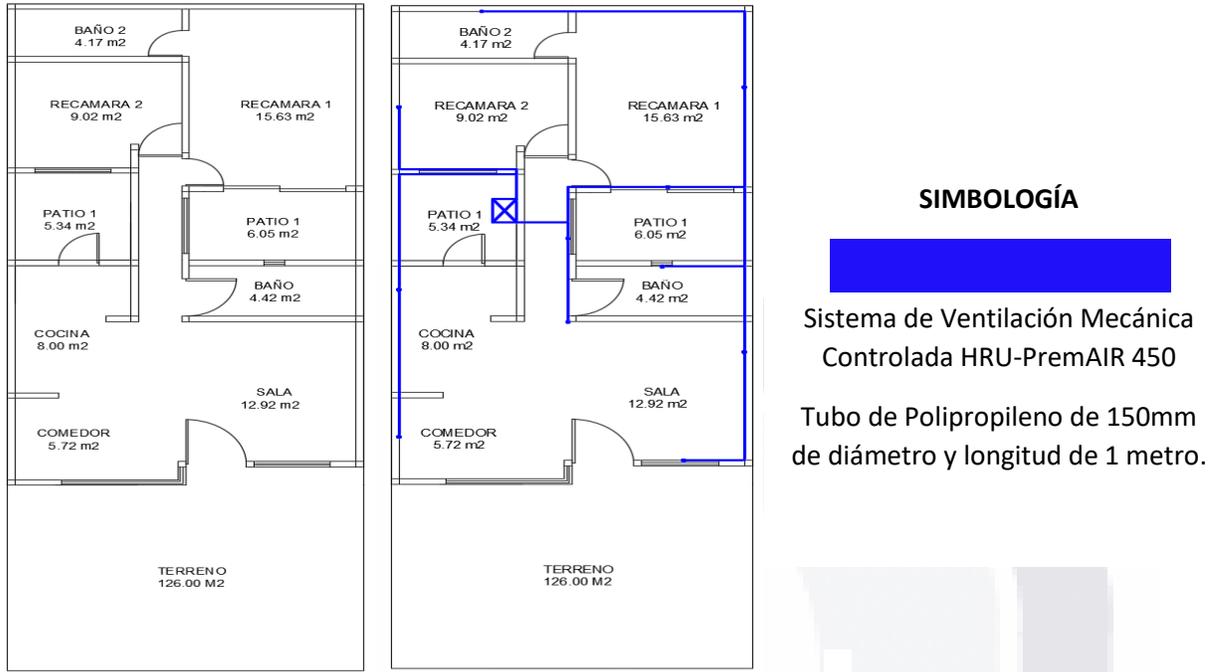


Figura No. 12 Vivienda del fraccionamiento Bosque Sereno y su diseño para el Sistema de VMC

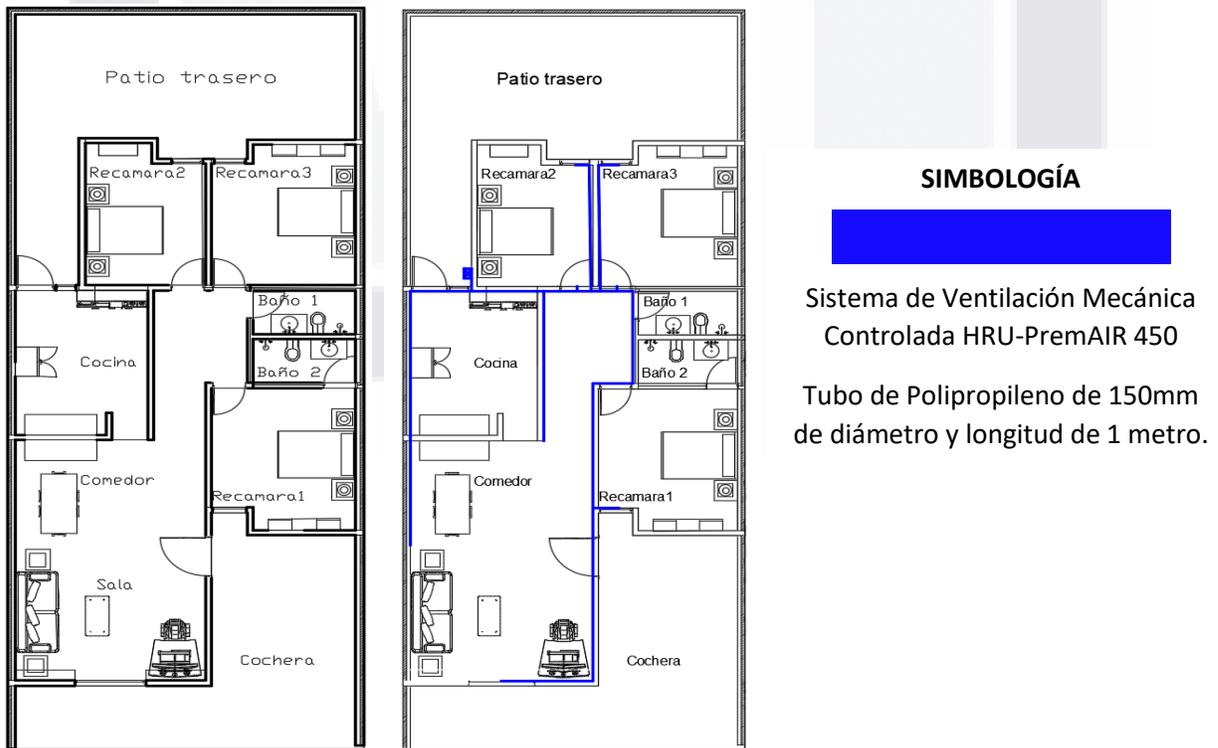


Figura No. 13 Vivienda en Prados del Sur y su diseño para el sistema de VMC.

Ambas viviendas se modelan utilizando el software SketchUp con el propósito de detallar la propuesta de diseño y comparar el rendimiento en relación con la ventilación simulada en dicho programa. Luego, los datos obtenidos se introducen en el software PHPP para llevar a cabo un análisis más exhaustivo y completo. Este enfoque integrado permite evaluar de manera precisa el impacto del diseño propuesto en el rendimiento de la ventilación, facilitando un análisis detallado y una optimización posterior mediante herramientas especializadas.

4.4 Características de la satisfacción de confort en la vivienda.

Dentro del análisis, se considera la interrelación entre las necesidades y las condiciones presentes en la vivienda. En cuanto a la clasificación de los espacios de análisis, se identifican tres áreas de particular interés en el diseño, a saber:

- Ingreso de aire a la vivienda
- Extracción del aire de la vivienda
- Pasillos

Estas áreas se destacan por requerir una ventilación más ajustada a las necesidades específicas y problemáticas presentes en la vivienda. A través del sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC), se eliminan los contaminantes y las humedades, proporcionando así una temperatura óptima. (Consultar Figura No. 14 para referencia visual). Este enfoque segmentado permite abordar de manera precisa los aspectos críticos para la calidad del aire y el confort térmico en áreas específicas de la vivienda.

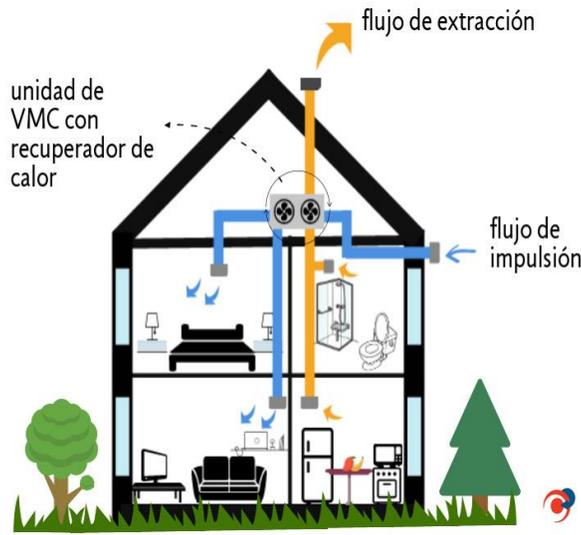


Figura No. 14 Representación de la circulación del aire.

Nota. Ventilación forzada en viviendas ¿Qué es y cómo funciona? (Figura), por Paula Serrano CALORYFRIO, 2020, (<https://www.caloryfrio.com/construccion-sostenible/ventilacion-y-calidad-aire-interior/ventilacion-forzada-en-viviendas-como-funciona.html>)

Dicho esto, (Murga Montoya. 2019. pág. 25), menciona que es necesario hacer las clasificaciones de los espacios y necesidades que deben satisfacerse, planteado por Max-Neef, Elizalde y Hopenhayn (1986), se muestra en la siguiente Tabla No. 5.

Tabla No. 5 Espacios de una vivienda y áreas a las que pertenecen con base en las necesidades humanas establecidas.

Espacio	Necesidades que debe satisfacer	Área
Vestíbulo	Adaptabilidad, espacios de encuentro	Social
Sala	Descansar, cooperar, solidaridad, humor, familia, acariciar, expresar, emociones, compartir, apreciar, cultivar, espacios de encuentro, dialogar, opinar, acordar, fiestas, juegos, discrepar, optar, diferenciarse, arriesgar, conocerse, asumirse.	social
Comedor	Alimentación, familia, expresar, emociones, compartir, espacios de encuentro, fiestas.	Social
Cocina	Alimentación.	Social
Jardín	Equilibrio, plantas, jardines, animales domésticos, espacios de encuentro, tranquilidad, juegos, espectáculos, fiestas, calma, divagar, abstraerse, soñar, añorar, fantasear, evocar, relajarse, divertirse, jugar, meditar.	social
Servicio sanitario	Cuidado, curar, salud física, limpieza	Privada/ social
Área de oficios	Cuidado, limpieza.	Privada
Dormitorios	Descansar, procrear, cuidado, autonomía, respeto, pasión, sensualidad, parejas, hacer el amor, acariciar, expresar, privacidad, emociones, intimidad, espacios de encuentro, dialogar, acordar, sensualidad, espacios de encuentro.	Privada

Sala de televisión	Descansar, familia, espacios de encuentro, curiosidad, receptividad, imaginación, despreocupación, humor, tranquilidad, juegos espectáculos, fiestas, calma, divagar, abstraerse, soñar, añorar, fantasear, evocar, relajarse, divertirse, jugar	Semiprivada
Estudio	Trabajo, cooperar, planificar, conciencia, crítica, receptividad, curiosidad, asombro, disciplina, intuición, racionalidad, literatura, método, investigar, estudiar, experimentar, educar, analizar, meditar, interpretar, imaginación, trabajar, inventar, construir, idear, componer, diseñar, interpretar.	semiprivada
Conjunto habitacional	Salud mental, equilibrio, solidaridad, humor, abrigo, entorno vital, entorno social, familia, defender, contorno vital, contorno social, morada, generosidad, ámbitos de interacción participativa, coherencia, diferenciación, autoestima, asertividad, valores, normas, roles, memoria histórica, crecer, socio-ritmos, entornos de la cotidianidad, ámbitos de pertenencia, etapas madurativas, conocerse, reconocerse, integrarse, plasticidad espacio-temporal.	

Fuente: Vidal Vidales, Cristina y Vázquez Cromeyer, Guillermo (2011).

“De la abstracción presentada en el cuadro anterior, es posible identificar el funcionamiento de las distintas áreas en la vivienda y sus necesidades tradicionalmente básicas (dormir/descansar, asearse y comer), y los espacios para desarrollar actividades educativas y de conocimiento (Vidal y Vázquez. 2011. pág. 25)”.

Considerando lo anteriormente mencionado, se toman en cuenta las necesidades de los usuarios en la vivienda con el objetivo de comprender el alcance de la adaptación de un sistema de ventilación y su interacción con el entorno. Este enfoque permite una evaluación integral que incorpora las particularidades y requerimientos específicos de los habitantes, asegurando así una implementación más efectiva y ajustada a las condiciones particulares de la vivienda.

CAPITULO V: CAMPAÑA EXPERIMENTAL

Para determinar la demanda de calor real de la vivienda, se consideran diversos parámetros que influyen en el cálculo, como los materiales utilizados, la huella térmica proyectada de la edificación y los puentes térmicos generados por las ventanas. La campaña experimental inicia con la recolección de datos mediante una cámara termográfica para verificar la existencia de variaciones de temperatura entre el interior y el exterior.

Se lleva a cabo un análisis de las fluctuaciones de temperatura en distintas estaciones del año y horarios en dos viviendas. Con el propósito de corroborar la presencia de pérdidas de calor y evaluar la eficacia del aislamiento térmico, evidenciado por cambios notorios en la temperatura interna en relación con la externa. Este enfoque experimental proporciona una base sólida para comprender y abordar las deficiencias en el aislamiento térmico.

5.1. Variaciones de temperatura presentes en la vivienda de Bosque Sereno.

La vivienda en Bosque Sereno presenta una orientación al noreste, y se centra el registro de temperaturas en la sala (Ver Figura No. 15). En este espacio, se destaca un muro de coloración azul con orientación hacia el este, exhibiendo una baja temperatura en las primeras horas de la mañana, como se evidencia en la toma de registros a las 7:50 am, (Ver Tabla No. 6).

En el análisis de los datos recopilados, se da prioridad a aquellos enfoques relacionados con los materiales de construcción. Esta selección se realiza para evitar registros de objetos y muebles captados por la cámara termográfica, permitiendo así un análisis más preciso de las características térmicas de los elementos constructivos de la vivienda. Este enfoque específico facilita la identificación de posibles áreas de mejora en términos de aislamiento y eficiencia térmica.

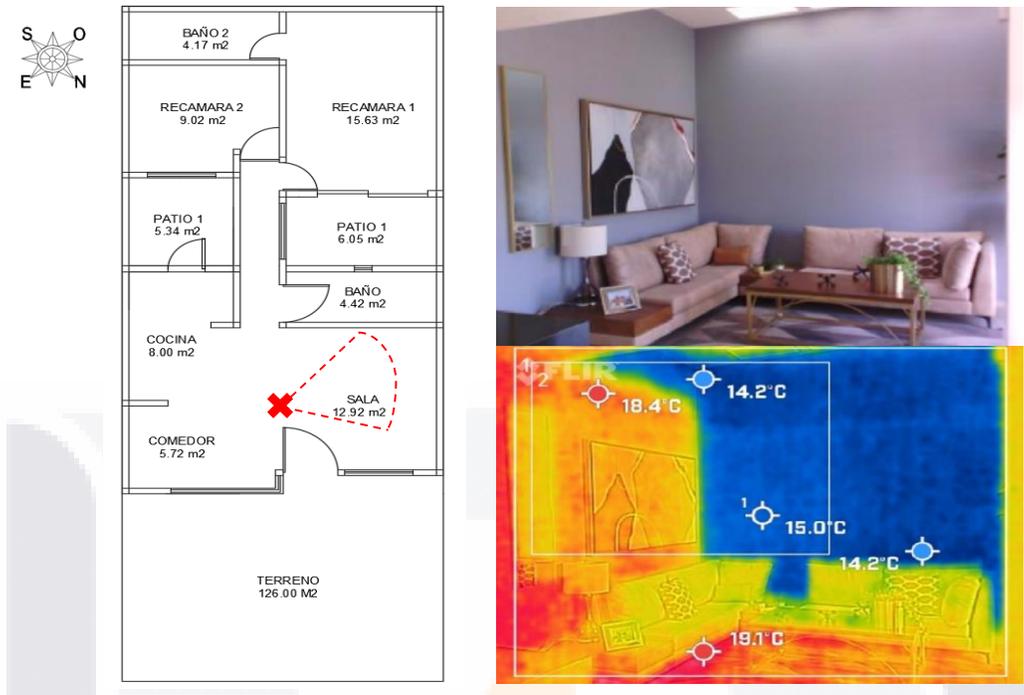


Figura No. 15 Sala de estar, Vivienda Bosque Sereno

Nota: La vivienda tiene una orientación frontal al noreste, por lo que destaca la coloración azul, dado que ese muro da hacia el oeste.

Tabla No. 6 Datos registrados con la cámara termográfica en Bosque Sereno.

Temperaturas		
Lugar 1		15.0°C
Cuadro 1. Vista general de la sala.		
Max	Min	Promedio
19.1°C	14.2°C	16.4°C
Cuadro 2. Temperatura de muros.		
Max	Min	Promedio
18.4°C	14.2°C	16.4°C

Se lleva a cabo una serie de fotografías a la 1:30 pm (Ver Figura No.16), capturando el cambio de tonalidad en el muro debido al aumento de temperatura. La orientación oeste de este muro lo expone directamente al sol, lo que ocasiona un aumento significativo de temperatura. Los datos registrados, con una diferencia de cinco horas, muestran un incremento considerable durante la mañana (Ver Tabla No.7).

Destacando especialmente el comportamiento térmico de los materiales utilizados en la construcción permitiendo identificar patrones significativos de variación térmica.

Se ejecuta una secuencia de fotografías, esta vez a la 1:30 pm (Ver Figura No.16), para documentar el cambio de tonalidad provocado por el aumento de temperatura. Este fenómeno se atribuye a la orientación oeste del muro, que recibe la radiación solar directa. Los datos registrados, con una diferencia de cinco horas, revelan un incremento sustancial durante la mañana (Ver Tabla No.7), destacando especialmente las variaciones en el comportamiento térmico de los materiales utilizados en la construcción, proporcionando información valiosa sobre la respuesta térmica de la estructura.

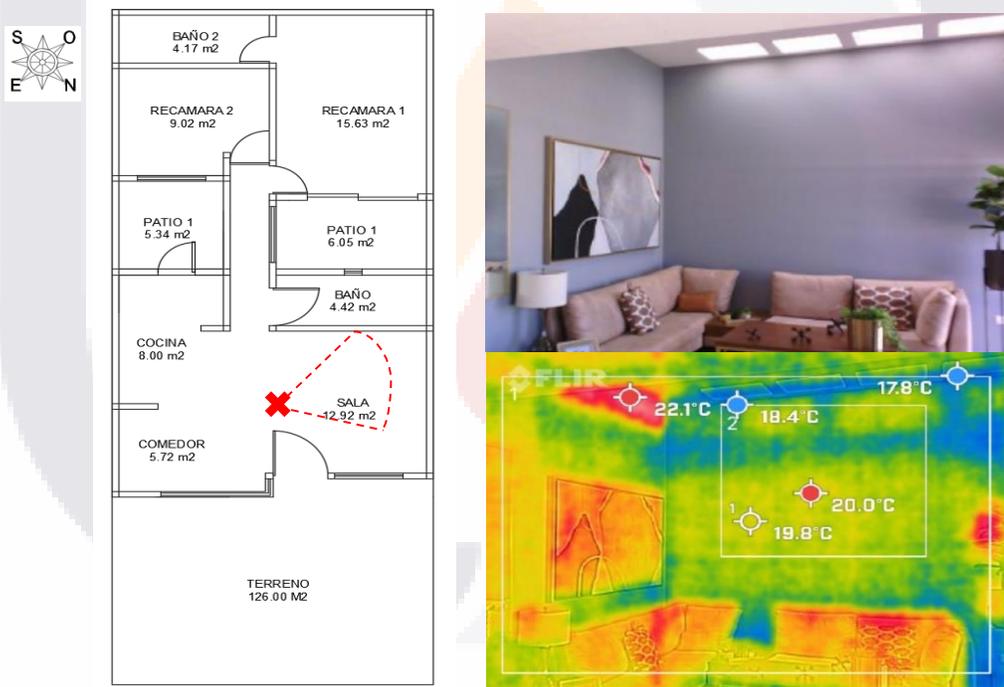


Figura No. 16 Sala de estar en Bosque Sereno.

Tabla No. 7 Datos registrados con la cámara termográfica en Bosque Sereno.

Temperaturas		
Lugar 1		19.8°C
Cuadro 1. Vista general de la sala.		
Max	Min	Promedio
22.1°C	17.8°C	19.6°C
Cuadro 2 Muro con cara el este.		
Max	Min	Promedio
20.0°C	18.4°C	19.3°C

Los datos capturados por la cámara termográfica ofrecen una representación de las variaciones de temperatura a las que está expuesta la vivienda. Los programas DesignPH y PHPP se utilizan para analizar este comportamiento y comprender la evolución térmica de las habitaciones, en particular, se registra la temperatura en la recámara principal a las 8:30 am (Ver Figura No. 17).

A las 5:00 pm, se observa que el muro orientado al oeste alcanza una temperatura de 14.7 °C (Ver Figura No. 17). En el transcurso de algunas horas, este valor cambia a 22.9°C, revelando la estructura de los materiales de construcción, como el armado de acero y la bovedilla. Este análisis detallado permite no solo evaluar el rendimiento térmico de la vivienda, sino también comprender la respuesta específica de los materiales ante las variaciones de temperatura a lo largo del día.

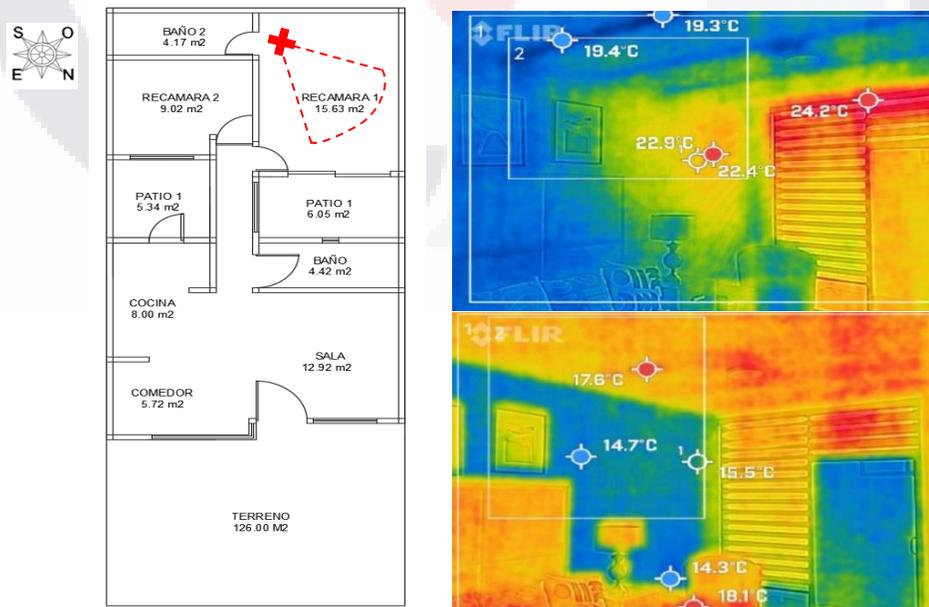


Figura No. 17 Temperatura en la recamara principal a las 8:30 am y 5:00 pm, en Bosque Sereno.

En el caso de la recámara contigua (Recámara 2), se procede a registrar la temperatura de los materiales a las 8:30 am y a las 5:00 pm, con el objetivo de evaluar las variaciones en el muro orientado al este. Como se observa en la Figura No. 18, por la mañana, esta habitación recibe directamente la luz solar.

En la mañana, la temperatura registrada es de 13°C, y a medida que transcurre el día, se observa un aumento a 22.1°C. Este cambio indica puntos específicos donde se acumula el calor a lo largo del día, detallando no solo información sobre las variaciones de temperatura en la habitación, sino que también destaca las áreas particulares donde se retiene el calor.

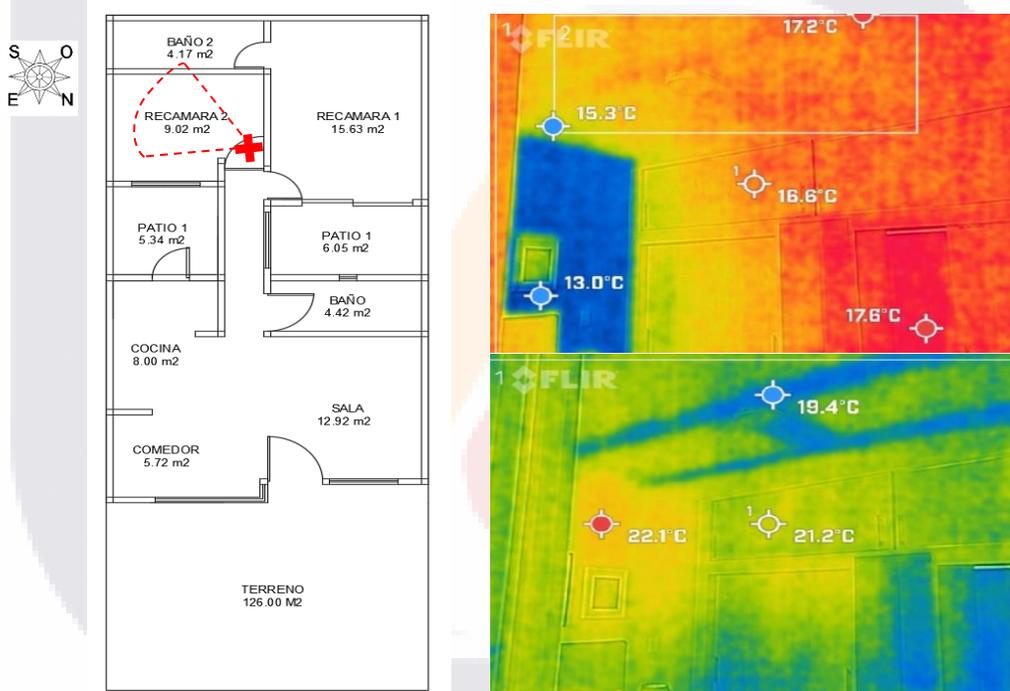


Figura No. 18 Recamara Conjunta en Bosque Sereno.

La información recopilada por la cámara termográfica proporciona datos concretos sobre el comportamiento térmico en el interior de la vivienda. Al promediar la temperatura registrada en cada área, se obtiene la variación específica existente en el interior en comparación con el entorno exterior. Este enfoque permite una evaluación más precisa y global de la eficiencia térmica de la vivienda, brindando información valiosa para optimizar su confort térmico y eficiencia energética.

5.2 Variación de temperatura exterior con la interior

Una vez registradas las temperaturas en el interior, se procede a realizar un procedimiento similar para capturar las variaciones de temperatura en el exterior de la vivienda. En este contexto, se realizan registros a diferentes horas utilizando la cámara termográfica, abordando diversas vistas de la vivienda, incluyendo el frente y los costados (Ver Figura No. 19). Este enfoque permite captar las variaciones térmicas en las mismas zonas y obtener así el promedio de las temperaturas exteriores. Contribuyendo a una evaluación completa del comportamiento térmico tanto del interior como del exterior de la vivienda, proporcionando una manera de ver las cosas en su totalidad para futuras consideraciones y mejoras.

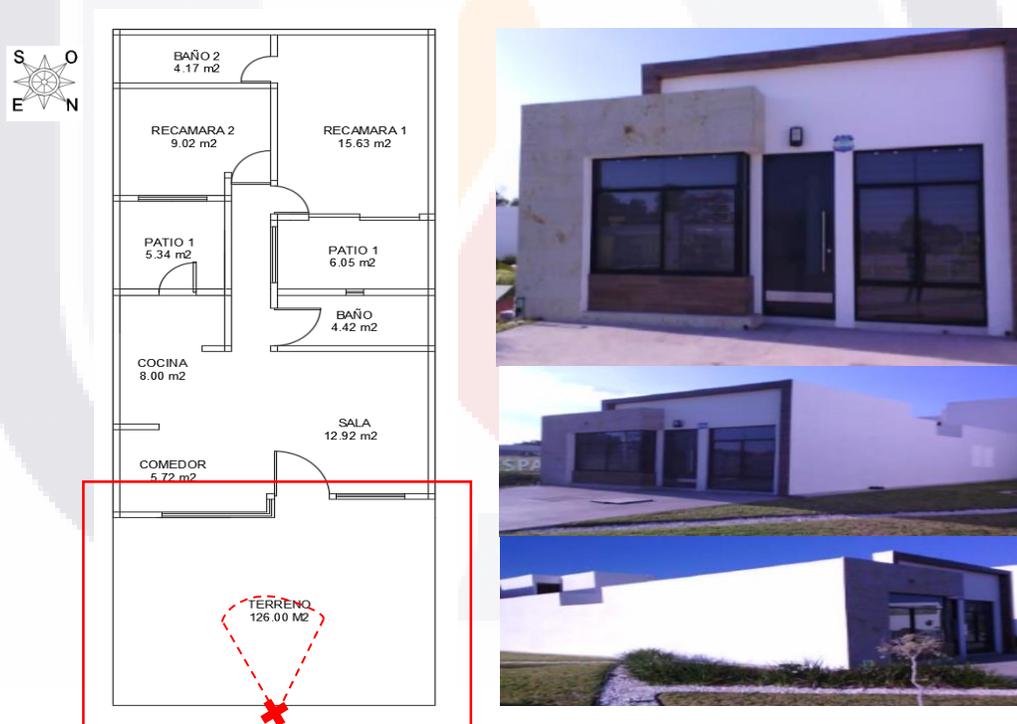


Figura No. 19 Vivienda del Fraccionamiento Bosque Sereno

Los registros se capturan a las 8:30 am y a la 1:30 pm, en distintas posiciones de la fachada. Es relevante señalar que se consideran las temperaturas presentes en los muros, excluyendo las ventanas o puertas en este análisis.

La temperatura más alta registrada fue de 27.6°C (ver Figura No.20), mientras que la más baja fue de 5.8°C. Estos registros, como se mencionó anteriormente, son utilizados para calcular el promedio de la temperatura exterior. Este promedio se emplea para su comparación con la temperatura interior, proporcionando así una visión más precisa y representativa del comportamiento térmico de la vivienda en diferentes momentos del día.

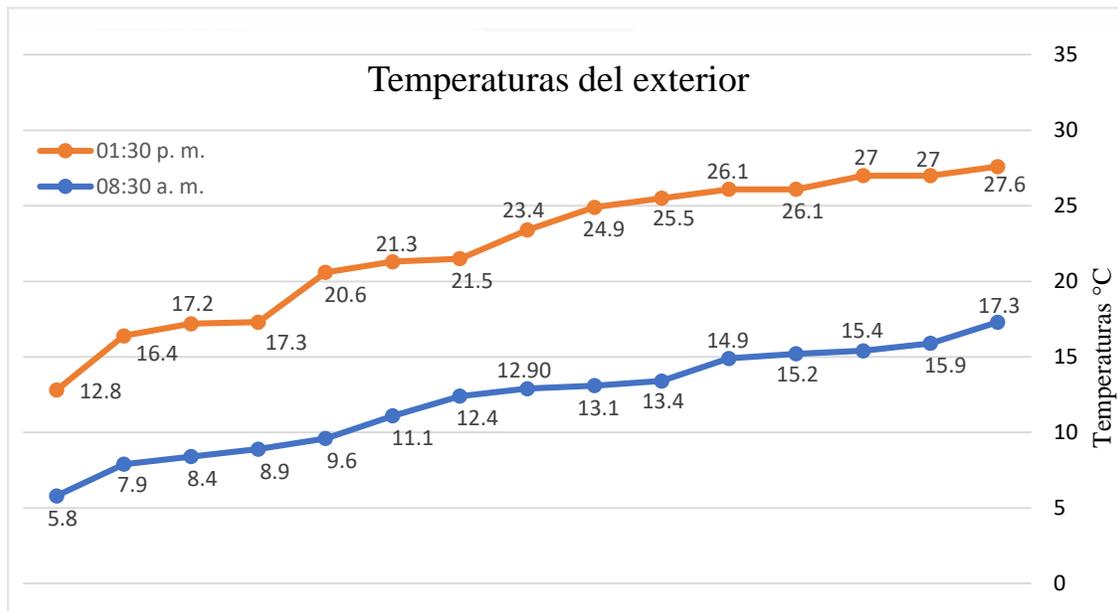


Figura No. 20 Variación de temperaturas del exterior a las 8:30 am y 1:30 pm.

La temperatura en la vivienda experimenta variaciones a lo largo del día, especialmente durante el horario de análisis entre las 5:00 p.m. y las 7:30 p.m. (Ver Figura No.21). A medida que transcurren las horas, se observa una disminución gradual de la temperatura, influenciada por la ausencia de radiación solar.

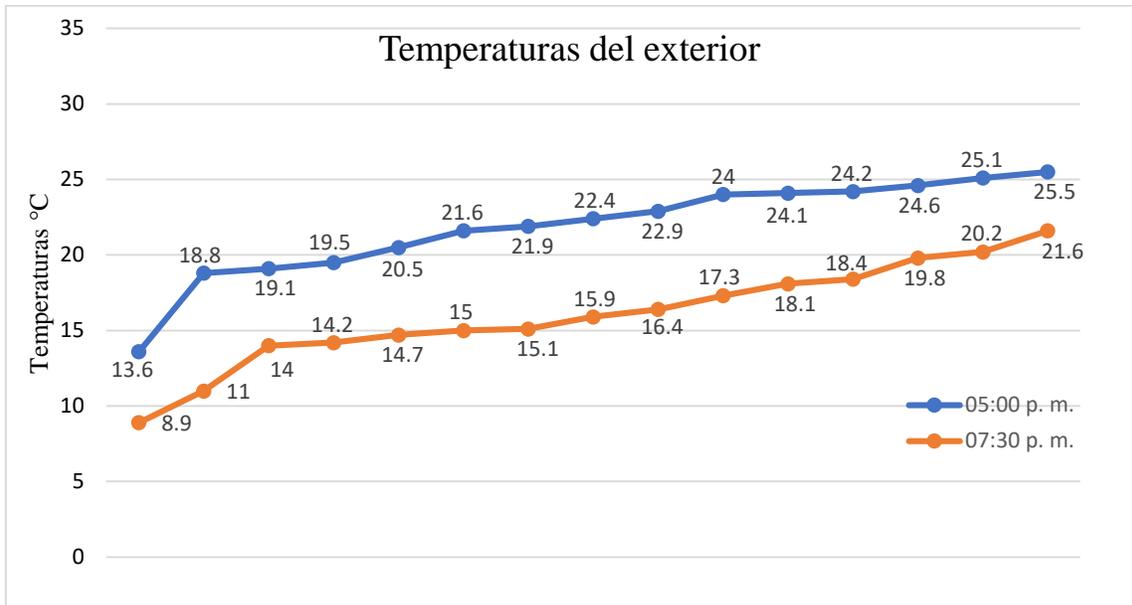


Figura No. 21 Variación de temperaturas del exterior a las 5:00 am y 7:30 pm

Al analizar las temperaturas registradas en la habitación principal (Recamara 1) a lo largo del día, se evidencia una marcada variación en el aspecto térmico. Estos datos son fundamentales para calcular un promedio de la temperatura en dicha habitación y posteriormente compararla con la temperatura exterior correspondiente (Ver Figura No. 20 y 21).

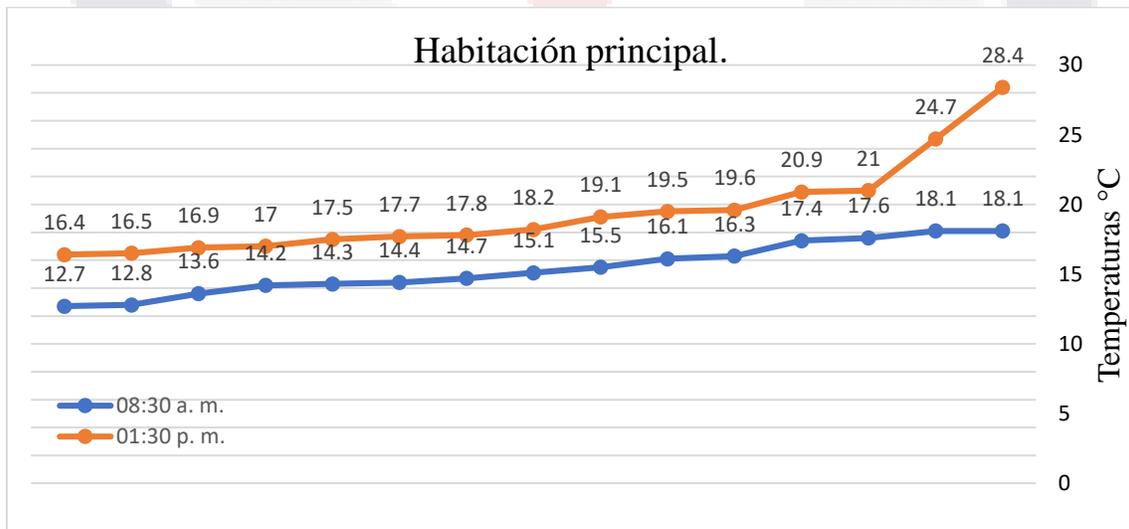


Figura No. 22 Temperaturas en la habitación principal

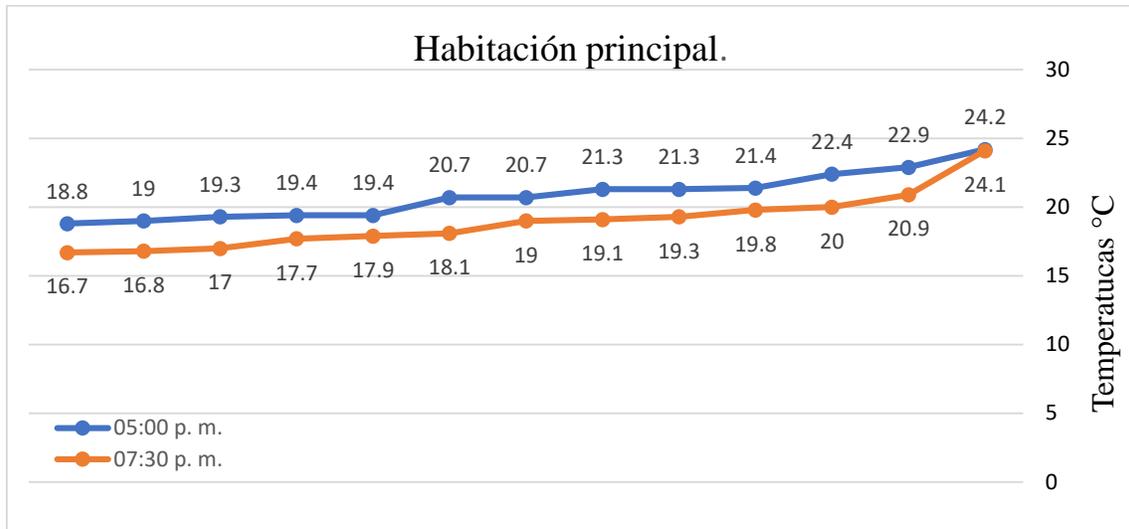


Figura No. 23 Temperaturas en la habitación principal

Volviendo a lo mencionado anteriormente, se registran las temperaturas en la habitación contigua (Recamara 2). Los datos adquiridos constituyen el parametro clave para evaluar la disparidad termica (Ver Figura No.22 y Figura No.23). Además, mediante el empleo de los programas DesignPH y PHPP, se visualiza la demanda de calor actual y se analiza el impacto del Sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC), comparando su rendimiento en el estado actual de la vivinda y en su aplicación potencial.

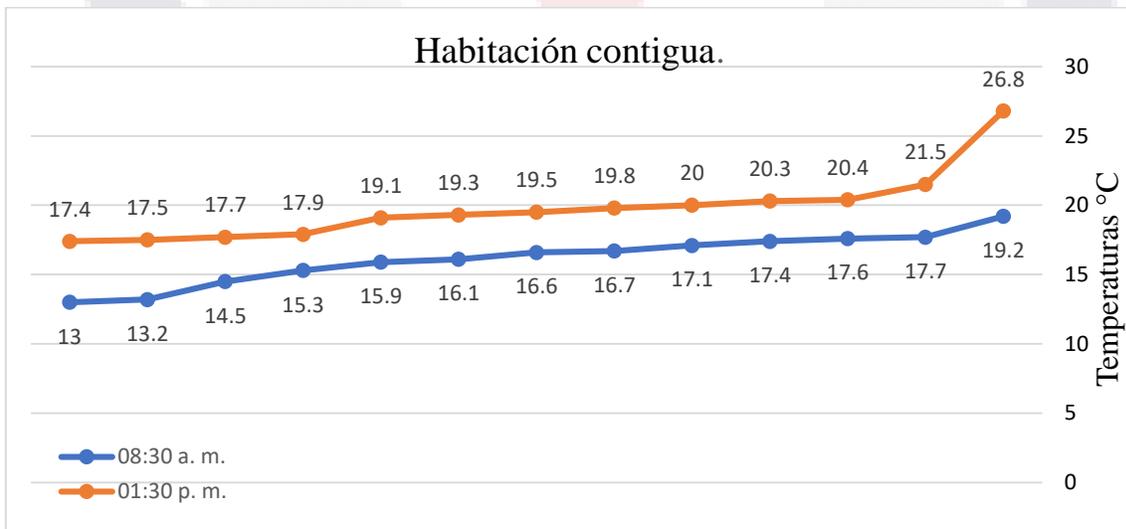


Figura No. 24 Temperaturas en la habitación, con cara al oeste.

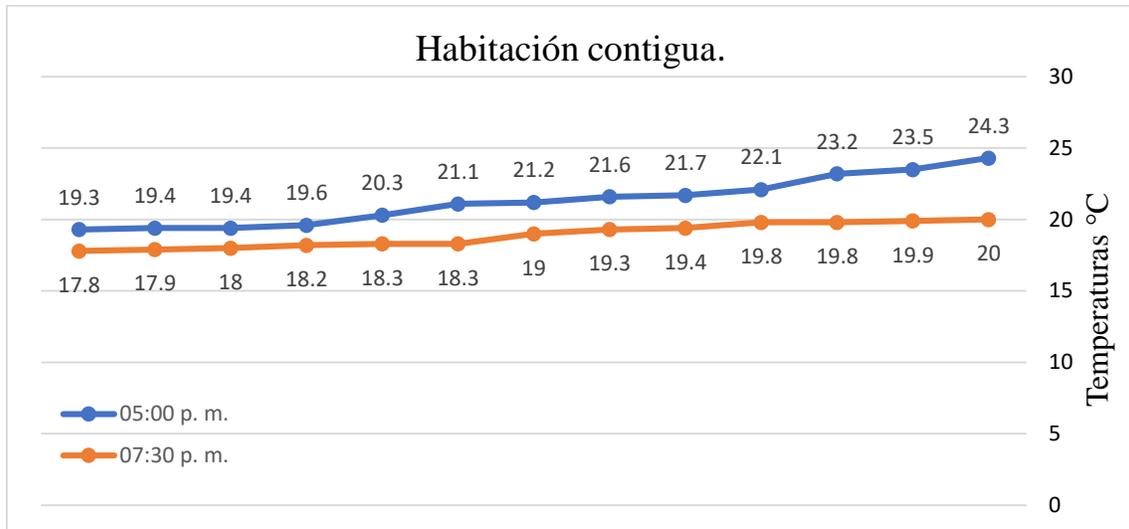


Figura No. 25 Habitación con cara al oeste.

La habitación contigua (Recámara 2) muestra un aumento mínimo de temperatura en comparación con la habitación principal (Recámara 1), a pesar de recibir la radiación solar directa por las mañanas (Ver Figura No. 24 y 25).

Luego de registrar las temperaturas en el interior y exterior de la vivienda, se procedió a calcular el promedio de estos valores, incluyendo las temperaturas de ambas habitaciones (Ver Tabla No.8). En virtud de lo mencionado, los datos indican un leve incremento de temperatura en las habitaciones en comparación con el entorno exterior.

Aunque este aumento no representa un problema significativo en términos de hermeticidad y aislamiento en la vivienda, es importante señalar que la vivienda en Bosque Sereno es tipo muestra, y al no considerar el factor humano, se esperaban resultados diferentes. Este hallazgo sugiere que, con la presencia de los usuarios con el paso del tiempo, la variación de temperatura podría manifestarse de manera más notable de lo analizado anteriormente.

Tabla No. 8 Promedios de las temperaturas del exterior con áreas de interior de la vivienda en Bosque Sereno.

Temperatura promedio exterior	18.08 °C
Temperatura de habitación principal	18.55 °C
Temperatura de habitación normal.	19.03 °C

5.3 Variaciones de temperatura presentes en la vivienda de Prados del sur

La vivienda en Prados Del Sur se encuentra orientada al noroeste, lo que implica una exposición directa a la luz solar hasta el mediodía durante la mayor parte del año. Este diseño genera una sensación térmica más elevada, acentuada por la orientación de las recámaras hacia el este. En este contexto, se procede al análisis de las temperaturas de los materiales con el objetivo de evaluar la variación entre el interior y el exterior de la vivienda.

Los datos recopilados revelan un confort adecuado durante la temporada de invierno, ya que se registran temperaturas agradables en ese período. No obstante, al finalizar el invierno, la vivienda experimenta temperaturas interiores superiores a las del exterior. Este análisis se realiza específicamente a las 7:00 a.m. (Ver Figura No.26), buscando captar la variación a lo largo del día (Ver Tabla No.9).



Figura No. 26. Vivienda ubicada en Prados del Sur. Aguascalientes

Tabla No. 9 Diversos valores captados por la cámara termográfica.

Temperaturas		
Lugar 1		7.2°C
Cuadro 1. Temperaturas en la parte derecha.		
Max	Min	Promedio
10.9°C	-15.8°C	3.8°C
Cuadro 2. Temperaturas en la parte superior.		
Max	Min	Promedio
9.6°C	-3.6°C	2.8°C

Se registra una temperatura de 12.4°C en la losa (Ver Figura No.27), en contraste con el acabado de la fachada que muestra -2.5°C. Esta discrepancia se debe a la incidencia directa del sol, resultante de la orientación de la vivienda, generando temperaturas elevadas en la losa. Además, se examinan los materiales presentes en la losa y la cantidad de calor que retienen a las 7:00 a.m., proporcionando una visión detallada de la distribución térmica en ese momento.



Figura No. 27. Exterior de la vivienda, área de la cochera. Prados del Sur.

5.4 Variación de temperatura exterior con la interior.

Con el fin de registrar la variación de temperatura en el exterior de la vivienda, se realizan mediciones en áreas específicas tanto en el frente como en el área de la cochera de la residencia (Ver Figura No. 28).

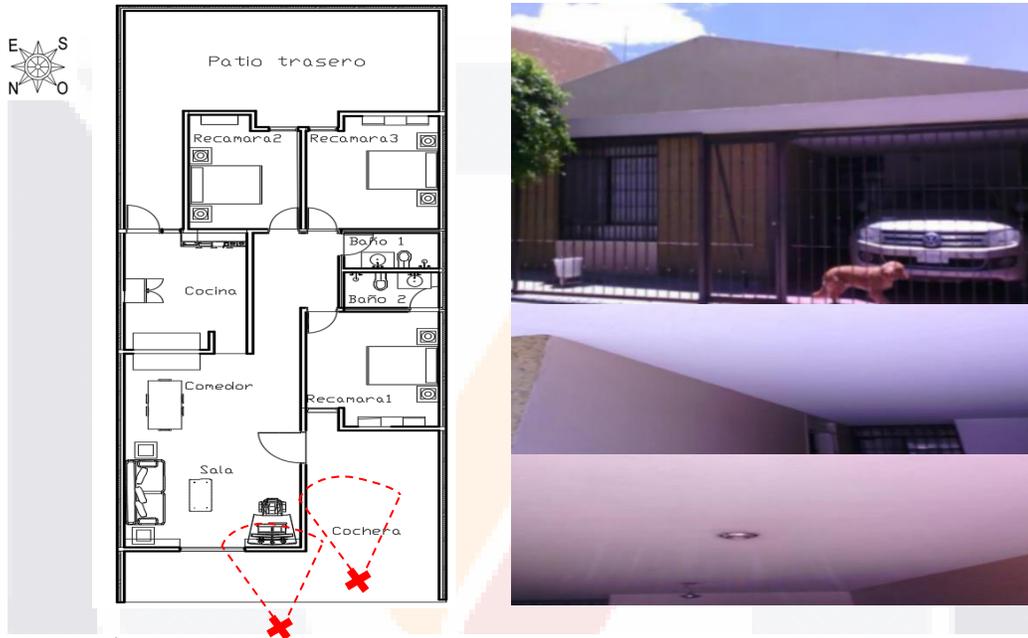


Figura No. 28 Áreas de interés de la vivienda, orientación el noroeste, exterior y parte de la losa y muro de la cochera.

Con el fin de obtener datos significativos sobre las variaciones de temperatura, se han capturado mediante una cámara termográfica aquellas presentes en los muros y la losa (Ver Figura No.29), haciendo hincapié en la exclusión de diversos objetos que podrían interferir en el análisis, según lo discutido en el capítulo 5. El comportamiento térmico se registra a las 12:00 p.m., momento en el cual el sol alcanza su punto de mayor intensidad calorífica, brindando una perspectiva más clara de las variaciones a lo largo del día (Ver Tabla No.10).



Figura No. 29 Área de interés de la vivienda, Cuadro 1.

Tabla No. 10 Valores de importancia realizada por la cámara termográfica.

Temperaturas		
Lugar 1		7.2°C
Cuadro 1. Parte de la losa, lado derecho.		
Max	Min	Promedio
34.1°C	29.5°C	32.5°C

Los registros obtenidos a las 12:00 p.m. (Ver Figura No.30) revelan temperaturas que superan los 30 °C (Ver Tabla No.11), brindando una valiosa perspectiva sobre los materiales de construcción utilizados en la vivienda. Estos datos permiten una clara visualización de elementos específicos, como el armado y el casetón de la losa, que, al estar expuestos a estas condiciones térmicas, ofrecen información crucial sobre su comportamiento y desempeño ante la radiación solar intensa. Este análisis detallado a la hora del mediodía proporciona una comprensión más profunda de cómo los diferentes componentes estructurales interactúan con el entorno, siendo esencial para evaluar la eficiencia térmica y la respuesta del edificio a condiciones climáticas específicas.

Tabla No. 11 Valores captados por la cámara termográfica.

Temperaturas		
Lugar 1		
Cuadro 1. Temperatura de parte de la losa.		
Max	Min	Promedio
32.5°C	30.0°C	31.3°C
Lugar 2		
Cuadro 2. Parte del muro y la losa.		
Max	Min	Promedio
34.6°C	30.2°C	31.8°C
Lugar 3		
Cuadro 3. Temperatura del muro		
Max	Min	Promedio
33.0°C	29.6°C	30.6°C



Figura No. 30 Espectro captado por la cámara termográfica para analizar el comportamiento de los materiales.

Después de adquirir los datos del exterior, se observa cierta similitud en las temperaturas registradas (Ver Tabla No.11). Destaca que la temperatura más alta se registró en la losa de la vivienda, señalando este punto como el área de mayor concentración de temperatura proveniente del exterior.

Observando la cochera desde otra perspectiva (Ver Figura No. 31), la cámara termográfica ofrece un panorama detallado del espectro y las variaciones de temperatura. El registro anterior incluye el comportamiento térmico de los materiales de construcción, proporcionando una valiosa visión de cómo estos componentes reaccionan ante las condiciones ambientales (Ver Tabla No. 11).

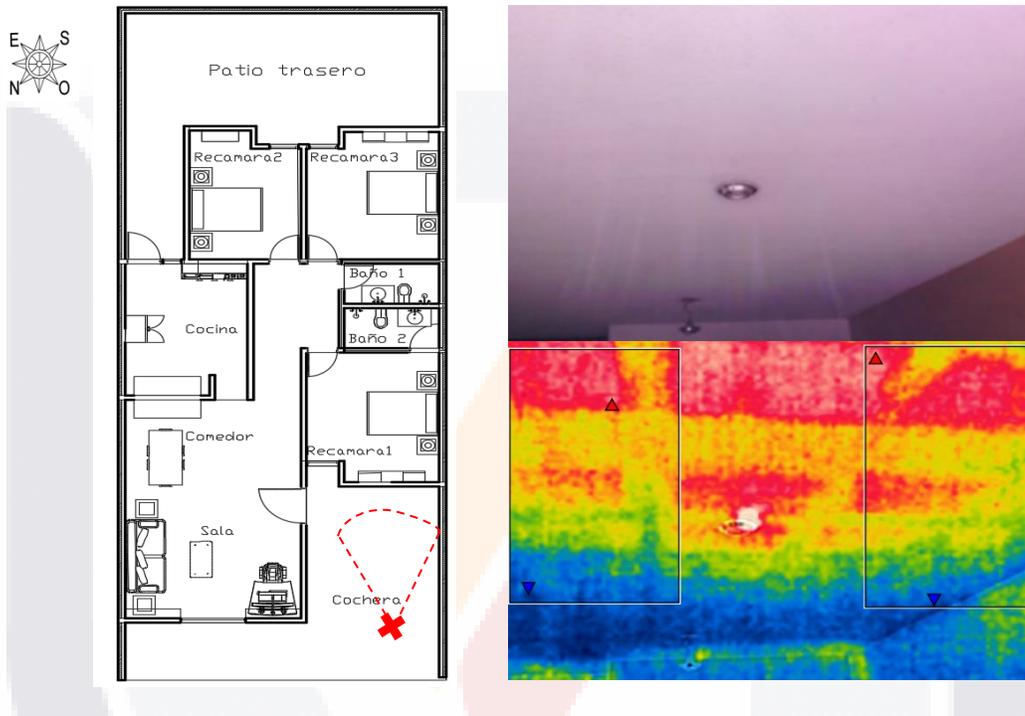


Figura No. 31 Espectro captado del comportamiento de los materiales en el área de la cochera.

Con base en los datos recopilados, se ha generado una gráfica que compara las temperaturas internas, permitiendo visualizar el comportamiento térmico en relación con el entorno a lo largo del día. Cabe señalar que las recámaras 2 y 3, expuestas directamente a los rayos solares desde la mañana (Ver Figura No.31), exhibieron temperaturas elevadas en comparación con el exterior. Contrariamente, la recámara 1, que no recibe la radiación solar directa, registró temperaturas más altas a comparación de las Recamaras 2 y 3.

Este contraste en las temperaturas sugiere la presencia de un bajo aislamiento térmico y falta de hermeticidad en las viviendas, evidenciando pérdidas de temperatura en el interior (Ver Figura No.32).

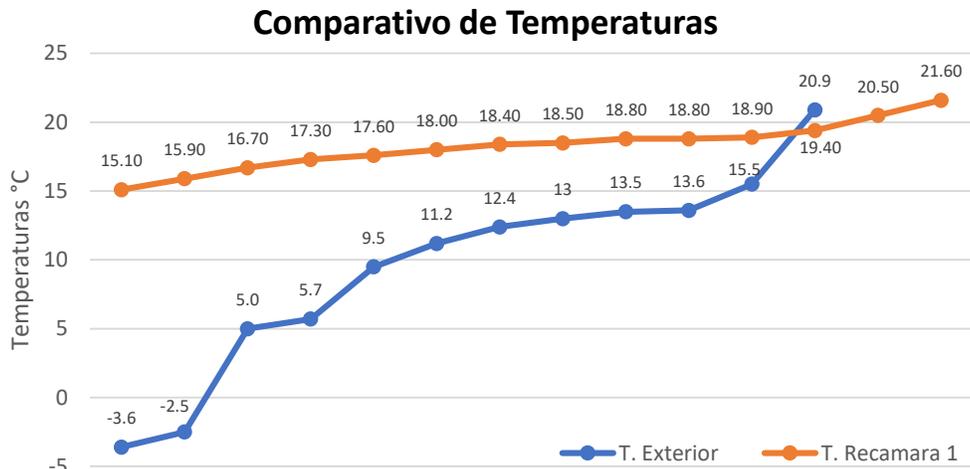


Figura No. 32 Temperaturas capturadas del exterior de la vivienda e interior de la habitación principal.

Retomando lo mencionado anteriormente, se observa que el promedio de la temperatura en la recámara principal (Recámara 1) exhibió una sensación térmica más elevada en comparación con la Recámara 2. Este fenómeno se atribuye al hecho de que, a pesar de ser un espacio cerrado y no recibir la radiación solar directa en ningún momento del día, carece de una ventilación adecuada.

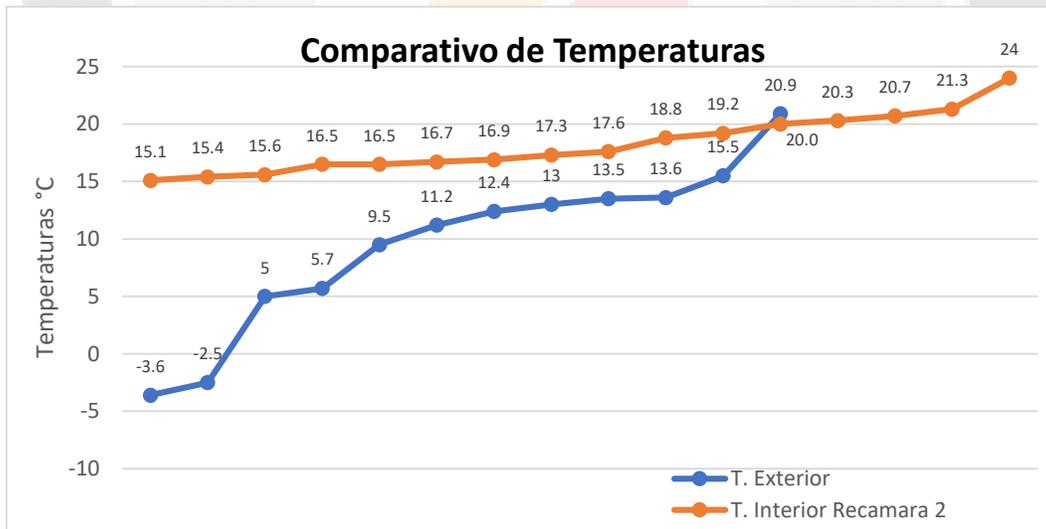


Figura No. 33 Temperaturas capturadas del exterior de la vivienda e interior de la habitación normal.

Tabla No. 12 Promedios de las temperaturas del exterior con áreas de interior de la vivienda en Prados del Sur.

Temperatura promedio exterior	9.25 °C
Temperatura de Recamara 1	18.27 °C
Temperatura de Recamara 2	15.10 °C

5.5 Viviendas examinadas mediante el software DesignPH.

Mediante el uso de este software, se realiza un exhaustivo análisis del desempeño térmico de las viviendas en Bosque Sereno y Prados del Sur en su configuración actual. Además, se explora la implementación del sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC), capturando los cambios y mejoras en el rendimiento térmico de los materiales.

El proceso incluye la creación de un modelo 3D preciso que contempla las dimensiones exactas de las viviendas, así como los materiales utilizados en su construcción. Se proporcionan al software DesignPH los valores de transmitancia térmica de estos materiales, permitiendo calcular el flujo de temperatura a través de los elementos constructivos.

Posteriormente, se incorpora la geolocalización y orientación específica de cada vivienda, teniendo en cuenta el impacto del sol a lo largo del día. Se examinan también factores externos, como las sombras generadas por otras construcciones en la zona, para evaluar el comportamiento natural de las viviendas. En una segunda fase, se realiza un análisis adaptativo al implementar el sistema de Ventilación Mecánica Controlada HRU-PremAIR-450, con las características mencionadas anteriormente.

5.5.1 Modelo analizado en Bosque Sereno

En el modelo de Bosque Sereno, orientado al noreste y con una envolvente de 66.8 m², representativa de nuestra superficie de referencia energética, se realiza un análisis detallado mediante el software DesignPH (Ver Figura No.34). Se procede al desglose de los materiales empleados en la construcción de la vivienda, evaluando la cantidad de calor que atraviesa los muros, puertas, ventanas y la losa respectivamente.

A continuación, se incorporan los datos climáticos específicos de la región, incluyendo la latitud y altitud, con el propósito de definir la estación climatológica correspondiente a la zona de Aguascalientes. Este enfoque integral permite una evaluación más precisa y científica del comportamiento térmico de la vivienda en condiciones climáticas específicas, proporcionando datos valiosos para optimizar el diseño y la eficiencia energética del proyecto.

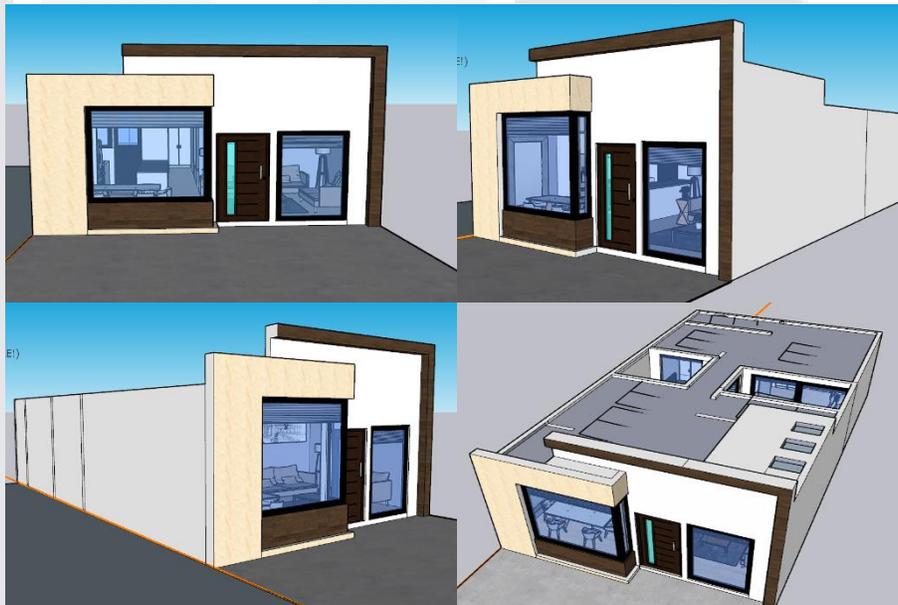


Figura No. 34 Diferentes vistas de la vivienda analizada de Bosque Sereno

Para el análisis de los materiales utilizados en la vivienda, se presta atención a componentes fundamentales como los muros, el firme, la losa y las ventanas. En el caso de las puertas, el software facilita la asignación de valores específicos en función del material empleado. Este proceso implica la consideración de la conductividad térmica de los materiales y la indicación de las resistencias térmicas superficiales de los cerramientos que están en contacto directo con el aire exterior, tales como los muros, el firme y la losa (Ver Tabla No.13, 14, 15 y 16).

En este contexto, al especificar al software el tipo de superficie, se obtienen las resistencias térmicas superficiales tanto para el interior como para el exterior. Este procedimiento es crucial para el cálculo preciso del comportamiento térmico de la

vivienda en su estado normal, proporcionando un análisis detallado de la eficiencia térmica de los elementos constructivos.

Sistema Constructivo: Muro interior y exterior.

Resistencia Térmica Superficial, interior, r_{si} (m^2K/W): 0.13

Resistencia Térmica Superficial, exterior, r_{so} (m^2K/W): 0.04

Tabla No. 13 Transmitancia térmica de la envolvente de los muros, en Bosque Sereno.

Superficie	Valor- Lambda (W/mK)	Espesor (mm)
Repellado interior	1.2	20.0
Block	0.3	150.
Armado de varilla	50.0	12.0
Repellado exterior	1.2	20.0
Mortero	1.2	20.0
Espesor (cm): 22.2	Valor-U (W/mK)	1.388

Sistema Constructivo: Losa.

Resistencia Térmica Superficial, interior, r_{si} (m^2K/W): 0.17

Resistencia Térmica Superficial, exterior, r_{so} (m^2K/W): 0.04

Tabla No. 14 Transmitancia térmica de la losa, en Bosque Sereno.

Superficie	Valor- Lambda (W/mK)	Espesor (mm)
Poliestireno	0.037	200.0
Acero de refuerzo	50.0	12.0
Concreto	0.5	20.0
Espesor (cm): 23.2	Valor-U (W/mK)	0.177

Sistema Constructivo: Firme.

Resistencia Térmica Superficial, interior, r_{si} (m^2K/W): 0.1

Resistencia Térmica Superficial, exterior, r_{so} (m^2K/W): 0.0

Tabla No. 15 Transmitancia térmica del firme, en Bosque Sereno.

Superficie	Valor- Lambda (W/mK)	Espesor (mm)
Repellado interior	1.2	20.0
Block	0.3	150.
Armado de varilla	50.0	12.0
Espesor (cm): 16.2	Valor-U (W/mK)	2.998

Sistema Constructivo: Ventanas.

Resistencia Térmica Superficial, interior, rsi (m2K/W): 0.0

Resistencia Térmica Superficial, exterior, rso (m2K/W): 0.0

Tabla No. 16 Transmitancia térmica de las ventanas, en Bosque Sereno.

Superficie	Valor- Lambda (W/mK)	Espesor (mm)
Ventana de aluminio	0.018	3.0
Espesor (cm): 0.3	Valor-U (W/mK)	6.0

Al ingresar los datos de la ficha técnica del sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC) HRU-PremAIR-450 utilizado en el análisis, se tiene en cuenta el volumen de ventilación que proporciona, abarcando hasta 450 m³. Después de realizar el análisis inicial en el estado normal de la vivienda, se lleva a cabo una segunda evaluación al aplicar el sistema de VMC, especificando sus características en el software correspondiente (Ver Figura No.35).

Este proceso permite comprender y comparar el impacto del sistema de ventilación en el rendimiento térmico de la vivienda, proporcionando información valiosa para la optimización de las condiciones ambientales y la eficiencia energética.

Ventilación & Ganancias internas de calor - entrada de datos

▼ Pérdidas de calor por ventilación

Seleccione tipo de ventilación: 1 - Balanced PH ventilation with HR

Seleccione unidad de ventilación: [1271vs03 - [92.0%] ALNOR Systemy Wentylacji Sp. z o.o. - HRU-PremAIR-450]

vent_sys_ID	vent_type_ID	Altura libre del espacio, (m)	Volumen neto de aire para el test de presurización, V _{n50} (m³)	Tasa de renovación de aire bajo ensayo de presión, n50	Coef. protección al viento, e	Coef. protección al viento, f
1271vs03	1	3.0	200.4	0.6	0.07	15.0

Altura libre del espacio, (m)	Superficie de referencia energética (m²)	Volumen de aire, V _v (m³)	Volumen neto de aire para el test de presurización, V _{n50} (m³)	Tasa de renovación de aire bajo ensayo de presión, n50	Coef. protección al viento, e	Coef. protección al viento, f
3.00	66.80	200.40	200.40	0.60	0.07	15.00

Caudal de aire de diseño (m³/h) V _{dot_av}	Tasa de renovación de aire promedio (1/h) vent_n_v_ex	Eficiencia del recuperador de calor eta _{HR_eff}
78.16	60.18	0.30

▼ Ganancias internas de calor

Tipo de edificio: Vivienda | Nr. de viviendas: 1

Ratio de ganancias internas de calor (W/m²): 2.85

Figura No. 35 Características del sistema de ventilación aplicado en la vivienda de Bosque Sereno (Tomada del Software DesignPH).

El sistema de ventilación asignado a la vivienda en el software presenta una notable tasa de recuperación de calor, alcanzando el 92% (Ver Figura No.35).

Se procede a modelar la vivienda tridimensionalmente mediante el software SketchUp, utilizando su extensión DesignPH para integrar las sombras generadas a lo largo del día. El proceso se complementa al indicar la zona climatológica correspondiente al municipio de Aguascalientes. Esta información es crucial para proyectar las temperaturas a lo largo del año, considerando la envolvente de los materiales y su conductividad térmica. Posteriormente, los datos adquiridos se aplican en el software PHPP, permitiendo un análisis exhaustivo de las instalaciones y detalles específicos de la construcción. Este enfoque integral nos proporciona una evaluación completa de la eficiencia térmica de la vivienda y su capacidad de respuesta ante las condiciones climáticas particulares de la región.

El enfoque de análisis se centra en la vivienda identificada en color rojo, delimitando específicamente esta área de interés en el software. Aunque se pueden observar otras figuras, estas no inciden en el análisis, ya que se designan como superficies sin demanda de calor.

En estudio en su estado normal, se registra que la vivienda requiere un gasto de consumo de energía anual de 31.3 KWh/m²a (Ver Figura No.36). Por otro lado, al

examinar la vivienda con el sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC), se obtiene un gasto de 30 KWh/m²a, representando una disminución del 4.15% en términos de consumo eléctrico.



Figura No. 36 Modelo de la vivienda analizada en Bosque Sereno en su estado normal y con el sistema de VMC

5.5.2

Modelo analizado en Prados del Sur

Para el modelo de Prados del Sur, se cuenta con una envolvente de 107m², que representa la superficie de referencia energética y es analizada exhaustivamente en el software DesignPH.

A través de un desglose detallado de los materiales utilizados en la vivienda, se determina el flujo de calor que atraviesa cada uno de ellos. Los valores ingresados al software abarcan todas las áreas de la vivienda, incluyendo muros, firme, losa, ventanas y puertas.

Retomando el apartado 5.5.1, la orientación se especifica mediante la geolocalización, además de indicar la superficie correspondiente (Ver Figura No.37). Posteriormente, se ingresan los datos climáticos de la zona, tales como la latitud y altitud, para establecer la estación climatológica pertinente. Este enfoque meticuloso garantiza un análisis preciso del comportamiento térmico de la vivienda, considerando su entorno geográfico y climático específico.



Figura No. 37 Diferentes vistas de la vivienda analizada de Prados del Sur

Se procede a la asignación de los valores de conductividad térmica, así como de las resistencias térmicas superficiales de los cerramientos en contacto con el aire exterior, como los muros, firmes y losa respectivamente (Ver Tabla No.17, 18, 19 y 20). En concordancia con lo señalado en el apartado 2.7, los valores de Lambda se determinan utilizando una tabla que engloba todos los materiales empleados en la construcción (Ver Tabla No.4). Lo anterior se emplea para calcular la resistencia térmica superficial y el Valor-U, que representa la transmitancia térmica. Este procedimiento sistemático asegura la precisión en la evaluación del comportamiento térmico de la vivienda, utilizando datos específicos de los materiales empleados en su construcción.

Sistema Constructivo: Muro interior y exterior.

Resistencia Térmica Superficial, interior, r_{si} (m^2K/W): 0.13

Resistencia Térmica Superficial, exterior, r_{so} (m^2K/W): 0.04

Tabla No. 17 Transmitancia térmica de la envolvente de los muros, en Prados del Sur.

Superficie	Valor- Lambda (W/mK)	Espesor (mm)
Repellado interior	1.2	20.0
Ladrillo	0.8	150.0
Armado de varilla	50.0	12.0
Repellado exterior	1.2	20.0
Espesor (cm): 20.2	Valor-U (W/mK)	2.557

Sistema Constructivo: Losa.

Resistencia Térmica Superficial, interior, r_{si} (m^2K/W): 0.17

Resistencia Térmica Superficial, exterior, r_{so} (m^2K/W): 0.04

Tabla No. 18 Transmitancia térmica de la losa, en Prados del Sur.

Superficie	Valor- Lambda (W/mK)	Espesor (mm)
Acero de refuerzo	50.0	200.0
Concreto	0.5	20.0
Espesor (cm): 22.0		Valor-U (W/mK) 3.937

Sistema Constructivo: Firme.

Resistencia Térmica Superficial, interior, r_{si} (m^2K/W): 0.1

Resistencia Térmica Superficial, exterior, r_{so} (m^2K/W): 0.0

Tabla No. 19 Transmitancia térmica del firme, en Prados del Sur.

Superficie	Valor- Lambda (W/mK)	Espesor (mm)
Acero de Refuerzo	50.0	12.0
Concreto	0.5	100.0
Cerámica	1.5	50.0
Espesor (cm): 16.2		Valor-U (W/mK) 2.998

Sistema Constructivo: Ventanas.

Resistencia Térmica Superficial, interior, r_{si} (m^2K/W): 0.0

Resistencia Térmica Superficial, exterior, r_{so} (m^2K/W): 0.0

Tabla No. 20 Transmitancia térmica de las ventanas, en Prados del Sur.

Superficie	Valor- Lambda (W/mK)	Espesor (mm)
Ventana de aluminio	0.018	3.0
Espesor (cm): 0.3		Valor-U (W/mK) 6.0

Para el análisis del sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC), se emplea el modelo HRU-PremAIR-450, caracterizado por un volumen de aire de 450 m³/h y una tasa de recuperación de calor del 92% (Ver Figura No.35).

La representación de la vivienda de Prados del Sur en el software (Ver Figura No.38) se destaca en color rojo. A pesar de que otras viviendas circundantes generan sombras, se especifica claramente en el software DesignPH que no son objeto de estudio. Se procede, entonces, a analizar la vivienda principal utilizando los valores específicos de los materiales indicados (Ver Tabla No.17, 18, 19 y 20).

El resultado indica que, en su estado normal, la vivienda consume 49.7 KWh/m²a, mientras que con la implementación del sistema de VMC, este valor disminuye a 48 KWh/m²a. Esto sugiere una reducción del 3.42% en el consumo eléctrico de la vivienda.



Figura No. 38 Modelo de la vivienda analizada en Prados del Sur en su estado normal y con el sistema de VMC.

5.6 Viviendas examinadas mediante el software PHPP

Después de analizar las viviendas en el software DesignPH, los datos obtenidos nos proporcionan información detallada sobre el comportamiento térmico de los materiales. Además, se revela la demanda de calor específica, que se presenta como el dato más relevante en términos de consumo eléctrico.

En esta fase de diseño, el software PHPP se convierte en una herramienta esencial al permitir la aplicación de estrategias pasivas. En este contexto, el software ajusta las instalaciones de la vivienda para visualizar los cambios que podrían surgir con la implementación de un Sistema de Ventilación Mecánica Controlada, siguiendo las pautas del estándar Passive House. El software PHPP brinda un enfoque integral donde facilita la toma de decisiones durante la etapa de diseño, maximizando la eficiencia energética y optimizando el rendimiento térmico de las viviendas.

5.6.1 Modelo analizado en Bosque Sereno

Revisitando el apartado 5.2 sobre la variación de temperatura entre el exterior y el interior de la vivienda en Bosque Sereno, el análisis se enfoca en verificar el comportamiento de los materiales a través de la cámara termográfica. El proceso busca registrar las variaciones de temperatura a lo largo del día e identificar las áreas propensas a fenómenos como puentes térmicos y pérdida de hermeticidad.

Para la observación de los distintos parámetros fundamentales mediante el software PHPP, se ingresan las características de ubicación y el tipo de clima específico de la zona de Aguascalientes. El análisis no solo evalúa, sino que también adapta el sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC) en una vivienda en su fase de diseño (Ver Tabla No.21). Se clasifica la vivienda analizada en Bosque Sereno como residencial, permitiendo una evaluación específica basada en su diseño e instalaciones, garantizando una revisión exhaustiva de las condiciones climáticas y de diseño para ambas viviendas.

Tabla No. 21 Características de la vivienda analizada Bosque Sereno.

Cálculo de la demanda eléctrica / ganancias internas de calor	
Tipo de edificación:	Edificio residencial
Ganancias internas de calor (GIC)	
Tipo de uso:	Vivienda
Valores:	Estándar
Ocupación:	
Estándar (solo para edificios residenciales)	

Se identifica la ubicación geográfica de la vivienda para determinar la información relevante y el tipo de región en la que se encuentra. Esta región se caracteriza por un clima seco y semiseco, común en el estado de Aguascalientes. Este clima se clasifica como cálido, y además se considera la altitud sobre el nivel del mar (Ver Tabla No.22). Este análisis preciso de las condiciones climáticas locales proporciona datos esenciales para la evaluación y diseño efectivo de la vivienda en esta ubicación específica.

Tabla No. 22 Datos climáticos de la vivienda ubicada en el fraccionamiento Bosque Sereno.

Selección de datos climáticos	
País:	México
Región:	Seco y semiseco
Datos climáticos:	MX0005b-Aguascalientes, Aguascalientes
Zona climática:	Cálida
Altitud	
Estación climática:	1865.0 m
Ubicación del edificio:	1845.0 m

Estos datos ofrecen una visión proyectada del comportamiento climático a lo largo del año, permitiendo así determinar el consumo de KW/m2a de la vivienda en Bosque Sereno. Retomando el apartado 2.6.2 del software PHPP, el cual aborda

tres etapas de análisis: calefacción, enfriamiento y energía primaria (Ver Figura No.5).

En la primera etapa, se detallan el tipo de superficie, las dimensiones y los componentes de la vivienda para calcular la transmitancia térmica, evaluada a través del software DesignPH. En cuanto al análisis de la vivienda en su estado normal, la etapa de enfriamiento y energía primaria involucra la entrada de datos relacionados con las instalaciones de la vivienda, como las hidráulicas, sanitarias y eléctricas, permitiendo una evaluación integral de la eficiencia energética.

Para anticipar el comportamiento climático a lo largo del año (Ver Tabla No.23) y, basándonos en el análisis de la vivienda en su estado normal, se realiza un segundo análisis al incorporar el sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC) en la etapa 2 de enfriamiento. Con el propósito de comparar el rendimiento entre el estado normal de la vivienda y su desempeño con la implementación del sistema de VMC.

Tabla No. 23 Proyección del comportamiento del clima a lo largo del año, por la estación meteorológica.

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
MX0005b-Aguascalientes, Aguascalientes	Latitud °	21.9	Longitud °	-102.3	Altitud [m]	1865	Fluctuación diaria temperatura en verano [K]			12.9			
°C	Temperatura exterior	13.5	15.0	17.7	20.2	22.6	22.6	21.1	20.8	20.3	18.6	16.2	14.2
KWh(m²mes)	Radiación Norte	37	39	47	53	71	78	72	58	49	44	37	36
KWh(m²mes)	Radiación Este	87	98	122	120	106	106	104	103	94	101	95	87
KWh(m²mes)	Radiación Sur	166	151	132	80	54	54	56	68	91	140	173	175
KWh(m²mes)	Radiación Oeste	88	101	124	121	106	106	105	103	94	102	95	87
KWh(m²mes)	Radiación Horizontal	144	161	209	212	193	193	189	186	165	168	154	141
°C	Punto de Rocío	1.7	0.8	-1.1	0.1	11.7	11.7	12.6	12.5	12.5	9.7	6.6	2.9
°C	Temperatura del cielo	-5.9	-5.5	-5.2	-0.6	7.5	7.5	7.4	7.4	6.4	1.6	-4.4	-4.9
°C	Temperatura terrena	18.9	19.0	19.3	19.8	23.9	24.3	20.9	20.8	20.5	20.0	19.5	19.1

En la primera etapa de calefacción, retomando el apartado 5.5.1, donde se incorporan los valores de los materiales de construcción que fueron analizados en la vivienda de Bosque Sereno, abarcando los muros, firme, losa y ventanas respectivamente (Ver Tabla No. 13, 14, 15 y 16). Se determina la demanda específica de calor en la vivienda, la cantidad de ventilación, la demanda de refrigeración y las pérdidas de calor tanto en el modelo de análisis con parámetros

normales como en aquel con la implementación del sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC).

5.6.2 Modelo analizado en Prados del Sur

Retomando el apartado 5.5.2 sobre el modelo analizado en Prados del Sur, se aprecia que la vivienda experimenta una mejora del 3.42% en el gasto energético. Cabe destacar que el modelo de Prados del Sur se distingue por ser una vivienda con una superficie de 107 m² y presenta el desgaste natural que ocurre a lo largo de los años debido a la ocupación por parte de los habitantes. Con estos factores, la vivienda exhibe variaciones notables. En términos de los requisitos fundamentales, se identifica la edificación como residencial para analizar el modelo en las tres etapas que sugiere el software PHPP: calefacción, enfriamiento y energía primaria (Ver Tabla No.24).

Tabla No. 24 Características de la vivienda analizada Prados del Sur.

Cálculo de la demanda eléctrica / ganancias internas de calor	
Tipo de edificación:	Edificio residencial
Ganancias internas de calor (GIC)	
Tipo de uso:	Vivienda
Valores:	Estándar
Ocupación:	
Estándar (solo para edificios residenciales)	

En los datos climatológicos correspondientes al estado de Aguascalientes, se establece la misma zona climática que se detalla en el apartado 5.6.1, destacando la variación en la altitud con respecto a Bosque Sereno. Se realiza un análisis minucioso de la temperatura que atraviesa los muros, el firme y los componentes, tales como puertas y ventanas. La observación se lleva a cabo teniendo en cuenta los datos específicos de los materiales, los cuales son cruciales para la configuración del software DesignPH (Ver Tabla No.17, 18, 19 y 20).

Tabla No. 25 Datos climáticos de la vivienda ubicada en Prados del Sur.

Selección de datos climáticos	
País:	México
Región:	Seco y semiseco
Datos climáticos:	MX0005b-Aguascalientes, Aguascalientes
Zona climática:	Cálida
Altitud	
Estación climática:	1865.0 m
Ubicación del edificio:	1867.0 m

Al examinar la proyección anual del comportamiento climático a lo largo del año (Ver Tabla No.26), se introducen datos específicos sobre la ubicación de la vivienda en Prados del Sur. A partir de esta información detallada, se realiza un análisis minucioso de las etapas de enfriamiento y energía primaria. Es notable que la temperatura del terreno exhibe variaciones en los meses de mayo en comparación con la registrada en Bosque Sereno (Ver Tabla No.23). Este fenómeno se atribuye a la presencia de viviendas circundantes que generan una mayor acumulación de temperatura, junto con la generación de sombras que inciden en el análisis.

Tabla No. 26 Proyección del comportamiento del clima a lo largo del año, por la estación meteorológica.

	Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
	MX0005b-Aguascalientes, Aguascalientes	Latitud °	21.9	Longitud °	-102.3	Altitud [m]	1865	Fluctuación diaria temperatura en verano [K]						12.9
°C	Temperatura exterior	13.4	14.9	17.6	20.1	22.5	22.5	21.0	20.7	20.2	18.5	16.1	14.1	
KWh(m²mes)	Radiación Norte	37	39	47	53	71	78	72	58	49	44	37	36	
KWh(m²mes)	Radiación Este	87	98	122	120	122	106	104	103	94	101	95	87	
KWh(m²mes)	Radiación Sur	166	151	132	80	57	54	56	68	91	140	173	175	
KWh(m²mes)	Radiación Oeste	88	101	124	121	123	106	105	103	94	102	95	87	
KWh(m²mes)	Radiación Horizontal	144	161	209	212	220	193	189	186	165	168	154	141	
°C	Punto de Rocío	1.7	0.8	-1.1	0.1	4.1	11.7	12.6	12.5	12.5	9.7	6.6	2.9	
°C	Temperatura del cielo	-5.9	-5.5	-5.2	-0.6	2.7	7.5	7.4	7.4	6.4	1.6	-4.4	-4.9	
°C	Temperatura terrena	19.0	19.1	19.4	19.8	20.2	20.5	20.7	20.6	20.4	19.9	19.5	19.2	

CAPITULO VI: RESULTADOS

A continuación, se expondrán los resultados obtenidos durante el desarrollo de esta investigación, utilizando un enfoque metodológico cuantitativo. Es importante destacar que el proyecto se fundamentó en la hipótesis de que la incorporación de un Sistema de Ventilación Mecánica Controlada, siguiendo el estándar Passive House, generaría mejoras en el rendimiento térmico de los materiales de construcción. Como consecuencia, se anticipaba una disminución en el consumo eléctrico y un aumento en el aislamiento térmico de la vivienda.

La propuesta de esta indagación fue esclarecer si la introducción de un sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC) conlleva mejoras en el rendimiento térmico de los materiales, específicamente en lo que respecta al aislamiento térmico y la hermeticidad de las viviendas en Aguascalientes. Asimismo, se buscó identificar posibles limitaciones asociadas al diseño y a los materiales de construcción empleados en estas viviendas.

Para abordar esta cuestión, se adoptó un enfoque cuantitativo, llevando a cabo un análisis comparativo entre dos modelos de estudio: uno que refleja el estado convencional de las viviendas y otro que incorpora el sistema de VMC. La esencia de la investigación se centra en analizar el comportamiento térmico de los materiales en estas dos condiciones, con el propósito de evaluar la viabilidad de la aplicación del sistema de VMC mediante dos modelos de estudios analizados en software.

6.1 Datos obtenidos del software DesignPH en la vivienda de Bosque Sereno

A través del software DesignPH, se llevó a cabo un análisis de la residencia en Bosque Sereno en su estado actual. Posteriormente, se compararon los resultados con un segundo análisis que incorporaba un sistema de Ventilación Mecánica

Controlada (VMC) en el modelo. Este enfoque reveló una reducción del 4.15% en la demanda de calor específica, como se detalla en la Tabla No. 27. Esta información sugiere que la implementación del sistema de VMC se traduce en una disminución del consumo eléctrico necesario para mantener un confort térmico adecuado en la vivienda.

Tabla No. 27 Análisis de la vivienda en Bosque Sereno, Software DesignPH.

Análisis	Comentario	Perdidas de calor por transmisión (superficies opacas)	Perdida de calor por transmisión (puentes térmicos)	Perdidas de calor por ventilación	Ganancias internas de calor	Demanda de calor específica anual (kWh/m ² a)
1	Cálculo de la vivienda sin ventilación mecánica	30.84	0.25	1.97	1.50	31.3
2	Cálculo de la vivienda aplicando un sistema de ventilación	30.84	0.25	0.40	1.50	30.00

Para las pérdidas de calor por ventilación en la vivienda (Ver Tablas 28 y 29), se registró una mejora notable del 79.77% al aplicar el sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC), disminuyendo de 131.31 kWh/a en 26.56 kWh/a. En relación con la tasa de renovación de la vivienda en su estado normal y con la implementación del sistema de VMC, se observa una reducción significativa de 0.3563 (1/h) a 0.0721 (1/h), lo que representa una mejora del 79.76 % en la eliminación de agentes contaminantes.

Es importante destacar que la vivienda exhibe una tasa de renovación inferior a 0.6 (1/h), conforme a los estándares Passive House, según lo indicado por Maldonado Luna, C. (2022). Esto sugiere que, en su estado normal, la vivienda presenta una hermeticidad adecuada con una tasa de cambio de aire aceptable. Al retomar el apartado 5.2, donde se compararon las temperaturas exteriores e interiores y se demuestra su similitud, se refuerza la idea de una hermeticidad aceptable (ver Tabla No. 8).

En el ámbito de la eficiencia térmica, se evidencia una reducción en el consumo de energía destinado a la demanda de calor en la vivienda. En su estado convencional, la demanda de calor se sitúa en 1.97 kWh/m²a, mientras que, mediante la

implementación del sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC), este valor disminuye significativamente a 0.40 kWh/m²a. Este cambio implica una mejora del 79,69% en la eficiencia térmica de la vivienda, indicando una optimización en la gestión de la demanda de calor y la influencia positiva del sistema VMC en la eficacia energética del entorno habitable. Este resultado refuerza la viabilidad y el impacto positivo de la implementación de tecnologías avanzadas de ventilación en el contexto específico de la vivienda analizada.

Tabla No. 28 Perdidas de calor de la vivienda sin un sistema de ventilación, Software DesignPH

	Tasa de renovación de aire efectiva energéticamente (1/h)	Volumen de aire (m ³)	Capacidad calorífica del aire	Grados- hora de calefacción anual (kWh/a)	Perdidas de calor por ventilación (kWh/a)	Demanda de calor (kWh/m ² a)
Sistema de ventilación	0.3003	200.40	0.33	5.57	110.67	1.66
infiltración	0.0560	200.40	0.33	5.57	20.64	0.31
	0.3563				131.31	1.97

Tabla No. 29 Perdidas de calor de la vivienda con un sistema de ventilación, Software DesignPH

	Tasa de renovación de aire efectiva energéticamente (1/h)	Volumen de aire (m ³)	Capacidad calorífica del aire	Grados- hora de calefacción anual (kWh/a)	Perdidas de calor por ventilación (kWh/a)	Demanda de calor (kWh/m ² a)
Sistema de ventilación	0.0301	200.40	0.33	5.57	11.08	0.17
infiltración	0.0420	200.40	0.33	5.57	15.56	0.23
	0.0721				26.56	0.40

6.2 Datos obtenidos del software DesignPH, en la vivienda de Prados del Sur

El análisis efectuado en la zona residencial de Prados del Sur reveló que la demanda de calor en su estado actual resulto de 49.70 kWh/m²a (Ver Figura No.30). Tras la implementación del Sistema de Ventilación HRU-PremAIR-450, esta demanda experimenta una reducción, situándose en 48.00 kWh/m²a. Este cálculo específico indica una disminución del 3.42% en la demanda de calor anual y en el consumo eléctrico asociado a la vivienda. Este resultado, aunque mínimo subraya la eficacia del sistema de ventilación en la optimización del rendimiento térmico de la edificación por sí solo, contribuyendo a una gestión más eficiente de la demanda de calor y, por ende, al ahorro energético en el entorno residencial de Prados del Sur.

Tabla No. 30 Análisis de la vivienda en Prados del Sur, Software DesignPH

Análisis	Comentario	Perdidas de calor por transmisión (superficies opacas)	Perdida de calor por transmisión (puentes térmicos)	Perdidas de calor por ventilación	Ganancias internas de calor	Demanda de calor específica anual (kWh/m ² a)
1	Cálculo de la vivienda sin ventilación mecánica	49.09	0.13	2.01	1.35	49.70
2	Cálculo de la vivienda aplicando un sistema de ventilación	48.86	0.13	0.40	1.35	48.00

La mejora en la demanda de calor alcanza un notable 83.08%, como se detalla en la Tabla No. 31 y 32, lo que implica una reducción sustancial en el consumo eléctrico mediante la implementación del sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC). En el análisis de las pérdidas de calor por ventilación, se observa una cifra inicial de 215.07 kWh/a. No obstante, al aplicar el sistema de VMC al modelo evaluado en DesignPH, estas pérdidas disminuyen de manera significativa a 35.90 kWh/a.

Este resultado destaca la eficacia demostrada por el sistema de VMC, según el análisis realizado en el software DesignPH. Es importante señalar que al aplicar el sistema de VMC, la temperatura almacenada en los puentes térmicos generados por ventanas y cerramientos de la vivienda experimenta una disminución del 83.30%, subrayando así la eficiencia del sistema de VMC.

La tasa de renovación de aire inicial en la vivienda se sitúa en 0.3643 (1/h). Al incorporar el sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC), la tasa experimenta una reducción notable, alcanzando un valor de 0.0608 (1/h). El cambio representa una mejora significativa del 83.31% en la eliminación de agentes contaminantes.

Considerando este resultado, con las observaciones anteriores detalladas en la sección 6.2, donde también se constató una tasa de renovación apropiada, por debajo del umbral de 0.6 (1/h). El análisis indico que ambas viviendas manejan una adecuada tasa de renovación por debajo incluso de lo que estipula el estándar Passive House.

Tabla No. 31 Perdidas de calor de la vivienda sin un sistema de ventilación, Software DesignPH

	Tasa de renovación de aire efectiva energéticamente (1/h)	Volumen de aire (m³)	Capacidad calorífica del aire	Grados- hora de calefacción anual (kWh/a)	Perdidas de calor por ventilación (kWh/a)	Demanda de calor (kWh/m²a)
Sistema de ventilación	0.3003	321.03	0.33	5.57	117.29	1.66
infiltración	0.0640	321.03	0.33	5.57	37.78	0.35
	0.3643				215.07	2.01

Tabla No. 32 Perdidas de calor de la vivienda con un sistema de ventilación, Software DesignPH

	Tasa de renovación de aire efectiva energéticamente (1/h)	Volumen de aire (m³)	Capacidad calorífica del aire	Grados- hora de calefacción anual (kWh/a)	Perdidas de calor por ventilación (kWh/a)	Demanda de calor (kWh/m²a)
Sistema de ventilación	0.0278	321.03	0.33	5.57	16.42	0.15
infiltración	0.0330	321.03	0.33	5.57	19.48	0.18
	0.0608				35.90	0.34

El software DesignPH señala mejoras en la demanda de calor y en el aislamiento térmico, lo que implica un aumento en el rendimiento de la transmitancia térmica de los materiales constructivos, como indica el Código Técnico de Edificación. Catálogo de Elementos Constructivos.

Es notable que la vivienda en Prados del Sur experimenta mejoras más significativas en comparación con la vivienda en Bosque Sereno. Esta mejora se atribuye a la diferencia en la superficie de la envolvente y al tamaño de los pasillos, que facilita un flujo constante de ventilación y proporciona un espacio más amplio. Murga Montoya José Elías. (2019).

La hipótesis principal da lugar a una investigación más profunda hacia una muestra probabilística más amplia, ya que a pesar de que la vivienda en Prados del Sur presento una temperatura diferente del exterior con relación a la del interior de las habitaciones, como indica el apartado 5.4. Dicha variación indico problemas de hermeticidad en los materiales, pero el análisis realizado en el software DesignPH, sugirió que, a pesar de esa variación, la vivienda cuenta con una adecuada tasa de renovación (1/h).

6.3 Ganancias y pérdidas en la vivienda

Los resultados derivados del análisis de dos viviendas, ubicadas en el Fraccionamiento Bosque Sereno y la colonia Prados del Sur, se enfocaron en determinar el comportamiento térmico de los materiales en su estado normal y durante diversas etapas de diseño, incluyendo calefacción, ventilación, y las instalaciones especiales de las viviendas. El propósito principal fue observar las variaciones indicadas por los modelos de análisis al aplicarles el sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC).

En el análisis de los modelos mediante el software PHPP, se tienen en cuenta los aspectos abordados en el Capítulo 5.6, que incluyen detalles de las instalaciones de la construcción y las características del terreno. Se observó una reducción del 15.14% en la demanda de refrigeración al implementar el sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC), lo que resultó en una disminución del consumo eléctrico.

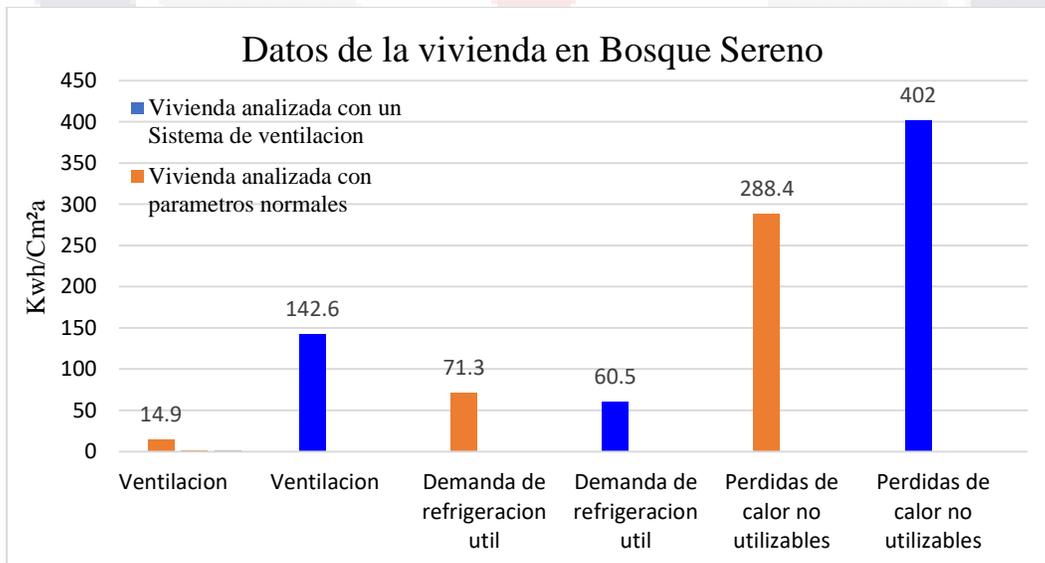


Figura No. 39 Comparativa de la vivienda en Bosque sereno con parámetros normales y con un sistema de VMC

En el análisis de la vivienda en Bosque Sereno, se evidencia una mejora del 89.55% en el nivel de ventilación. Sin embargo, se observó un aumento notable en las pérdidas de calor no utilizables, lo que significó en un mayor flujo de calor a través de los materiales. Esta situación se debe a la ausencia de aislamiento térmico y de hermeticidad en los cerramientos, lo que resultó en un incremento del 28.25% en la pérdida de calor al aplicar el Sistema de VMC.

Retomando el apartado 6.1 se registró que la vivienda de Bosque Sereno presentó una adecuada tasa de renovación adecuada sin la necesidad del sistema de VMC, según los registros del software DesignPH. Sin embargo, al realizar un análisis más exhaustivo considerando las tres etapas de diseño a través del software PHPP, se observó que la vivienda enfrenta limitaciones significativas en términos de hermeticidad. Por lo tanto, se manifiesta que el sistema de VMC no funcionara de manera óptima en estas circunstancias.

En la mejora de la eficiencia energética en entornos residenciales, Brimblecombe y Rosemeier (2017) subrayan la importancia de considerar conceptos y objetivos concretos como marcos de referencia. Estos marcos permiten alcanzar niveles significativos y mensurables de eficiencia energética dentro de zonas de confort específicas, brindando así la capacidad de cuantificar los resultados obtenidos de manera más precisa.

El presente estudio, al abordar el análisis de la vivienda ubicada en Prados del Sur, se adhiere y emplea los mismos parámetros y criterios previamente definidos a partir del capítulo 5.6. Estableciendo una base sólida para evaluar y comparar la eficiencia energética, permitiendo una investigación más rigurosa y científica de los resultados obtenidos en este contexto particular.

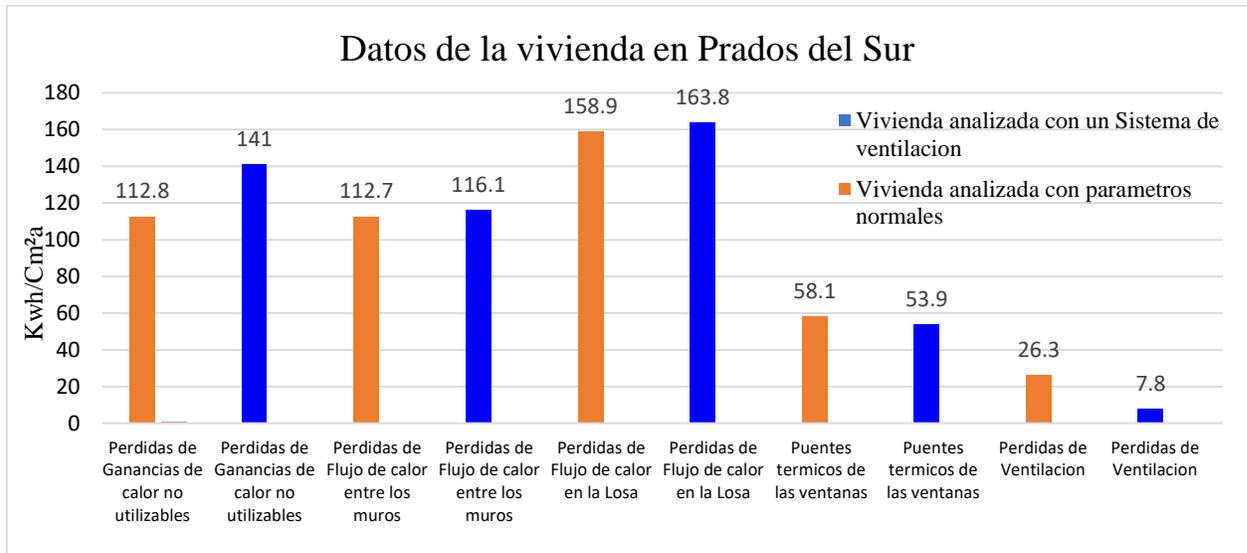


Figura No. 40 Comparativa de la vivienda en Prados del Sur con parámetros normales y con un sistema de VMC

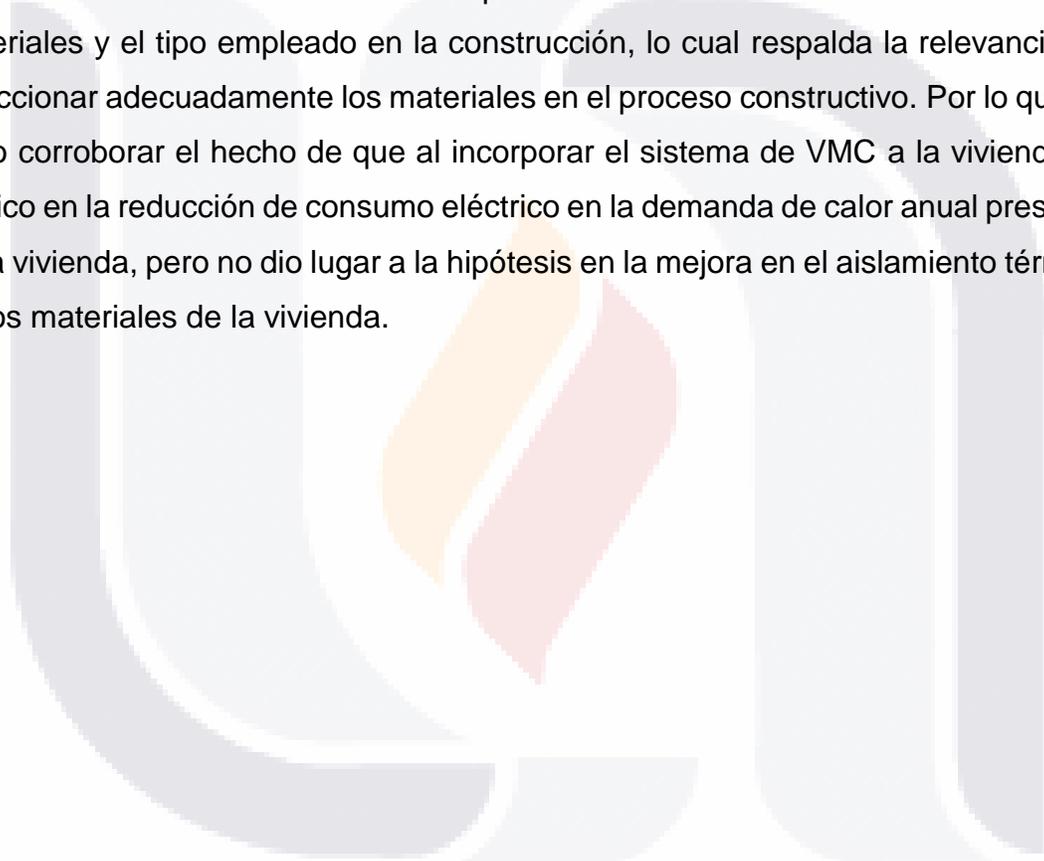
Tras la aplicación del sistema de ventilación (Ver Figura No. 40), se evidencia un aumento en las pérdidas de calor a través de los muros y la losa, con incrementos del 2.92% y 2.99%, respectivamente. Estas variaciones se deben a la falta de hermeticidad en la envolvente de la vivienda, generando fugas térmicas.

Sin embargo, se destaca una notable disminución en las pérdidas asociadas a la ventilación dentro de la vivienda, descendiendo de 26.3 Kwh/Cm²a a 7.8 Kwh/Cm²a. Este cambio refleja una mejora del 70.34% en la eficiencia de la envolvente, indicando una optimización significativa en el rendimiento térmico luego de la implementación del sistema de ventilación.

Con base a los resultados obtenidos mediante el análisis en el software DesignPH y el PHPP, el aporte central de la revisión bibliográfica se centra en la vivienda convencional en el estado de Aguascalientes. A pesar de no contar con los cinco principios de Passive House, tales como el aislamiento térmico, reducción o eliminación de puentes térmicos, la hermeticidad, la implementación de ventanas y puertas de altas prestaciones, y, en particular, el Sistema de VMC, que constituye el objeto de estudio principal en este trabajo.

Los resultados evidencian cambios significativos en la tasa de renovación de aire y el consumo eléctrico en las viviendas al implementar exclusivamente el sistema de VMC. Estos datos validan y respaldan lo expuesto en el Código Técnico de Edificación, específicamente en el Documento de Apoyo al Documento Básico (DB-HE Ahorro de energía).

De acuerdo con el marco teórico presentado en el apartado 2.7, se destaca la importancia de los materiales utilizados en la construcción de la vivienda. Este análisis indicó variaciones drásticas dependiendo de la transmitancia térmica de los materiales y el tipo empleado en la construcción, lo cual respalda la relevancia de seleccionar adecuadamente los materiales en el proceso constructivo. Por lo que se pudo corroborar el hecho de que al incorporar el sistema de VMC a la vivienda, si implicó en la reducción de consumo eléctrico en la demanda de calor anual presente en la vivienda, pero no dio lugar a la hipótesis en la mejora en el aislamiento térmico de los materiales de la vivienda.



CAPITULO VII: CONCLUSIONES

Esta investigación se centró en analizar la factibilidad de introducir un sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC) en las residencias de Aguascalientes, con el fin de determinar si esta implementación resulta en una disminución apreciable de la demanda de calor, reflejada en el gasto energético.

Se concluye que la implementación del sistema de VMC en la vivienda ha generado un impacto positivo, respaldado por el análisis realizado a través de los programas DesignPH y PHPP. Los resultados obtenidos ratifican la validez de la hipótesis, especialmente en lo que respecta a la reducción del consumo eléctrico. Este descenso se atribuye a la disminución de la demanda de calor en la vivienda, así como mejoras en el rendimiento térmico de los materiales.

Además, se confirma la posibilidad de mejorar aún más la ventilación en las viviendas, al implementar medidas destinadas a aumentar la hermeticidad. Los análisis se llevaron a cabo específicamente en las viviendas de Bosque Sereno y Prados del Sur, utilizando modelados en software como parte del proceso.

Los resultados obtenidos mediante el software DesignPH, al implementar el sistema de VMC en la vivienda de Bosque Sereno, indican un incremento del 79.77% en las pérdidas de calor por ventilación. Este hallazgo respalda la generación de un confort térmico en el interior, además de evidenciar una disminución del 79.69% en el consumo eléctrico requerido para cada área de la vivienda. Al regresar al apartado 6.1, se destaca que, en términos totales, el ahorro energético asociado a la envolvente térmica de la vivienda fue del 4.15%.

El análisis efectuado mediante el software DesignPH en la vivienda de Prados del Sur muestra un incremento del 83.30% en las pérdidas de calor por ventilación, evidenciando así una mejora en el confort térmico. Asimismo, se destaca una reducción del 83.08% en la demanda de calor, indicando una notable disminución en el consumo eléctrico. Considerando la información proporcionada en el apartado 6.2, el ahorro energético total asociado a la envolvente analizada alcanzó el 3.42% en términos totales de ahorro.

En relación con el análisis realizado a través del software PHPP en Bosque Sereno, se evidencia un incremento del 28.25% en las pérdidas de calor no utilizables en la vivienda, señalando una falta de hermeticidad en el inmueble, generando pérdidas de temperatura y filtraciones de aire. En cuanto a la ventilación, se observa un aumento del 89.55%, a pesar de que la vivienda carece de la hermeticidad adecuada para un funcionamiento óptimo del sistema de VMC.

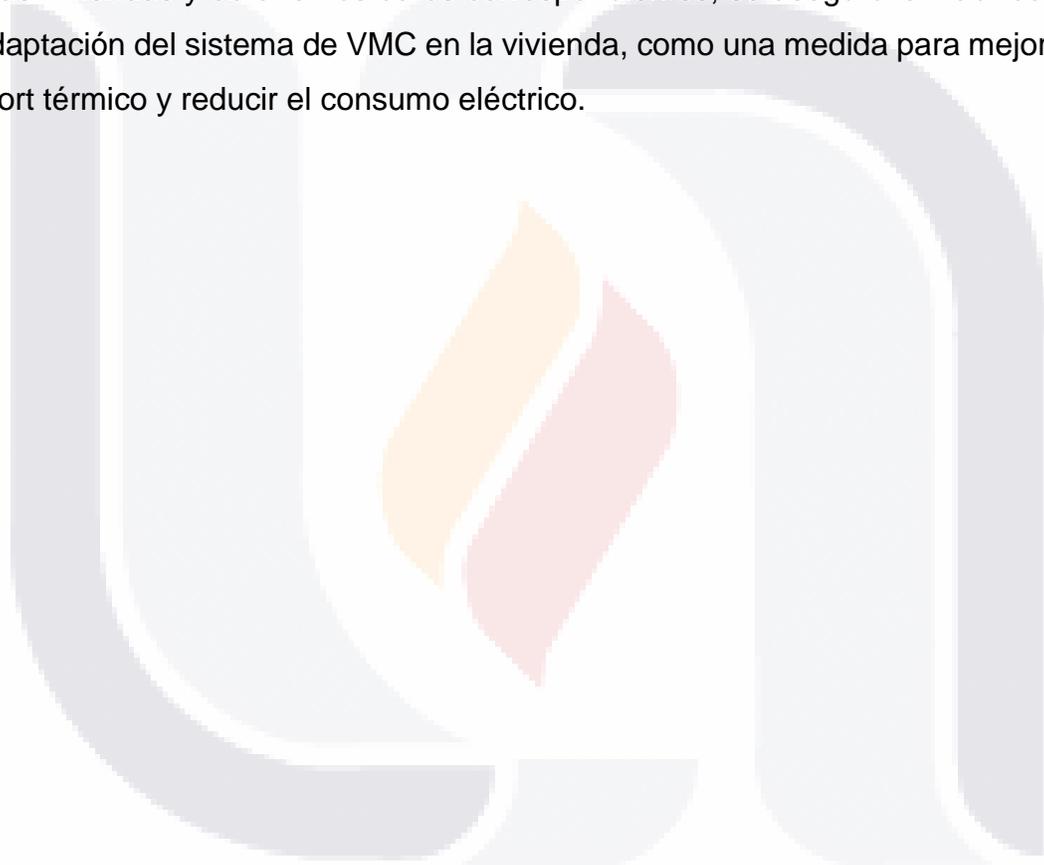
Al registrar las disparidades entre el estado actual de la vivienda en Prados del Sur y la implementación del sistema de VMC, se evidencia un aumento del 70.34% en la ventilación. Además, se observa un incremento en las pérdidas de flujo de calor, siendo del 2.92% en los muros y 2.99% en la losa. Estos datos indican la existencia de pérdidas en el flujo de ventilación en la vivienda, provocadas por la baja hermeticidad de la vivienda, como indica el software PHPP, mediante un análisis más exhaustivo.

Considerando los datos proporcionados por el software PHPP y desglose de los materiales utilizados en la construcción, así como las tres etapas de diseño que involucran calefacción, enfriamiento y energía primaria, se destaca un rendimiento superior del sistema de VMC en Prados del Sur en comparación con Bosque Sereno. Esta mejora en el desempeño se atribuye a la diferencia en la superficie de construcción y al diseño que incorpora espacios más idóneos para ofrecer una ventilación óptima, cumpliendo con los requisitos necesarios para su aplicación.

Se identifican limitaciones y cálculos que sugieren que la implementación del sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC) no sería óptima en la vivienda de Bosque Sereno. Esto se debe a la presencia de una superficie y espacios reducidos en comparación con la vivienda de Prados del Sur. Para abordar la problemática de los espacios reducidos, se propone como solución la instalación de un sistema de ductos de manera centralizada, acompañado de dos tomas de aire abiertas en el exterior, como indica el Código Técnico de Edificación. Documento de apoyo al Documento Básico, (DB- HE Ahorro de energía). No obstante, esta solución conlleva un gasto monetario excesivo, especialmente considerando la superficie de la vivienda, que es de 66.8 m² de envolvente.

En conclusión, el análisis a través del software de ambos modelos señaló una hermeticidad deficiente en sus cerramientos, resultando en un aumento del flujo de calor debido al bajo aislamiento térmico de los materiales. A pesar de esta problemática, el sistema de Ventilación Mecánica Controlada (VMC) logró mejorar el rendimiento térmico de los materiales, a pesar de las deficiencias de hermeticidad presentes.

Por esta razón, tras realizar la simulación en los programas DesignPH y PHPP para ambas viviendas y obtener los datos correspondientes, se aseguró la viabilidad de la adaptación del sistema de VMC en la vivienda, como una medida para mejorar el confort térmico y reducir el consumo eléctrico.



BIBLIOGRAFÍA

- Dr. Wolfgang Feist. Entrevista por 25 años del estándar Passive House. (2023). Passive House Institute. https://passiv.de/en/02_informations/01_whatisapassivehouse/01_whatisapassivehouse.htm
- Código Técnico de Edificación. Documento de apoyo al Documento Básico, (DB- HE Ahorro de energía). DA DB-HE / 1 de 2015. Febrero 2015 (España).
- Código Técnico de Edificación. Catálogo de Elementos Constructivos. CTE 2022. 27 de octubre 2022 (España).
- Sostenibilidad y medio ambiente. (15 de junio de 2022). Aislamiento térmico en casas pasivas (Passivhaus). <https://cmyk-arq.es/aislamiento-termico-casas-pasivas-passivhaus/>
- Control y gestión de obras. (s.f). Hermeticidad en vivienda: tan desconocida como necesaria. <https://controlygestiondeobras.es/hermeticidad-vivienda/>
- Elena Reyes Bernal, Javier Flórez, Jürgen Schieders y Susanne Theumer. (24 de agosto 2022). Construcción de Casas Pasivas en México: El componente LAIF del programa EcoCasa. https://passipedia.org/basics/passive_houses_in_different_climates/passive_house_in_tropical_climates/building_passive_houses_in_mexico_laif
- Maldonado Luna, C. (2022). La eficiencia energética y económica de las viviendas PassivHaus. (Trabajo Fin de Grado Inédito). Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Hildebrandt Gruppe (2015). Historia del estándar Passive House en el mundo. Bucarest 17, Of.81, Providencia Santiago de Chile. Recuperado de: [http://www.hildebrandt.cl/historia-del-estandar Passive House/?platform=hootsuite#:~:text=Este%20innovador%20sistema%20fue%20dise%C3%B1ado,de%20Medio%20Ambiente%20de%20Alemania."2022](http://www.hildebrandt.cl/historia-del-estandar-Passive-House/?platform=hootsuite#:~:text=Este%20innovador%20sistema%20fue%20dise%C3%B1ado,de%20Medio%20Ambiente%20de%20Alemania.)
- IQAir (2023). Calidad del Aire. <https://www.iqair.com/mx/mexico/aguascalientes>

- OEHHA, California Office of Environmental Health Hazard Assessment (2023). PM2.5. <https://oehha.ca.gov/calenviroscreen/indicator/pm25#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20PM%202.5%3F,grosor%20de%20un%20cabello%20hu mano.>
- Siber. (s.f). Niveles recomendados de CO2, temperatura y humedad en interiores. <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/niveles-recomendados-co2-temperatura/>
- Guía de ventilación mecánica (s.f), Recuperado el (22/05/2022): <https://www.zero6.es/ventilacion/guia-de-ventilacion-mecanica/>
- Hildebrandt Gruppe (2015). 6 principios del estándar Passivhaus. Bucarest 17, Of.81, Providencia Santiago de Chile. Recuperado de: [http://www.hildebrandt.cl/principios-estandar-Passive House/.\"2022\".](http://www.hildebrandt.cl/principios-estandar-Passive House/.\)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2018). Encuesta Nacional sobre consumo de energías en Viviendas Particulares (ENCEVI) (2018). Recuperado el (20/04/2022)https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/encevi/2018/doc/encevi2018_presentacion_resultados.pdf
- Robin Brimblecombe, Kara Rosemeier (2017). Positive Energy Homes: Creating Passive Houses for better Living. Clayton, Australia, Editorial CSIRO. https://books.google.com.mx/books?id=uoTFDgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Stefano Piraccini, Kristian Fabbri (2018). Building a Passive House: The Architect's Logbook. Gewerbestrasse Cham Switzerland. Editorial Springer. Liberacion miofascial. Doi: 10.1007/978-3-319-69938-7 <https://books.google.com.mx/books?id=Rx4-DwAAQBAJ&pg=PA29&dq=passive+house+institute&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiljdWYw-T3AhWYm2oFHYwKCI0Q6AF6BAgMEAI#v=onepage&q=passive%20house%20institute&f=false>
- NORMA Oficial Mexicana NOM-172-SEMARNAT-2019, Lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5579387&fecha=20/11/2019

- Diseño, fabricación, especificación y suministro de sistemas de ventilación residenciales
<https://www.titon.com/uk/wp-content/uploads/sites/10/2019/09/VS-Catalogue-Pages-ES.pdf>
- Murga Montoya José Elías. (2019). Diseño y orientación de la construcción de las viviendas del conjunto habitacional. Los Sauces del distrito de la Banda de Shilcayo y su relación con el grado de satisfacción de confort.
- Efidistrict.(2023).EnvolventeTérmica.<https://www.efidistrict.eu/edificios/envolvente-termica/>
- Passipedia, The Passive House Resource (2015). PHPP- Passive House PlanningPackage.https://test.passipedia.de/planning/calculating_energy_efficiency/phpp_-_the_passive_house_planning_package|
- Alnor Systemy Wentylacji. (2023). Heat recovery ventilation unit with counterflow exchanger HRU-PremAIR-450. <https://www.ventilation-alnor.co.uk/index/products-en/heat-recovery-%E2%80%93-air-handling-units/heat-recovery-ventilation-hru-premair/heat-recovery-unit-hru-premair.html>
- Instalaciones Barcelona. (2023). ¿Qué es y cómo funciona un sistema de VMC o ventilación mecánica controlada?
<https://instalacionesbarcelona.net/ventilacion-mecanica-controlada/>
- Agenda de la Construcción Sostenible. (2015). Ventilación Mecánica,
<https://images.app.goo.gl/eYpvv6HcYvHG8fVJ9>)
- Paula Serrano CALORYFRIO. (2020). Ventilación forzada en viviendas ¿Qué es y cómo funciona? <https://www.caloryfrio.com/construccion-sostenible/ventilacion-y-calidad-aire-interior/ventilacion-forzada-en-viviendas-como-funciona.html>