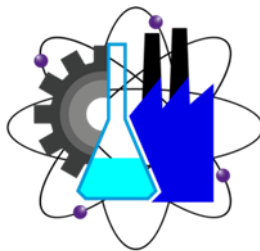




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



Facultad de Ciencias  
Químicas e Ingeniería



Universidad Autónoma del Estado de Morelos  
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería  
Ingeniería Mecánica

*Estudio Térmico de los sistemas constructivos  
utilizados en los muros de las viviendas del estado de  
Morelos*

Tesis Profesional para obtener el grado de:  
Ingeniero Mecánico

Presentada por  
Kevin Neftali Castañeda Zaragoza

Asesor Externo: Dr. Efraín Sima Moo  
Asesor Interno: Dr. Victor Manuel Zezatti Flores

## **Agradecimientos**

A mis padres por darme el apoyo económico y moral a lo largo de mi trayectoria educativa y en cada una de las etapas de mi vida, lo cual me ha permitido llegar hasta este momento de culminación en la etapa universitaria por eso y más ¡Gracias!.

A mis hermanas por ser parte de este camino recorrido, porque además de compartir la familia, compartimos escuela y hacer más amena su estancia en ella, por motivarme y apoyarme en todo momento.

A mi novia por acompañarme y aconsejarme durante esta etapa universitaria y por darme ese apoyo para continuar cuando la situación es adversa y completar un logro más a tu lado.

Al Dr. Efraín Simá Moo por la confianza puesta en mí para poder realizar este trabajo de investigación, por los consejos y comentarios realizados sobre este trabajo que me ha ayudado a crecer en el aspecto académico acompañándome durante el proceso que esto conlleva para su realización con éxito.

Al Dr. Víctor Manuel Zezatti Flores por su apoyo en el desarrollo de este trabajo, por sus comentarios al respecto y por las enseñanzas impartidas dentro de la facultad de ingeniería.

Sin dejar por detrás a toda mi familia que todo este tiempo ha creído en mí y por permitirme formar parte de esta familia, a mis tíos y abuelos que se han adelantado pero que sin embargo forman parte de este logro en mi vida.

# ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS .....	I
LISTA DE TABLAS .....	V
Nomenclatura .....	VII
RESUMEN .....	X
ABSTRACT .....	XI
<b>Capítulo 1: Introducción y Conceptos Generales. ....</b>	<b>1</b>
1.1 El confort térmico .....	2
1.2 Sistemas Pasivos .....	5
1.3 Historia del Arte .....	6
1.3.1 Estudios experimentales .....	6
1.3.2 Estudios Teóricos .....	11
1.4 Justificación .....	13
1.5 Objetivos .....	13
1.5.1 Objetivo General: .....	13
1.5.2 Objetivos específicos: .....	14
1.6 Alcance .....	14
1.7 Descripción del trabajo .....	14
<b>Capítulo 2: Fundamentos Teóricos .....</b>	<b>16</b>
2.1 Mecanismos de Transferencia de Calor .....	17
2.1.1 Conducción Térmica .....	17
2.1.2 Convección Térmica .....	18
2.1.3 Radiación .....	20
2.2 Propiedades Termofísicas .....	22
2.3 Confort térmico .....	23
2.4 Ganancias de calor en edificaciones .....	24
2.5 Balance térmico en edificaciones .....	26
<b>Capítulo 3: Software de Simulación y Vivienda de la NOM-020-ENER-2011 ..</b>	<b>30</b>
3.1 Modelo Físico .....	31
3.2 Verificación del software .....	35
3.3 Construcción de la vivienda en el software DesignBuilder. ....	58
<b>Capítulo 4: Sistemas Constructivos como Objeto de Estudio .....</b>	<b>73</b>
4.1 Ubicación Geográfica .....	74
4.2 Metodología de Solución .....	77

4.3 Sistemas Constructivos a estudiar .....	79
4.4 Áreas Térmicas .....	82
4.5 Temperatura de Confort .....	84
<b>Capítulo 5: Resultados .....</b>	<b>86</b>
5.1 Sistema constructivo de referencia .....	87
5.2 Sistemas Constructivos Seleccionados.....	88
5.3 Sistemas constructivos con Sistemas Pasivos.....	94
5.4 Ganancias de Energía del SC-6, SC-8 y SC-referencia.....	101
5.5 Sistemas constructivos con Aire acondicionado .....	108
5.5.1 Costo del aire acondicionado .....	109
<b>Capítulo 6: Conclusiones .....</b>	<b>111</b>
6.1 Conclusiones Generales .....	112
Referencias .....	114

# LISTA DE FIGURAS

## Página

Figura 1.1	Porcentaje de la población mundial por país.....	2
Figura 1.2	Aplicación de la orientación para las ganancias solares por estación del año.....	5
Figura 2.1	La conducción de calor a través de una pared plana de espesor $\Delta x$ y área A.....	18
Figura 2.2	Tipos de convección .....	19
Figura 2.3	Todo lo que nos rodea emite constantemente radiación térmica.	21
Figura 2.4	Ganancias solares en la envolvente de las edificaciones.....	25
Figura 2.5	Transferencia de calor en los edificios (Blender, 2015) .....	26
Figura 2.6	Balance térmico en la edificación (Hernández, 2016).....	27
Figura 3.1	Plano de la vivienda.....	31
Figura 3.2, 3.3 y 3.4	Ubicaciones de las ventanas y puertas de la vivienda en el software SketchUp.....	34
Figura 3.5	Archivos de clima del software.....	35
Figura 3.6	Datos del sitio para verificación.....	36
Figura 3.7	Ícono “crear nuevo edificio” .....	36
Figura 3.8	Opciones de dibujo para la edificación.....	37
Figura 3.9	Edificación para la verificación.....	37
Figura 3.10	Acristalamiento para la vivienda.....	38
Figura 3.11	Ícono “Dibujar líneas auxiliares” y orientación para la vivienda...	38
Figura 3.12	Líneas auxiliares en el dibujo.....	38
Figura 3.13	Ícono “crear ventana” .....	39
Figura 3.14	Ventanas construidas en la edificación.....	39
Figura 3.15	Configuración de acristalamiento.....	40
Figura 3.16	Ícono “Opciones de modelo” .....	41
Figura 3.17	Ventana de opciones del modelo.....	41
Figura 3.18	Ventana para la edición de cerramientos.....	42
Figura 3.19	Propiedades del material de la capa 1.....	43
Figura 3.20	Conformado del material de la capa 2.....	44
Figura 3.21	Material de la capa más interna.....	44

Figura 3.22	Capa más externa del muro exterior .....	46
Figura 3.23	Capa más interna de muros exteriores .....	46
Figura 3.24	Capa más externa del suelo.....	47
Figura 3.25	Capa más interna del suelo .....	48
Figura 3.26	Conformado del material del suelo sobre terreno.....	49
Figura 3.27	Sistema constructivo de suelos exteriores .....	50
Figura 3.28	Configuración de estanqueidad al aire.....	50
Figura 3.29	Configuración de la actividad en la vivienda .....	51
Figura 3.30	Densidad de ocupación de personas.....	51
Figura 3.31	Programación de la ocupación .....	52
Figura 3.32	Desactivación de la casilla “Equipos de oficina” .....	52
Figura 3.33	Programación de la pestaña “Procesos” .....	53
Figura 3.34	Configuración final de la pestaña “Procesos” .....	53
Figura 3.35	Desactivación de la casilla iluminación general .....	54
Figura 3.36	Configuración final de la pestaña “HVAC” .....	54
Figura 3.37	Configuración de los resultados.....	55
Figura 3.38	Configuración de las opciones en “Opciones de cálculo” .....	56
Figura 3.39	Opciones de visualización de los resultados.....	56
Figura 3.40	Comparación de resultados en la zona de enfriamiento sensible	57
Figura 3.41	Resultados de calentamiento total comparado con la norma ASHRAE.....	57
Figura 3.42	Pantalla inicial del software DesignBuilder.....	58
Figura 3.43	Importación de los planos en 2D.....	58
Figura 3.44	Plano 2D importado en el software .....	59
Figura 3.45	Cambio de la figura en 2D a 3D en el software .....	59
Figura 3.46	Configuración para la figura en 3D .....	60
Figura 3.47	Punto de inicio para la extrusión del plano .....	60
Figura 3.48	Modelo final en 3D planta baja.....	61
Figura 3.49	Importación del plano 2D en la planta alta .....	61
Figura 3.50	Ícono “Insertar bloque” .....	61
Figura 3.51	Modelo final 3D de la vivienda .....	62

Figura 3.52	Ícono “Dibujar particiones” .....	62
Figura 3.53	Ícono “Dibujar hueco” .....	62
Figura 3.54	Realización del hueco en la planta baja.....	63
Figura 3.55	Vista de la planta baja con los huecos realizados en el interior...	63
Figura 3.56	Realización de una puerta en la planta baja .....	64
Figura 3.57	Eliminación de ventanas de la edificación .....	64
Figura 3.58	Ícono “dibujar ventana” y representación de ventana .....	65
Figura 3.59	Vivienda conformada con ventanas, puertas y particiones .....	65
Figura 3.60	Ubicación del archivo de clima .....	66
Figura 3.61	Propiedades del vidrio .....	67
Figura 3.62	Selección de marcos de ventana.....	67
Figura 3.63	Material “Mortero exterior” .....	68
Figura 3.64	Materiales que conforman muros exteriores .....	69
Figura 3.65	Materiales que conforman el techo de la vivienda .....	70
Figura 3.66	Materiales que conforman muros interiores .....	70
Figura 3.67	Materiales que conforman el suelo de la vivienda .....	71
Figura 3.68	Materiales que conforman el piso de la planta alta .....	71
Figura 3.69	Cerramientos de la vivienda .....	72
Figura 3.70	Programación de la infiltración del aire .....	72
Figura 4.1	Los climas de Morelos por INEGI .....	74
Figura 4.2	Gráficos de los datos climáticos .....	76
Figura 4.3	Plata baja de la vivienda de referencia .....	83
Figura 4.4	Planta alta de la vivienda de referencia .....	83
Figura 5.1	Gráfico representativo de las temperaturas con el sistema constructivo de referencia.....	87
Figura 5.2	Temperaturas del sistema constructivo SC-3.....	88
Figura 5.3	Temperaturas del sistema constructivo SC-4.....	89
Figura 5.4	Temperaturas del sistema constructivo SC-6.....	89
Figura 5.5	Temperaturas del sistema constructivo SC-8.....	90
Figura 5.6	Temperaturas del sistema constructivo SC-7.....	90
Figura 5.7	Temperaturas del sistema constructivo SC-22.....	91
Figura 5.8	Temperaturas del sistema constructivo SC-24.....	91

Figura 5.9	Temperaturas del sistema constructivo SC-AB.....	92
Figura 5.10	Temperaturas del sistema constructivo SC-6 con muros frescos (Blanco).....	95
Figura 5.11	Temperaturas del sistema constructivo SC-8 con muros frescos (Blanco).....	95
Figura 5.12	Temperaturas en el SC-6 con la aplicación de sistemas pasivos.	99
Figura 5.13	Temperaturas en el SC-8 con la aplicación de sistemas pasivos.	99
Figura 5.14	Comparación de las ganancias energéticas de los muros en el SC-6 .....	101
Figura 5.15	Comparación de las ganancias energéticas en los techos del SC-6.....	102
Figura 5.16	Comparación de las ganancias energéticas de las cortinas en el SC-6.....	102
Figura 5.17	Comparación de las ganancias energéticas totales en el SC-6...	103
Figura 5.18	Comparación de las ganancias energéticas de los muros en el SC-8.....	103
Figura 5.19	Comparación de las ganancias energéticas de los techos en el SC-8.....	104
Figura 5.20	Comparación de las ganancias energéticas de las cortinas en el SC-8.....	104
Figura 5.21	Comparación de ganancias energéticas totales en el SC-8.....	105
Figura 5.22	Comparación de las ganancias energéticas de los muros en SC-Referencia.....	105
Figura 5.23	Comparación de las ganancias energéticas de los techos en SC-Referencia.....	106
Figura 5.24	Comparación de las ganancias energéticas de las cortinas en SC-Referencia.....	106
Figura 5.25	Comparación de las ganancias energéticas totales en SC-Referencia .....	107
Figura 5.26	Aplicación de Aire Acondicionado (A/C) en el SC-6	108
Figura 5.27	Aplicación de Aire Acondicionado (A/C) en el SC-8	108



# LISTA DE TABLAS

## Página

Tabla 1.1	Materiales que conforman los sistemas constructivos.	22
Tabla 3.1	Descripción de la vivienda.	31
Tabla 3.2	Sistema constructivo de la vivienda.	32
Tabla 3.3	Características de las ventanas.	32
Tabla 3.4	Propiedades físicas del vidrio.	40
Tabla 4.1	Datos climáticos de Cuernavaca, Morelos.	75
Tabla 4.2	Sistemas constructivos de los muros propuestos por Huelsz 2011 y el muro de referencia.	77
Tabla 4.3	Sistema constructivo (SC-3).	79
Tabla 4.4	Sistema constructivo (SC-4).	79
Tabla 4.5	Sistema constructivo (SC-6).	80
Tabla 4.6	Sistema constructivo (SC-7).	80
Tabla 4.7	Sistema constructivo (SC-8).	81
Tabla 4.8	Sistema constructivo (SC-22).	81
Tabla 4.9	Sistema constructivo (SC-24).	82
Tabla 4.10	Sistema constructivo (SC-AB).	82
Tabla 4.11	Delimitación de las zonas de confort.	85
Tabla 5.1	Temperaturas mensuales en los sistemas constructivos	93
Tabla 5.2	Comparativa de las temperaturas entre la aplicación del muro fresco (Blanco) y el muro normal (Gris) en el SC-6.	96
Tabla 5.3	Comparativa de las temperaturas entre la aplicación del muro fresco (Blanco) y el muro normal (Gris) en el SC-8.	96
Tabla 5.4	Comparación de temperaturas en la aplicación de Techo Fresco (Blanco) y Techo normal (Gris) en el SC-6.	97
Tabla 5.5	Comparación de temperaturas en la aplicación de Techo Fresco (Blanco) y Techo normal (Gris) en el SC-8.	97
Tabla 5.6	Comparación de temperaturas en el uso de cortinas y sin cortinas (S/C) en el SC-6.	98
Tabla 5.7	Comparación de temperaturas en el uso de cortinas y sin cortinas (S/C) en el SC-8.	98
Tabla 5.8	Comparación de temperaturas en la aplicación de los sistemas pasivos en SC-6.	100

Tabla 5.9	Comparación de temperaturas en la aplicación de los sistemas pasivos en SC-8.	100
Tabla 5.10	Costos anuales en los sistemas constructivos con el uso del A/C.	109
Tabla 5.11	Costos del uso anual del A/C en orden descendente.	110

## Nomenclatura

### Simbología

Símbolo	Descripción	Unidades
$A_s$	Área superficial	(m <sup>2</sup> )
$C_p$	Calor específico	(J/kg <sup>o</sup> C)
$\frac{dT}{dx}$	Gradiente de Temperatura	( <sup>o</sup> C, K)
$h_{conv}$	Coeficiente de calor por convección	(W/m <sup>2</sup> )
$K$	Conductividad Térmica	$\left(\frac{W}{m} \cdot K\right)$
$\dot{Q}_{cond}$	Flujo de calor por conducción	(W)
$Q_c$	Ganancias/pérdidas de calor por conducción	(W)
$Q_e$	Pérdidas evaporativas	(W)
$Q_i$	Ganancias de calor internas	(W)
$Q_m$	Ganancias/pérdidas mecánicas	(W)
$Q_s$	Ganancias solares	(W)
$Q_v$	Ganancias/pérdidas por ventilación/convección	(W)
RH	Humedad Relativa	(%)
$T$	Temperatura	( <sup>o</sup> C, K)
$T_\infty$	Temperatura del fluido alejado de la superficie	
$T_a$	Temperatura ambiente	( <sup>o</sup> C, K)
$T_c$	Temperatura de confort	( <sup>o</sup> C, K)
$T_s$	Temperatura de superficie	(K)
$Z_c$	Zona de confort	( <sup>o</sup> C, K)
$\rho$	Densidad	(kg/m <sup>3</sup> )
$\varepsilon$	Emisividad de la superficie	
$\mu$	Viscosidad dinámica	(Pa·s)
$\sigma$	Constante de Stefan-Boltzman	(W/m <sup>3</sup> K)

## ***Acrónimos***

<b>Siglas</b>	<b>Descripción</b>
A/C	Aire Acondicionado
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BESTEST	Building Energy Simulation Test
CEV	Código de Edificación de Vivienda
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CONAVI	Comisión Nacional de Vivienda
EMA	Estación Meteorológica Automática
ENER	Eficiencia Energética
EP	EnergyPlus
FD	Fluctuación de la Comodidad Térmica
FNUAP	Fondo de Población de las Naciones Unidas
FOT	Frecuencia de Temperatura Operativa
FTC	Frecuencia de las Condiciones del Confort Térmico
HR	Humedad Relativa
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning
INAFED	Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IR	Radiación Infrarroja
ISO	International Organization for Standardization
ITD	Intensidad de Malestar Térmico
MF	Muros Frescos
NOM	Normas Oficiales Mexicanas
OMS	Organización Mundial de la Salud
PMV	Predicted Mean Vote
SC	Sistemas Constructivos
SMN	Sistema Meteorológico Nacional
TF	Techos Frescos

UDI	Iluminación Útil de la Luz Diurna
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UV	Radiación ultravioleta

## RESUMEN

En el presente trabajo se realizó el estudio del comportamiento de los materiales para encontrar el confort térmico dentro de una vivienda de interés social. Se utilizó como vivienda de referencia la mencionada en la norma NOM-020-ENER-2011, donde se presenta la distribución de las habitaciones, sus dimensiones y los materiales de construcción utilizados en la envolvente y el techo.

En este estudio se utilizó los softwares DesignBuilder y EnergyPlus. Primero se seleccionó la ubicación del lugar, en este caso Cuernavaca, Morelos. Y se introdujo los datos de clima de un año (radiación solar, temperatura, velocidad y humedad relativa del aire ambiente). Después se construyó el modelo físico de la vivienda, con la fachada principal orientada hacia el norte y se introdujeron los materiales utilizados en la vivienda, junto con sus propiedades térmicas.

A continuación, se simuló la vivienda en evolución libre, para conocer el comportamiento de la temperatura del aire en el interior de las diferentes habitaciones de la vivienda. Una vez que se simuló la vivienda de la norma, se procedió a cambiar los muros de la vivienda de referencia, por los muros más comunes que se presentan en el Estado de Morelos. Los resultados de la vivienda de referencia y de las viviendas que utilizan los muros más comunes en el Estado de Morelos se analizaron con base en la temperatura del aire en el interior de las habitaciones, de este análisis se seleccionaron los 2 mejores muros, siendo los sistemas constructivos SC-6 y SC-8.

Después se seleccionó un modelo de confort adaptativo para fijar un intervalo de temperatura para la zona de confort en las viviendas, y se simularon las viviendas en condición de uso de aire acondicionado, para cuantificar el uso de energía de enfriamiento y calentamiento, así como el costo generado de energía para mantener las viviendas en la zona de confort. La simulación indicó que el SC-22 fue el que mayor consumo de energía requiere para alcanzar la zona de confort, con un costo de \$ 22,442.48 y que los dos sistemas constructivos con menor costo anual fueron SC-6 y SC-8 con \$ 7,923.61 y \$11,732.11, respectivamente para toda la vivienda.

A continuación, se adicionaron sistemas pasivos (Cortinas, Techo fresco y Muro fresco) en los 2 mejores sistemas constructivos para determinar la contribución de los sistemas pasivos en la reducción de las ganancias de energía dentro la vivienda. La simulación indicó que el uso de techo fresco, es el sistema pasivo que proporciona una mayor reducción de temperatura al año, para las condiciones del clima de Cuernavaca, Morelos, seguido del uso de cortinas para los sistemas constructivos SC-6 y SC-8.

## ABSTRACT

In the present work, the study of the behavior of the materials was carried out to find the thermal comfort within a housing of social interest. The one mentioned in the NOM-020-ENER- 2011 standard was used as a reference house, where the distribution of the rooms, their dimensions and the construction materials used in the envelope and the roof are presented.

DesignBuilder and EnergyPlus software were used in this study. First the location of the place was selected, in this case Cuernavaca, Morelos. And the climate data of one year (solar radiation, temperature, speed and relative humidity of the ambient air) was introduced. Then the physical model of the house was built, with the main facade facing north and the materials used in the house were introduced, along with their thermal properties.

Next, the house in free evolution was simulated, to know the behavior of the air temperature inside the different rooms of the house. Once the housing of the norm was simulated, the walls of the reference house were changed, for the most common walls that occur in the State of Morelos. The results of the reference house and the houses that use the most common walls in the State of Morelos were analyzed based on the air temperature inside the rooms, from this analysis the 2 best walls were selected, being the construction systems SC-6 and SC-8.

An adaptive comfort model was then selected to set a temperature range for the comfort zone in the dwellings, and the dwellings in condition of air conditioning use were simulated, to quantify the use of cooling and heating energy, as well as the cost generated of energy to keep the dwellings in the comfort zone. The simulation indicated that the SC-22 was the one that requires the highest energy consumption to reach the comfort zone, with a cost of \$ 22,442.48 and that the two construction systems with the lowest cost were SC-6 and SC-8 with \$ 7923.61 and \$11,732.11, respectively.

Next, passive systems (Curtains, Fresh Roof and Fresh Wall) were added in the 2 best construction systems to determine the contribution of passive systems in the reduction of energy gains within the house. The simulation indicated that the use of fresh roof is the passive system that provides a greater reduction in temperature per year, for the climatic conditions of Cuernavaca, Morelos, followed by the use of curtains for the SC-6 and SC-8 construction systems.

# **Capítulo 1: Introducción y Conceptos Generales.**

**En el presente capítulo se presentan las revisiones bibliográficas sobre el desarrollo de estrategias que establezcan el confort térmico en viviendas residenciales, se establecen los objetivos a través de los estudios revisados, donde el residente de estos conjuntos habitacionales encuentre los requerimientos de confort que necesita dentro de su vivienda.**



## 1.1 El confort térmico

Desde los inicios la humanidad ha tenido la necesidad de buscar resguardo, por ello, surgieron las primeras viviendas, estos espacios sólo eran utilizados de manera temporal, ya que en aquellos tiempos los habitantes eran nómadas, y para protección de agentes externos que pusieran en riesgo la vida, sin considerar la comodidad de los habitantes dentro de estos hogares, los cuales recibieron el nombre de cuevas. A lo largo del tiempo, las familias dentro de estos espacios tenían un mayor número de ocupantes, y a su vez, la población creció a lo largo de los territorios, esto junto con la evolución del hombre y su desarrollo a lo largo y ancho del planeta, comenzaron a existir un mayor número de asentamientos humanos en diferentes zonas, con lo que también se desarrollaron mejores viviendas o chozas, se alcanzó una mayor expansión territorial, que también se fue clasificando como un crecimiento acelerado de la población, el cual se tradujo como sobrepoblación en algunos países. Con base en datos poblacionales del Fondo de Población de las Naciones Unidas (FNUAP), la población mundial ha crecido 4.41 miles de millones de 1900 al 2000 (Figura 1.1).

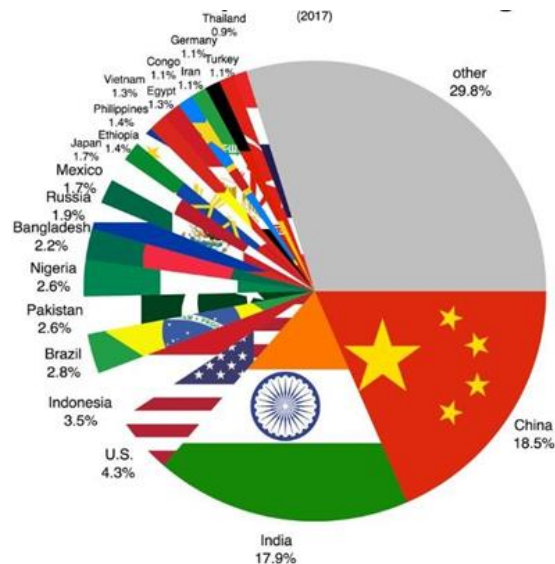


Figura 1.1: Porcentaje de la población mundial por país por FNUAP.

Con ello, la población alcanzó un mayor número de habitantes donde era mayor el número de personas en ciertas zonas geográficas, por lo cual, los asentamientos humanos se desarrollaron de manera desproporcionada hasta alcanzar la población actual. Lo anterior, generó la necesidad de encontrar mayores espacios para la vivienda de las personas y para ordenar el crecimiento demográfico, se comenzaron a construir zonas residenciales, con la finalidad de que cada familia tuviera una vivienda propia. Para aprovechar el mayor espacio posible, se comenzó a desarrollar casas habitacionales o de interés social en donde pudieran converger cientos de familias en un mismo predio, se clasificaron de acuerdo con su espacio

y capacidad habitacional como, por ejemplo, vivienda media, residencial, dúplex, unifamiliar, entre otras.

En México, el organismo encargado de la regulación de la construcción y la eficiencia térmica de la envolvente de la vivienda es el Código de Edificación de Vivienda (CEV) emitido en 2007 por la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI), y las clasifica en: Residencial y no Residencial. Dentro de la vivienda residencial, esta se clasifica de acuerdo con el área de construcción en: interés social, media residencial y residencial. Las constructoras en México realizan las viviendas de interés social con los mismos materiales sin importar la región en la que se encuentran siguiendo un patrón entre sus métodos de construcción.

Por otra parte, según la clasificación climática de Köppen, en México existen 8 tipos de climas diferentes, de los cuales 4 (Seco, Muy Seco, Cálido Subhúmedo, Templado Subhúmedo) son los que tienen en mayor número de población según el INEGI (28.3%, 20.8%, 23%, 20.5%) respectivamente (INEGI, 2013).

Con el crecimiento de la población, se incrementó la necesidad de crear nuevas zonas residenciales, principalmente en las ciudades con mayor densidad poblacional, sin embargo, en la mayoría de los casos no se tomaron en cuenta los diferentes tipos de climas donde se encontraba dicho asentamiento. La importancia del clima radica en que existen diversos tipos de clima y en ocasiones son variables en cada estado de cada país. El clima al igual que los materiales de construcción influyen en el confort térmico de cada uno de los tipos de vivienda que existen.

El confort térmico se considera como la sensación de satisfacción de los usuarios de una vivienda, en donde se pueda establecer el rango de confort dentro de una misma habitación siendo considerados todos los factores internos y externos, dando como resultado una habitabilidad para todos los usuarios. Es aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico (Pensantes, 2012).

Existen distintos tipos de confort, los cuales son: confort térmico, lumínico, acústico, olfativo, psicológico; Cada uno de estos tipos mide distintas condiciones, en el caso del confort térmico refiere a las condiciones del bienestar en el individuo, el confort lumínico se determina mediante los aspectos físicos, fisiológicos y psicológicos relacionados con la luz, el confort acústico se refiere a las sensaciones auditivas tanto en contar con niveles sonoros adecuados, como una adecuada calidad sonora. Por su parte el confort olfativo se refiere a la percepción a través del sentido del olfato, que se divide en olores agradables y desagradables, el confort psicológico a su vez refiere a la percepción global que tiene el cerebro de toda la información sensorial que recibe del medio ambiente y con este tipo de confort interactúan los tipos de confort anteriormente mencionados (térmico, lumínico, acústico, olfativo y psicológico).

Todos los habitantes buscan tener dentro de su hogar un bienestar, el cual se traduce a los parámetros con los que convive diariamente dentro de su vivienda,

esto con la finalidad de tener comodidad, para lograr este objetivo influye una temperatura ambiente, una temperatura ideal, los tipos de ventilación, ya sea pasivo o activo, un sistema de ventilación pasivo se basa en el solo uso de la posición geográfica, de las condiciones del clima o en su defecto de las estaciones del año, este sistema a su vez, resulta ser el más importante debido a que, con ayuda de los factores ambientales, humedad, velocidad del viento, temperatura ambiental, nos pueden ayudar a lograr encontrar una zona dentro de nuestra vivienda en la que se encuentre un confort térmico que mejore la estancia dentro de una vivienda, y por otro lado, el sistema eléctrico que se basa en la utilización de la energía eléctrica, ya sea la ventilación por aire acondicionado o calentamiento en cuanto a la iluminación, cada uno de estos sistemas influye en el bienestar que pueda encontrar cada una de las personas en su estancia dentro del hogar, considerado por horas o incluso por varios días dentro del mismo espacio, también se toma en cuenta los tipos de materiales utilizados en la construcción para este tipo de edificaciones, el cual es el factor importante para reconocer si dentro de cada una de las viviendas de interés social existe un confort térmico.

En el caso de una vivienda de interés social es importante conocer el impacto de los materiales de construcción en el confort térmico, debido a que este tipo de viviendas se construyen en grandes cantidades y los diseños constructivos solo han considerado el desarrollo de las viviendas más no el confort térmico dentro de ellas para sus habitantes.

Para el acercamiento a una zona de confort dentro de una vivienda es indispensable la aplicación de distintas mejoras las cuales no resulten costosas, y que puedan ser aplicadas durante la construcción de la vivienda, las cuales benefician la temperatura ambiente en el interior de la vivienda, estas mejoras aplicadas en las viviendas son llamadas sistemas pasivos, donde, se pueden permitir ganancias solares específicas en la vivienda para mejorar la habitabilidad en invierno, así como también la ventilación de la vivienda en temporadas donde el clima es caluroso, estos sistemas pueden ayudar a permitir el ahorro de energía de la vivienda, ya que, entran en función en cuanto al aprovechamiento de los recursos del entorno.

## 1.2 Sistemas Pasivos

Los sistemas pasivos son aquellos elementos constructivos que diseñados adecuadamente acorde al clima pueden propiciar mejores condiciones de confort térmico o reducen la demanda energética para la climatización. En estos sistemas pasivos se considera la orientación para el control de la radiación solar, orientación para ventilación natural, color para la superficie exterior del techo, color de la superficie exterior de los muros, altura interior, distribución de áreas, con estos sistemas se adecua el clima para las viviendas de cada zona en donde se encuentren ubicadas, dependiendo del diseño tanto exterior como interior (Ledesma, 2018).

Los sistemas pasivos se usan para minimizar el uso de aire acondicionado e iluminación, dado que estos sistemas pueden ser utilizados tanto para enfriamiento como para la calefacción, así como también, la demanda de uso de energía que estos sistemas requieren, los muros, techos y fachadas son los lugares donde se transfiere mayormente el calor o el frío dependiendo de la climatización externa, estos sistemas actúan bajo los principios físicos básicos como la conducción, radiación y convección de calor.



*Figura 1.2: Aplicación de la orientación para las ganancias solares por estación del año.*

En la figura 1.2 se muestra una ganancia solar directa, en donde, el diseño de la vivienda se encuentra establecido acorde a la posición del sol en las estaciones del año, por lo que en verano cuando el clima suele ser más caluroso, la ganancia solar que entra por la abertura o ventana es menor a la que existe en invierno, ya que con esta ganancia solar, se mantiene la vivienda dentro del confort adecuado con ayuda de un sistema pasivo que ayuda aminorar el uso de aire acondicionado en verano y el uso de calefacción para el invierno.

### **1.3 Historia del Arte**

En el siguiente apartado se presentan los artículos revisados con base al tema de confort térmico, aplicados en edificios residenciales donde fueron realizados diversos estudios con distintas metodologías alrededor del mundo, los cuales se clasifican en estudios experimentales y estudios teóricos.

#### **1.3.1 Estudios experimentales**

**(Nicol & Humphreys, 2002)**, describen el desarrollo y cómo se origina el confort térmico adaptativo, el confort térmico adaptativo lo definen como la capacidad que tienen las personas de adaptarse a su entorno y a los cambios de clima que se producen, es decir, si una persona presenta malestar tras producirse un cambio, esta reaccionará de manera que pueda restaurar su comodidad. Para ello, este estudio realiza percepciones en el clima interior, exterior y cómo se comportan las personas en los edificios, así como el tiempo influye como factor para encontrar el confort, se concluyó que los estándares arrojan distintos resultados a los probados en campo, y que, el enfoque adaptativo permite a los diseñadores de los edificios conocer la temperatura interior de los edificios y cómo hacer que sean más cómodos en espacios libres.

**(Bravo & González, 2003)**, presentaron un conjunto de estudios de campo en los cuales habla sobre el confort térmico en las viviendas naturalmente ventiladas y de construcción ligera con tipos de clima cálido y húmedo, desarrollado en Maracaibo, Venezuela. Este estudio se basa en el principio adaptativo del confort térmico, el cual establece las medidas confortables relacionadas con la temperatura las cuales son dependientes de las estaciones del año, características geográficas y culturales. Para este estudio se consideraron promedios mensuales del aire exterior y se consideró a personas que permanecen la mayor parte del tiempo en espacios naturalmente ventilados con la finalidad de desarrollar estándares locales de confort para el diseño y construcción de edificaciones por climas y culturas, para los distintos tipos de climatización.

**(Nicol J. , 2004)**, realizaron un estudio para comparar la funcionalidad de los estándares internacionales para encontrar el confort térmico adaptativo para el clima interior, sugiere algunas adecuaciones para el mejoramiento de los mismos estándares buscando encontrar el complemento ideal, se concluyó que en condiciones tropicales estos estándares no proporcionan datos precisos, la temperatura interior tiende a incrementar debido a que la ISO7730 no proporciona la información sobre las posturas o la ropa que usa cada persona, de esta manera se fomenta indirectamente el uso de la ventilación mecánica para encontrar las zonas de confort.

**(Flores, Flores Larsen, & Filippin, 2007)**, analizaron el comportamiento térmico de un prototipo de vivienda en la ciudad de Salta, para el estudio de un día en invierno y uno en verano, estas simulaciones fueron realizadas en el programa SEMIDEF para Windows, donde se obtuvieron las alternativas para la mejora del confort

térmico dentro de la vivienda, dado que tanto las temperaturas en invierno como en verano, se encuentran fuera de los lineamientos del confort térmico dentro de la vivienda. En donde se obtuvo al final de la simulación que para tener un mejor resultado en invierno de 8°C a 3.5°C, se utiliza un material de ladrillo macizo de 30 cm, así como para verano, el ladrillo macizo resultó más eficiente en conjunto con el aislamiento en el techo el cual reduce hasta 3°C la temperatura interior durante el día, mejorando las zonas de confort en ambos casos para este estudio.

**(Castilla, et Al., 2011)** realizaron una comparativa entre las estrategias que se deben implementar para encontrar el confort térmico en los edificios, dado las condiciones del confort o un bajo nivel del mismo, producen inactividad dentro de los usuarios del edificio, esto influye en factores de trabajo, hogar o la actividad que se le dé a la estructura, también se ve influenciada indirectamente la eficiencia energética ya que de tener un pobre confort se busca la implementación de un HVAC (Calefacción, sistema de ventilación y aire acondicionado) para el bienestar del usuario, para la implementación de estas estrategias se utilizó una habitación orientada al norte, con 5 ocupantes en Almería, España. Se concluyó junto con las estrategias implementadas que en dicho edificio es necesaria la implementación del HVAC para la comodidad el usuario, y la ventilación natural no se utilizó para este estudio dado que el tipo de clima de la ciudad ya que la humedad relativa y la temperatura del aire exterior son bastantes altos para obtener condiciones óptimas de confort térmico en el edificio.

**(Sicurella, et Al. 2011)** realizaron una base estadística en donde se ingresaron indicadores simples calculados para conocer el confort térmico de una habitación, para ello, los problemas térmicos, visuales y la calidad del aire se han descuidado y son sumamente necesarios para lograr el confort, se tomaron en cuenta los indicadores tales como: Frecuencia de temperatura operativa (FOT), Frecuencia de las condiciones del confort térmico (FTC), intensidad del malestar térmico (ITD), fluctuación de la comodidad térmica (FD), estos indicadores pueden ser utilizados en conjunto o por separado para conocer información útil que funcione para la solución de construcción en donde se encuentre el confort térmico y visual, se simuló un modelado 3D con una ventana en su fachada orientada al sur ubicada en Lyon, Francia; el cual se realizó con ayuda del software EnergyPlus, esto influye en el nuevo diseño para nuevos edificios, en donde se adopten diferentes estrategias de ventilación.

**(Kumar & Ramgopal, 2013)** realizaron una comparativa entre el confort térmico humano dentro de un edificio con ventilación libre y con ventilación artificial, en este caso aire acondicionado, también se muestra que los humanos tienen la capacidad considerable de adaptarse a su entorno siempre y cuando se tengan las oportunidades para su adaptación. Como resultado de este estudio de campo se obtuvo que, los edificios con ventilación artificial logran alcanzar mayores zonas de confort, en comparación a los edificios con ventilación natural, a estos resultados también influyen diversos factores adaptativos los cuales son el movimiento del aire

y la vestimenta, por último se menciona que, el método de confort adaptativo cada vez más atrae más la atención para su desarrollo y en ocasiones se logran alcanzar cuando las personas pueden encontrar confort cuando cuentan con una buena solvencia económica.

**(Roux y García, 2014)** estudiaron una vivienda de interés social con clima cálido húmedo ubicada en el sur de Tamaulipas, México, en donde buscaban determinar la eficacia del confort térmico en comparación del consumo energético generado por sistemas de ventilación mecánica, todo esto con la finalidad de conocer las características constructivas que se deben implementar en estos espacios, dado que en ocasiones estas viviendas son catalogadas para un sector de la población que en ocasiones no cuentan con los recursos para sustentar el consumo energético para obtener un confort dentro de su vivienda. En este estudio se presentan las mejoras que se pueden implementar para la mejora continua de la ventilación natural y mecánica que garanticen la optimización del confort. Se analizan las propiedades termofísicas de los materiales de construcción, así como la densidad, calor específico y conductividad, las cuales son fundamentales para conocer la transferencia de calor en las edificaciones. Se obtuvo como resultado que el 95% del tiempo las viviendas se encuentran fuera de la zona de confort, mientras que una casa bioclimática aprovecha los recursos de su entorno físico sin necesidad de utilizar ventilación artificial para mantener un rango de temperatura ideal.

**(Chen, et Al. 2015)** desarrollaron dos algoritmos de control predictivo de modelos (MPC), un MPC de certeza-equivalencia y un MPC restringido al azar, para control térmico interior para minimizar el consumo de energía mientras se mantiene el confort térmico del ocupante. Se supone que las percepciones de los ocupantes de la sensación térmica se pueden recopilar continuamente y realimentados para calibrar un modelo de sensación térmica dinámica y actualizar el MPC. Los experimentos se realizaron en febrero, con una temperatura exterior de entre 5° C y 7 ° C y una humedad exterior nivel alrededor del 50%. Hubo dos sesiones y cada sesión duró 2,5 horas. En la primera sesión, la temperatura ambiente se fijó inicialmente a 21 ° C durante 50 minutos, luego se elevó a 30 ° C durante otros 50 minutos y se redujo nuevamente a 21 ° durante el resto de la primera sesión. Se realizó un modelo de transporte térmico para la representación del entorno real del edificio y su sistema mecánico, el cual fue realizado por el software EnergyPlus, con estos resultados se busca encontrar un equilibrio entre el confort térmico y el ahorro de energía.

**(Ruellan, et Al. 2016)** realizaron un estudio del impacto térmico de la disipación de calor de los aparatos eléctricos en los edificios mediante la aplicación de una dinámica térmica de modelos electrodomésticos, el cual contiene el perfil de potencia y a su vez, características térmicas de los aparatos eléctricos, se realizó en un modelo de edificio residencial convencional y un modelo de edificio residencial bien aislado térmicamente, realizados con base a datos meteorológicos de París, Francia. Las simulaciones se realizan con diferentes valores de las características

térmicas (potencia y  $RxC$ ) representativos de los electrodomésticos estándar. Los impactos térmicos de los aparatos en los edificios en términos de demanda de energía de calefacción y confort térmico donde se investigan a los ocupantes durante un invierno, con herramientas de simulación energética de edificios (SIMBAD).

**(Silva, et Al. 2016)** realizaron un estudio de toma de decisiones para algunos criterios relacionados con la eficiencia energética en los edificios residenciales en los diferentes climas en Brasil. Se realizó una simulación por computadora con el software EnergyPlus que evalúa la temperatura y el desempeño energético de un edificio residencial, se tomaron en cuenta como criterios de rendimiento los grado-hora y la energía. EnergyPlus es un programa de análisis térmico y energético transitorio que integra diferentes sistemas y mecanismos de transferencia de calor y masa para la simulación de un edificio completo. Los resultados mostraron que se tenía un rendimiento estadísticamente equivalente considerando el rango de incertidumbre, el mejor sistema fue el de mampostería con ladrillo macizo doble el cual funcionó mejor para tres tipos de clima.

**(Herrera, 2016)** creó una propuesta bioclimática sustentable para lograr el confort térmico en una vivienda unifamiliar ubicada en la ciudad de Tepic, Nayarit. Las viviendas ya se encuentran construidas y tienen una inadecuada climatización lo cual genera incomodidad para sus habitantes, por lo que, se genera un mayor consumo energético intentando encontrar el confort térmico dentro de las mismas, para ello se busca el análisis de los diversos factores que generan estos problemas a través de la herramienta Ecotect Analysis, evaluadas a través de la NOM-020-ENER-2011. Como resultado se obtuvo que con la implementación de protecciones solares se logró reducir el asoleamiento directo de la vivienda y optimizar de esta manera el confort térmico; la ventilación cruzada o el efecto chimenea son algunas de las estrategias del diseño bioclimático, también se prevé el uso de aislantes térmicos para poder sobrellevar el aumento de temperatura en años venideros.

**(Lu, et Al. 2017)** realizaron un estudio en edificios con ventilación natural con clima tropical en Hainan, China. Para conocer dicho confort térmico, se realizó la prueba de parámetros ambientales térmicos, se obtuvo que las condiciones son bien aceptadas por el 80%, en donde la alta humedad no presentó problemas en la comodidad de los habitantes, en este entorno se puede decir que se busca mejorar el diseño de entorno térmico para los edificios de Hainan, y de esta manera encontrar una optimización en el confort térmico entre los habitantes de dichos edificios sin aire acondicionado con clima tropical.

**(Giraldo & Herrera, 2017)** realizaron un estudio en una vivienda ubicada en Cali, Colombia, con un clima tropical cercana al ecuador en donde se busca dar a conocer como los sistemas de ventilación natural y el confort, no son tomadas en cuenta para el diseño de viviendas en construcción, así como para este tipo de clima anteriormente mencionado, el viento en calma y la insolación de medio día



perjudicante ampliamente la ventilación natural y el confort, una vez mencionadas las condiciones anteriores se encontró como inhabitables en zona de confort dicha vivienda. Se propusieron modificaciones a la vivienda que incluía la instalación de chimeneas solares las cuales resultaron efectivas para la inducción de corriente de aire cuando las condiciones del clima presenten viento en calma todo esto indicado como un sistema de ventilación pasiva, con la aplicación de estas chimeneas se logró reducir la carga térmica significativamente de 6°C por debajo de la simulación sin el uso de las mismas.

**(Dabe & Adane, 2018)** realizaron un estudio con la finalidad de obtener resultados sobre los problemas que tienen los edificios residenciales relacionados con el rendimiento de la luz diurna y el confort térmico. Esta investigación incluye una evaluación de los parámetros seleccionados mediante análisis comparativo de la iluminancia útil de la luz diurna (UDI), Horas de confort térmico y orientación del edificio con la ayuda de simulación dinámica utilizando 'Daysim', una 'herramienta de análisis de radiancia' y una herramienta de distribución de temperatura de Ecotect Software. Los resultados de esta investigación incluyen la profundidad mínima aplicable de una compensación será de 0,65 metros y el máximo será de 1,40 metros cuando se configure con balcones de áreas habitables del edificio residencial sin comprometer el confort interior ni la temperatura con respecto a la orientación del edificio residencial.

**(Wang, et Al. 2019)** analizaron las métricas subjetivas para evaluación de la experiencia térmica de los ocupantes en una vivienda, en cuanto a la comodidad y aceptabilidad, uno de los objetivos del estudio del confort térmico es averiguar cómo el entorno técnico ambiental influiría en la temperatura de los ocupantes, para lograr esto se desarrollaron metodologías tales como el voto medio previsto y el estándar efectivo. La sensación térmica es la más utilizada de las métricas en Thermal Comfort Database II, que se preguntó casi en cada estudio de confort térmico, confort y aceptabilidad, PMV, como otra métrica importante.

**(Tyubee, et Al. 2019)** mencionaron que existen dos enfoques principales utilizados en el estudio del confort térmico en la edificación, el enfoque observado se centra en la influencia de los factores ambientales como temperatura, la humedad relativa y el flujo de aire, así como también los factores antropogénicos combinados con el clima, y metabolismo humano, vestimenta, edad, etnia y raza. Estos estudios realizados en Nigeria se plantearon sobre edificaciones residenciales de gran altura en las ciudades. Se realizó un estudio de campo con ayuda de un medidor meteorológico Krestel, se seleccionaron a seis varones para colocarlos dentro del edificio a los cuales se les dio una lista de verificación para votar su temperatura y sensación de humedad relativa en siete puntos escala ASHRAE-55 (2004) y zonas de confort. El resultado del confort interior observado sugiere que el índice THI se desempeñó mejor que el índice PMV. Sin embargo, ambos índices mostraron un ambiente térmico interior incómodo en la estación seca y calurosa, lo cual es consistente con el resultado del confort térmico percibido. Además, la condición

incómoda en la estación seca y calurosa se atribuye al aumento de la temperatura y la HR del aire interior, y ventilación debido a la disminución del flujo de aire. La estación seca y calurosa experimentó la temperatura exterior más alta, debido al aumento de la energía solar, radiación y temperatura del aire y flujo de aire débil aumentando así la carga de calor en los edificios residenciales. El resultado sugiere que se requiere enfriamiento mecánico para lograr o mantener un ambiente térmico interior confortable, particularmente durante el secado en caliente temporada.

**(Arroyo 2020)** implementó estrategias de diseño para alcanzar el rango de clima que detone el confort térmico como principal objetivo, todo esto desarrollado en una vivienda de interés social ubicada en el estado de Querétaro, en un tipo de clima semidesértico, esto se logra a través de modelación analítica por elemento finito y muestreos experimentales, se implementó el uso del software Revit para la medición de la trayectoria solar, así como también se hizo el uso de ladrillo recocido, block hueco, ladrillo de adobe y concreto, se realizaron dos metodologías en donde el primero se basa en el diseño de la vivienda y en el segundo es la realización del análisis bioclimático de la misma. Los resultados obtenidos para estos análisis fueron que a una mayor altura de las viviendas la temperatura interna tiende a estabilizarse en cuanto a la zona de confort, esto quiere decir que las viviendas con las dimensiones mínimas tienden a ser dependientes de la temperatura exterior para alcanzar las zonas de confort deseadas.

### **1.3.2 Estudios Teóricos**

**(ASHRAE, 2005)** realizó un análisis del confort térmico con base a la norma ASHRAE, en el cual se realiza una comparativa de los datos proporcionados por la norma, mencionando principalmente el concepto de confort térmico, así como los factores que influyen en el confort térmico dentro de un espacio, como lo es la actividad corporal, el metabolismo, la ropa que se usa, condiciones ambientales, humedad y la velocidad del aire, en donde se describe posteriormente cada una de ellas, para realizar una comparativa de cuáles son los requerimientos para obtener estas condiciones de confort.

**(Chapple, 2008)** expone un estudio realizado en cuatro diferentes ciudades de Chile, en el cual se busca conocer el confort térmico que las personas experimentan en sus viviendas, así como también establece las temperaturas de confort en las que debe estar una persona dentro de su vivienda, por lo que, en este artículo se define las temperaturas de confort con base a la OMS (Organización Mundial de la Salud), como una temperatura de confort de 20°C para el ser humano y de 16°C para los muros de la vivienda. De esta manera se busca plantear el consumo energético que se tiene en las viviendas para encontrar el confort térmico.

**(Djongyang, et Al. 2010)** realizaron un estudio sobre el confort térmico donde se describe el proceso del confort térmico con relación al cuerpo humano y en las condiciones donde este se encuentra, también se presenta un modelo matemático para conocer el intercambio de calor de las personas tanto despiertas como

dormidas. Se presentan dos enfoques: el enfoque racional y el enfoque adaptativo, en donde el enfoque adaptativo utiliza datos de estudio de campo de personas en un edificio. Para este artículo se presentan estudios comparativos en cuanto a confort térmico, tales como: estudio comparativo en cuanto al sexo, confort térmico en aulas, el confort térmico entre los pacientes de los hospitales, confort térmico en espacios exteriores, entre otros más. El estudio concluye en la revisión bibliográfica sobre el confort térmico, en donde se presentaron ambos enfoques del confort, así como los modelos matemáticos para conocer el sistema regulador de calor del cuerpo humano y su influencia en el confort térmico.

**(Aguillon y Arista, 2015)** estudiaron las condiciones físicas de habitabilidad existente en las viviendas de interés social, esto se realiza como consecuencia que las viviendas de interés social se construyen dejando de lado la calidad espacial y la calidad de vida por igual. Como resultado de este artículo se busca conocer la factibilidad de las estrategias a implementar para lograr el confort térmico en las viviendas estudiadas como intento de la mitigación del inconfort térmico dentro de las viviendas, en cuanto a los costos y las afectaciones se realiza una evaluación para conocer si las propuestas son las adecuadas conforme a la información recabada.

Para finalizar, los estudios bibliográficos revisados expresan en su mayoría que para encontrar el confort térmico dentro de una vivienda o área específica en ocasiones es necesario el uso de ventilación mecánica, esto como consecuencia de la mala planeación desde el desarrollo de la vivienda hasta su construcción, ya que, algunas empresas constructoras solamente realizan el producto final, en algunos estudios realizados en viviendas, destaca que, el confort térmico depende tanto de la zona, como de la persona que se encuentre en dicho lugar, esto con las variantes del uso distinto de ropa o ventilación según el entorno, la mayoría de los estudios son realizados con softwares de parámetros libres, entre los que destaca EnergyPlus, un software de uso gratuito, que a su vez nos permite realizar la simulación con espacios propios, climas distintos así como zonas horarias distintas. Con los artículos se concluye que depende casi en su totalidad la zona y la planeación de la construcción de la vivienda, ya que para encontrar el confort adecuado en edificaciones ya establecidas es indispensable el uso de ventilación mecánica, lo que conlleva a realizar un mayor consumo de energía eléctrica y por consecuente una mayor generación de agentes contaminantes.

Concluyendo con base a la bibliografía revisada, el confort térmico dentro de una vivienda es parte esencial de la vida diaria entre sus ocupantes, ya que no se encuentra un confort en una zona en donde se genera demasiado calor o en una zona con mucho margen de enfriamiento, tratando de evitar el uso de ventilación mecánica y obtener el confort térmico adecuado con la ventilación pasiva que nos brinda la construcción de la vivienda.

#### **1.4 Justificación**

Para la realización del proyecto, se encontró que en la revisión bibliográfica de los estudios realizados no se ha presentado un estudio de cómo afecta el confort térmico los materiales de construcción utilizados en el estado de Morelos. Cada estado del país cuenta con diferentes tipos de climas, donde, tanto el clima al igual que los materiales de construcción influyen en el confort térmico de la vivienda. Actualmente, al tener una vivienda fuera de la zona de confort se sugiere ventilación mecánica para encontrar el confort térmico, tales como equipos de acondicionamiento climático ya sea para generar, frío o calor, por lo que con la realización de simulaciones en cuanto al cambio de materiales de construcción podremos determinar qué materiales y mejoras en función del aprovechamiento del entorno permitan el ahorro de energía, y resulten ser los mejores para encontrar el confort térmico en una vivienda residencial ubicada en Cuernavaca, Morelos.

#### **1.5 Objetivos**

##### **1.5.1 Objetivo General:**

Estudiar el comportamiento térmico de los sistemas constructivos en muros más utilizados en el estado de Morelos y su efecto en el confort térmico.

### **1.5.2 Objetivos específicos:**

Desarrollar la vivienda establecida en la NOM-020-ENER-2011, en el software DesignBuilder.

Simular la vivienda con el sistema constructivo establecido por la NOM-020-ENER-2011 y los 8 sistemas constructivos más utilizados en el estado de Morelos.

Seleccionar los dos mejores sistemas constructivos con base en la cercanía de las temperaturas con la zona de confort en condiciones de evolución libre, y del consumo energético utilizando sistemas de aire acondicionado.

Aplicar sistemas pasivos a los dos mejores sistemas constructivos y determinar su impacto en el consumo energético bajo condiciones de aire acondicionado.

### **1.6 Alcance**

Se presenta un estudio de los diferentes sistemas constructivos utilizados en el estado de Morelos, para las condiciones climáticas de la ciudad de Cuernavaca, para los planos de vivienda establecidos en la norma NOM-020-ENER-2011, para las condiciones en evolución libre (sin ocupantes, equipo de ventilación, ni equipos que presenten consumo energético) y con sistema de aire acondicionado, utilizando el software DesignBuilder.

### **1.7 Descripción del trabajo**

Para la realización de este estudio, se evalúa el confort térmico del Sistema Constructivo (SC) de referencia, en el cual se encuentran los distintos materiales, de muros, techo y suelo, con sus respectivas características termofísicas de los materiales. La simulación se realizó con base en el archivo de clima de Cuernavaca Morelos en el año 2016, donde se toman en cuenta las temperaturas mensuales, de donde se excluye para la simulación la ocupación de la vivienda, iluminación, equipos eléctricos, así como el uso de calefacción y/o refrigeración. Para las ventanas se establece un vidrio claro estándar, no cuentan con ningún tipo de sombreado, es decir, sin cortinas, persianas o polarizado, también permanecen cerradas durante todo el periodo de simulación, la tasa de infiltración se estableció en 0.7 con base a la norma ASHRAE, así como también el color de la vivienda en gris con una absorción de 0.7 establecida para este color en muros.

Para la simulación y obtención de resultados se establece el confort adaptativo propuesto por Nicol en 2004, el cual nos permite establecer la temperatura de confort con base en el clima de nuestra localidad.

Posterior a la simulación inicial, en donde se establecen los Sistemas Constructivos seleccionados, se reconocen los 2 mejores de estos, a los que se les aplicarán sistemas pasivos tales como Techo Fresco (TF), Muros Frescos (MF) y Sombreado en las ventanas particularmente cortinas de Tejido medio, estos sistemas se agregan a la simulación para conocer la disminución de la temperatura con la aplicación de los sistemas pasivos, se simula cada sistema por separado, y después

en conjunto seleccionados aleatoriamente aplicándolos de 2 en 2, terminando con una simulación de la aplicación de los 3 sistemas pasivos con la finalidad de obtener una mejora significativa para encontrar la temperatura de confort dentro de los Sistemas Constructivos seleccionados.

## **Capítulo 2: Fundamentos Teóricos**

**En este capítulo se exponen los principios físicos por los cuales se produce la transferencia de calor en la vivienda, es decir, conducción, convección y radiación, así como también, el concepto del confort térmico, las ganancias de calor en las edificaciones y el balance térmico de las edificaciones, de los cuales se deriva si existe el confort térmico dentro de una vivienda.**

## 2.1 Mecanismos de Transferencia de Calor

Un análisis termodinámico se interesa en la cantidad de transferencia de calor conforme un sistema pasa por un proceso, de un estado de equilibrio a otro. La ciencia que trata de la determinación de las razones de esas transferencias de energía es la transferencia de calor. La transferencia de energía como calor siempre se produce del medio que tiene la temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja, y la transferencia de calor se detiene cuando los dos medios alcanzan la misma temperatura (Jiménez, 2018).

El calor puede se puede transferir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación. Todos los modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja.

### 2.1.1 Conducción Térmica

Es la transferencia de calor a través de un material sólido y se produce a través de un sólido o líquido, siempre que exista un gradiente de temperatura, el cual se da físicamente como la transferencia de energía entre las moléculas de mayor temperatura hacia las de menor temperatura. Aquellos metales, como cobre y aluminio, son buenos conductores de energía calorífica. Los vidrios, las cerámicas y los plásticos son relativamente pobres conductores de energía calorífica y frecuentemente se usan como aislantes térmicos. Todos los gases son malos conductores de energía calorífica (Cengel, 2011).

La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres. La rapidez o razón de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de éste, su espesor y el material del que esté hecho, así como de la diferencia de temperaturas a través de él. Por lo tanto, se concluye que la razón de la conducción de calor a través de ésta es directamente proporcional al área por diferencia de temperatura al área, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa, es decir,

$$\text{Razón de la conducción de calor} \propto \frac{(\text{Área})(\text{Diferencia de temperatura})}{\text{Espesor}}$$

O bien,

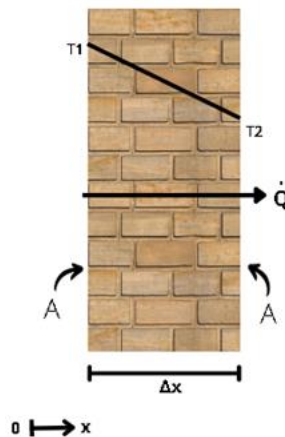
$$\dot{Q}_{cond} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (W) \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde la constante de proporcionalidad  $k$  es la conductividad térmica del material, que es una medida de la capacidad de un material para conducir calor. En el caso del límite  $\Delta x \rightarrow 0$ , la ecuación que acaba de darse se reduce a la forma diferencial



$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (W) \quad \text{Ecuación 2.2}$$

La cual se llama ley de Fourier de la conducción de calor. Aquí  $dT/dx$  es el gradiente de temperatura, el cual es la pendiente de la curva de temperatura de un diagrama T-x (la razón de cambio de T con respecto a x), en la ubicación. La relación antes dada indica que la razón de conducción del calor en una dirección es proporcional al gradiente de temperatura en esa dirección. El calor es conducido en la dirección de la temperatura decreciente y el gradiente de temperatura se vuelve negativo cuando esta última decrece al crecer x. El signo negativo en la ecuación garantiza que la transferencia de calor en la dirección x positiva sea una cantidad positiva. El área A de transferencia de calor siempre es normal (o perpendicular) a la dirección de esa transferencia (Figura 2.1).



*Figura 2.1: la conducción de calor a través de una pared plana grande de espesor  $\Delta x$  y área A.*

Este mecanismo se encuentra en las edificaciones, por ejemplo, en los cerramientos de las viviendas, en verano donde se calienta el exterior del cerramiento y por conducción se calienta el interior.

### 2.1.2 Convección Térmica

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. En ausencia de cualquier movimiento masivo de un fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente es por conducción pura. La presencia de movimiento masivo del fluido acrecienta la transferencia de calor entre la superficie sólida y el fluido, pero también complica la determinación de las razones de esa transferencia (Cengel, 2011).

La convección recibe el nombre de convección forzada si el fluido es forzado a fluir sobre la superficie mediante medios externos como un ventilador, una bomba o el

viento. Como contraste, se dice que es convección natural (o libre) si el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje que son incluidas por las diferencias de densidad debidas a la variación de la temperatura en ese fluido.

A pesar de la complejidad de la convección, se observa que la rapidez de la transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa en forma conveniente por la ley de Newton del enfriamiento como

$$Q_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (W)$$

Donde  $h$  es el coeficiente de la transferencia de calor por convección, en  $W/m^2 \cdot ^\circ C$  o  $Btu/h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F$ ,  $A_s$  es el área superficial a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor por convección,  $T_s$  es la temperatura de la superficie y  $T_\infty$  es la temperatura del fluido suficientemente alejado de esta superficie. Note que en la superficie la temperatura del fluido es igual a la del sólido.

El coeficiente de transferencia de calor por convección  $h$  no es una propiedad del fluido. Es un parámetro que se determina en forma experimental y cuyo valor depende de todas las variables que influyen sobre la convección, como la configuración geométrica de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido, las propiedades de éste y la velocidad masiva del mismo (Figura 2.2).

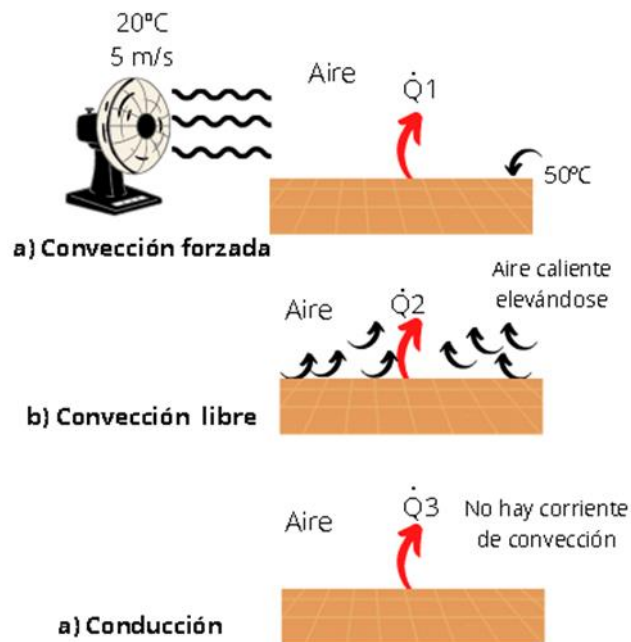


Figura 2.2: Tipos de convección  
(Cengel, 2011).

La transferencia de calor por convección depende de la densidad, viscosidad y velocidad del fluido, así como de sus propiedades térmicas (calor específico y conductividad térmica).

La transferencia de calor por convección es complicada por el hecho de que se comprende el movimiento del fluido para mejorar la transferencia de calor, ya que pone en contacto porciones más caliente y más frías de ese fluido, iniciando índices más altos de conducción en un gran número de sitios. Por lo tanto, la velocidad de la transferencia de calor a través de un fluido es mucho más alta por convección que por conducción.

### 2.1.3 Radiación

La radiación difiere con respecto a los otros dos mecanismos de transferencia de calor en que no requiere la presencia de un medio material para llevarse a efecto. La transferencia de energía por radiación es la más rápida (a la velocidad de la luz) y no sufre atenuación al vacío. Asimismo, la transferencia por radiación ocurre en los sólidos, así como en los líquidos y los gases. El fundamento teórico de la radiación fue establecido en 1864 por el físico James Clerk Maxwell, quien postuló que las cargas aceleradas o las corrientes eléctricas cambiantes dan lugar a campos eléctricos y magnéticos. Estos campos que se mueven con rapidez se llaman ondas electromagnéticas o radiación electromagnética y representan la energía emitida por la materia como moléculas (Cengel, 2011).

La radiación térmica es emitida en forma continua por toda la materia cuya temperatura está por arriba del cero absoluto. Es decir, todo lo que nos rodea, como las paredes, los muebles y nuestros amigos, constantemente emite (y absorbe) radiación. La radiación térmica también se define como la parte del espectro electromagnético que se extiende desde alrededor de 0.1 hasta 100 $\mu$ m, dado que la emitida por los cuerpos debida a su temperatura cae casi por completo en este rango de longitudes de onda. Por lo tanto, la radiación térmica incluye toda la radiación visible y la infrarroja (IR), así como parte de la radiación ultravioleta (UV).

La razón máxima de la radiación que se puede emitir desde una superficie a una temperatura termodinámica  $T_s$  (en K o R) es expresada por la ley de Stefan-Boltzmann como

$$\dot{Q}_{emitida,max} = \sigma A_s T_s^4 \quad (W) \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Donde  $\sigma$  es la constante física llamada constante de Stefan- Boltzmann, la cual tiene el valor de

$$\sigma = 5.670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \quad \text{Ecuación 2.4}$$

La superficie idealizada que emite radiación a esta razón máxima se llama cuerpo negro y la radiación emitida por éste es la radiación del cuerpo negro. La radiación emitida por todas las superficies reales es menor que la emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura y se expresa como

$$\dot{Q}_{emitida} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (W) \quad \text{Ecuación 2.5}$$

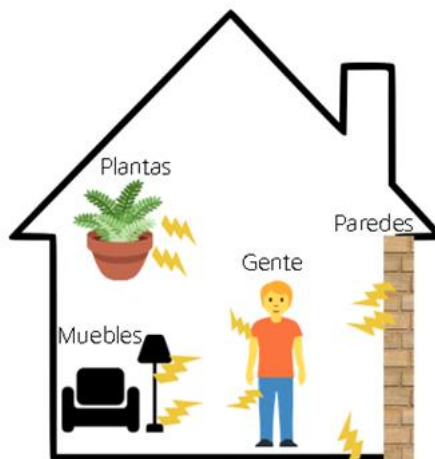
en donde  $\varepsilon$  es la emisividad de la superficie. La emisividad cuyo valor está en el intervalo  $0 \leq \varepsilon \leq 1$ , es una medida de cuán próxima está una superficie de ser un cuerpo negro, para el cual  $\varepsilon = 1$ . En general, la determinación de la razón neta de la transferencia de calor por radiación entre dos superficies es un asunto complicado, ya que depende de las propiedades de las superficies, de la orientación de una con respecto a la otra y de la interacción del medio que existe entre ellas con la radiación.

Cuando una superficie de emisividad  $\varepsilon$  y área superficial  $A_s$ , a una temperatura termodinámica  $T_s$ , está por completo encerrada por una superficie mucho más grande (o negra), a una temperatura termodinámica  $T_{alred}$ , y separada por un gas (como el aire) que no interfiere con la radiación, la razón neta de la transferencia de calor por radiación entre estas dos superficies se da por

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad (W) \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Las ganancias de energía solar tanto exteriores como en interiores en las edificaciones principalmente son producidas por la radiación, por lo que, es importante tomar en cuenta la radiación solar que será proyectada en el envolvente de las nuevas construcciones a desarrollar.

Los diferentes tipos de radiación electromagnética se producen a través de varios mecanismos. Por ejemplo, los rayos gamma son producidos por las reacciones nucleares, los rayos X por el bombardeo de metales con electrones de alta energía, los microondas por tipos especiales de tubos electrónicos, como klistrones y los magnetrones, y las ondas de radio por la excitación de algunos cristales o por el flujo de corriente alterna por conductores eléctricos. El tipo de radiación electromagnética que resulta pertinente para la transferencia de calor es la radiación térmica emitida como resultado de las transiciones energéticas de las moléculas, los átomos y los electrones de una sustancia.



*Figura 2.3: Todo lo que nos rodea emite constantemente radiación térmica (Cengel, 2011).*

## 2.2 Propiedades Termofísicas

Las propiedades termofísicas de los materiales consiste en las respuestas de estos ante las variaciones de las temperaturas, las propiedades presentes en los materiales son:

Conductividad térmica ( $\lambda$ ) es la propiedad física que describe la capacidad de un material de transferir calor por conducción, esto es, por contacto directo y sin intercambio de materia. Se da a través de la agitación molecular y contacto, y no es el movimiento de masa del sólido en sí mismo. La conductividad térmica se cuantifica utilizando el Sistema Internacional de Unidades (SI) de W/m·K (watts por metro cuadrado por grado Kelvin).

Calor específico ( $C_p$ ) también llamado capacidad térmica específica o capacidad calorífica específica es la cantidad de calor que se requiere para que una unidad de una sustancia incremente su temperatura en una unidad de grado Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ). El calor específico varía de acuerdo al estado físico de la materia, es decir, es distinto si la materia se encuentra en estado sólido, líquido o gaseoso porque su particular estructura molecular incide en la transmisión de calor dentro del sistema de partículas.

Densidad ( $\rho$ ) es una magnitud escalar que permite medir la cantidad de masa que hay en determinado volumen de una sustancia. La densidad se calcula como densidad ( $\rho$ ) es igual a masa ( $m$ ) entre volumen ( $v$ ), el resultado se representa en el Sistema Internacional de Unidades (SI) como Kilogramos por metro cúbico ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ). Donde se deduce que la densidad es inversamente proporcional al volumen, mientras menor sea el volumen ocupado por determinada masa, mayor será la densidad.

A continuación, se muestra una tabla de materiales comúnmente más utilizados en sistemas constructivos con sus propiedades termofísicas.

*Tabla 1.1: Materiales que conforman los sistemas constructivos.*

Material	Conductividad Térmica (W/m·k)	Densidad ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Calor específico (J/kg·K)
Block de concreto	0.51	1400	1000
Block hueco de concreto	0.5	1200	1000
Bloque de agregado liviano (Alivén)	0.19	600	1000
Concreto de alta densidad	2	2400	1000
Enlucido de cemento (cement plaster)	0.72	1860	840
Mortero de cemento	0.87	1600	1000
Mortero sintético	1	1900	1000
Poliestireno expandido (densidad media)	0.038	24	1400
Tabique común	0.72	1922	790
Yeso	0.81	1800	837

### 2.3 Confort térmico

Según Pensantes en 2012, el confort térmico es una sensación neutra de las personas respecto a un ambiente térmico. Según la norma ISO 7730 el confort térmico “es una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”. El confort térmico tiene como objetivo lograr que un ambiente aparte de ser funcional y estético, se convierta en un espacio en el cual, el hombre esté en un estado de bienestar, físico, mental y social, así como también, brindar parámetros referentes para poder valorar las condiciones micro climáticas de un espacio y determinar si son adecuados térmicamente para el uso del ser humano. Para esto se necesita de ciertos factores y parámetros de confort (Pensantes Moyano, 2012).

Factores de confort: Son las características de los usuarios del espacio.

- Biológico- fisiológicos (edad, sexo, herencia, etc.)
- Sociológicas (tipo de actividad, educación, ambiente familiar, moda, tipo de alimentación, aclimatación cultural)
- Psicológicas (depende individualmente de cada usuario)

Parámetros ambientales o de confort: Son aquellas características del espacio determinado.

- La temperatura del aire, la radiación, humedad y el movimiento del aire.
- Los parámetros de confort externos que interactúan entre sí para la consecución de confort térmico y que se encuentran representados en las cartas bioclimáticas.

La temperatura de confort es la sensación neutra de una persona respecto a un ambiente térmico, los parámetros para determinar el confort son aquellas características del espacio determinado como la temperatura del aire, la radiación, humedad y el movimiento. Como menciona Pensantes en 2012, la temperatura de confort es donde cualquier persona se encuentra en un punto donde no siente frío, pero tampoco calor, es decir, un punto neutro, el cual se busca que permanezca a lo largo de todo el día dentro de una vivienda o habitación, y que se prevé que este punto neutro perdure siempre durante la realización de las actividades cotidianas de un integrante o de toda una familia en general dentro de la vivienda.

Dentro del confort térmico existe el confort térmico adaptativo propuesto por Nicol en 2004, en donde, este método se basa de acuerdo con que cada individuo se adapte al espacio en general que habita, este método considera aspectos de vestimenta, ventilación, uso de cortinas y calor metabólico, haciendo que estas actividades influyan en la adaptación propia de un individuo.

Para este modelo, se propone una ecuación donde se involucra la temperatura ambiente del exterior, para encontrar la temperatura de confort.

$$T_c = 0.534(T_a) + 12.9 \quad \text{Ecuación 2.7}$$

Donde  $T_c$  es la temperatura de confort, mientras que  $T_a$  es la temperatura ambiente del exterior, esta ecuación propuesta por Nicol, permite conocer la zona de confort ( $Z_c$ ) de la siguiente forma:

$$Z_c = T_c \pm 2^\circ\text{C} \qquad \text{Ecuación 2.8}$$

#### **2.4 Ganancias de calor en edificaciones**

Para entender el funcionamiento energético de un edificio se requiere de la comprensión de los fenómenos físicos que ocurren a través de la envolvente de una edificación.

Las edificaciones, aunque estáticas, son dinámicas térmicamente. Físicamente, las edificaciones son sistemas termodinámicos abiertos, en situación permanente de no equilibrio y de paredes adiabáticas, capaces de intercambiar masa/energía con el entorno. Su estado termodinámico en cada instante es el resultado de su respuesta a las variaciones externas/internas de su entorno. El comportamiento térmico de la edificación depende de varios parámetros tales como el clima (variables ambientales no controladas) y variables de diseño (que pueden ser controladas en la etapa de diseño) (Blender, 2015).

Las ganancias de calor en las edificaciones pueden ser externas e internas. Las ganancias externas son por la radiación solar incidente en las superficies en la envolvente de las edificaciones y por la temperatura ambiente y las ganancias internas son por calor metabólico, alumbrado, aparatos domésticos, etc. De los elementos de la envolvente el techo es quien recibe mayor radiación solar debido a que se encuentra ubicado horizontalmente, los muros conforman la mayor parte de la envolvente y en ellos se encuentran las puertas y ventanas, mismas que perciben una parte importante de las ganancias solares de la edificación.

La infiltración remueve o adiciona calor, dependiendo de las condiciones ambientales. La infiltración ocurre por huecos, aberturas y rendijas en puertas y ventanas. Esto también se conoce como infiltración o ventilación, donde la ventilación ocurre con un sistema mecánico o con la ventura parcial o total de las aberturas de la vivienda.

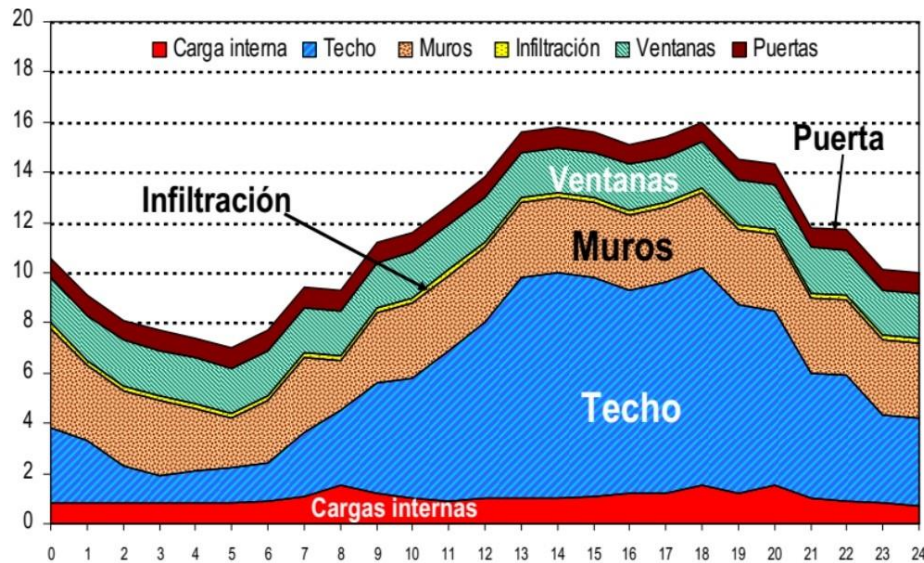


Figura 2.4: Ganancias solares en la envolvente de las edificaciones (Hernández, 2018).

La figura anterior propuesta por Ávila Hernández, se observa las ganancias solares de una edificación en cada elemento constructivo, donde con esta información se mejora el diseño para evitar la pérdida o las ganancias excesivas de calor (Hernández, 2018).

Para prevenir las ganancias de calor externas se recomienda proteger la envolvente de la incidencia solar, esto es, optando por la orientación adecuada a la latitud del lugar, utilizando sombreadores y eligiendo adecuadamente las propiedades ópticas de vidrios de las ventanas, paredes y techos. También es recomendable elegir materiales con alta resistencia térmica, materiales de baja emisividad. El arbolado y vegetación protegen de las ganancias de calor y generan microclimas alrededor de la edificación. La contribución de cada tipo de ganancia de calor depende de la envolvente y el uso de la edificación.

Por lo tanto, en las edificaciones se encuentran constantemente procesos de transferencia de calor sucediendo continuamente, la transferencia de calor a través de la envolvente opaca de un edificio sucede fundamentalmente por conducción, todas las ganancias solares como las ganancias internas son básicamente radiaciones de calor, los procesos de convección más importantes en el balance térmico de los edificios son las pérdidas o ganancias ya sea por ventilación o por las infiltraciones. Toda la envolvente de un edificio o casa, se encuentra en constante proceso de transferencia de calor, es por ello, que se puede decir que una vivienda continuamente sufre estas ganancias de calor, ya sea por cualquier proceso anteriormente mencionado, o por las condiciones climáticas presentadas, al igual que los aparatos electrodomésticos que puedan generar ganancias internas en la edificación (Blender, 2015).



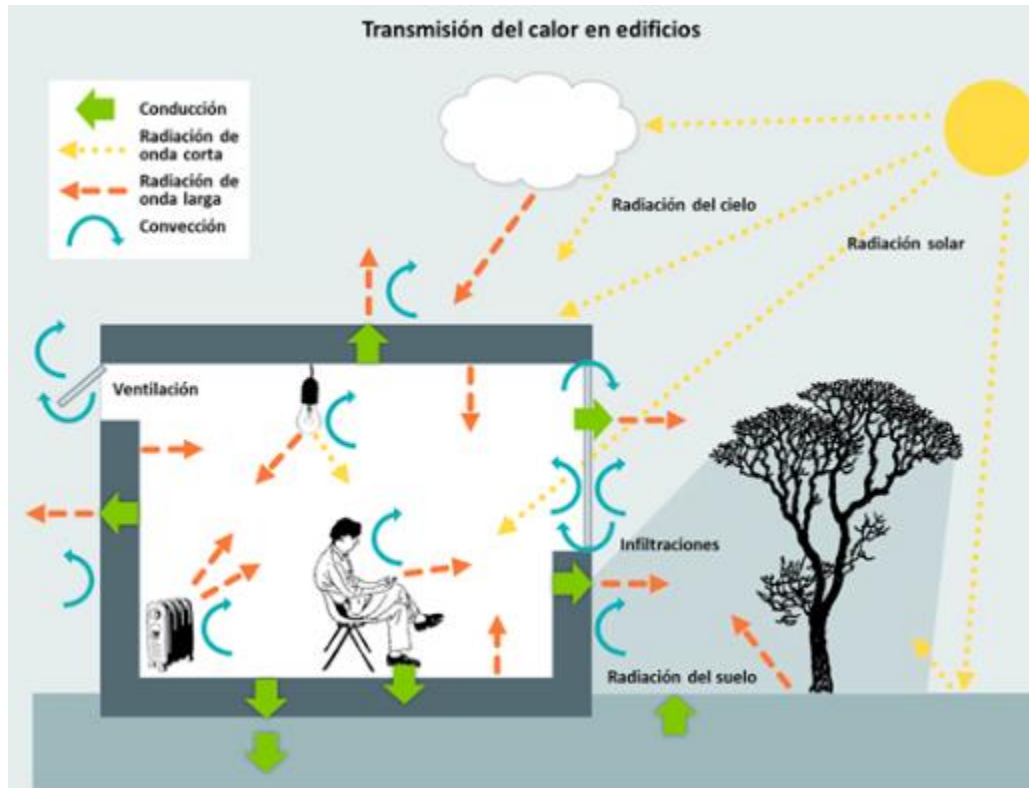


Figura 2.5: Transferencia de calor en los edificios (Blender, 2015).

En la imagen anterior se observan los mecanismos de transferencia de calor que generan una ganancia o pérdida de calor en la edificación, en donde, influyen tanto factores internos como externos, y cada uno de ellos aporta un valor distinto dependiendo de su uso o de su posicionamiento en el entorno de la edificación.

## 2.5 Balance térmico en edificaciones

Las condiciones térmicas de un edificio dependen de la magnitud de las pérdidas y ganancias de calor que está teniendo en un momento dado por conducción, convección y radiación. El edificio tenderá a calentarse cuando las ganancias de calor sean mayores que las pérdidas, y a enfriarse en la situación contraria. En cualquiera de los dos casos se puede llegar fácilmente a condiciones interiores de discomfort, las cuales, en situaciones extremas, exigirán sistemas de climatización artificial (refrigeración y/o calefacción) para ser contrarrestadas (Hernández, 2016).

Para el modelo matemático se deben establecer las ganancias o pérdidas térmicas que están relacionadas con la interacción edificio-ambiente, es decir, surgen a partir de un intercambio de energía a través de los mecanismos de transferencia de calor. Se habla de ganancia térmica cuando hay un aporte de energía en el interior del edificio y pérdida térmica cuando dicha energía se libera al medio ambiente. De acuerdo al método de la ecuación del balance térmico, el equilibrio térmico de un edificio ocurre cuando la suma de las pérdidas y ganancias de calor es igual a cero, llegando a un punto neutral que se expresa mediante la siguiente ecuación.

$$Q_s + Q_i + Q_c + Q_v + Q_m - Q_e = 0 \quad \text{Ecuación 2.9}$$

Donde:

- $Q_s$ = Ganancias solares.
- $Q_i$ = Ganancias internas.
- $Q_c$ = Ganancias y pérdidas por conducción.
- $Q_v$ = Ganancias y pérdidas por ventilación-convección.
- $Q_m$ = Ganancias y pérdidas mecánicas.
- $Q_e$ = Pérdidas evaporativas.

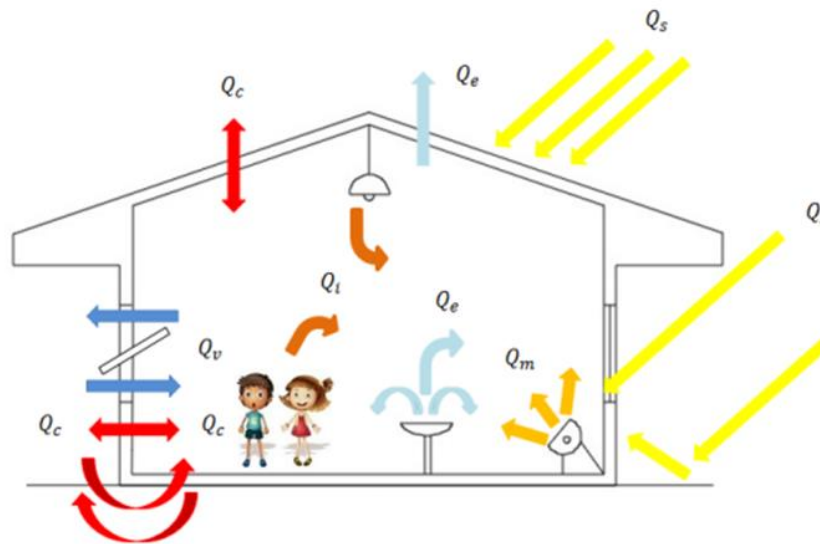


Figura 2.6: Balance térmico de la edificación (Hernández, 2016).

### Ganancias solares ( $Q_s$ )

La radiación solar que incide sobre la edificación puede generar importantes ganancias de calor. Cuando éstas se dan a través de superficies opacas (muros y cubiertas) se denominan ganancias indirectas, y cuando ocurren a través de superficies transparentes, como el vidrio, se llaman ganancias directas. En la ecuación del balance térmico se recomienda calcular las ganancias indirectas por medio del parámetro temperatura sol-aire (ganancias por conducción). Sin embargo, en ocasiones puede resultar útil conocer las ganancias solares indirectas independientemente de la temperatura del aire exterior.

### Ganancias internas ( $Q_i$ )

Los flujos de calor internos son aquellos que se originan exclusivamente en el interior de la edificación y las principales fuentes son:

- a) Calor metabólico. Es el calor producido por los ocupantes, lo cual puede ser significativo, especialmente cuando el espacio esté lleno de personas (un adulto promedio produce 110 W, lo cual puede elevarse hasta 800 W cuando están jugando basquetbol).

- b) Iluminación artificial. Lo cual es una fuente de calor significativa en edificios de oficinas y comerciales, mientras que su contribución para edificios residenciales es usualmente pequeña.
- c) Dispositivos electrónicos. Producen una cantidad suficiente de calor, especialmente en oficinas modernas. Una televisión puede añadir más de 300W, dependiendo de su tamaño.
- d) Cocina, baño. Los cuales agregan una entrada de calor extra en el interior del edificio.

### **Ganancias y pérdidas por conducción ( $Q_c$ )**

Cuando existen flujos de calor a través de la envolvente del edificio y dependiendo del sentido de dichos flujos, se tienen pérdidas o ganancias por conducción. Si los cerramientos tienen cámaras de aire en su interior también se dan procesos de transferencia de calor por convección, aunque estos suelen ser menos intensos. La cantidad de calor ganado o perdido dependerá de las características térmicas de los materiales empleados, de la diferencia de temperatura interior-exterior y de la superficie total expuesta.

### **Ganancias y pérdidas por ventilación-convección ( $Q_v$ )**

Las pérdidas y ganancias por ventilación-convección, ocurren cuando el aire exterior ingresa y circula a través de la edificación, lo cual implica también que el aire interior sea expulsado hacia afuera. La ventilación se puede dar de manera intencional, a través de ventilas, ventanas y puertas, o bien en forma involuntaria, mediante la infiltración a través de los componentes constructivos. Cuando la temperatura del aire exterior es mayor que la del aire interior se tienen ganancias, y viceversa.

La ventilación en edificios ha sido una importante técnica de enfriamiento a través del mundo. Está basada en los fundamentos de transferencia de calor por convección, donde el aire que fluye junto a una superficie disipa calor, siempre que sea una temperatura inferior a la de la superficie. Cuando esto pasa sobre el cuerpo humano, incrementa la tasa de evaporación de la piel y mejora la extracción de calor. Los movimientos del aire a través de los edificios resultan de la diferencia de presiones en interiores como exteriores, lo cual puede lograrse por:

- a) Fuerzas naturales: Debidas a una diferencia de presiones inducidas por el viento y diferencia de presiones inducidas por gradientes de temperatura entre el interior y el exterior del edificio.
- b) Fuerzas mecánicas: Diferencias de presiones inducidas mecánicamente como por ejemplo un ventilador.

Por otra parte, la infiltración es la fuga de aire a través de grietas en la envolvente de la edificación. La infiltración permite incrementar las cargas de calentamiento o enfriamiento cuando el aire exterior ingresa a la edificación y necesita ser calentado

o enfriado. En condiciones extremas, la infiltración puede ser responsable de grandes pérdidas y ganancias de calor al igual que los elementos de la envolvente. La ASHRAE describe diversos métodos para el cálculo de la infiltración en edificios residenciales y comerciales, algunas ecuaciones empíricas combinan el flujo de aire debido a la diferencia de temperatura y el efecto del viento y se utiliza para calcular las infiltraciones de aire a través de toda la envolvente. Su aplicación se basa en el conocimiento del área efectiva de fugas de aire o coeficiente de la tasa de filtrado para una diferencia de presión establecida y de los valores de una serie de constantes empíricas que se obtienen a partir de tablas.

La infiltración en los edificios comerciales puede tener muchas consecuencias negativas, incluyendo la reducción de confort térmico, la interferencia con el funcionamiento adecuado de los sistemas de ventilación mecánica, calidad del aire interior degradada, daños por humedad de la construcción de los componentes de la envolvente del edificio y un mayor consumo de energía.

### **Ganancias y pérdidas mecánicas ( $Q_m$ )**

El flujo de calor debido a los sistemas mecánicos de climatización está sujeto al diseñador y puede dimensionarse de acuerdo a las necesidades de la edificación. Debido a ello, generalmente se considera como una variable independiente, es decir, que se puede ajustar de acuerdo al balance de los demás factores.

Los sistemas mecánicos de climatización, además de ser costosos, suponen un gasto energético extra en los edificios, el cual puede llegar a alcanzar niveles excesivos. En este sentido, el diseñador siempre debería tratar de reducir los requerimientos de climatización mecánica al mínimo aplicando estrategias de diseño pasivas, empleando los materiales y sistemas constructivos más adecuados.

### **Pérdidas evaporativas ( $Q_e$ )**

Las pérdidas de calor por evaporación ocurren cuando el agua se evapora y se incorpora al aire del espacio interior. La contribución de cada tipo de ganancias o pérdidas de calor dependen de la envolvente y del uso del edificio. La protección frente a los flujos de calor se puede lograr a través de, dispositivos de sombreado, vegetación, evaporación, aislamiento térmico, colores claros y dispositivos electrónicos eficientes.

Este modelo matemático se resuelve mediante las ecuaciones del balance térmico de las edificaciones, donde el software EnergyPlus proporciona la resolución de estas ecuaciones, el cual proporcionará los cálculos necesarios para el desarrollo de este estudio, tomando en cuenta que las condiciones térmicas de un edificio dependen de la magnitud de las pérdidas y ganancias de calor que se presente en un momento dado.

## **Capítulo 3: Software de Simulación y Vivienda de la NOM-020-ENER-2011**

**En este capítulo se desarrolla el ejercicio de validación del uso y conocimiento del software llamado BESTEST, donde se simula una vivienda con condiciones específicas, a través del software DesignBuilder y EnergyPlus, donde posterior a ello se desarrolla la simulación necesaria para la vivienda utilizada llamada vivienda de referencia tomada de la NOM-020-ENER-2011, para la cual se presenta el modelo físico donde se describen las principales características de la vivienda, así como también el desarrollo de la simulación de la misma.**

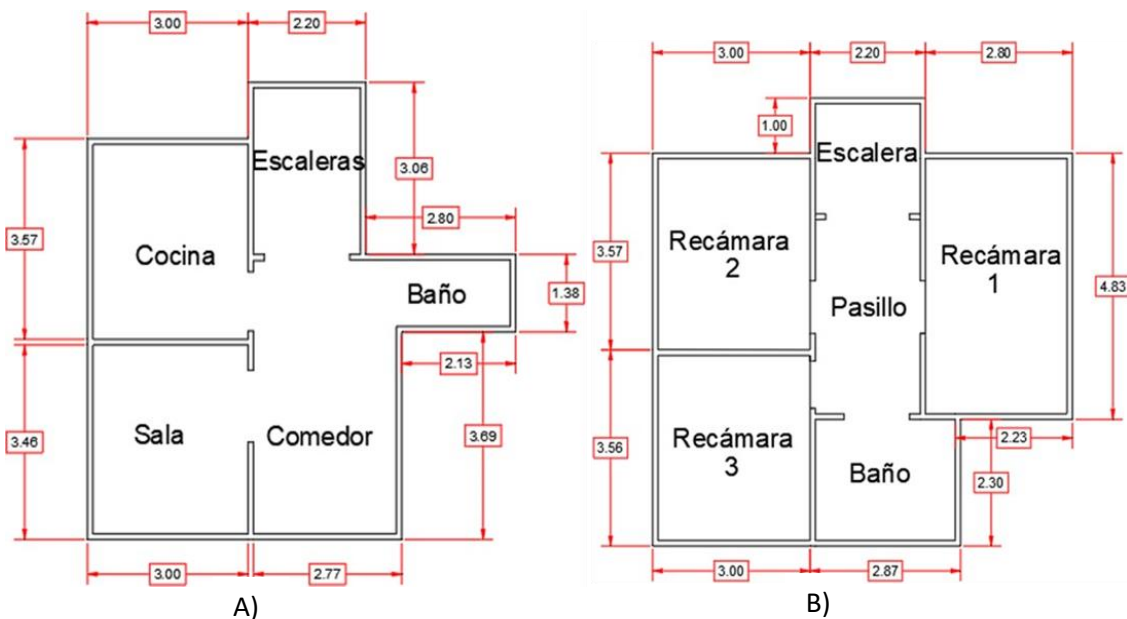
### 3.1 Modelo Físico

La vivienda de referencia para la comparación de los sistemas constructivos, es la vivienda de referencia proporcionada de la norma NOM-020-ENER-2011, la cual presenta una vivienda de interés social con ciertas características particulares, la vivienda se realizó con las medidas establecidas, la distribución de las habitaciones, su orientación como lo indica la norma , una vez utilizando de manera correcta sus especificaciones de construcción para obtener las temperaturas de confort dentro de sus dimensiones.

*Tabla 3.1: Descripción de la vivienda.*

Áreas de la vivienda	Valores de las áreas
Área de la envolvente	160m <sup>2</sup>
Área del techo	54.3m <sup>2</sup>
Número de pisos	2
Altura de los pisos	2.5m
Reflectancia de las paredes	0.1
Reflectancia del techo	0.1-0.9

En la tabla 3.1 se observa la descripción de la vivienda en donde se muestra el valor de las mismas para su desarrollo y construcción en el software, la fachada principal de la vivienda está orientada hacia el norte, con acceso principal hacia el oeste, en donde en el oeste y el este colinda con dos viviendas de las mismas dimensiones, y al sur cuenta con un patio, por lo que no se genera contacto con otra vivienda. En la figura 3.1 se muestran los planos de la vivienda a construir, los cuales especifican las dimensiones de las 3 recámaras y un baño en el piso superior, así como también, en la planta baja, la cocina, sala, comedor, escalera y un baño, esto expresado en metros.



*Figura 3.1: Plano de la vivienda. A) Planta baja B) Planta Alta*

En el sistema constructivo de la vivienda de referencia los materiales se presentan desde la capa más exterior a la capa más interna, los cuales se muestran en la siguiente tabla, la cual contiene las propiedades termofísicas y el espesor de cada material.

*Tabla 3.2: Sistema constructivo de la vivienda.*

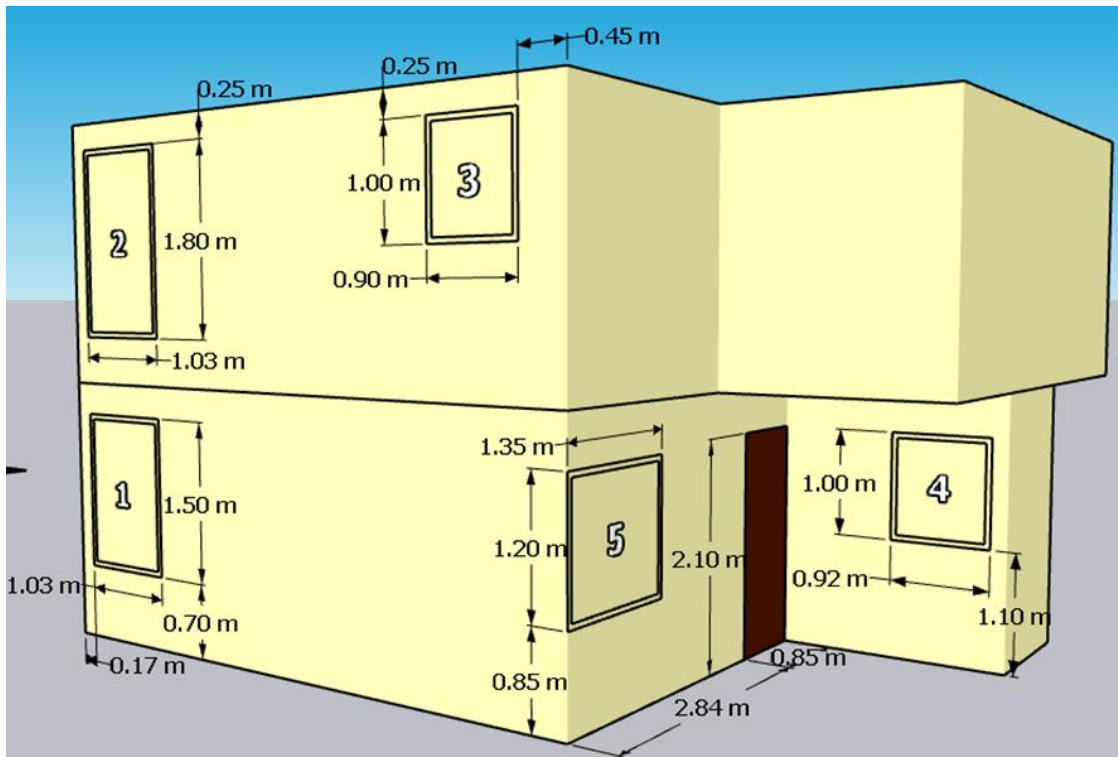
Componente	Material Ext-int	Espesor (cm)	Cp (J/kg·K)	$\lambda$ (W/mK)	$\rho$ (kg/cm <sup>3</sup> )
<b>Piso nivel del suelo</b>	Concreto	10	840	1.74	2300
	Mosaico	1	795	1.136	2600
<b>Piso superior</b>	Yeso	1.5	1000	0.372	800
	Concreto	10	840	1.74	2300
	Mosaico	1	795	1.136	2600
<b>Muros</b>	Mortero	1.5	837	0.72	1890
	Ladrillo	14	800	0.81	1600
	Yeso	1.5	1000	0.372	800
<b>Techo</b>	Impermeabilizante	2	800	0.17	1127
	Concreto	10	840	1.74	2300
	Yeso	1.5	1000	0.372	800

La vivienda cuenta con un total de 9 ventanas y 2 puertas, se tiene en la fachada frontal cuatro ventanas, una ventana y la puerta principal en el lado derecho, tres ventanas y una puerta en la parte trasera, y por último una ventana en el lado izquierdo. En la tabla 3.3 se presenta el área, material y ubicación de cada ventana y puerta de la vivienda.

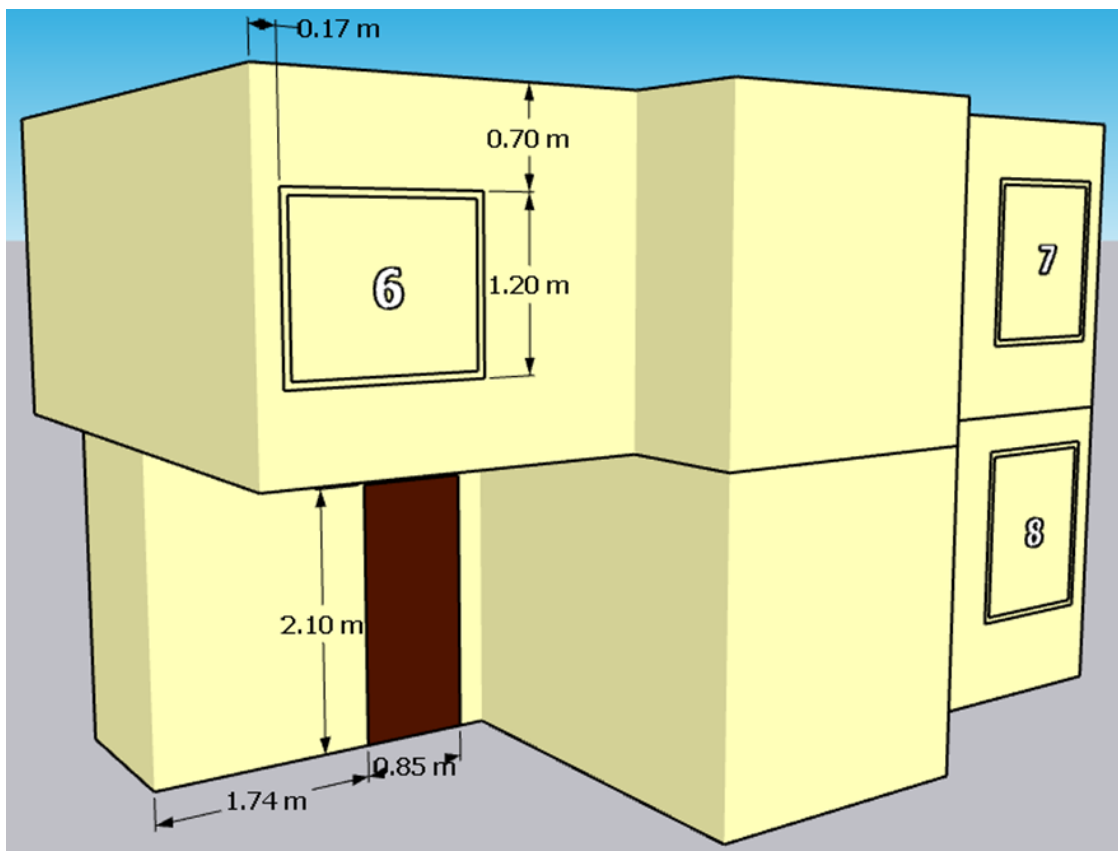
*Tabla 3.3: Características de las ventanas.*

Ubicación	Descripción	Material	Área m <sup>2</sup>
<b>Fachada Frontal</b>	Ventana 1	Vidrio	1.54
	Ventana 2	Vidrio	1.85
	Ventana 3	Vidrio	0.90
	Ventana 4	Vidrio	0.92
<b>Fachada Lado Derecho</b>	Puerta principal	Madera	1.78
	Ventana 5	Vidrio	1.62
<b>Fachada Trasera</b>	Puerta trasera	Madera	1.78
	Ventana 6	Vidrio	1.68
	Ventana 7	Vidrio	1.68
	Ventana 8	Vidrio	1.80
<b>Fachada Lado Izquierdo</b>	Ventana 9	Vidrio	0.75

En las siguientes figuras se presenta la ubicación y dimensión de las ventanas y puertas de la vivienda de referencia.

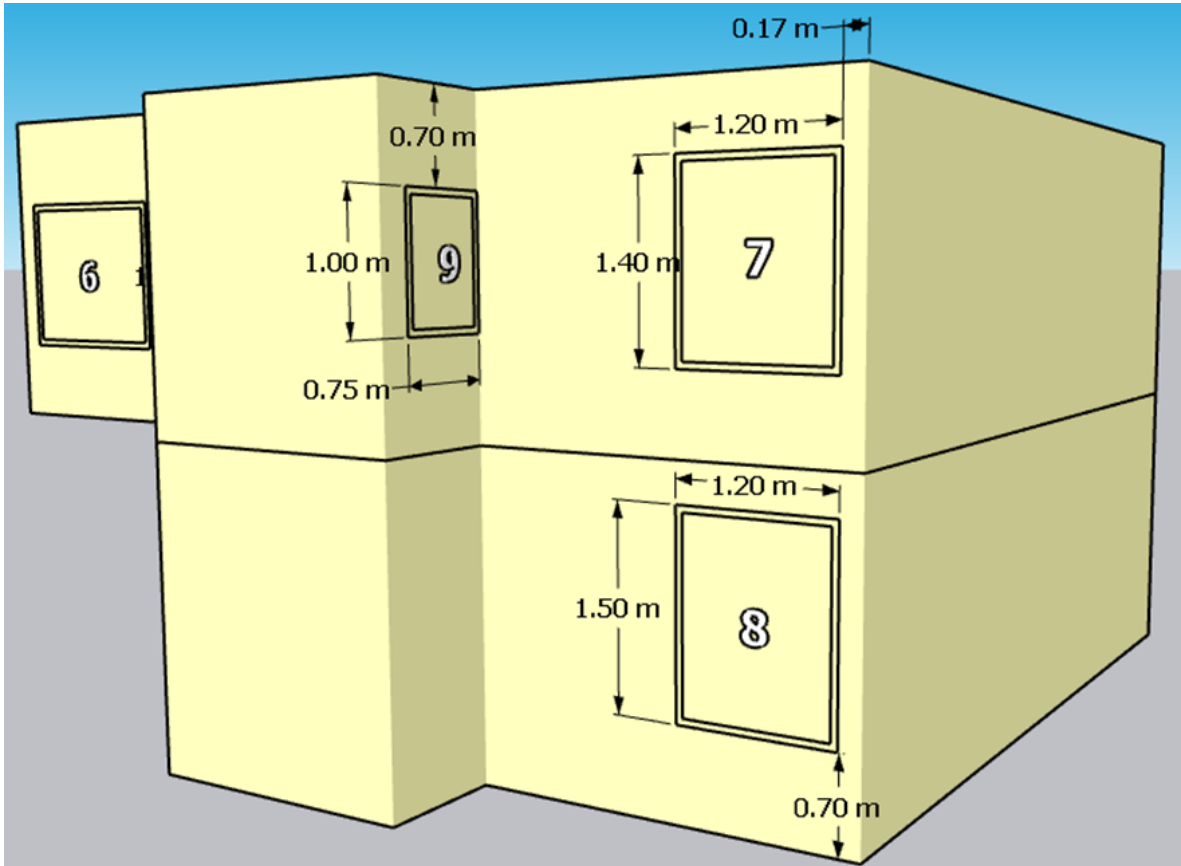


A) Vista de la fachada y entrada principal



B) Vista de la puerta trasera de la vivienda





C) Vista posterior y la pared adyacente a las viviendas

*Figura 3.2, 3.3 y 3.4: Ubicaciones de las ventana y puertas de la vivienda en el software SketchUp.*

Cada una de las figuras anteriores muestra una vista distinta de la vivienda de referencia, esto como punto importante para conocer las medidas de cada una de las aberturas que la casa contiene, así como también, de las dos puertas de la vivienda, cada una de las ventanas fue enumerada para conocer las medidas específicas de cada una de ellas. Se observa que las partes que no contienen ventanas ni puertas son las partes adyacentes del terreno, es decir, colindan con otras viviendas similares en ambos lados.

### 3.2 Verificación del software

En el presente apartado se presenta la verificación del uso adecuado del software a utilizar para este trabajo siendo este DesignBuilder, donde la verificación a realizar lleva por nombre Base 600.

Una vez instalado el software en el ordenador, se procede a abrir el mismo, donde se debe seleccionar la opción de nuevo proyecto, también seleccionar la ubicación del proyecto, para este trabajo de verificación se selecciona CO-DENVER-STAPLETON.

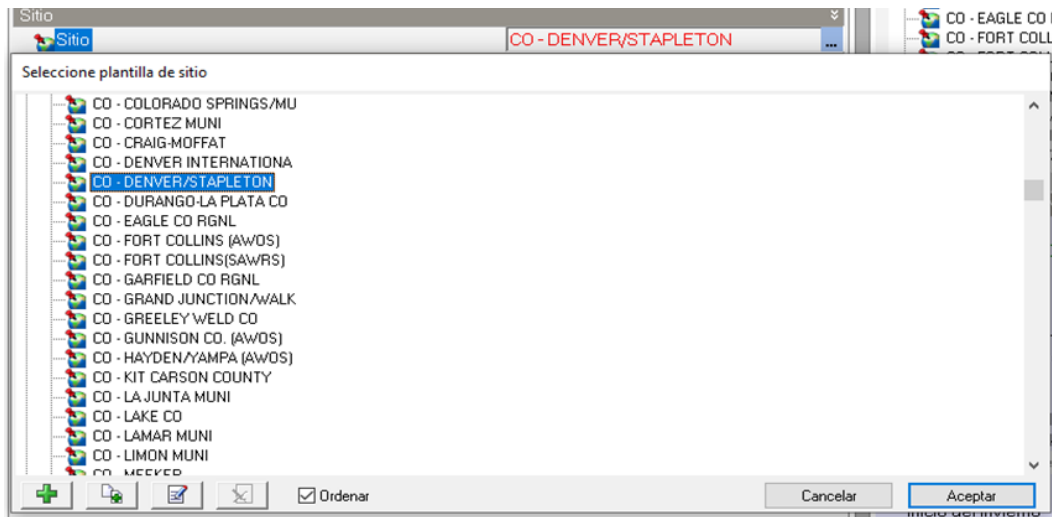


Figura 3.5: Archivos de clima del software.

Posterior a la selección de sitio, se ingresa el archivo de clima en formato .epw, el cual es insertado en los datos climáticos como DRYCOLD-ASHRAE-140, para trabajar con esos datos en el sitio seleccionado, donde también se debe cargar la ficha meteorológica, que incluye datos como ubicación-latitud, elevación sobre el nivel del mar, nivel de exposición al viento, variación de altura del sitio, superficie, reflectancia del terreno (solar y visible), modificador de radiación solar reflejada por nieve, modificador de luz diurna reflejada por nieve, temperaturas mensuales del terreno, zona horaria, horario de verano, etc.... Para ello en la siguiente figura se muestra la utilización de dichos elementos con sus respectivos valores asignados para cada caso, estos elementos, se encuentran dentro del apartado de datos del sitio en la parte superior del proyecto, los cuales pueden ser modificados posteriormente según el uso o las condiciones empleadas del sitio, se puede sugerir algún cambio ya comenzado el proyecto sin afectar las demás condiciones asignadas a estos elementos.

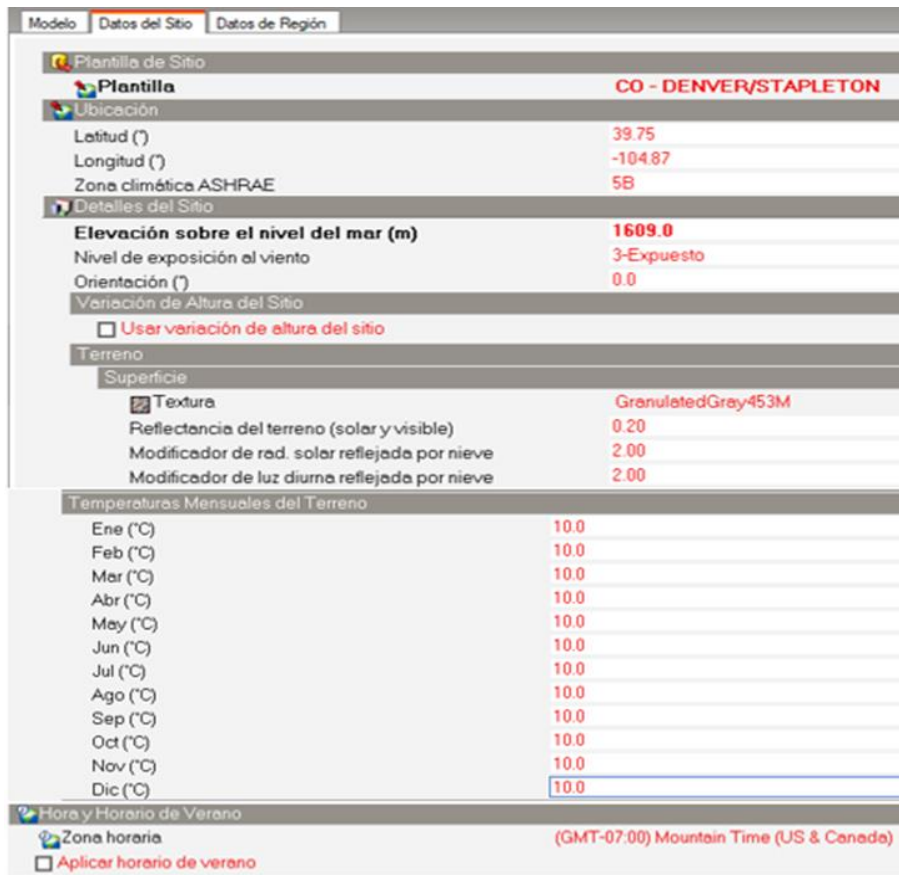


Figura 3.6: Datos del sitio para verificación.

En esta sección se encuentran los datos climáticos para la simulación donde, se verifica la existencia del archivo de clima cargado previamente en el formato mencionado para que la lectura de los datos climáticos se haga correctamente.

Revisados los datos del sitio, se procede a la realización del edificio, para el desarrollo se selecciona la simbología de la creación de un nuevo edificio, el cual se encuentra en la barra superior de la ventana del software como se muestra en la siguiente imagen.

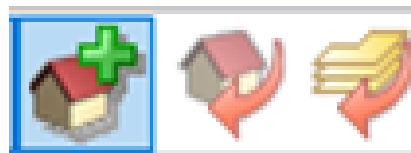


Figura 3.7: Icono "crear nuevo edificio".

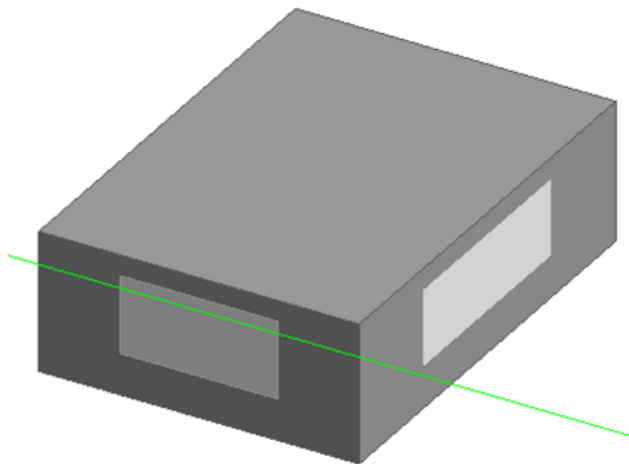
Seleccionado el icono, el software arroja una ventana emergente en el cual se deberá seleccionar la plantilla del modelo, si el caso lo requiere para un proyecto futuro, en esta ocasión las opciones encontradas en dicha ventana se mantienen predeterminadas y deberá ser así seleccionado.

Los datos de la vivienda a realizar para la verificación deberán ser introducidos de manera manual en la parte izquierda del software llamadas opciones de dibujo.



*Figura 3.8: Opciones de dibujo para la edificación.*

Los datos a introducir para la creación de la vivienda en geometría son, Tipo de bloque (1-Bloque de edificio), Forma (1-Extruida), Extensión (2.7m). Para el perímetro es Forma (2-Rectángulo). Se ingresan los datos de longitud de la edificación los cuales son 8.6mx6.2m, ingresadas las medidas la edificación se genera automáticamente.



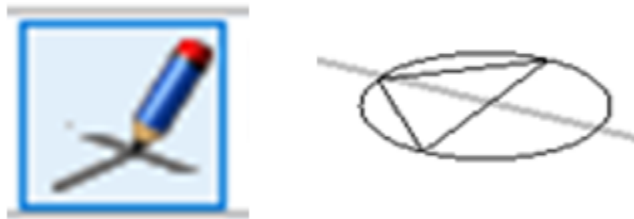
*Figura 3.9: Edificación para la verificación.*

Obteniendo como resultado la imagen de la figura 3.9, la cual se observa que las aberturas o ventanas son generadas automáticamente por el software. Para ello, seleccionamos la ventana de aberturas en el software, donde se genera una plantilla predeterminada como plantilla de acristalamiento del proyecto, después en el apartado de ventanas exteriores, y se modifica distribución de acristalamiento (No glazing), desactivando también la casilla de marco y divisores.



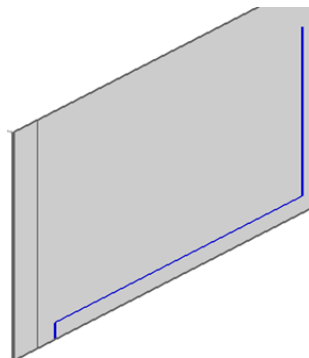
*Figura 3.10: Acristalamiento para la vivienda.*

Las ventanas desaparecen de la edificación una vez realizada la configuración anterior, por lo que, se procede a realizar las ventanas deseadas, esto con la implementación de las líneas auxiliares las cuales se encuentran en la barra de tareas del software. Para esto, la edificación se debe mostrar en su cara sur, es decir, con el indicador que se observa en la parte inferior izquierda de la ventana de dibujo, donde el indicador en forma de triángulo indica la dirección norte, mientras que la base del mismo o de forma inversa indica el sur.



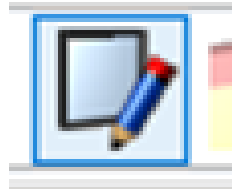
*Figura 3.11: Icono "Dibujar líneas auxiliares" y orientación para la vivienda.*

Seleccionado el icono de las líneas auxiliares mostrado anteriormente se trazan las líneas necesarias para la realización de ambas ventanas, cabe mencionar que las líneas auxiliares son trazadas para la identificación de las esquinas de la ventana, la ventana tiene de base 3m y de altura 2m, se posiciona la primer línea auxiliar en la esquina inferior izquierda de la edificación donde se traza a una distancia de 0.5m, posterior a ello se traza una segunda línea de manera vertical con una longitud de 0.2m, desarrolladas ambas líneas se encuentra el punto de partida de la ventana, donde son trazadas las líneas de 3m y 2m respectivamente.



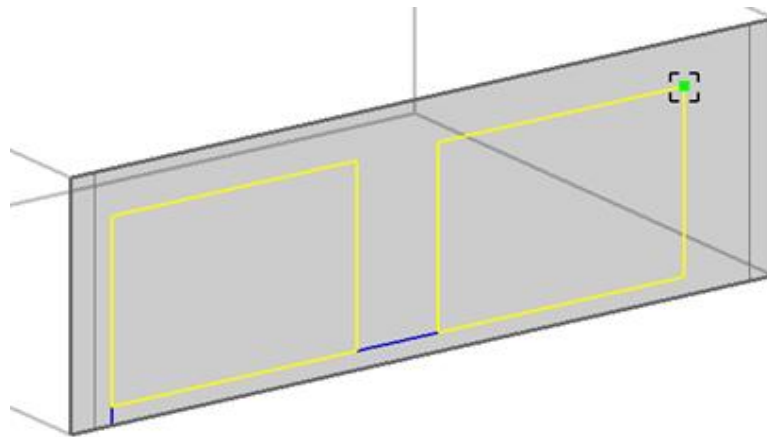
*Figura 3.12: Líneas auxiliares en el dibujo.*

Seguido a lo realizado anteriormente se selecciona el icono para la creación de ventana, el cual se localiza en la barra superior del software, mediante este se realiza la ventana seleccionando ambas esquinas para lograr la creación del rectángulo trazado de esquina a esquina, la línea de desarrollo de la ventana resalta en color amarilla cuando esta se ha creado, mientras que las líneas auxiliares son representadas de color azul.



*Figura 3.13: Icono "Crear Ventana".*

Para la realización de esta verificación el edificio debe contar con 2 ventanas, las cuales tienen las mismas medidas, pero existe 1m de separación entre ambas, por lo que el resultado de la creación de ambas ventanas se presenta en la siguiente figura.



*Figura 3.14: Ventanas construidas en la edificación.*

Realizadas ambas ventanas se eliminan las líneas auxiliares trazadas, seleccionándolas en la opción de editar, seguido de eliminar todas las líneas auxiliares, de esta manera quedan conformadas las ventanas requeridas, por lo que, el acristalamiento de las mismas debe ser seleccionado.

En la pestaña de aberturas se selecciona el tipo de acristalamiento en ventanas exteriores, en donde, el acristalamiento será modificado, por lo que, se selecciona algún formato ya existente predeterminado, para la realización de una copia y de esta manera poder modificar las especificaciones del mismo, cabe mencionar que el tipo de acristalamiento seleccionado debe encontrarse en la carpeta de doble acristalamiento para este caso en específico, el formato una vez copiado, deberá presentar el nombre de BESTEST Glazing 3/13/3 y la descripción como ASHRAE 140 Envelope Glazing con base a la norma ASHRAE 140.

Debido a la presencia de dos números de vidrio, exterior e interior, se modifican propiedades específicas de ambos, para el vidrio exterior se modifica el archivo predeterminado repitiendo el proceso de creación de un nuevo formato mencionado anteriormente, por lo que, este formato nuevo lleva por nombre BESTEST Glass (base don Generic Clear 3mm) y sus propiedades son las siguientes

Tabla 3.4: Propiedades físicas del vidrio.

Propiedades Térmicas	Propiedades Solares	Propiedades Visibles
Espesor: 3.175mm	Transmitancia solar:	Transmitancia visible:
Conductividad: 1.06W/m·K	0.86156	0.89800

El formato utilizado para el vidrio exterior será el mismo que para el vidrio interior por lo cual deberá ser seleccionado para su aplicación, también se selecciona la pestaña de tipo de gas de ventana, en el cual se selecciona el formato AIR 6MM.



Figura 3.15: Configuración de acristalamiento.

De esta manera, se configura el acristalamiento para la verificación como se muestra en la imagen anterior.

Para la pestaña de aberturas, la configuración se modifica en las siguientes pestañas, ventanas interiores, puertas y rejillas.

Dónde ventanas interiores

-Funcionamiento→ Definición de programación: 2.- Programación Personalizada

-Aperturas para ventilación→ Porcentaje de área de apertura: 20%

Puertas:

-Interiores→ Definición de programación: 2.-Programación Personalizada

Rejillas:

-Funcionamiento→ Definición de programación: 2.-Programación Personalizada

Concluida la configuración de la pestaña de aberturas, es necesario configurar la pestaña HVAC, por lo que es seleccionado el icono de Opciones de modelo, el cual se encuentra en la barra superior de la ventana del software, el cual se representa con la imagen presentada a continuación.

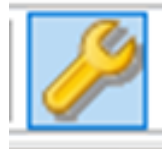


Figura 3.16:  
ícono "Opciones de modelo".

Posterior a la selección, se abre la pestaña HVAC la cual se traduce por sus siglas en inglés como (Heating-Ventilation-Air Condition). En donde las especificaciones a modificar son las siguientes:

-Dimensiones de HVAC→ 1.-Adecuado

-Cálculo de energía auxiliar→ 0.- None

Simultáneo a esta configuración se modifica la pestaña de ventilación natural e infiltración, donde, las unidades de infiltración se establecen en 1.-ren/h.

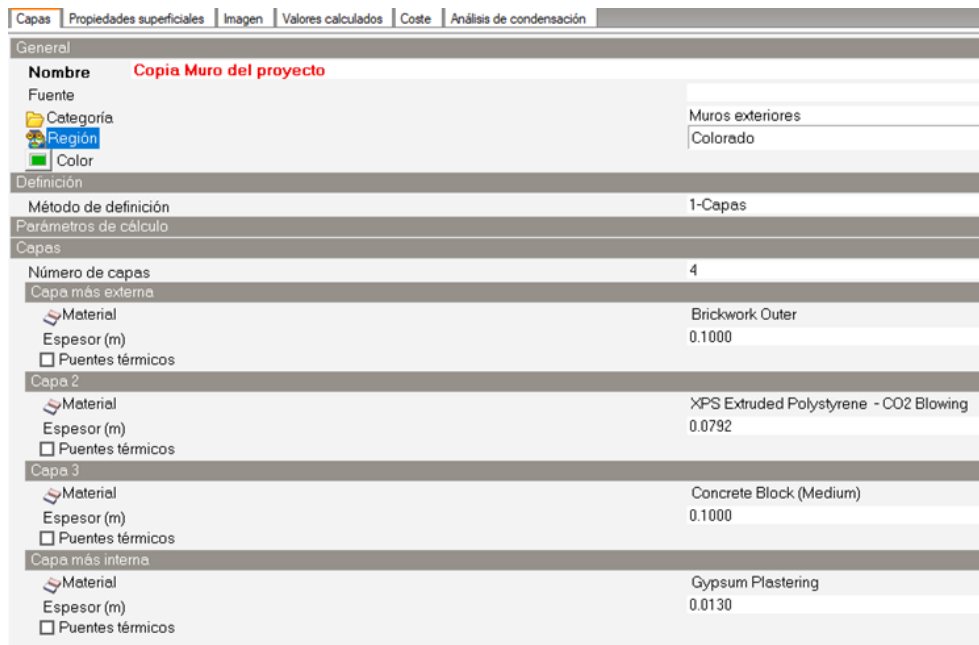


Figura 3.17: Ventana de opciones del modelo.

Establecidos estos parámetros como se muestran en la imagen anterior, se prosigue a la pestaña siguiente que lleva por título Avanzado, donde se verifica que la sección de simplificación la casilla titulada "Agrupar ventanas similares en una superficie" se encuentre desmarcada, debido a que en esta verificación no es necesario generar dicha unión.



Modificados dichos datos, se prosigue con la modificación de los datos, dando lugar a los cerramientos de la edificación donde se inicia con la modificación de muros exteriores situados en la pestaña de cerramientos.



*Figura 3.18: Ventana para la edición de cerramientos.*

El muro exterior lleva por nombre BESTEST Lightweight Wall, consta de 3 capas donde se presenta la capa más externa, capa 2 y la capa más interna. Se presentan 3 diferentes tipos de materiales con distintos espesores, así como sus propiedades termofísicas propias de cada material y propiedades superficiales, para la modificación de cada capa, se realiza la copia y modificación de un formato ya existente para poder sustituir los valores predeterminados por los requeridos.

### Capa más externa

Nombre del formato: BESTEST Wood Siding

- Categoría: Maderas
- Espesor: 0.009m

Propiedades termofísicas:

- Conductividad (W/m-k): 0.1400
- Calor específico (J/kg-K): 900.00
- Densidad (kg/m<sup>3</sup>): 530.00

Propiedades Superficiales:

- Absortancia Solar: 0.6
- Absortancia Visible: 0.6

Iluminación natural radiante:

- Reflectancia: 0.4

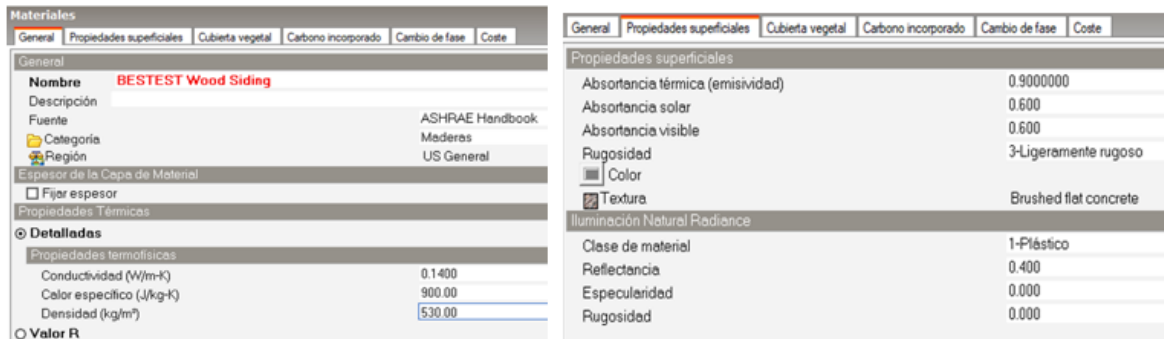


Figura 3.19: Propiedades del material de la capa 1.

En las imágenes anteriores se muestran los valores asignados en las distintas secciones del material que constituye la capa más externa.

## Capa 2

Para realizar la modificación de este material es seleccionado el material predeterminado en el sitio como el material anterior, por lo que, el siguiente material lleva por nombre BESTEST Fiberglass Quilt.

- Categoría: Materiales Aislantes
- Espesor: 0.0660m

Propiedades Termofísicas:

- Conductividad (W/m-K): 0.0400
- Calor específico (J/kg-K): 840.00
- Densidad (kg/m<sup>3</sup>): 12.00

Propiedades Superficiales:

- Absortancia solar: 0.6
- Absortancia Visible: 0.6

Iluminación natural radiante:

- Reflectancia: 0.4

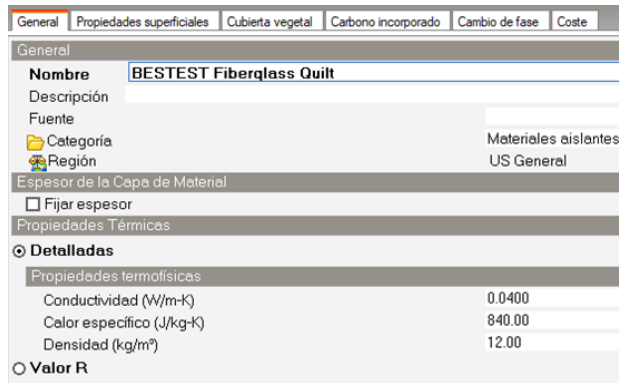


Figura 3.20: Conformado del material de la capa 2.

## Capa más interna

Para realizar la capa más interna de material, se propone el siguiente material editando el formato predeterminado encontrado en este apartado.

Nombre del material: BESTEST Plasterboard

- Categoría: Yesos
- Espesor: 0.0120m

Propiedades Termofísicas:

- Conductividad (W/m-K): 0.1600
- Calor específico (J/kg-K): 840.00
- Densidad (kg/m<sup>3</sup>): 950.00

Propiedades Superficiales:

- Absortancia Solar: 0.6
- Absortancia Visible: 0.6

Iluminación natural radiante:

- Reflectancia: 0.4



Figura 3.21: Material de la capa más interna.

Terminada la modificación de los muros exteriores, se procede a la modificación de cubiertas planas, ubicada en la misma sección denominada cerramientos.

Se selecciona la carpeta que lleva por nombre Project flat roof, de este formato se crea una copia para poder realizar las modificaciones específicas de los materiales.

Se modifica el formato y a continuación se presentan las nuevas condiciones del mismo.

- Nombre: BESTEST ROOF
- Número de capas: 3

Debido al número de capas se realiza el proceso similar al encontrado en el apartado de muros exteriores, para modificar y obtener las 3 capas que conforman esta sección.

### **Capa más externa**

Este material es seleccionado de la carpeta Asfaltos y otros acabados de cubierta, donde el material a modificar es nombrado WOOD DERIVATES- WOOD SHINGLE, y a continuación se muestran las modificaciones a realizar para obtener el material deseado.

- Nombre: BESTEST Roof Deck
- Categoría: Asfaltos y otros acabados de cubierta
- Espesor: 0.0190m

Propiedades Termofísicas:

- Conductividad (W/m-K): 0.1400
- Calor específicas (J/kg-K): 900.00
- Densidad (kg/m<sup>3</sup>): 530.00

Propiedades superficiales:

- Absortancia solar: 0.6
- Absortancia Visible: 0.6

Iluminación natural radiante:

- Reflectancia: 0.4

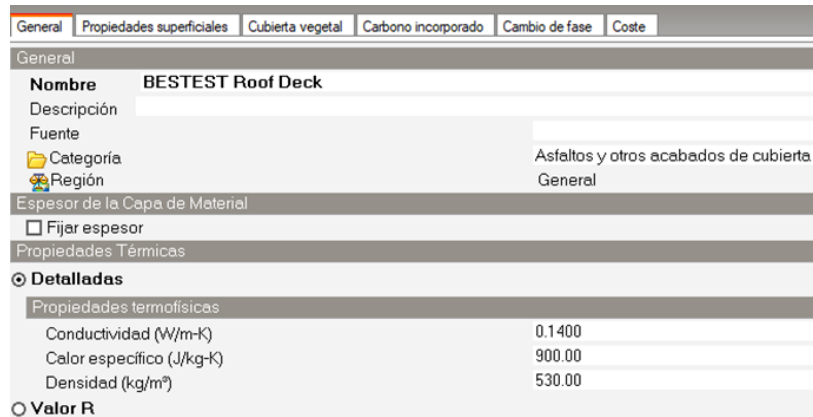


Figura 3.22: Capa más externa del muro exterior.

El material de la capa más externa quedó constituido como se muestra en la imagen anterior

## Capa 2

Para el material de esta capa, tenemos el material ya creado, el cual fue utilizado para los muros exteriores, el cual es BESTES Fiberglass Quilt, el cual se encuentra en la carpeta de materiales aislantes. Por lo que, solo se modifica el espesor el cual es 0.1118m.

## Capa más interna

Para esta capa, se realiza lo mismo que en la capa anterior, el material ya está creado el cual se encuentra en la carpeta Yesos, y lleva por nombre BESTEST Plasterboard, el cual solo será modificado en su espesor por lo que el espesor: 0.0100m.

Realizadas las 3 capas de materiales de las cubiertas planas, el archivo creado para esta sección llamado BESTEST ROOF queda conformado de la siguiente manera.

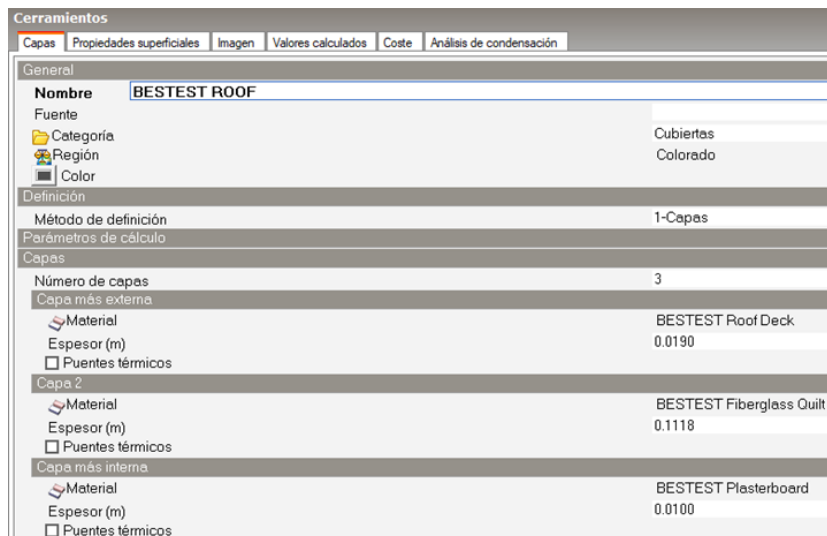


Figura 3.23: Capa más interna de muros exteriores.

El siguiente paso de la verificación es la modificación de los suelos, por lo que en la pestaña de cerramientos se selecciona la opción de suelo sobre terreno donde se selecciona el formato que lleve por nombre Ground Floor, sin importar otra especificación, esto para realizar la copia del archivo y poder realizar las modificaciones requeridas de sus componentes.

El nuevo material queda conformado de la siguiente manera.

Nombre: BESTEST Ground

Número de capas: 2

El nuevo formato consta de 2 capas, la interna y externa, las cuales también son modificadas.

### Capa más externa

Para este material, se selecciona la carpeta de Materiales aislantes, donde se elige cualquier material que contenga el nombre Insulation, del cual se crea una copia para las modificaciones requeridas.

- Nombre: BESTEST Insulation
- Categoría: Materiales Aislantes
- Espesor: 1.0030m.

Propiedades Térmicas:

- Resistencia Térmica ( $m^2-K/W$ ): 25.0750

Propiedades Superficiales:

- Absortancia solar: 0.6
- Absortancia visible: 0.6

Iluminación natural radiante:

- Reflectancia: 0.4



Figura 3.24: Capa más externa del suelo.

En la imagen anterior se muestra la conformación del material BESTEST Insulation.

### Capa más interna

Para esta capa, se selecciona la carpeta con el nombre Tableros, faldones y materiales de cubierta, dentro de la carpeta se genera una copia de cualquier archivo para modificar sus propiedades acordes a las del material requerido.

Las características del nuevo material son las siguientes.

- Nombre: BESTEST Timber Flooring2
- Categoría: Tableros, faldones y materiales de cubierta
- Espesor: 0.025m.

Propiedades Termofísicas:

- Conductividad (W/m-K): 0.1400
- Calor específico (J/kg-K): 1200.00
- Densidad (kg/m<sup>3</sup>): 650.00

Propiedades Superficiales:

- Absortancia solar: 0.6
- Absortancia visible: 0.6

Iluminación natural radiante:

- Reflectancia: 0.4

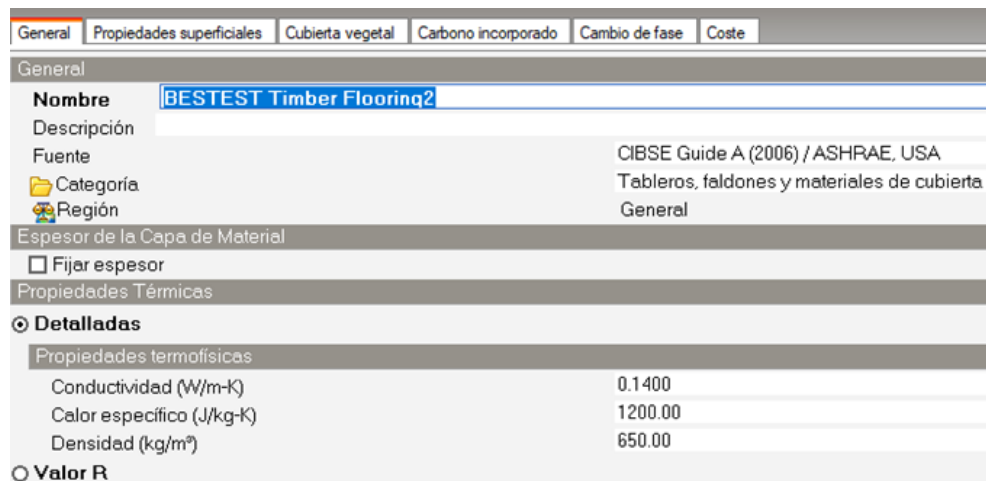
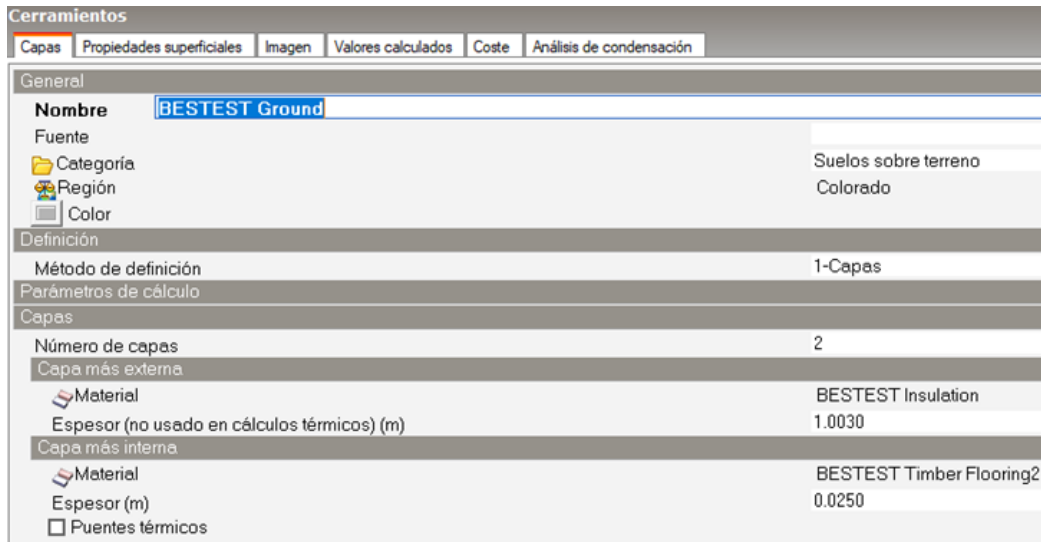


Figura 3.25: Capa más interna del suelo.

El material BESTEST Timber Flooring2 queda conformado como se muestra en la ilustración anterior.

Una vez modificadas ambas capas del archivo con sus respectivas propiedades la ventana de suelos queda conformada de la siguiente manera.



*Figura 3.26: Conformado del material de suelo sobre terreno.*

Terminadas las modificaciones anteriores, en la pestaña de cerramientos se debe seleccionar suelos exteriores, los cuales se requiere su modificación donde se elige el archivo Project external floor al cual se le realiza una copia para modificar sus propiedades con las del material requerido.

- Nombre del nuevo archivo: Project ground floor
- Número de capas: 4

Para este caso particular los materiales que conforman las 4 capas existentes, ya se encuentran establecidos dentro del software por lo que no se requiere realizar modificación de sus propiedades a excepción del espesor de cada uno de ellos en las diferentes capas.

### **Capa más externa**

- Nombre del material: Urea Formaldehyde Foam.
- Espesor: 0.0869m.

### **Capa 2**

- Nombre del material: Cast Concrete.
- Espesor: 0.1000m.

### **Capa 3**

- Nombre del material: Floor/Roof Screed.
- Espesor: 0.0700m.



## Capa más interna

- Nombre del material: Timber Flooring.
- Espesor: 0.0300m.

Capas	Propiedades superficiales	Imagen	Valores calculados	Coste	Análisis de condensación
<b>General</b>					
<b>Nombre</b>	Project ground floor				
Fuente					
Categoría	Suelos sobre terreno				
Región	Colorado				
Color					
<b>Definición</b>					
Método de definición	1-Capas				
<b>Parámetros de cálculo</b>					
<b>Capas</b>					
Número de capas	4				
<b>Capa más externa</b>					
Material	Urea Formaldehyde Foam				
Espesor (m)	0.0869				
<input type="checkbox"/> Puentes térmicos					
<b>Capa 2</b>					
Material	Cast Concrete				
Espesor (m)	0.1000				
<input type="checkbox"/> Puentes térmicos					
<b>Capa 3</b>					
Material	Floor/Roof Screed				
Espesor (m)	0.0700				
<input type="checkbox"/> Puentes térmicos					
<b>Capa más interna</b>					
Material	Timber Flooring				
Espesor (m)	0.0300				
<input type="checkbox"/> Puentes térmicos					

Figura 3.27: Sistema constructivo de suelos exteriores.

Por lo tanto, el suelo exterior queda conformado de la siguiente manera en sus 4 capas con sus respectivos espesores.

Para concluir con las modificaciones en la pestaña de cerramientos, se debe seleccionar la ventana de estanqueidad al aire, donde se debe activar la casilla de modelar infiltración (en caso de estar desmarcada), y modificar las renovaciones por hora en 0.500 por lo que, tasa (ren/h): 0.500. Dejando la programación que esta contiene de manera predeterminada: On 24/7.

Estanqueidad al aire	
<input checked="" type="checkbox"/> Modelar infiltración	
Tasa (ren/h)	0.500
Programación	On 24/7

Figura 3.28: Configuración de estanqueidad al aire.

Concluyendo con esto las modificaciones en el apartado de cerramientos, para dar paso a la siguiente sección a modificar, la cual se denomina Actividad.

En la pestaña de Actividad se procede a la verificación de datos en este apartado tales como Área del suelo y Volúmenes donde se encuentran las diferentes ventanas presentadas a continuación.

#### Condicionado/No condicionado

- Área del suelo condicionado (m<sup>2</sup>): 45.6
- Volumen acondicionado (m<sup>3</sup>): 123.1

#### Ocupado/Desocupado

- Área del suelo ocupado (m<sup>2</sup>): 0
- Volumen ocupado (m<sup>3</sup>): 0
- Área del suelo desocupado (m<sup>2</sup>): 45.6
- Volumen desocupado (m<sup>3</sup>): 123.1

Por lo tanto, los datos para esta sección quedan de la siguiente manera.

Áreas de Suelo y Volúmenes	
Rotación del edificio (°)	0.0
Condicionado/No acondicionado	
Área de suelo acondicionado (m <sup>2</sup> )	45.6
Volumen acondicionado (m <sup>3</sup> )	123.1
Área de suelo no acondicionado (m <sup>2</sup> )	0.0
Volumen no acondicionado (m <sup>3</sup> )	0.0
Ocupado/Desocupado	
Área de suelo ocupado (m <sup>2</sup> )	0.0
Volumen ocupado (m <sup>3</sup> )	0.0
Área de suelo desocupado (m <sup>2</sup> )	45.6
Volumen desocupado (m <sup>3</sup> )	123.1

Figura 3.29: Configuración de la actividad en la vivienda.

En la pestaña de Ocupación ubicada en la misma sección de Actividad, se debe modificar la densidad de ocupación de personas a 0, por lo que:

- Densidad de ocupación (personas/m<sup>2</sup>): 0.0000

Ocupación	
<input checked="" type="checkbox"/> ¿Ocupado?	
Densidad de ocupación (personas/m <sup>2</sup> )	0.0000
Programación	BESTEST Off

Figura 3.30: Densidad de ocupación de personas.

Para la programación de la ocupación se debe realizar la siguiente modificación:

Seleccionar cualquier archivo dentro de la carpeta general- Actividades Misceláneas 24hrs, donde se modificará el archivo con las siguientes especificaciones.

- Nombre del nuevo archivo: BESTEST Off
- Tipo de programación: 1.- Programación 7/12.
- Método del día de diseño: 2.- Perfiles
- Perfil del día de diseño de calefacción: Off.

- Perfil del día de diseño de refrigeración: On.

General							
Nombre	BESTEST Off						
Descripción							
Fuente							
Categoría	Actividades Misceláneas 24 Horas						
Región	General						
Tipo de programación	1-Programación 7/12						
Días de diseño							
Método de definición del día de diseño	2-Perfiles						
Perfil del día de diseño de calefacción	Off						
Perfil del día de diseño de refrigeración	On						
Perfiles							
Mes	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Ene	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Feb	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Mar	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Abri	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
May	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Jun	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Jul	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Ago	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Sep	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Oct	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Nov	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Dic	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off

Figura 3.31: Programación de la ocupación.

En la imagen anterior se muestra la programación efectuada para la ocupación de la verificación.

También debe ser modificado el apartado de control ambiental de la pestaña ocupación, por lo que los datos a modificar son los siguientes.

#### Consignas de Temperatura para Calefacción

- Calefacción: 20°C
- Consigna secundaria: -50°C

#### Consignas de temperatura para refrigeración

- Refrigeración: 27°C
- Consigna secundaria: 30°C

Donde también se deberá desmarcar la casilla de la sección de equipos de oficina, ya que para la realización de esta verificación no es necesario dicha activación.

Control Ambiental	
Consignas de Temperatura para Calefacción	
Calefacción (°C)	20.0
Consigna secundaria (°C)	-50.0
Consignas de Temperatura para Refrigeración	
Refrigeración (°C)	27.0
Consigna secundaria (°C)	30.0
Control de Humedad	
Consignas de Temperatura para Ventilación	
Ventilación Natural	
Aire Exterior Mínimo	
Iluminación	
Computadoras	
Equipos de oficina	
<input type="checkbox"/>	Activar

Figura 3.32: Desactivación de la casilla "Equipos de oficina".

Concluyendo con la modificación de datos en la sección, se elige la pestaña denominada procesos, donde como primer paso se debe activar y seguido a esto se llevan a cabo las siguientes modificaciones.

- Densidad de la potencia: 4.17W/m<sup>2</sup>.
- Fracción Radiante: 0.6

Para la programación de este apartado, se debe seleccionar la carpeta de Actividades misceláneas 24hrs, donde se debe realizar una copia de cualquier archivo 24/7 dentro de la misma, para realizar sus modificaciones pertinentes. Por lo tanto, el contenido del nuevo archivo queda de la siguiente manera.

- Nombre: BESTEST On.
- Categoría: Actividades Misceláneas 24hrs.
- Tipo de programación: 1.- Programación 7/12.
- Método del día de diseño: 2.- Perfiles.
- Perfil del día de diseño de calefacción: Off.
- Perfil del día de diseño de refrigeración: On.

Por lo cual, los parámetros modificados para esta sección en el software se muestran en la siguiente imagen.

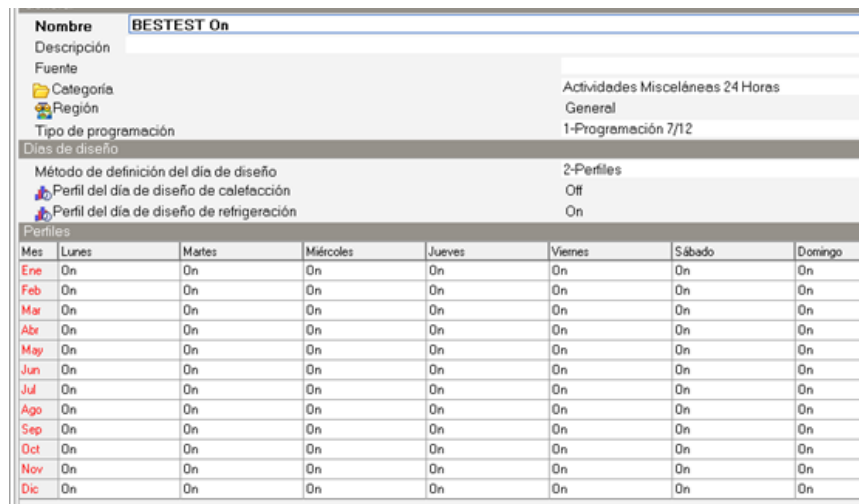


Figura 3.33: Programación de la pestaña "Procesos".

También se muestra la imagen de la conformación de la pestaña ocupación con los parámetros modificados.



Figura 3.34: Configuración final de la pestaña "Procesos".

Concluidas las modificaciones de la pestaña anterior mostrada, se debe seleccionar la pestaña iluminación, donde para la realización de la verificación es necesario desactivar la opción iluminación general, ya que para este ejercicio su uso no es necesario.

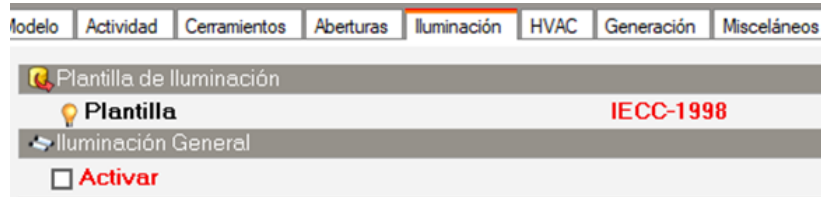


Figura 3.35: Desactivación de la casilla iluminación general.

Una vez, modificada la iluminación, se desplaza la selección a la pestaña continua del lado izquierdo denominada HVAC, donde se realizan las siguientes modificaciones.

#### Ventilación Mecánica

- Desactivar

#### Calefacción

- Activar
- CoP estacional del sistema de calefacción: 1.000

#### Funcionamiento

- Programación: BESTEST On (Se selecciona el archivo creado anteriormente).

#### Refrigeración

- CoP estacional del sistema de refrigeración: 1.000

#### Funcionamiento

- Programación: BESTEST On (Se selecciona el archivo creado anteriormente).

#### ACS (Agua Caliente Sanitaria)

- Desactivar

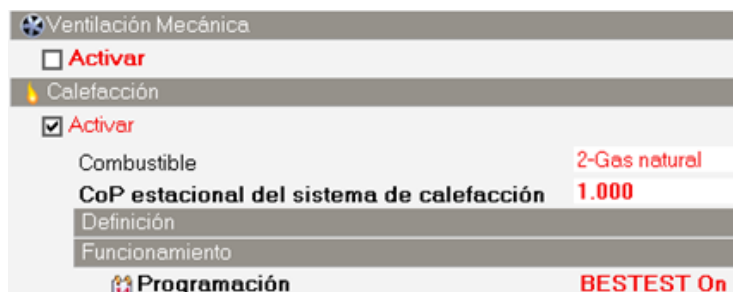


Figura 3.36: Configuración final de la pestaña "HVAC".

Con las modificaciones anteriores, se concluye con los datos requeridos para la verificación, por lo que, es momento de realizar la simulación correspondiente para obtener los resultados de la verificación.

Para ello, se debe identificar la pestaña en la parte inferior de la ventana del software la cual se denomina simulación, la cual genera una ventana automática como opciones de cálculo, la cual presenta los datos mostrados en la imagen que se presenta posteriormente, donde los datos a modificar son los siguientes.

En la pestaña Resultados

Incluir zonas desocupadas en totales y promedios de bloques y edificios.

- Activar.

Resultados de carga-energía.

- Cargas latentes: Desactivar.

Resultados de carga-Confort y ambiente.

- Renovaciones de aire: Desactivar.

Resultados de carga- Resultados de superficies y aberturas de edificio.

- Almacenar resultado de superficies: Activar.
- Almacenar resultado de aberturas y sub-superficies: Activar.



Figura 3.37: Configuración de los resultados.

En la pestaña de la izquierda a resultados, se encuentra la pestaña Opciones, donde se modifica lo siguiente.

### Opciones de cálculo

- Etapas de simulación por hora: 6

### Soleamiento

- Distribución solar: 3.- Completa interior y exterior.

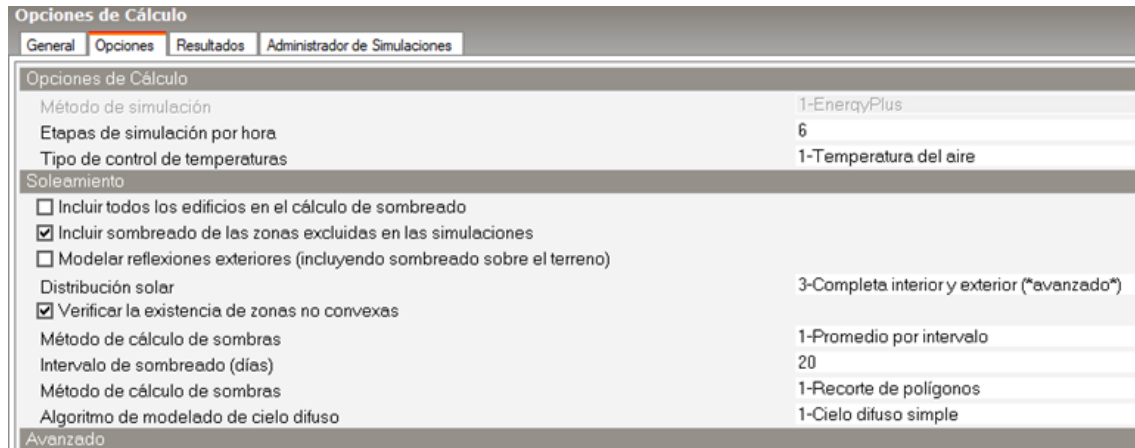


Figura 3.38: Configuración de las opciones en "Opciones de cálculo".

Por último, la pestaña contigua izquierda, en este caso, llamada General, también sufre algunas modificaciones que se presentan a continuación.

### Intervalos de resultado

- Mensual y periodo de simulación: Activar.
- Diario: Desactivar.
- Horario: Activar.

Terminadas las modificaciones de los datos para la simulación, se acepta la modificación de esta sección, y la simulación empieza a desarrollarse de manera inmediata, una vez que la simulación haya cargado, se seleccionan las opciones de visualización que se encuentra en la parte izquierda de la ventana del software, donde se eligen las siguientes opciones.

- Datos: 1.-Todos.
- Intervalo: 1.- Periodo de simulación.
- Mostrar como: 2.- Datos de celda.

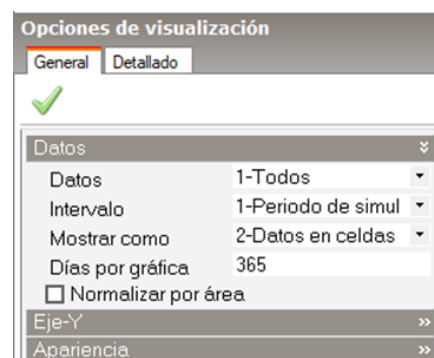


Figura 3.39: Opciones de visualización de los resultados.

Modificadas las opciones de simulación, se puede comparar los resultados obtenidos de la verificación con los de la norma ASHRAE, donde para este ejercicio, la norma muestra los resultados en unidades de MWh y el software indica unidades de kWh.

La primera comparación se da en la zona de enfriamiento sensible, la cual muestra los resultados siguientes.

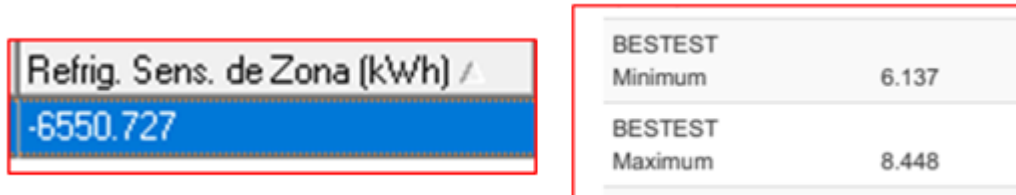


Figura 3.40: Comparación de resultados en la zona de enfriamiento sensible.

Donde en la imagen derecha se observa los resultados que se deben obtener para tener una verificación correcta por la norma ASHRAE donde el rango para un resultado correcto es de 6.137 hasta 8.448, y en la imagen izquierda se muestra el resultado obtenido el cual corresponde a 6.55MWh con el software.

Para finalizar, se compara el resultado de calentamiento total anual, donde el resultado de la norma ASHRAE contiene un rango desde 4.296 hasta 5.709MWh, mientras que el resultado obtenido con el software es de 4.736MWh, por lo que los datos modificados e ingresados fueron correctos, ya que los resultados demuestran estar dentro del rango que ofrece la norma para esta verificación.

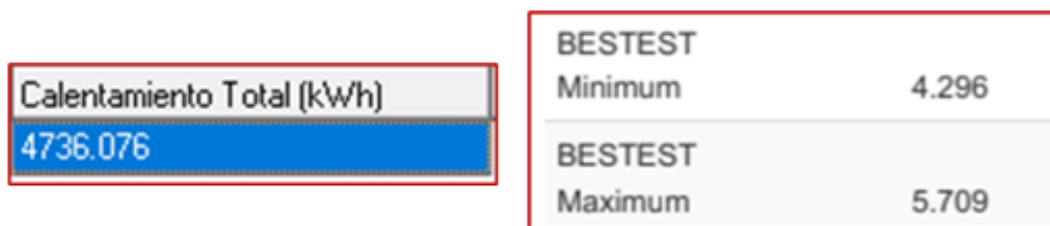


Figura 3.41: Resultados de calentamiento total comparado con la norma ASHRAE.



### 3.3 Construcción de la vivienda en el software DesignBuilder.

Para comenzar con la construcción de la vivienda de referencia, se utilizaron los planos proporcionados en el apartado de modelo físico, el cual se encuentra en este mismo capítulo para el desarrollo exacto de la vivienda.

Una vez conocido ese dato, se procede a la realización de los planos separándolos en Planta Baja y Planta Alta respectivamente, para este trabajo el plano de la vivienda se realizó en el software de diseño AutoCad, donde se realizaron ambas partes de los planos y posteriormente se importaron en el software DesignBuilder.

Para la importación de los archivos, estos se deben guardar en Modelo 2D y con el formato “.dxf” del archivo para que pueda ser importado en el software, se selecciona un nuevo proyecto en DesignBuilder, donde la pantalla correspondiente a ello es la siguiente.

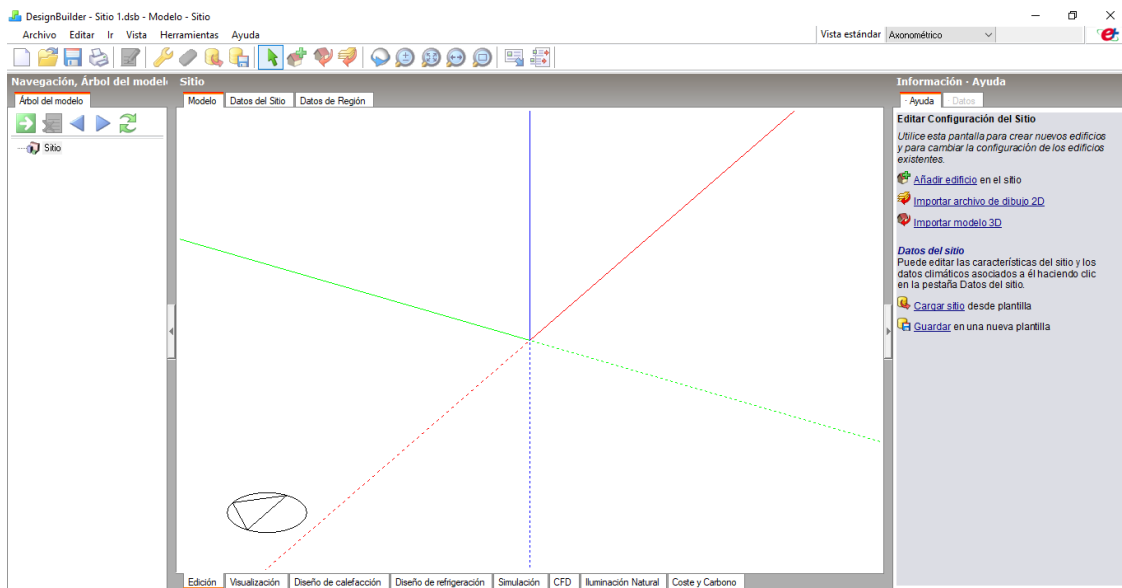


Figura 3.42: Pantalla inicial del software DesignBuilder.

Donde del lado derecho presenta un apartado de información, donde se debe seleccionar “Importar archivo de dibujo 2D”, para esto la ventana a continuación es la presentada por el software.

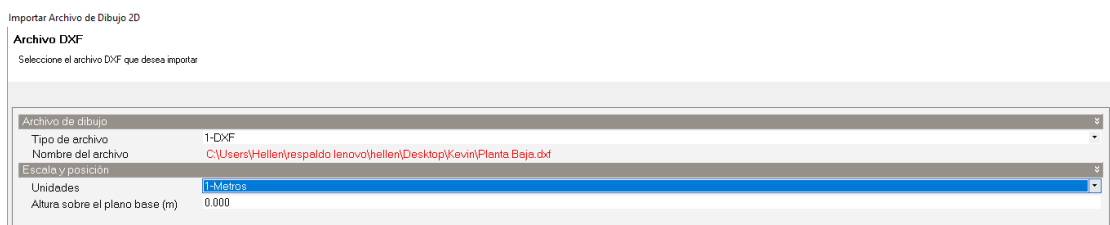
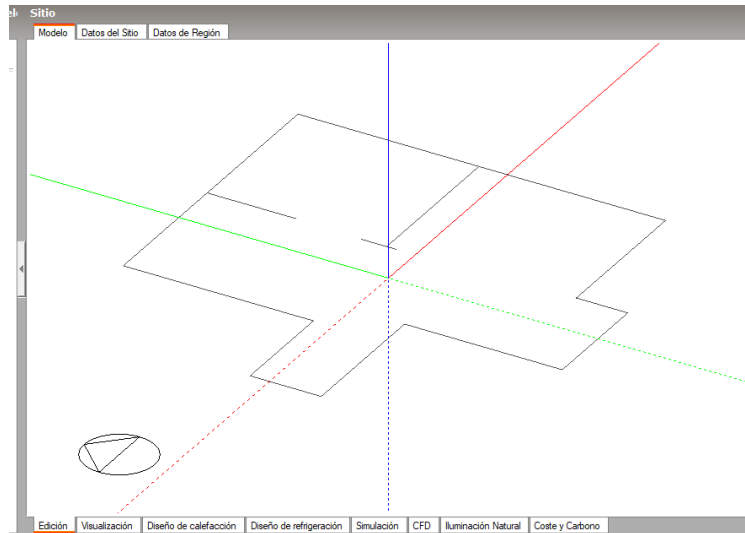


Figura 3.43: Importación de los planos en 2D.

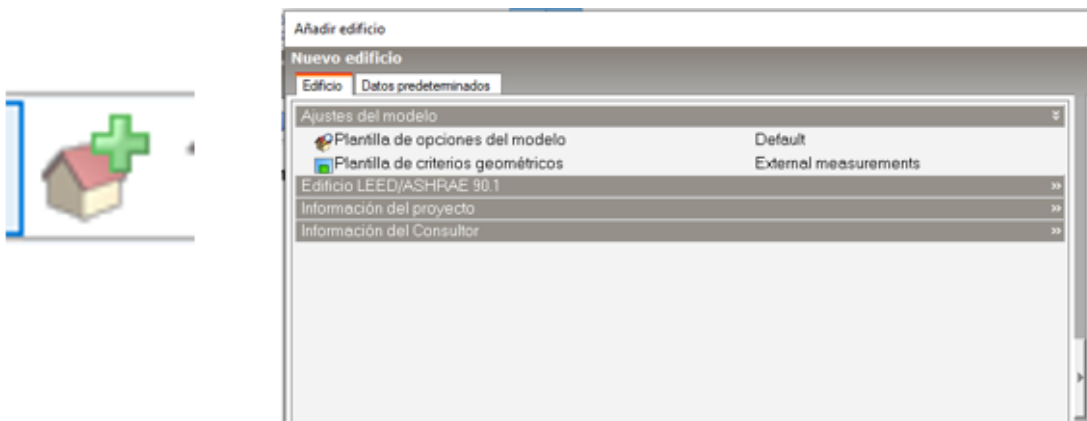
Una vez seleccionado el archivo, en este caso lleva por nombre Planta Baja, se aceptan las condiciones establecidas, por lo que, el software ha importado el plano en 2D de la vivienda, cabe mencionar, que la altura sobre el plano base solo será insertada sobre la planta alta como 2.5, debido a que es la siguiente planta de la vivienda, ya que los pasos a seguir en la importación entre un plano y otro son iguales.



**Figura 3.44: Plano 2D importado en el software.**

Para poder insertar el siguiente plano correspondiente a la planta alta, es necesario crear el edificio en 3D para que la vivienda se encuentre alineada en sus dos niveles. Para ello se realizan los siguientes pasos.

En la barra superior de la ventana del software, se selecciona la opción añadir edificio, donde aceptamos los datos predeterminados en la ventana, por lo que se deben generar las siguientes condiciones para el plano en 2D.



**Figura 3.45: Cambio de la figura en 2D a 3D en el software.**

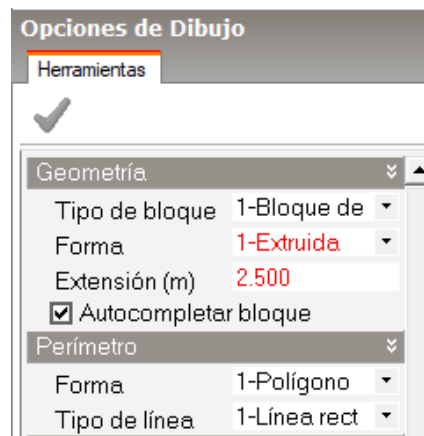
Una vez aceptados los datos en la parte derecha de la ventana se elige la configuración para el edificio en opciones de dibujo, se establecen los datos siguientes para el edificio, donde:

#### Geometría

- Tipo de Bloque: 1- Bloque de edificio.
- Forma: 1- Extruida.
- Extensión (m): 2.5.

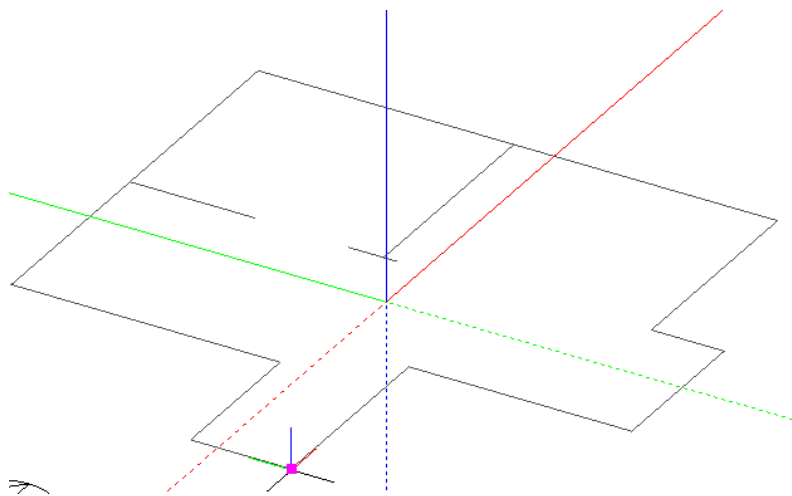
#### Perímetro

- Forma: 1- Polígono.
- Tipo de línea: 1- Línea recta.



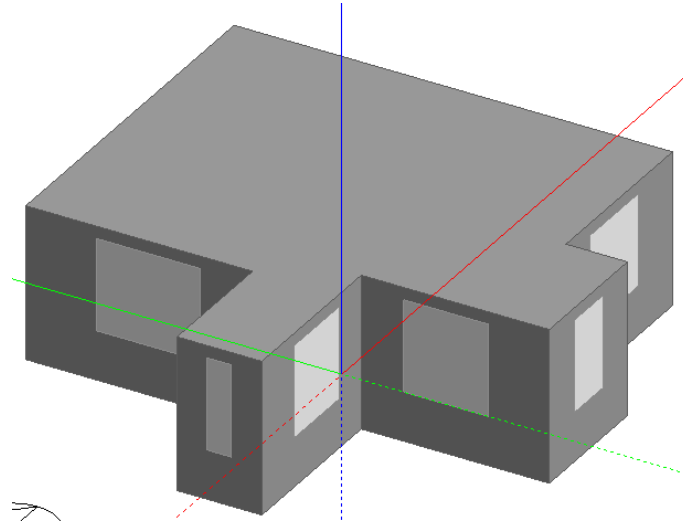
*Figura 3.46: Configuración para la figura en 3D.*

La extensión se implementa en 2.5m debido a que es la altura donde termina el primer nivel de la vivienda.



*Figura 3.47: Punto de inicio para la extrusión del plano.*

El indicador del software muestra los ejes de las coordenadas por lo que, se debe seleccionar las líneas que conforman el edificio con la configuración anterior seleccionada para la extrusión del edificio, donde se debe dar click en los vértices de la edificación como se muestra en la imagen anterior.



**Figura 3.48: Modelo final en 3D planta baja.**

El resultado de la extrusión del edificio, es el mostrado en la imagen anterior, se observa que se encuentra con ventanas en cada una de las caras de la edificación, donde el modelo físico expresa una ubicación y medición distinta a las mostradas, por lo que, después de añadir el nivel superior de la vivienda este dato será modificado posteriormente.

Se realiza el procedimiento de importación similar al de Planta Baja, donde, solo se modifica el dato de la altura de sobre el plano base, el cual lleva una altura de 2.5m, para su importación en el sitio.

Archivo de dibujo	
Tipo de archivo	1-DXF
Nombre del archivo	C:\Users\Hellen\respaldo lenovo\hellen\Desktop\Kevin\Planta Alta.dxf
Escala y posición	
Unidades	1-Metros
Altura sobre el plano base (m)	2.500

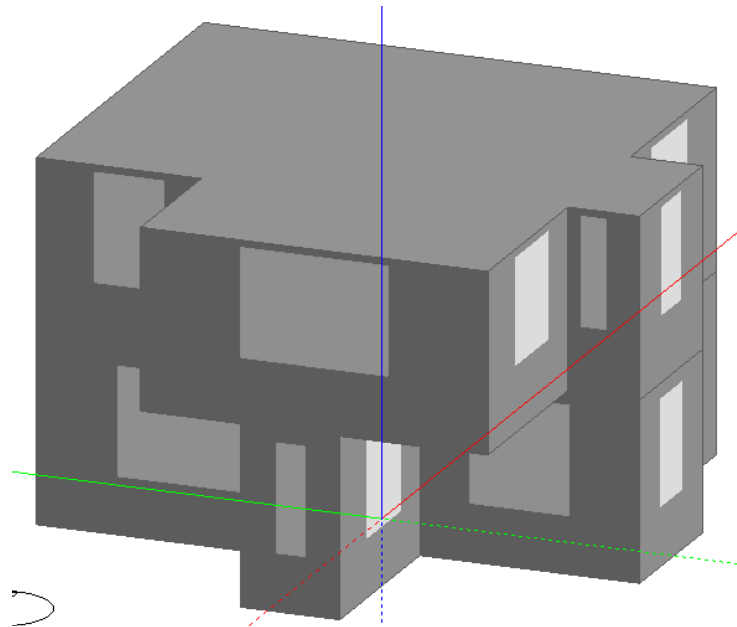
**Figura 3.49: Importación del plano 2D de la planta alta.**

Insertado el plano 2D de la planta alta se selecciona, y ahora se elige la opción de dibujar bloque, donde el icono para esta opción se encuentra en la barra superior de la ventana del software.



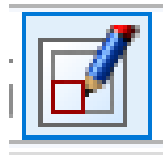
**Figura 3.50: Ícono "Insertar Bloque".**

La vivienda extruida en su totalidad se presenta de la siguiente manera, donde una vez obtenidos los bloques de la misma se modificarán las aberturas de la misma.



*Figura 3.51: Modelo final 3D de la vivienda.*

Para continuar con el desarrollo de la vivienda se selecciona el bloque 1 para dibujar las particiones interiores como lo marca el plano de la vivienda, ya que, el bloque se debe dividir en las zonas correspondientes a cocina, sala, comedor, baño y las escaleras. Donde el icono de dibujar particiones se encuentra en la barra superior del software.

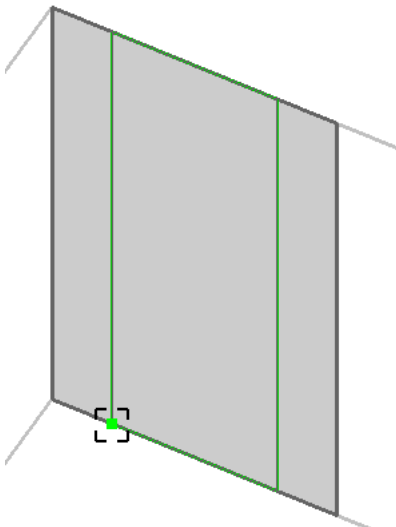


*Figura 3.52: ícono "Dibujar particiones".*

Las particiones delimitan las zonas dentro del interior de los bloques, por lo que, en el bloque 1, o planta baja se encuentran 5 zonas distintas, estas no se encuentran separadas, es decir, no existen puertas dentro del interior de este bloque, por lo que las 5 zonas convergen entre sí. Generadas las particiones es necesario crear un hueco entre ellas, para mantener delimitadas las zonas, ya que no existen puertas en la planta baja por lo que se selecciona la partición donde se realiza el hueco, y el icono correspondiente a ello.

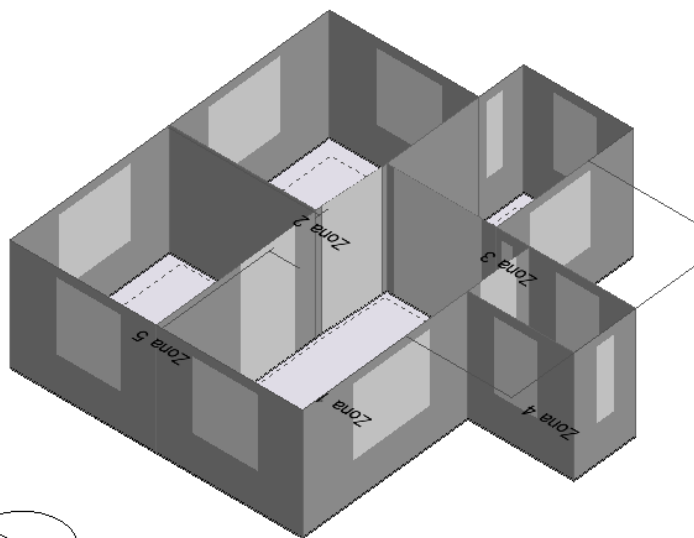


*Figura 3.53: Ícono "Dibujar hueco".*



*Figura 3.54: Realización del hueco en la planta baja.*

La línea en color verde representa que el hueco se ha realizado en la partición seleccionada, por lo que, el interior de la planta baja queda construido de la siguiente forma.

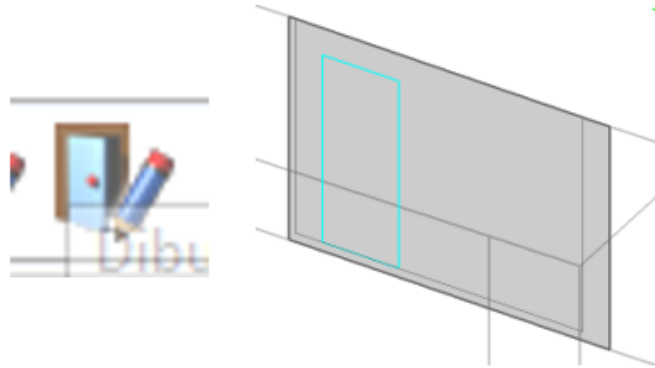


*Figura 3.55: Vista de la planta baja con los huecos realizados en el interior.*

En la imagen anterior se observa las 5 zonas establecidas por el software, delimitadas por las particiones creadas, mientras que, en un color gris más claro, se presentan los huecos realizados, los cuales cumplen con la función de que las 5 zonas se encuentren conectadas entre sí, estas sin ser separadas por una barrera física como una puerta.

Para la planta alta se realiza el mismo proceso de la creación de particiones en el interior para seccionar el bloque por zonas, solo que en este caso los huecos serán modificados por puertas las cuales se desarrollan a continuación.

Una vez realizadas las particiones del piso superior, se debe seleccionar el cerramiento al cual se le creará una puerta, donde se selecciona el icono de dibujar puerta en la parte superior de la ventana del software y se realizan las puertas de la planta alta de la vivienda.

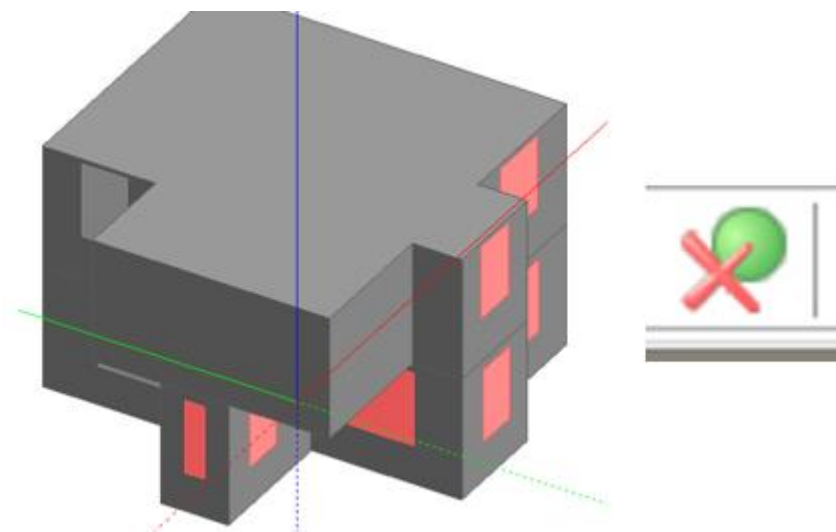


*Figura 3.56: Realización de una puerta en la planta baja.*

La figura anterior muestra que, al realizar una puerta en alguna partición o muro, ésta se representa con un color azul claro, lo cual demuestra que la puerta se realizó de manera correcta, en caso de no presentar una coloración, de acuerdo a lo realizado el dibujo no se puede completar.

Terminadas las particiones interiores de la vivienda, se cuenta con la estructura general deseada, por lo que, se deben detallar las aberturas, en este caso, se le agregarán las ventanas exteriores, así como también las puertas exteriores como siguiente paso.

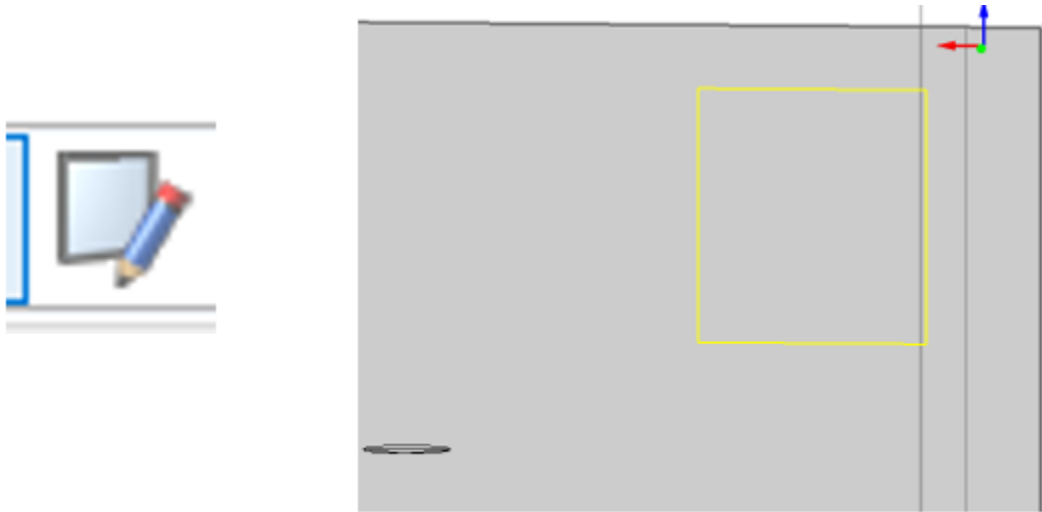
Las ventanas generadas de manera predeterminada, se eliminarán debido a que las ventanas no corresponden según la vivienda propuesta por la NOM-020-ENER-2011, por lo que se seleccionan las ventanas y se eliminan los objetos.



*Figura 3.57: Eliminación de ventanas de la edificación.*

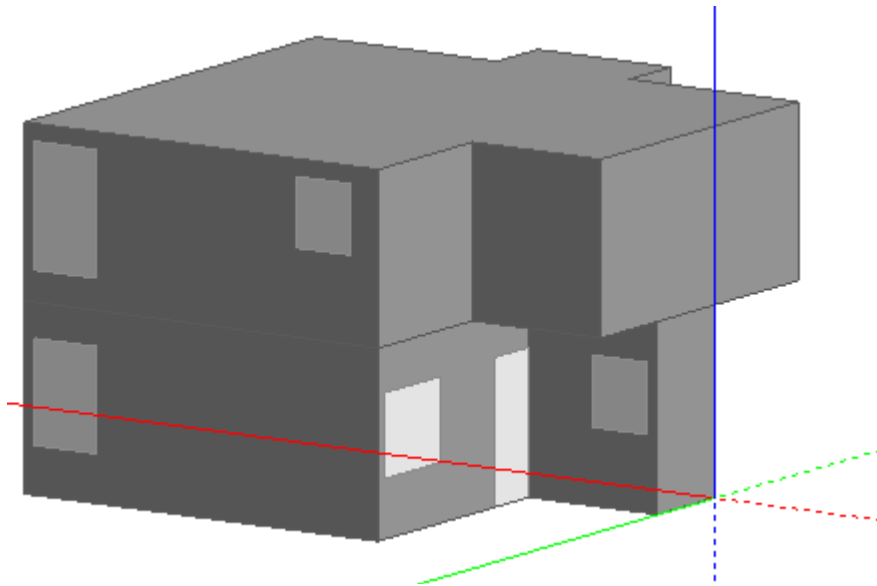
Por lo que, la edificación ahora se encuentra sin ventanas, por lo tanto, se deben dibujar las nuevas ventanas personalizadas en cada espacio de la vivienda.

Los pasos para la realización de las ventanas, son similares a los presentados en la realización de huecos y puertas, por lo que, solamente se elige el icono de dibujar ventana.



*Figura 3.58: ícono "dibujar ventana" y representación de ventana.*

La realización de las ventanas se expresa con un color amarillo cuando estas se encuentran construidas de manera correcta, por lo tanto, se procede a la realización de las ventanas en la vivienda como se expone el plano en el modelo físico. De manera simultánea se realizan las puertas exteriores expuestas también en el apartado de modelo físico de este capítulo, por lo que la vivienda queda finalizada en la construcción de las partes que la componen, desde particiones, puertas, ventanas, huecos y los dos niveles de la misma.



*Figura 3.59: Vivienda conformada con ventanas, puertas y particiones.*



Construida la vivienda en el software, se deben realizar las modificaciones en los distintos apartados, para poder realizar la simulación de la misma, por lo que, como primer paso se deben modificar los datos de sitio. Se selecciona la pestaña de sitio, después datos del sitio.

Los datos a modificar son los correspondientes a la ubicación de la vivienda, por lo que los datos deben coincidir con los de la ciudad de Cuernavaca, Morelos.

Por lo tanto, los datos a modificar en datos del sitio son los siguientes:

#### Ubicación

- Latitud: 18. 88°
- Longitud: -99. 23°
- Zona climática ASHRAE: 2B

#### Detalles del sitio

- Elevación sobre el nivel del mar: 1618.0m.

#### Terreno

- Temperaturas mensuales del terreno (°C): Ene (16.5°), Feb (18.7°), Mar (18.0°), Abr (23.1°), May (23.7°), Jun (20.1°), Jul (19.9°), Ago (19.7°), Sep (19.1°), Oct (19.4), Nov (17.9°), Dic (18.7°).

#### Datos climáticos para la simulación

- Datos climáticos horarios: Clima Cuernavaca Morelos.

Para la selección de los datos climáticos, se debe cargar el archivo de los datos de clima correspondientes a la ciudad de Cuernavaca, este archivo de clima debe estar generado en formato (.epw) el cual debe ser copiado en el AppData, en la carpeta Weather Data del software DesignBuilder para su lectura correcta.

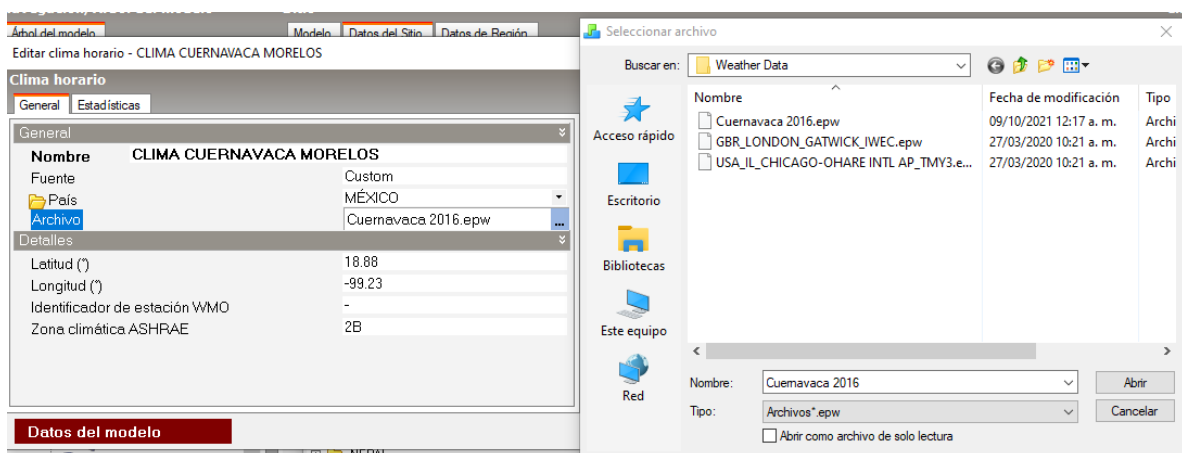


Figura 3.60: Ubicación del archivo de clima.

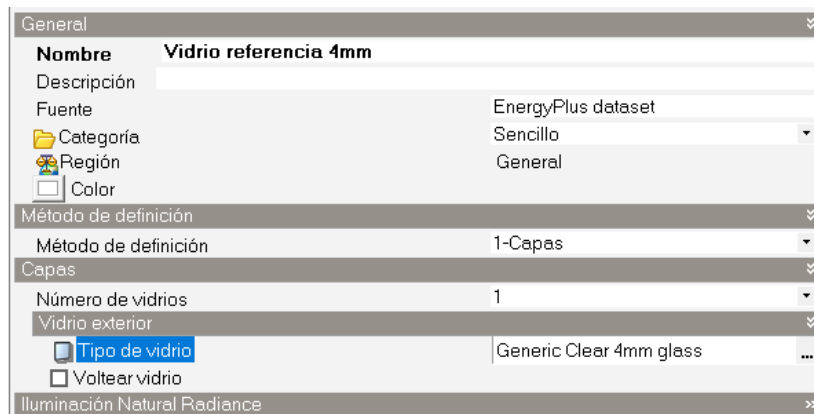
Seleccionados dichos datos, se concluye las modificaciones de este apartado, se vuelve a modelo, donde se modifican las aberturas, es decir, las ventanas realizadas en la vivienda.

Para esto, se selecciona la pestaña ventanas exteriores, donde para el tipo de acristalamiento se debe seleccionar cualquier archivo dentro de la carpeta “Sencillo”, al cual se le realiza una copia para su modificación de las propiedades.

Nombre: Vidrio referencia 4mm.

Capas: Número de vidrios 1.

Tipo de vidrio: Generic Clear 4mm glass.



*Figura 3.61: Propiedades del vidrio*

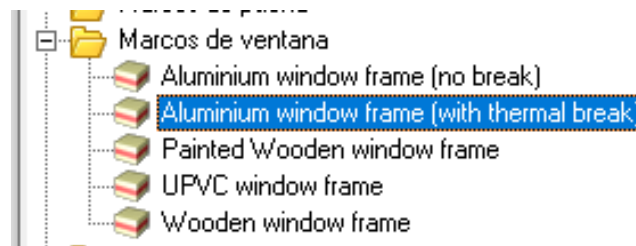
Por lo tanto, el acristalamiento de las ventanas exteriores de la vivienda quedó conformado como lo muestra la imagen anterior.

Para el Marco y Divisores, se realizan las siguientes modificaciones.

- Incluir marco/divisores- Activar

Cerramientos: Aluminium Window frame (with thermal break)

Para elegir el marco de la ventana se debe seleccionar la carpeta “Marcos de ventana” donde se selecciona el archivo mencionado anteriormente.



*Figura 3.62: Selección de marcos de ventana.*

Seleccionado dicho archivo predeterminado, las modificaciones para las ventanas exteriores concluye, una vez establecidas las modificaciones realizadas.

Se desarrolla la modificación de los cerramientos de la vivienda, donde los materiales y las propiedades de los mismos se presentan en el apartado de modelo físico de este capítulo, por lo que, deben ser modificados estos apartados en su totalidad.

## Cerramientos

Muros exteriores: Muros exteriores de referencia.

Las modificaciones de estos archivos y la aplicación de las modificaciones en cuanto a las propiedades de cada material, se realizan de manera similar a los procesos realizados en la verificación del software presente en este capítulo.

Donde para los muros, en este caso muros exteriores de referencia se agregan 3 capas, mortero, ladrillo y yeso, donde cada uno cuenta con un espesor distinto, propiedades termofísicas distintas, por lo que, en cada capa, se selecciona algún archivo y se le modifican sus propiedades de acuerdo a la tabla del apartado de Modelo físico de la vivienda.

Por ejemplo, el primer material de los muros es el mortero, donde el archivo lleva por nombre "Mortero exterior", se agregan las propiedades físicas y el espesor requerido.

The screenshot shows a software interface for defining material properties. The main window is titled 'General' and contains the following fields and sections:

- Nombre:** MORTERO EXTERIOR
- Descripción:** (empty)
- Fuente:** (empty)
- Categoría:** Revoques y enlucidos
- Región:** General
- Espesor de la Capa de Material:**
  - Fijar espesor
- Propiedades Térmicas:**
  - Detalladas** (expanded):
    - Propiedades termofísicas**

Conductividad (W/m-K)	0.7200
Calor específico (J/kg-K)	837.00
Densidad (kg/m³)	1890.00
  - Valor R** (collapsed)

Figura 3.63: Material "Mortero exterior".

Cada capa del material cuenta con una categoría afín, por lo que, se pueden encontrar materiales con las propiedades similares a las requeridas, pero éstas deben ser modificadas de manera general para evitar errores en la simulación.

Los muros de la vivienda de referencia quedan conformados de la siguiente manera. Cabe mencionar que estos materiales y los espesores, también conforman los muros interiores de la vivienda.

General	
<b>Nombre</b>	Muros exteriores de referencia
Fuente	
Categoría	Muros exteriores
Región	SPAIN
Color	
Definición	
Método de definición	1-Capas
Parámetros de cálculo	
Capas	
Número de capas	3
Capa más externa	
Material	MORTERO EXTERIOR
Espesor (m)	0.0150
<input type="checkbox"/> Puentes térmicos	
Capa 2	
Material	LADRILLO EXTERIOR
Espesor (m)	0.1400
<input type="checkbox"/> Puentes térmicos	
Capa más interna	
Material	YESO EXTERIOR
Espesor (m)	0.0150
<input type="checkbox"/> Puentes térmicos	

*Figura 3.64: Materiales que conforman muros exteriores.*

Siguiendo los mismos pasos, y la tabla de las propiedades termofísicas de los materiales requeridos, se deben modificar los datos de:

#### Cerramientos

- Cubiertas Planas: Techo- Techo de referencia.
- Particiones: Muros interiores de referencia.

#### Semi-expuestos

- Techos semi-expuestos: Techo de referencia.

#### Suelos

- Suelos sobre terreno: Suelo de referencia.
- Suelos exteriores: Piso superior de referencia.
- Suelos interiores: Piso superior de referencia.

Por lo tanto, estos datos quedan conformados de la siguiente manera.

El techo de referencia consta de 3 capas, impermeabilizante, concreto y yeso, por lo que, se establecen los espesores establecidos, así como también, sus propiedades termofísicas de cada material, utilizado para este espacio construido de la vivienda.

General	
<b>Nombre</b>	Techo de referencia
Fuente	
Categoría	Cubiertas
Región	SPAIN
Color	
Definición	
Método de definición	1-Capas
Parámetros de cálculo	
Capas	
Número de capas	3
Capa más externa	
Material	Impermeabilizante de referencia
Espesor (m)	0.0200
<input type="checkbox"/> Puentes térmicos	
Capa 2	
Material	Concreto de referencia
Espesor (m)	0.1000
<input type="checkbox"/> Puentes térmicos	
Capa más interna	
Material	YESO EXTERIOR
Espesor (m)	0.0150
<input type="checkbox"/> Puentes térmicos	

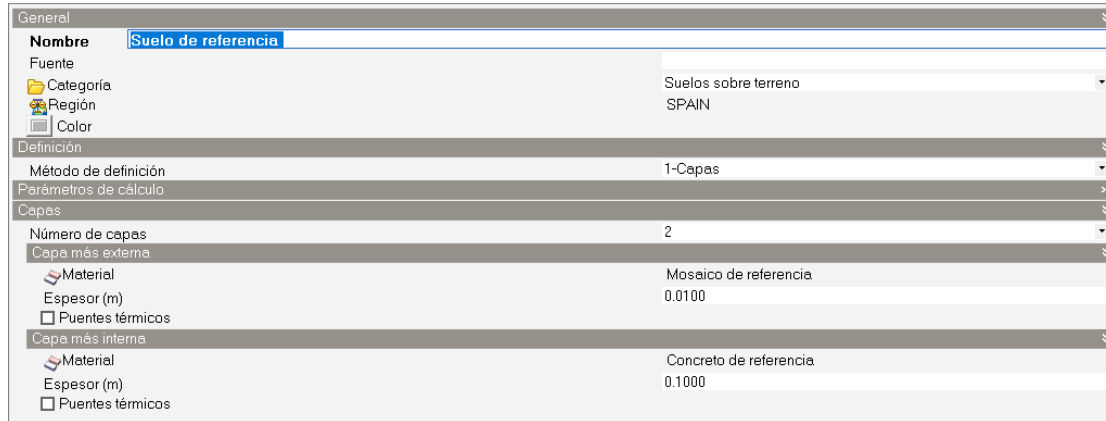
**Figura 3.65: Materiales que conforman el techo de la vivienda.**

Los muros interiores de este trabajo, contienen los mismos materiales, que los muros exteriores, ya que se establece solamente un dato para muros en general en el apartado de modelo físico, por lo que se conforma de la siguiente manera.

General	
<b>Nombre</b>	Muros interiores de referencia
Fuente	
Categoría	Muros exteriores
Región	SPAIN
Color	
Definición	
Método de definición	1-Capas
Parámetros de cálculo	
Capas	
Número de capas	3
Capa más externa	
Material	MORTERO EXTERIOR
Espesor (m)	0.0150
<input type="checkbox"/> Puentes térmicos	
Capa 2	
Material	LADRILLO EXTERIOR
Espesor (m)	0.1400
<input type="checkbox"/> Puentes térmicos	
Capa más interna	
Material	YESO EXTERIOR
Espesor (m)	0.0150
<input type="checkbox"/> Puentes térmicos	

**Figura 3.66: Materiales que conforman muros interiores.**

Para los suelos sobre terreno, se realiza un archivo el cual consta de 2 capas de material, concreto y mosaico. Para los cuales agregados las propiedades termofísicas de cada uno de ellos el archivo Suelo de referencia se compone de la siguiente manera.



*Figura 3.67: Materiales que conforman el suelo de la vivienda.*

El suelo sobre terreno quedó conformado como se muestra la imagen anterior, por lo que, el suelo interior, es decir, el que se encuentra en el segundo nivel de la vivienda, se compone de 3 capas, Mosaico, concreto y yeso, por lo que la imagen a continuación presenta la composición del archivo Piso superior de referencia el cual conforma los suelos interiores.



*Figura 3.68: Materiales que conforman el piso de la planta alta.*

Conformados los archivos de modificación para muros, techos y pisos de la vivienda, los cerramientos quedan constituidos con los materiales señalados en el modelo físico, así como también con las propiedades termofísicas propias de cada material. Antes de finalizar con la modificación de los cerramientos, en la pestaña de sub-superficies, se debe seleccionar el apartado de puertas exteriores y puertas interiores, donde, se debe seleccionar la puerta de madera, con el material predeterminado. Por lo que los cerramientos quedan conformados de la siguiente manera.

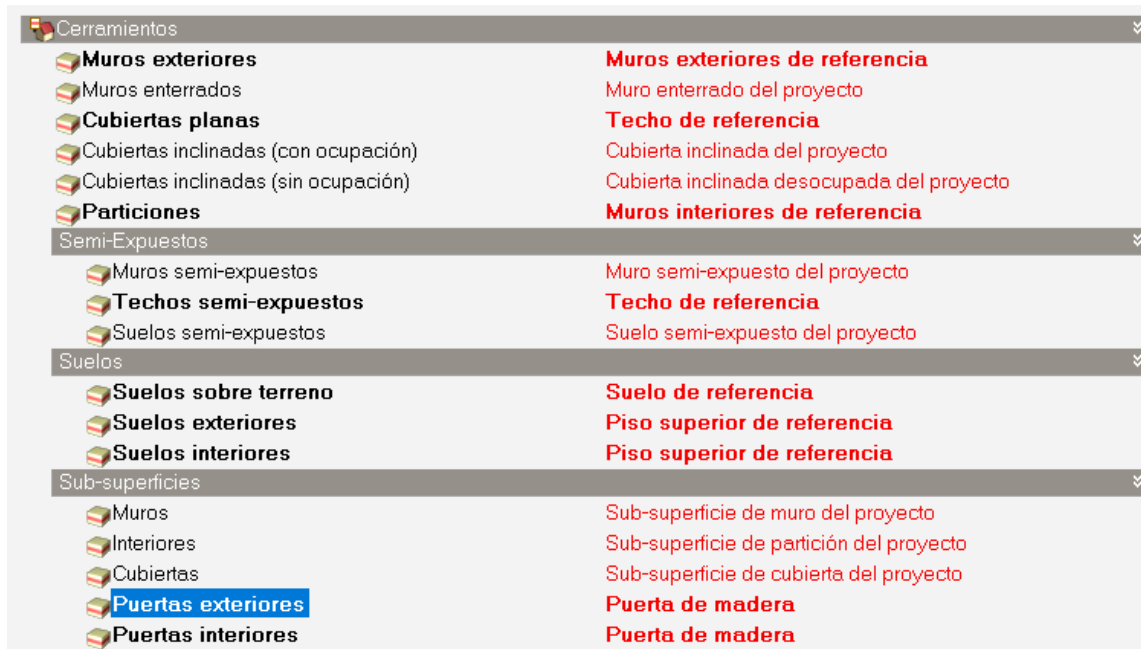


Figura 3.69: Cerramientos de la vivienda.

Para finalizar con la pestaña de cerramientos, se debe seleccionar la pestaña Estanqueidad del Aire, donde se debe activar la casilla “Modelar infiltración”, la tasa de renovación por hora es de 0.700, y la programación debe permanecer en On 24/7.



Figura 3.70: Programación de la infiltración del aire.

Esta simulación, se realiza en evolución libre, por lo que, no se le agrega actividad, ocupación, aparatos electrodomésticos, así como tampoco iluminación, por lo que, el último paso para conocer los resultados de este apartado es realizar la simulación. Teniendo los pasos anteriormente explicados la simulación puede ser realizada.

Para ello, los resultados obtenidos de esta simulación serán presentados en el capítulo 5 y estos serán nombrados como Sistema Constructivo de referencia.

## **Capítulo 4: Sistemas Constructivos como Objeto de Estudio**

**En este capítulo se presenta la ubicación geográfica en donde se localiza la vivienda, de la cual se muestran datos de clima como temperatura ambiente, radiación solar, velocidad del viento y humedad relativa, los cuales son datos recabados en un periodo de un año para la ubicación, se muestra también los sistemas constructivos a los que será sometidos la vivienda en la simulación contando con el tipo de material, espesor y sus condiciones termofísicas.**



#### 4.1 Ubicación Geográfica

El estado de Morelos se localiza en la parte central del país, en la vertiente del sur de la serranía del Ajusco y dentro de la cuenca del río Balsas. Está situado geográficamente entre los paralelos 18°22'05" y 19°07'10" de latitud norte, 93°37'08" y 99°30'08" de longitud oeste del meridiano de Greenwich. Colinda al norte con el Distrito Federal y el estado de México; al sur con Guerrero; al este con Puebla; y al oeste con el estado de México y Guerrero.

La superficie del estado es de 4,958 kilómetros cuadrados, cifra que representa el 0.25 por ciento del total nacional, ocupando el 30° lugar con relación a los demás estados. Cuenta con un total de 36 municipios de donde el municipio con mayor extensión territorial es Tlaquiltenango con 581.788 km<sup>2</sup>, y el más pequeño con apenas 28.531km<sup>2</sup> corresponde al municipio de Zacatepec (INEGI, 2020).

El clima que predomina es el cálido subhúmedo ya que se presenta en el 87 % de la superficie del estado, el 11% está representado por el clima templado húmedo, localizado en la parte norte del estado, el 2% está representado por clima templado subhúmedo, el cual se localiza hacia la parte noreste y también se presenta una pequeña zona con clima frío. La temperatura media anual del estado es de 21.5°C, la temperatura mínima promedio es de 10°C que se presenta en el mes de enero y la máxima promedio es alrededor de 32°C se presenta en los meses de abril y mayo. Las lluvias se presentan durante el verano en los meses de junio a septiembre, la precipitación media del estado es alrededor de 900 mm anuales (INEGI, 2020).

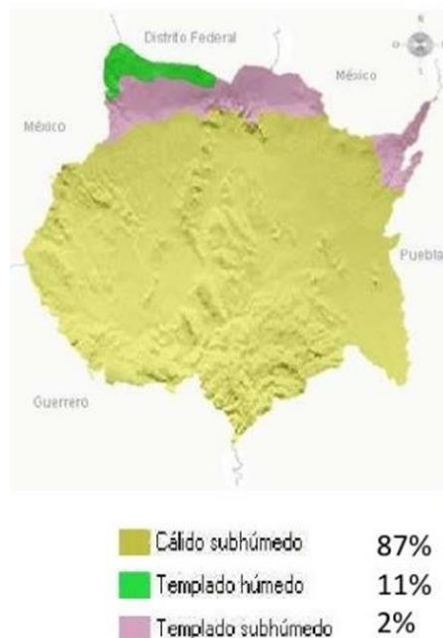


Figura 4.1: Los climas de Morelos por INEGI.

Para este estudio se consideró que la vivienda de referencia, se localizaba en Cuernavaca Morelos, donde se presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, para ello se requieren datos de clima, entre los cuales destacan la temperatura ambiente, radiación solar, velocidad del viento y la humedad relativa. Estos datos fueron recabados de la Estación Meteorológica Automática (EMA) el cual pertenece al sistema de monitoreo del Sistema Meteorológico Nacional (SMN), estos datos son recabados cada 10 minutos a lo largo del año y se realizan los promedios para ser presentados cada hora para la realización de la simulación (Ávila, 2018).

Los datos climáticos recabados, los cuales se mencionaron anteriormente se presentan en periodo mensual para cada uno de los parámetros, los cuales van de Enero a Diciembre, especificando el promedio mensual, del cual se realiza también un periodo anual de la temperatura, radiación solar, velocidad del viento y la humedad relativa, los cuales se presentan en la siguiente tabla, en donde se observa que para el mes de mayo se presentó una temperatura de 27.5°C siendo este el mes más caluroso, y para el mes más frío se encuentra Enero con una temperatura promedio mensual de 18.5°C.

*Tabla 4.1: Datos climáticos de Cuernavaca, Morelos.*

<b>Mes</b>	<b>T. Ambiente (°C)</b>	<b>Radiación solar (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Velocidad del viento (m/s)</b>	<b>Humedad Relativa (%)</b>
<b>Enero</b>	18.5	185.81	2	50
<b>Febrero</b>	20.7	240.50	2	38
<b>Marzo</b>	22.0	246.27	2.2	45
<b>Abril</b>	25.1	281.96	2.2	35
<b>Mayo</b>	25.7	270.64	1.8	48
<b>Junio</b>	22.1	269.91	1.7	75
<b>Julio</b>	21.9	283.67	1.8	74
<b>Agosto</b>	21.7	268.37	1.7	80
<b>Septiembre</b>	21.1	241.69	1.6	84
<b>Octubre</b>	21.4	243.25	1.8	73
<b>Noviembre</b>	19.9	217.04	1.8	69
<b>Diciembre</b>	20.7	216.44	2	54
<b>Promedio Anual</b>	21.7	247.1	1.9	60

En la tabla 4.1 se muestra el comportamiento de la temperatura ambiente, radiación solar, velocidad del viento y humedad relativa, durante el año a estudiar. En el caso de la temperatura del aire se observa que el mes de enero es el mes más frío (18.5°C) y mayo es el mes más cálido (25.9°C) con excepción de estos dos meses y abril, el resto del año la temperatura promedio oscila entre 20 y 22°C.

En el caso de la radiación solar se observa que el mes con menor radiación solar es enero  $185.81 \text{ W/m}^2$  mientras que el mes de abril y julio muestran una radiación solar similar con  $281.96$  y  $283.67 \text{ W/m}^2$  siendo los meses que presentan mayor radiación solar.

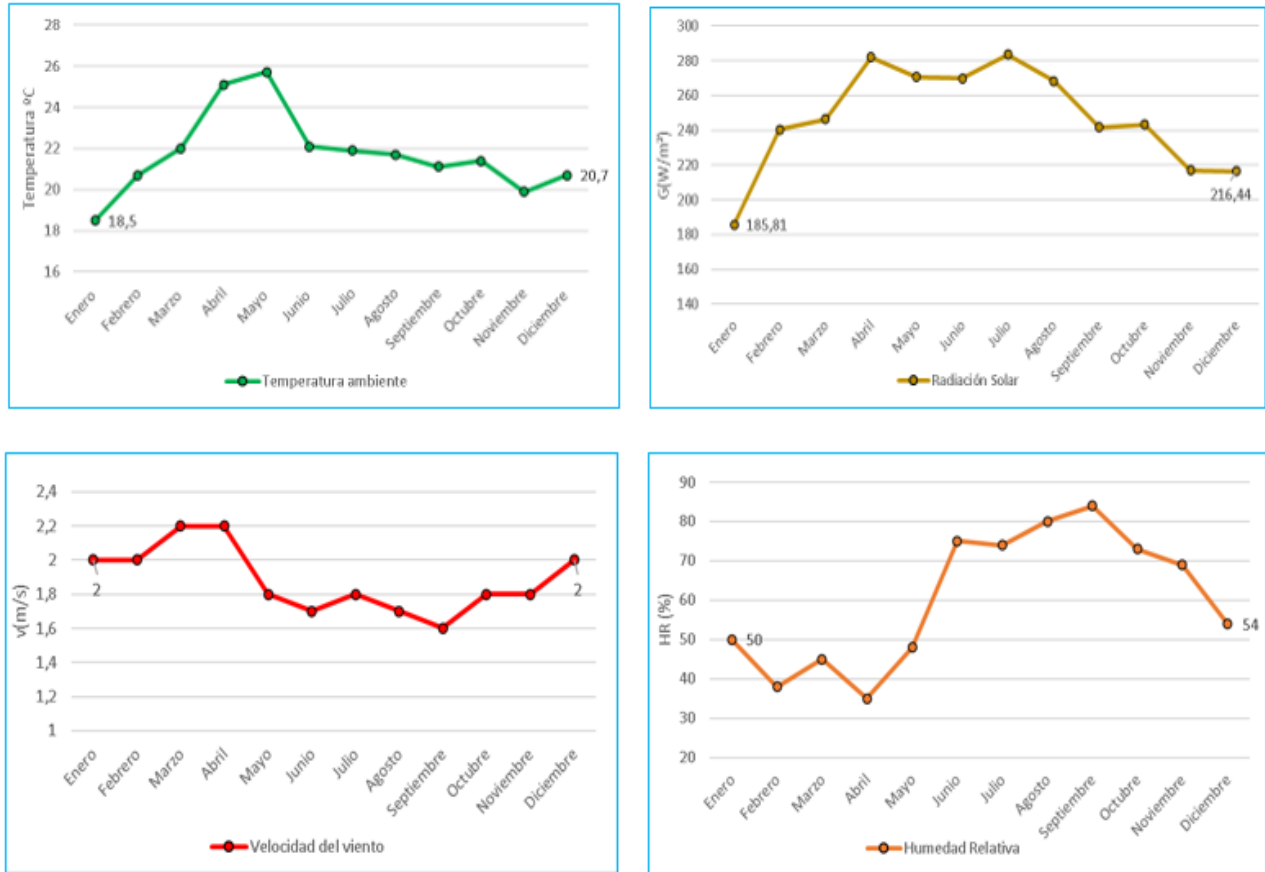


Figura 4.2: Gráficos de los datos climáticos.

Por otra parte, el comportamiento de la velocidad del viento muestra que el mes de marzo y abril son los meses con mayor viento registrado ( $2.2 \text{ m/s}$ ) y septiembre el mes con menor velocidad de viento teniendo  $1.6 \text{ m/s}$ , del año estudiado se obtiene un promedio anual de  $1.9 \text{ m/s}$  en la velocidad del viento.

Finalmente, en el caso de la humedad relativa se observa que el mes de septiembre alcanza el mayor porcentaje con un  $84\%$  mientras que, abril tiene un  $35\%$  siendo el mes con menor porcentaje registrado para el año.

De acuerdo a Huelsz en el 2011, en el Estado de Morelos, se utilizaron 26 tipos de muros diferentes en las viviendas residenciales de interés social, de los cuales se seleccionaron los 7 tipos de muros más utilizados.

En la tabla se presentan los elementos que componen cada tipo de muro.

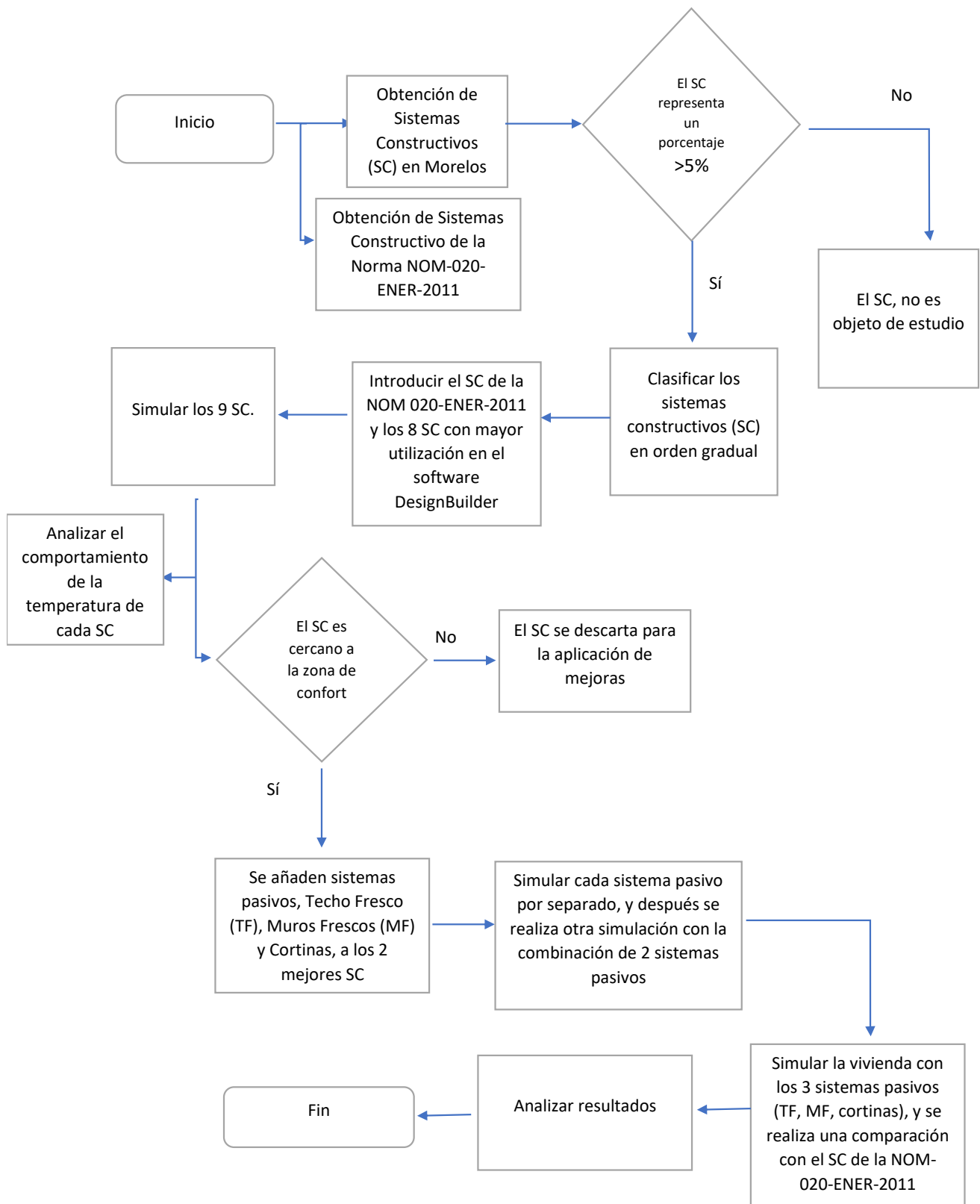
*Tabla 4.2: Sistemas constructivos de los muros propuestos por Huelsz 2011 y el muro de referencia.*

<b>Tipo de Muro</b>	<b>Capas de Material (Exterior- Interior)</b>
<b>Muro de referencia</b>	Mortero+ Ladrillo+ Yeso
<b>SC-3</b>	Aplanado con retex+ rebatido con pasta stublock+ tabique 12cm+aplanado texturizado fino con retex.
<b>SC-4</b>	Aplanado con retex + rebatido con pasta stublock+ tabique 10cm+ aplanado texturizado fino con retex.
<b>SC-6</b>	Aplanado con retex+ rebatido con pasta stublock +revestimiento de resina acrílica malla de fibra de vidrio+ placa EPS+ block de concreto+ yeso blanco.
<b>SC-7</b>	Textura retex+ rebatido con stublock gris+ block hueco+ rebatido con pasta stublock+ aplanado con textura retex.
<b>SC-8</b>	Pasta stublock blanca para acabado con textura+ pasta stublock para rebatido+ block aligerado.
<b>SC-22</b>	Pasta acrílica + concreto armado+ pasta acrílica con textura fina.
<b>SC-24</b>	Aplanado con mortero de arena-cemento+ block hueco+ aplanado con mortero de arena-cemento+ acabado rastreado con yeso.

De los 26 tipos de muros, los 7 muros más utilizados son el muro SC-3 (9.5%), muro SC-4 (6.6%), muro SC-6 (8.2%), muro SC-7 (9%), muro SC-8 (9.5%), muro SC-22 (7.5%) y el SC-24 (8%) del total de muros utilizados para las viviendas residenciales de interés social (Huelsz, 2011).

#### **4.2 Metodología de Solución**

Para este trabajo la metodología a seguir para el cumplimiento de los objetivos tanto general como específicos, es necesario plantear la metodología exacta, de los pasos a seguir para llegar al punto final del trabajo, por lo que, a continuación, se presenta un diagrama de flujo, en el cual se encuentran los pasos que se dieron en este trabajo en particular.



### 4.3 Sistemas Constructivos a estudiar

En la sección 3.2 se presentó la introducción de la vivienda de referencia en el software DesignBuilder. En esta sección se presentan los diferentes tipos de muros que se van a estudiar, manteniendo igual los demás componentes de la vivienda de referencia, es decir, el único elemento que se va a modificar es el de la figura 3.63, donde podrá variar el número de capas dependiendo del caso a estudiar.

El primer caso a evaluar es el muro SC-3, el cual consta de 4 capas y tiene un espesor de 0.15m. En la tabla 4.1 se presentan las propiedades físicas y térmicas del muro.

*Tabla 4.3: Sistema constructivo (SC-3).*

Tipo de Material	Absortancia externa	Capa de Material ext-int	Espesor (m)	Conductividad Térmica (W/m k)	Calor específico (J/kg K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Muro SC-3	0.7	Aplanado con retex	0.010	1	1000	1900
		Rebatido con pasta stublock	0.010	0.72	840	1860
		Tabique 12cm	0.120	0.72	790	1922
		Aplanado texturizado fino con retex	0.010	1	1000	1900

El segundo caso a estudiar es el muro SC-4 el cual al igual que el caso anterior muestra el mismo número de capas en los muros cambiando solamente el espesor del tabique, los materiales son aplanado con retex, rebatido con pasta stublock, tabique de 10cm, y aplanado texturizado fino con retex, en la tabla con sus respectivas referencias.

*Tabla 4.4: Sistema constructivo (SC-4).*

Tipo de Material	Absortancia externa	Capa de Material ext-int	Espesor (m)	Conductividad Térmica (W/m k)	Calor específico (J/kg K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Muro SC-4	0.7	Aplanado con retex	0.010	1	1000	1900
		Rebatido con pasta stublock	0.010	0.72	840	1860
		Tabique 10cm	0.100	0.72	790	1922
		Aplanado texturizado fino con retex	0.010	1	1000	1900

El siguiente caso es el muro SC-6 este sistema constructivo consta de 6 capas, las cuales son: aplanado con retex, rebatido con pasta stublock, revestimiento de resina acrílica malla de fibra de vidrio, placa EPS, block de concreto y yeso blanco, las cuales se especifican en la tabla 4.5.

*Tabla 4.5: Sistema constructivo (SC-6).*

Tipo de Material	Absortancia externa	Capa de Material ext-int	Espesor (m)	Conductividad Térmica (W/m k)	Calor específico (J/kg K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Muro SC-6	0.7	Aplanado con retex	0.015	1	1000	1900
		Rebatido con pasta stublock	0.015	0.72	840	1860
		Revestimiento de resina acrílica malla de fibra de vidrio	0.015	0.72	840	1860
		Placa EPS	0.025	0.038	1400	24
		Block de concreto	0.120	0.51	1000	1400
		Yeso blanco	0.010	0.81	837	1800

También se presenta el sistema constructivo SC-7, este sistema consta de 5 capas de material los cuales son, textura retex, rebatido con stublock gris, block hueco, rebatido con pasta stublock y aplanado con textura retex.

*Tabla 4.6: Sistema constructivo (SC-7).*

Tipo de Material	Absortancia externa	Capa de Material ext-int	Espesor (m)	Conductividad Térmica (W/m k)	Calor específico (J/kg K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Muro SC-7	0.7	Textura retex	0.005	1	1000	1900
		Rebatido con stublock gris	0.005	0.72	840	1860
		Block hueco	0.120	0.5	1000	1200
		Rebatido con pasta stublock	0.010	0.72	840	1860
		Aplanado con textura retex	0.010	1	1000	1900

El siguiente sistema constructivo a evaluar es el SC-8, este sistema consta de 3 capas, los materiales son, pasta stublock blanca para acabado con textura, pasta stublock para rebatido y block aligerado.

*Tabla 4.7: Sistema constructivo (SC-8).*

Tipo de Material	Absortancia externa	Capa de Material ext-int	Espesor (m)	Conductividad Térmica (W/m k)	Calor específico (J/kg K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Muro SC-8	0.7	Pasta stublock blanca para acabado con textura	0.010	0.72	840	1860
		Pasta stublock para rebatido	0.020	0.72	840	1860
		Block aligerado	0.120	0.19	1000	600

Como siguiente sistema constructivo se muestra el SC-22, el cual cuenta con 3 capas de material en los muros, se encuentra como primer capa pasta acrílica, concreto armado y pasta acrílica con textura fina, los cuales son presentados en la siguiente tabla.

*Tabla 4.8: Sistema Constructivo (SC-22).*

Tipo de Material	Absortancia externa	Capa de Material ext-int	Espesor (m)	Conductividad Térmica (W/m k)	Calor específico (J/kg K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Muro SC-22	0.7	Pasta acrílica	0.010	1	1000	1900
		Concreto armado	0.130	2	1000	2400
		Pasta acrílica con textura fina	0.010	1	1000	1900

Como último sistema constructivo SC-24, muestra un material de 4 capas, aplanado con mortero de arena-cemento, block hueco, aplanado con mortero de arena-cemento, acabado rastreado con yeso, los cuales se presentan en la siguiente tabla.



*Tabla 4.9: Sistema Constructivo (SC-24).*

Tipo de Material	Abs externa	Capa de Material ext-int	Espesor (m)	Conductividad Térmica (W/m k)	Calor específico (J/kg K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Muro SC-24	0.7	Aplanado con mortero de arena-cemento	0.010	0.87	1000	1600
		Block hueco	0.120	0.5	1000	1200
		Aplanado con mortero de arena-cemento	0.010	0.87	1000	1600
		Acabado rastreado con yeso	0.010	0.81	837	1800

Además de los muros reportados por Huelsz en el 2011 se adicionó el sistema comúnmente utilizado en la autoconstrucción de viviendas el cual solamente cuenta con 3 capas, son Mortero de cemento, tabique común y Mortero de cemento, este sistema constructivo es utilizado en su mayoría para las construcciones de viviendas comunes, a continuación, se muestra los valores específicos de los materiales de dicho sistema constructivo.

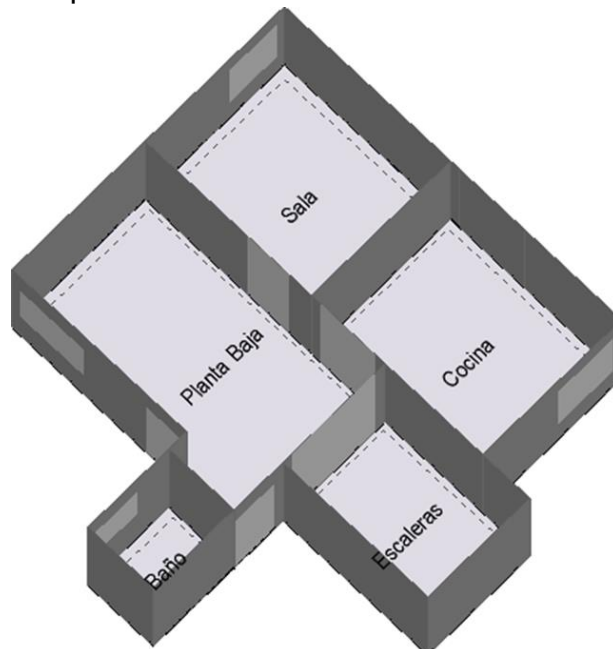
*Tabla 4.10: Sistema constructivo (SC-AB).*

Tipo de Material	Absortancia externa	Capa de Material ext-int	Espesor (m)	Conductividad Térmica (W/m k)	Calor específico (J/kg K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Muro SC- AB	0.7	Mortero de cemento	0.010	0.87	1000	1600
		Tabique 12cm	0.120	0.72	790	1922
		Mortero de cemento	0.010	0.87	1000	1600

#### 4.4 Áreas Térmicas

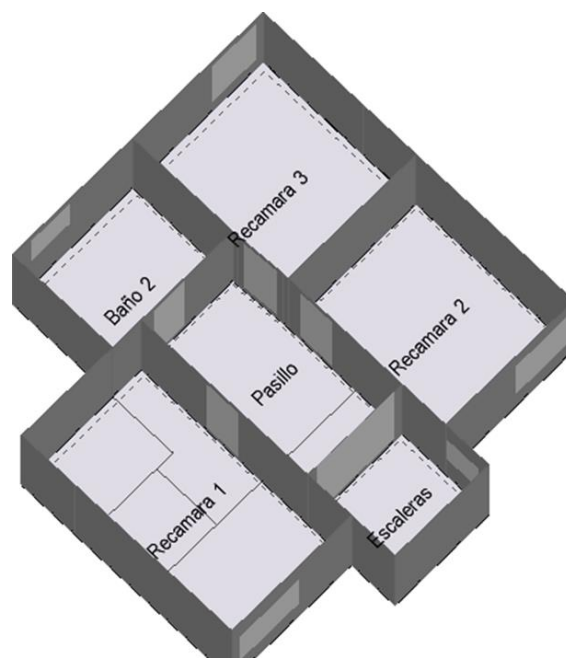
Para la delimitación de las áreas térmicas, se seccionó la vivienda de referencia en dos zonas, lo cual es delimitado por sus niveles, es decir, Planta Baja y Planta Alta, los cuales fueron divididos en otras áreas para su estudio, la planta baja cuenta con un área total de construcción de 40m<sup>2</sup>, esta zona se dividió en 3 áreas principales, las cuales son: Cocina, sala y comedor, las dos primeras zonas cuentan con un área total de 9.5m<sup>2</sup>, mientras que el comedor tiene 15m<sup>2</sup>, en este mismo piso se encuentra un baño y las escaleras que dan el acceso hacia el segundo nivel de la vivienda. La planta alta, cuenta con 3 recamaras, en las cuales se realiza la división, un dormitorio principal de 12m<sup>2</sup>, y dos secundarios con 9.5m<sup>2</sup>, un baño y el pasillo de acceso a las recámaras. Para el estudio de cada una de las áreas, se delimitaron

para conocer su estado de comportamiento del ambiente dentro de ellas, por lo tanto, la planta baja se considera como una sola en su totalidad, esto, debido a que, no se encuentra limitada por puertas y es un espacio abierto entre sí. Por último, la planta alta se dividió respectivamente entre las tres recámaras existentes.



*Figura 4.3: Planta Baja de la vivienda de referencia.*

En la figura 4.3 se observa la distribución de la planta baja de la vivienda, así como sus respectivas divisiones de las áreas que conforman la planta baja, donde el baño y las escaleras no formarán parte del estudio, debido a que no existe una permanencia constante dentro de estas áreas de la vivienda.



*Figura 4.4: Planta alta de la vivienda de referencia.*

En la planta alta (Figura 4.4), se observan las separaciones de cada una de las 3 recámaras existentes donde, cada una de ellas se estudiará particularmente para conocer su temperatura dentro de la misma, cabe mencionar que el pasillo, el baño y las escaleras, son descartados del estudio debido a que no existe una habitabilidad dentro de estas zonas, como sí lo es en las 3 recámaras presentes, así como también, las recámaras se encuentran separadas del pasillo por una puerta de madera.

#### **4.5 Temperatura de Confort**

La temperatura de confort es la sensación neutra de una persona respecto a un ambiente térmico, los parámetros para determinar el confort son aquellas características del espacio determinado como son: temperatura del aire, la radiación, humedad y el movimiento (Pensantes, 2012). Como menciona Pensantes en 2012, la temperatura de confort es donde cualquier persona se encuentra en un punto donde no siente frío y tampoco calor, un punto neutro, el cual se busca que permanezca a lo largo de todo el día dentro de una habitación y que se prevé que esta temperatura neutra perdure siempre para poder lograr la realización de las actividades diarias de un integrante o de toda la familia en general dentro de una vivienda. Para este caso de estudio el tipo de confort térmico que será utilizado es el método adaptativo propuesto por Nicol en 2004, en donde este método se basa de acuerdo con que cada individuo se adapte al espacio en general que habita, este método considera aspectos de vestimenta, ventilación, uso de cortinas y calor metabólico, haciendo que estas actividades influyan en la adaptación propia de un individuo.

Para este modelo se propone una ecuación donde se involucra la temperatura ambiente del exterior, para poder encontrar la temperatura de confort.

$$T_c = 0.534(T_a) + 12.9 \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Donde  $T_c$  es la temperatura de confort, mientras que  $T_a$  es la temperatura ambiente externa, esta ecuación propuesta por Nicol, también permite conocer la zona de confort ( $Z_c$ ) donde para esto se traduce de la siguiente forma.

$$Z_c = T_c \pm 2^\circ\text{C} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Para este caso se obtienen las temperaturas ambientes a través de la estación meteorológica IMTA, donde se calcula y se presentan los datos de la temperatura de confort, así como el rango de la zona de confort, en su límite máximo, como en su límite menor, con la aplicación de las ecuaciones mencionadas anteriormente.

*Tabla 4.11: Delimitación de la zona de confort.*

Mes	Temperatura ambiente	Temperatura de confort	Zona de confort	
			T. mínima	T. máxima
<b>Enero</b>	18.5°	22.8°	20.8°	24.8°
<b>Febrero</b>	20.7°	24°	22°	26°
<b>Marzo</b>	22.0°	24.7°	22.7°	26.7°
<b>Abril</b>	25.1°	26.3°	24.3°	28.3°
<b>Mayo</b>	25.7°	26.6°	24.6°	28.6°
<b>Junio</b>	22.1°	24.7°	22.7°	26.7°
<b>Julio</b>	21.9°	24.6°	22.6°	26.6°
<b>Agosto</b>	21.7°	24.5°	22.5°	26.5°
<b>Septiembre</b>	21.1°	24.2°	22.2°	26.2°
<b>Octubre</b>	21.4°	24.3°	22.3°	26.3°
<b>Noviembre</b>	19.9°	23.5°	21.5°	25.5°
<b>Diciembre</b>	20.7°	24.0°	22°	26°

## **Capítulo 5: Resultados**

**En este capítulo se muestran los resultados obtenidos de los sistemas constructivos utilizados, así como también del sistema constructivo de referencia, la comparativa de temperaturas generada por los sistemas constructivos, las ganancias de energía obtenidas de los mismos, así como la selección de los 2 mejores sistemas constructivos conforme a la temperatura de confort y el consumo energético medido en costos de luz.**

## 5.1 Sistema constructivo de referencia

Para los sistemas constructivos incluido el sistema constructivo de referencia se utilizó una simbología de colores, en cuanto a las áreas térmicas estudiadas dentro de cada simulación por lo que:

- Planta Baja: Línea Azul.
- Recámara 1: Línea Naranja.
- Recámara 2: Línea Gris.
- Recámara 3: Línea Amarilla.
- Temperatura de confort: Franja Azul.

A continuación, se muestra el resultado de las temperaturas obtenidas para el sistema constructivo de referencia, para el cual, las temperaturas de las zonas, quedaron por arriba de la zona de confort establecida. En la figura 5.1 se presenta el comportamiento de la temperatura durante el año de las diferentes zonas estudiadas (planta baja- azul, recámara 1- naranja, recámara 2- gris, recámara 3- amarillo), se observa que solamente en el mes de enero, marzo, agosto y septiembre la planta baja se encuentra dentro de la zona de confort, mientras que para las demás zonas solamente la recámara 3 en el mes de enero encuentra dentro de la zona de confort. Por lo tanto, este sistema constructivo se encuentra arriba de la zona de confort establecida.

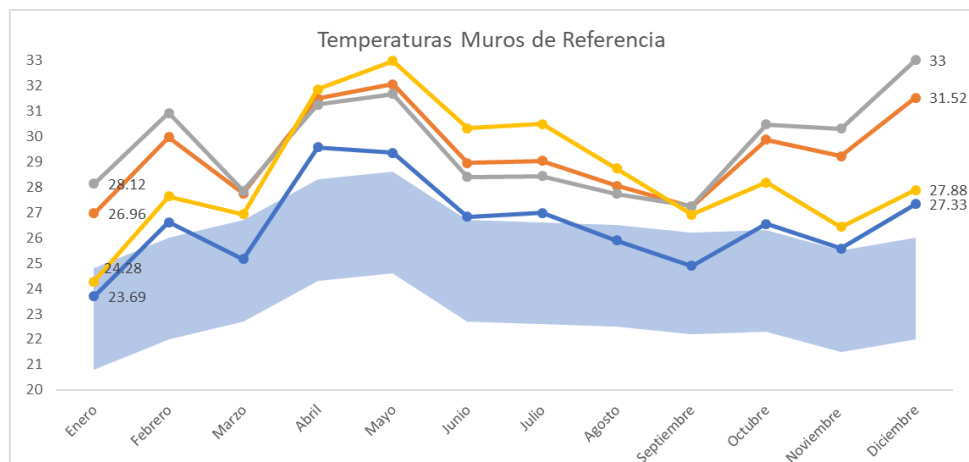


Figura 5.1: Gráfico representativo de las temperaturas con el sistema constructivo de referencia.

## 5.2 Sistemas Constructivos Seleccionados

Los sistemas constructivos seleccionados corresponden a los 8 sistemas elegidos debido a su mayor utilidad en cuanto a viviendas conformadas por dichos sistemas. Por lo tanto, realizada la simulación propia de cada sistema, se realizó un gráfico para el cual contiene las temperaturas de las zonas térmicas estudiadas, como primer sistema se encuentra el sistema constructivo SC-3. En el cual se presenta el siguiente gráfico con su respectiva comparativa en cuanto a la zona de confort.

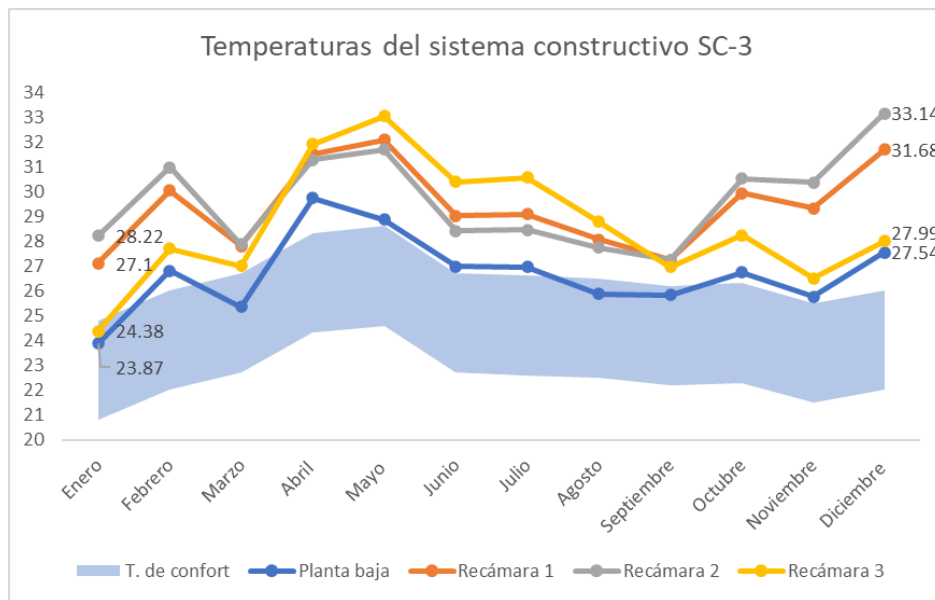


Figura 5.2: Temperaturas del sistema constructivo SC-3.

En el sistema constructivo (SC-3), las temperaturas más cercanas a la zona de confort pertenecen a la planta baja, donde, algunos meses (enero, marzo, agosto, septiembre) se encuentran dentro de dicha zona, así como también el mes de enero en la recámara 3, mientras que los meses restantes las zonas de estudio se encuentran fuera de la zona de confort.

El sistema constructivo (SC-4), presenta un comportamiento gráfico similar al del SC-3, pero para este caso, las temperaturas presentan una ligera elevación en comparación con el sistema anterior, es decir, las temperaturas dentro de este sistema son más altas, por lo que, encontrar el confort térmico en este tipo de viviendas, es más complicado para los ocupantes de la misma.

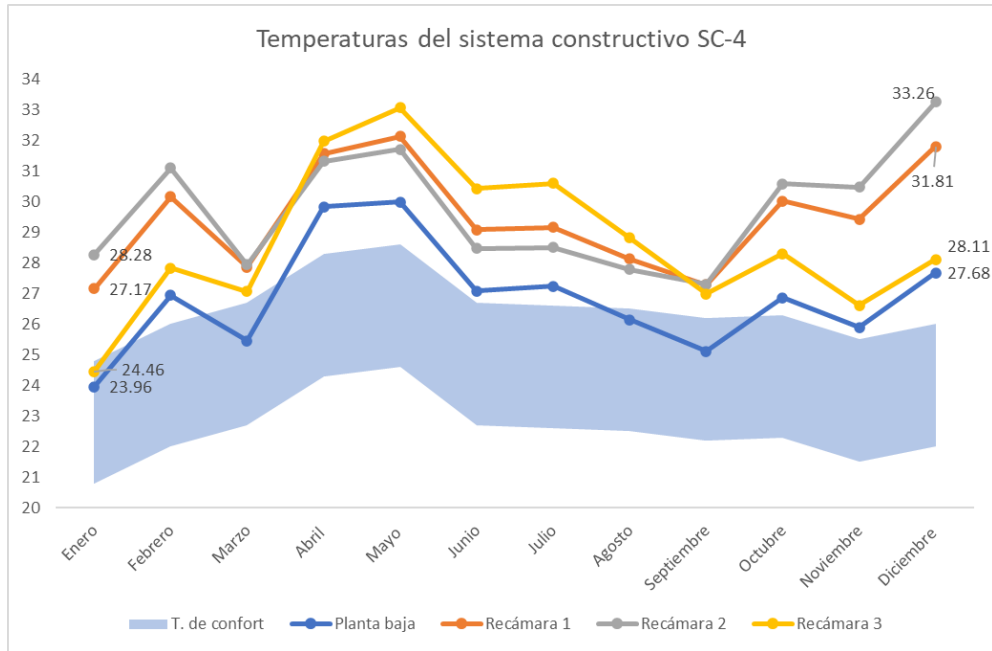


Figura 5.3: Temperaturas del sistema constructivo SC-4.

El sistema constructivo (SC-6), es caso contrario a los anteriores, ya que, en este sistema las temperaturas en su mayoría disminuyeron significativamente, donde, la planta baja en su totalidad se encuentra dentro de la zona de confort, por lo que, la temperatura de confort en esta área térmica, se encuentra totalmente dentro de la zona, mientras que, para la recámara 3, se presentan 3 meses (enero, marzo, noviembre) dentro de la misma zona, existiendo una mayor cercanía con la zona por los demás puntos representando los meses restantes.

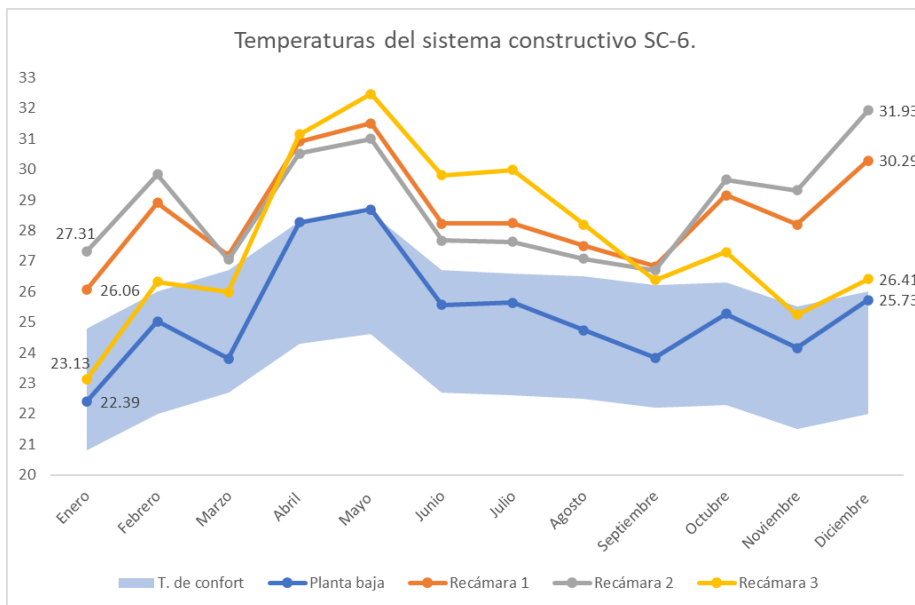


Figura 5.4: Temperaturas del sistema constructivo SC-6.



El sistema constructivo (SC-8) presenta un comportamiento similar al sistema anterior sistema, pero en esta ocasión, para la planta baja en los meses abril y mayo, están fuera de la zona de confort, pero aún son muy cercanos a la misma, mientras que las recámaras, solo para la recámara 3, existen puntos dentro de la zona, mientras que los restantes permanecen fuera de ella.

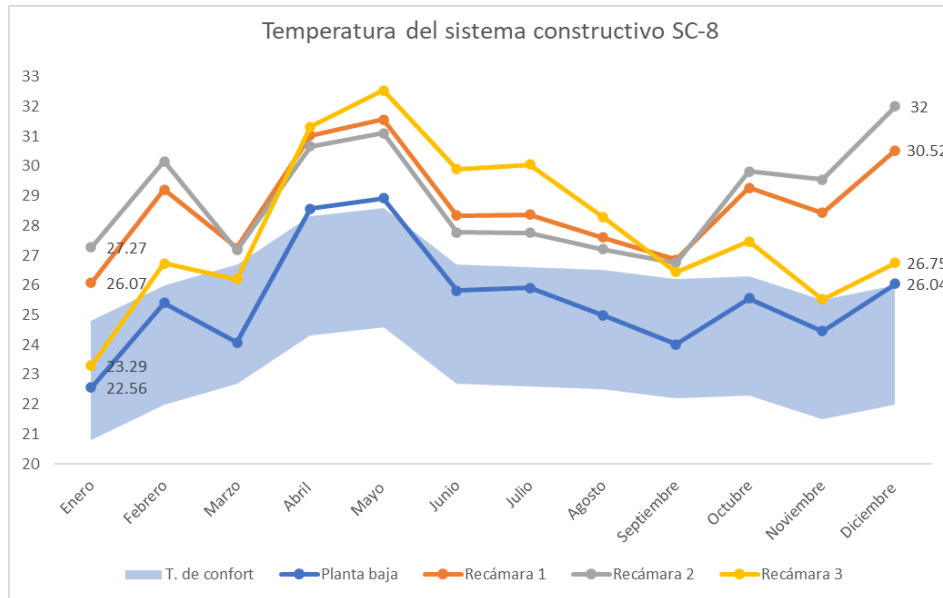


Figura 5.5: Temperaturas del sistema constructivo SC-8.

A continuación, se presenta el sistema constructivo (SC-7), en el cual, las temperaturas incrementaron en comparativa con el sistema anterior, pero se encuentran dentro de la zona de confort a excepción de los meses febrero, abril, mayo, julio y diciembre, por lo que, casi la mitad está fuera, y por ello, se puede notar el incremento de las temperaturas con el uso de dicho sistema constructivo.

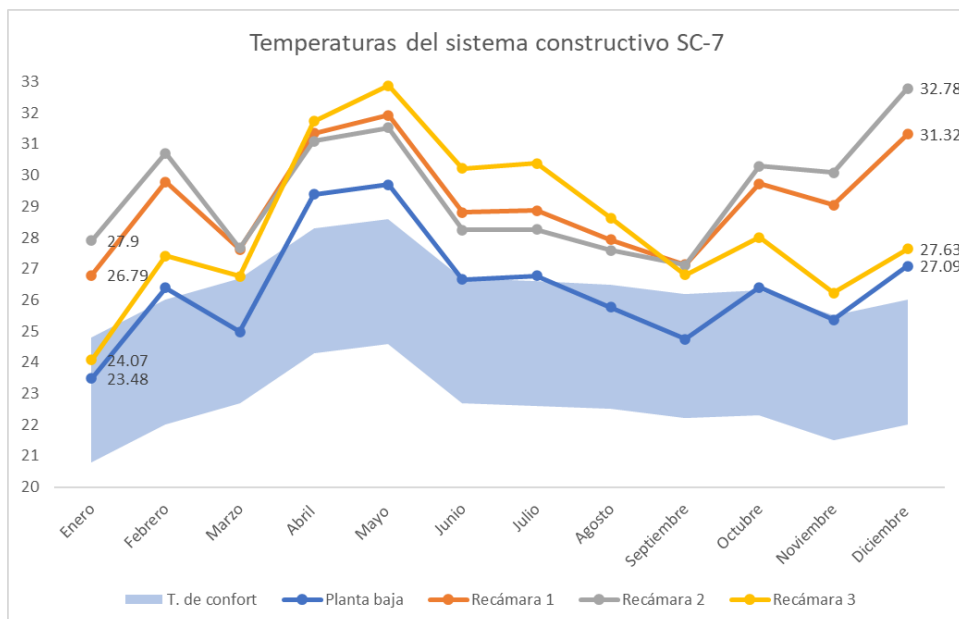


Figura 5.6: Temperaturas del sistema constructivo SC-7.

En el sistema constructivo (SC-22), se observa que las temperaturas en su mayoría salen de la zona de confort, donde, solo en el mes de enero y septiembre para la planta baja se encuentran dentro de ella, pero a su vez, se observa el incremento de temperatura en las áreas térmicas restantes, donde existen temperaturas de casi los 34°C en algunos meses del año.

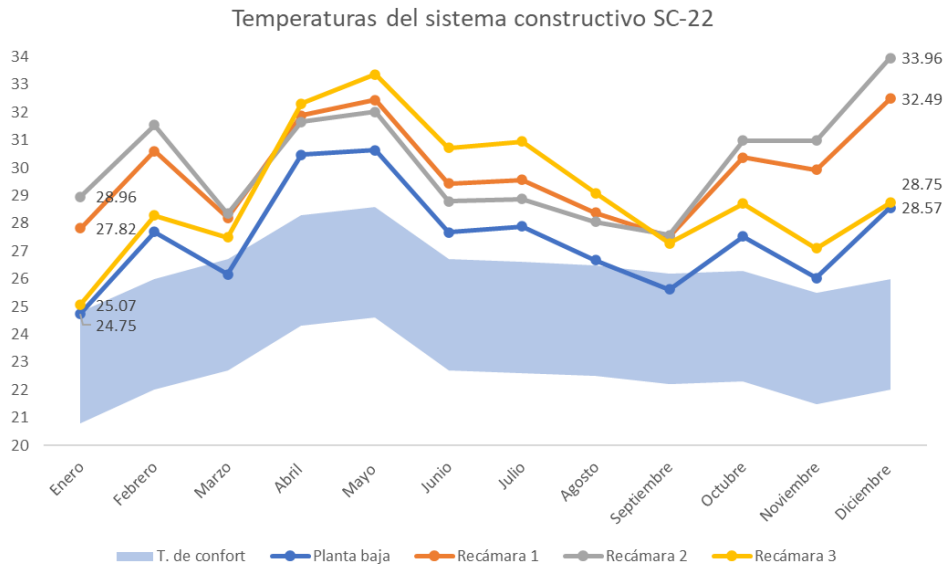


Figura 5.7: Temperaturas del sistema constructivo SC-22.

Para el sistema constructivo (SC-24), las temperaturas de la planta baja se mantienen dentro de la zona de confort, no obstante, existen meses donde se encuentran fuera de la misma, mientras que las temperaturas de las áreas térmicas restantes se encuentran por encima de la zona de confort, pero no son números tan altos como lo fue el caso anterior.

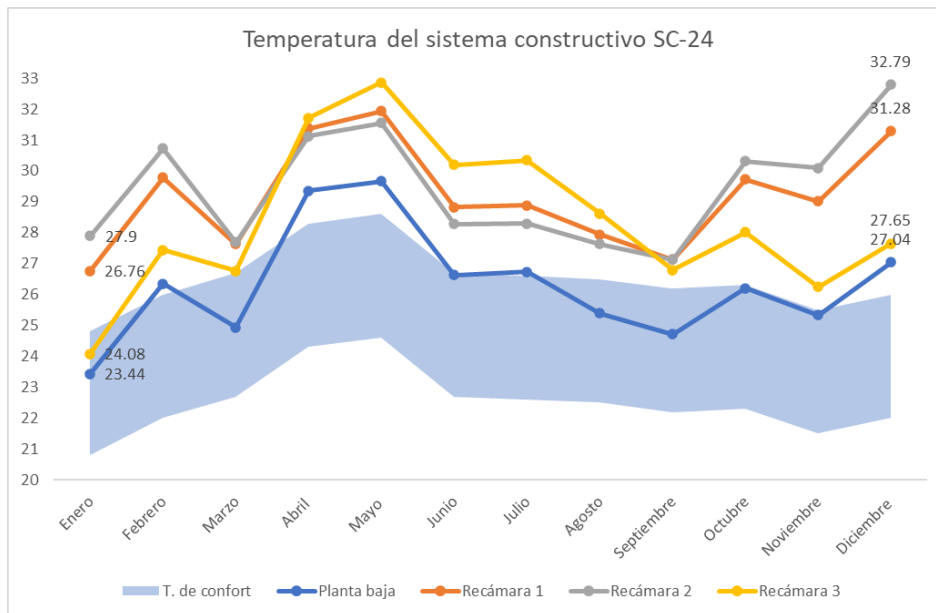
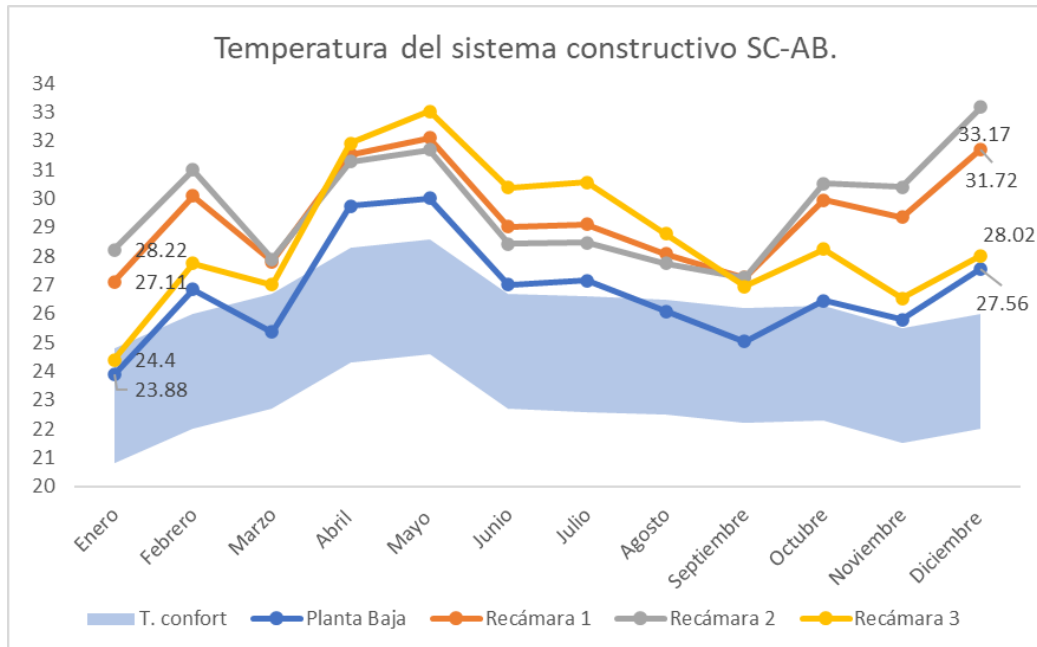


Figura 5.8: Temperaturas del sistema constructivo SC-24.

Por último, se realizó la simulación del sistema constructivo (SC-AB), donde por las características del sistema es el más común utilizado en la vivienda tradicional, por lo que, al obtener los resultados de la simulación se observa que incluso se pueden alcanzar temperaturas cerca de los 33°C en algunas áreas térmicas, mientras que, para la planta baja, en escasos meses la temperatura se encuentra dentro de la zona de confort.



**Figura 5.9: Temperaturas del sistema constructivo SC-AB.**

Con base en cada uno de los sistemas constructivos mencionados, se observa que, de todos los sistemas constructivos analizados, el sistema constructivo SC-6 es el único sistema que está dentro de la franja de la zona de confort los 12 meses del año, en la planta baja, seguido del sistema constructivo SC-8, el cual tiene 10 meses dentro de la zona de confort, para las condiciones climáticas de la ciudad de Cuernavaca, Morelos. La recámara principal y las otras dos, mantienen temperaturas más estables en comparación de los demás sistemas, incluso la recámara 3, llega a permanecer en el máximo de la franja de confort por unos meses, esta comparación ayuda a predecir el comportamiento de las temperaturas dentro de la vivienda de referencia poniendo o interactuando con los materiales que se encuentran en los muros constructivos de cada sistema. En este estudio se presentan distintas combinaciones de los materiales, en 9 sistemas constructivos distintos, entre los cuales se destacan el que mejor habitabilidad presenta en cuanto a la zona de confort dentro de cada una de las zonas térmicas en donde se realiza el estudio.

Tabla 5.1: Temperaturas mensuales en los sistemas constructivos.

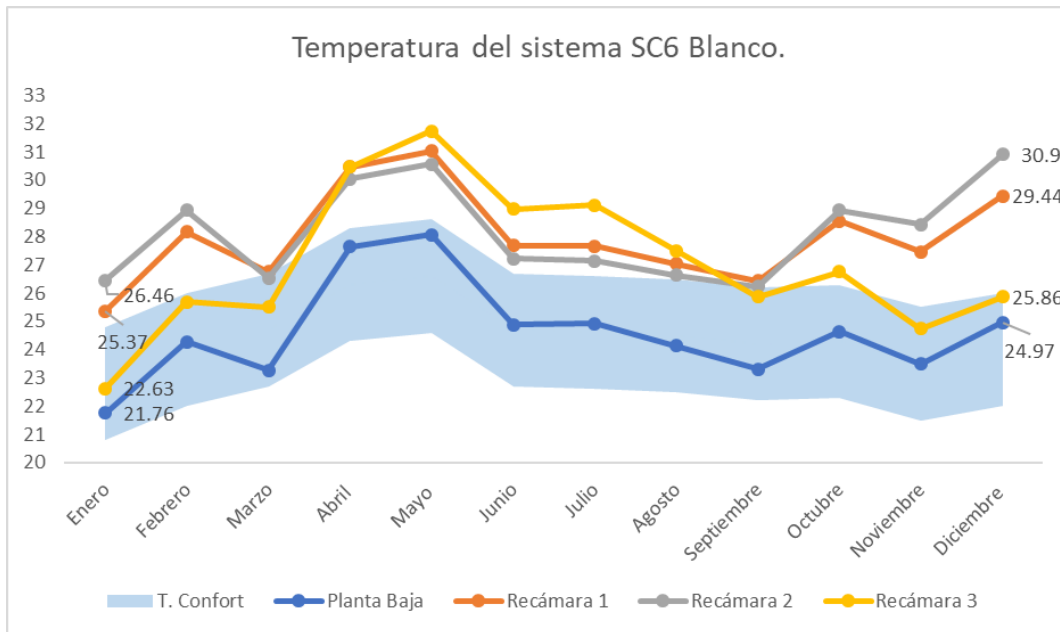
Temp. °C		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
SC-Referencia	PB	23.69	26.61	25.16	29.56	29.34	26.82	26.97	25.9	24.9	26.54	25.58	27.33
	R1	26.96	29.96	27.75	31.48	32.04	28.95	29.02	28.04	27.22	29.87	29.21	31.52
	R2	28.12	30.91	27.84	31.25	31.66	28.4	28.43	27.73	27.24	30.46	30.3	33
	R3	24.28	27.63	26.92	31.85	32.97	30.31	30.48	28.72	26.91	28.17	26.43	27.88
SC-3	PB	23.87	26.8	25.34	29.73	28.87	26.97	26.95	25.88	25.83	26.75	25.76	27.54
	R1	27.1	30.05	27.8	31.52	32.09	29.01	29.09	28.07	27.25	29.94	29.32	31.68
	R2	28.22	30.97	27.87	31.27	31.68	28.42	28.46	27.74	27.25	30.51	30.37	33.14
	R3	24.38	27.7	26.99	31.91	33.03	30.38	30.56	28.78	26.95	28.23	26.51	27.99
SC-4	PB	23.96	26.94	25.46	29.84	30	27.09	27.24	26.15	25.11	26.87	25.89	27.68
	R1	27.17	30.17	27.86	31.58	32.14	29.08	29.16	28.13	27.29	30.02	29.43	31.81
	R2	28.28	31.1	27.95	31.33	31.72	28.47	28.51	27.79	27.3	30.59	30.48	33.26
	R3	24.46	27.83	27.07	31.98	33.07	30.43	30.61	28.82	26.99	28.31	26.61	28.11
SC-6	PB	22.39	25.03	23.8	28.26	28.68	25.57	25.64	24.73	23.83	25.27	24.15	25.73
	R1	26.06	28.9	27.18	30.91	31.5	28.22	28.23	27.5	26.83	29.15	28.19	30.29
	R2	27.31	29.83	27.04	30.51	31	27.67	27.63	27.08	26.69	29.66	29.31	31.93
	R3	23.13	26.32	25.99	31.14	32.47	29.81	29.98	28.19	26.38	27.29	25.25	26.41
SC-7	PB	23.48	26.39	24.98	29.39	29.7	26.66	26.78	25.76	24.74	26.4	25.37	27.09
	R1	26.79	29.79	27.62	31.35	31.93	28.81	28.87	27.93	27.13	29.73	29.04	31.32
	R2	27.9	30.7	27.66	31.09	31.52	28.24	28.26	27.59	27.11	30.29	30.08	32.78
	R3	24.07	27.42	26.76	31.73	32.88	30.22	30.38	28.63	26.8	28.01	26.23	27.63
SC-8	PB	22.56	25.41	24.08	28.56	28.92	25.82	25.9	24.99	24.01	25.55	24.45	26.04
	R1	26.07	29.21	27.25	31.02	31.56	28.33	28.36	27.6	26.86	29.26	28.42	30.52
	R2	27.27	30.15	27.17	30.66	31.1	27.77	27.75	27.2	26.75	29.81	29.54	32
	R3	23.29	26.73	26.2	31.31	32.53	29.89	30.04	28.29	26.44	27.47	25.53	26.75
SC-22	PB	24.75	27.69	26.16	30.47	30.63	27.67	27.89	26.68	25.62	27.53	26.03	28.57
	R1	27.82	30.6	28.21	31.89	32.44	29.43	29.57	28.39	27.53	30.38	29.93	32.49
	R2	28.96	31.55	28.35	31.66	32.02	28.8	28.88	28.06	27.57	30.98	30.99	33.96
	R3	25.07	28.28	27.49	32.31	33.36	30.72	30.95	29.09	27.28	28.71	27.1	28.75
SC-24	PB	23.44	26.35	24.94	29.36	29.66	26.63	26.74	25.39	24.71	26.21	25.34	27.04
	R1	26.76	29.78	27.63	31.37	31.94	28.82	28.88	27.94	27.13	29.73	29.02	31.28
	R2	27.9	30.72	27.69	31.12	31.55	28.28	28.3	27.63	27.13	30.31	30.09	32.79
	R3	24.08	27.44	26.77	31.72	32.86	30.19	30.35	28.62	26.8	28.02	26.25	27.65
SC-AB	PB	23.88	26.84	25.37	29.75	30.02	27.02	27.16	26.08	25.04	26.45	25.8	27.56
	R1	27.11	30.09	27.82	31.54	32.1	29.03	29.11	28.09	27.26	29.96	29.36	31.72
	R2	28.22	31.01	27.89	31.29	31.69	28.43	28.47	27.76	27.26	30.53	30.4	33.17
	R3	24.4	27.75	27.01	31.93	33.04	30.39	30.57	28.79	26.96	28.25	26.54	28.02

En la tabla anterior se muestran la comparación de las temperaturas a lo largo de un año en los diferentes sistemas constructivos, de los cuales, se muestran las temperaturas en las zonas térmicas de Planta Baja (PB), Recámara 1 (R1), Recámara 2 (R2) y Recámara 3 (R3).

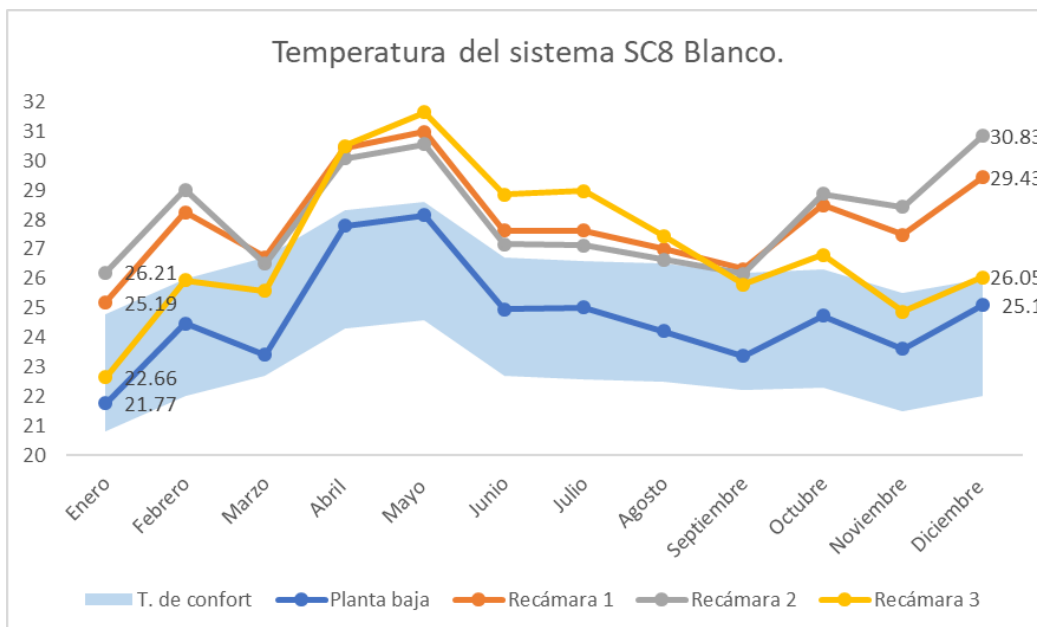
El sistema constructivo SC-6 brinda datos importantes en el material ya que contiene una placa EPS, que es un aislante térmico, del cual se puede apreciar que es el único sistema constructivo que lo contiene, este sistema puede obtener mejores resultados en el rango de confort debido a una serie de mejoras que se pueden aplicar dentro de él, así como también, se simuló este sistema con un color gris en el exterior, y una rugosidad de los muros ligeramente lisos, la absorptancia externa tiene un coeficiente de 0.7, este coeficiente varía de acuerdo al color que se encuentre la vivienda, es decir, el coeficiente será más alto con un tono de color más oscuro en comparación con un tono más claro como lo es un color blanco como se conocen habitualmente las viviendas de interés social, por lo que, a mayor absorptancia externa mayor será la temperatura dentro de una vivienda superando la franja de confort.

### **5.3 Sistemas constructivos con Sistemas Pasivos.**

Una vez realizados las comparaciones de los distintos sistemas constructivos, se observa que los sistemas constructivos más cercanos a la franja de confort es el SC-6 y el SC-8, ambos sistemas mostraron una significativa cercanía a la franja de confort por lo que se seleccionaron para realizar más estudios, estos sistemas fueron modificados en su color o la implementación de muros frescos para observar si existe una mejora en el rango de temperaturas, esto como aplicación de los sistemas pasivos para la vivienda, como primer paso se eligió un color blanco con una absorptancia externa de 0.2, por lo que se espera que la temperatura reduzca de manera significativa en comparación del color gris con el que se realizó la simulación inicial, entre ambos sistemas se pretende encontrar cual es el mejor sistema constructivo entre el SC-6 y el SC-8, en cuanto a las temperaturas y también en cuanto a la aplicación de otros sistemas pasivos en la realización de ambos sistemas constructivos, posterior a la aplicación de los muros frescos, se implementan los techos frescos y cortinas de tejido medio, los techos frescos al igual que los muros frescos se basan en el cambio de color de los mismos, es decir, los muros frescos y techos frescos, contienen un color blanco que a su vez es un color reflectivo y que posee una absorptancia externa menor a otros colores, mientras que, las cortinas de tejido medio reducen las ganancias solares externas y de esta manera, con la aplicación de estos sistemas pasivos se encontró que las temperaturas de la vivienda en los sistemas constructivos seleccionados disminuyó, y a continuación se presentan los gráficos de comparación de temperaturas en estos tres sistemas pasivos aplicados a la vivienda.



**Figura 5.10: Temperaturas del sistema constructivo SC-6 con muros frescos (Blanco).**



**Figura 5.11: Temperaturas del sistema constructivo SC-8 con muros frescos (Blanco).**

Las temperaturas entre las viviendas con el cambio de color en los muros, presenta una diferencia significativa al color original, por lo que se presenta a continuación una tabla en la cual se observa el cambio de las temperaturas en las 3 recámaras y en la planta baja respectivamente, esto para constatar que la diferencia se debe al tipo de color en los muros y al valor de la absorción térmica que cada color presenta. Esto se presenta en ambos sistemas constructivos a mejorar, es decir el SC-6 y el SC-8.

**Tabla 5.2: Comparativa de las temperaturas entre la aplicación del muro fresco (Blanco) y el muro normal (Gris) en el SC-6.**

Mes	Planta Baja			Recámara 1			Recámara 2			Recámara 3		
	Gris	Blanco	Dif	Gris	Blanco	Dif	Gris	Blanco	Dif	Gris	Blanco	Dif
Ene	22.39	21.76	0.63	26.06	25.37	0.69	27.31	26.46	0.85	23.13	22.63	0.50
Feb	25.03	24.28	0.75	28.9	28.16	0.74	29.83	28.93	0.90	26.32	25.69	0.63
Mar	23.8	23.27	0.53	27.18	26.76	0.42	27.04	26.53	0.51	25.99	25.5	0.49
Abr	28.26	27.65	0.61	30.91	30.47	0.44	30.51	30.05	0.46	31.14	30.47	0.67
May	28.68	28.07	0.61	31.5	31.03	0.47	31	30.56	0.44	32.47	31.73	0.74
Jun	25.57	24.88	0.69	28.22	27.68	0.54	27.67	27.21	0.46	29.81	28.97	0.84
Jul	25.64	24.92	0.72	28.23	27.66	0.57	27.63	27.14	0.49	29.98	29.11	0.87
Ago	24.73	24.13	0.60	27.5	27.04	0.46	27.08	26.64	0.44	28.19	27.51	0.68
Sep	23.83	23.31	0.52	26.83	26.43	0.40	26.69	26.24	0.45	26.38	25.87	0.51
Oct	25.27	24.63	0.64	29.15	28.54	0.61	29.66	28.94	0.72	27.29	26.76	0.53
Nov	24.15	23.48	0.67	28.19	27.46	0.73	29.31	28.43	0.88	25.25	24.74	0.51
Dic	25.73	24.97	0.76	30.29	29.44	0.85	31.93	30.9	1.03	26.41	25.86	0.55
	Promedio anual		0.64	Promedio anual		0.57	Promedio anual		0.63	Promedio anual		0.62

**Tabla 5.3: Comparativa de las temperaturas entre la aplicación del muro fresco (Blanco) y el muro normal (Gris) en el SC-8.**

Mes	Planta Baja			Recámara 1			Recámara 2			Recámara 3		
	Gris	Blanco	Dif	Gris	Blanco	Dif	Gris	Blanco	Dif	Gris	Blanco	Dif
Ene	22.56	21.77	0.79	26.07	25.19	0.88	27.27	26.21	1.06	23.29	22.66	0.63
Feb	25.41	24.48	0.93	29.21	28.25	0.96	30.15	29.01	1.14	26.73	25.94	0.79
Mar	24.08	23.41	0.67	27.25	26.72	0.53	27.17	26.51	0.66	26.2	25.58	0.62
Abr	28.56	27.79	0.77	31.02	30.44	0.58	30.66	30.07	0.59	31.31	30.49	0.82
May	28.92	28.14	0.78	31.56	30.97	0.59	31.1	30.55	0.55	32.53	31.63	0.90
Jun	25.82	24.96	0.86	28.33	27.62	0.71	27.77	27.16	0.61	29.89	28.86	1.03
Jul	25.9	25.01	0.89	28.36	27.62	0.74	27.75	27.13	0.62	30.04	28.98	1.06
Ago	24.99	24.22	0.77	27.6	27.01	0.59	27.2	26.64	0.56	28.29	27.45	0.84
Sep	24.01	23.38	0.63	26.86	26.33	0.53	26.75	26.17	0.58	26.44	25.81	0.63
Oct	25.55	24.74	0.81	29.26	28.48	0.78	29.81	28.88	0.93	27.47	26.8	0.67
Nov	24.45	23.61	0.84	28.42	27.48	0.94	29.54	28.42	1.12	25.53	24.88	0.65
Dic	26.04	25.1	0.94	30.52	29.43	1.09	32	30.83	1.17	26.75	26.05	0.70
	Promedio anual		0.80	Promedio anual		0.74	Promedio anual		0.79	Promedio anual		0.84

Se comparan las temperaturas en el interior, de acuerdo al tipo de techo de la vivienda, en este caso se le agregó un techo fresco, es decir, un color blanco al impermeabilizante, para conocer el impacto de este tipo de techo en las temperaturas, que se tenían con el techo tradicional en color gris y conocer los valores en los cuales pudiera mejorar si se agrega este tipo de color a el techo superior de la vivienda.

*Tabla 5.4: Comparación de temperaturas en la aplicación de Techo Fresco (Blanco) y Techo normal (Gris) en el SC-6.*

Mes	Planta Baja			Recámara 1			Recámara 2			Recámara 3		
	Gris	Blanco	Dif	Gris	Blanco	Dif	Gris	Blanco	Dif	Gris	Blanco	Dif
Ene	22.39	22.42	-0.03	26.06	26.24	-0.18	27.31	27.55	-0.24	23.13	23.16	-0.03
Feb	25.03	24.97	0.06	28.9	28.68	0.22	29.83	29.65	0.18	26.32	25.97	0.35
Mar	23.8	23.76	0.04	27.18	27.01	0.17	27.04	26.86	0.18	25.99	25.76	0.23
Abr	28.26	28.16	0.1	30.91	30.51	0.4	30.51	30.05	0.46	31.14	30.73	0.41
May	28.68	28.56	0.12	31.5	31	0.5	31	30.44	0.56	32.47	32	0.47
Jun	25.57	25.43	0.14	28.22	27.67	0.55	27.67	27.06	0.61	29.81	29.34	0.47
Jul	25.64	25.49	0.15	28.23	27.63	0.6	27.63	26.95	0.68	29.98	29.47	0.51
Ago	24.73	24.58	0.15	27.5	26.91	0.59	27.08	26.43	0.65	28.19	27.65	0.54
Sept	23.83	23.69	0.14	26.83	26.32	0.51	26.69	26.13	0.56	26.38	25.84	0.54
Oct	25.27	25.12	0.15	29.15	28.62	0.53	29.66	29.12	0.54	27.29	26.67	0.62
Nov	24.15	24.09	0.06	28.19	28.01	0.18	29.31	29.18	0.13	25.25	24.94	0.31
Dic	25.73	25.7	0.03	30.29	30.25	0.04	31.93	31.97	-0.04	26.41	26.19	0.22
	Promedio		0.09	Promedio		0.34	Promedio		0.35	Promedio		0.38

*Tabla 5.5: Comparación de temperaturas en la aplicación de Techo Fresco (Blanco) y Techo normal (Gris) en el SC-8.*

Mes	Planta Baja			Recámara 1			Recámara 2			Recámara 3		
	Gris	Blanco	Dif	Gris	Blanco	Dif	Gris	Blanco	Dif	Gris	Blanco	Dif
Ene	22.56	22.59	-0.03	26.07	26.24	-0.17	27.27	27.49	-0.22	23.29	23.33	-0.04
Feb	25.41	25.35	0.06	29.21	29.01	0.2	30.15	29.97	0.18	26.73	26.4	0.33
Mar	24.08	24.04	0.04	27.25	27.09	0.16	27.17	26.99	0.18	26.2	25.98	0.22
Abr	28.56	28.46	0.1	31.02	30.61	0.41	30.66	30.22	0.44	31.31	30.94	0.37
May	28.92	28.78	0.14	31.56	31.07	0.49	31.1	30.56	0.54	32.53	32.11	0.42
Jun	25.82	25.7	0.12	28.33	27.8	0.53	27.77	27.18	0.59	29.89	29.44	0.45
Jul	25.9	25.76	0.14	28.36	27.78	0.58	27.75	27.12	0.63	30.04	29.56	0.48
Ago	24.99	24.85	0.14	27.6	27.03	0.57	27.2	26.58	0.62	28.29	27.77	0.52
Sep	24.01	23.92	0.09	26.86	26.35	0.51	26.75	26.22	0.53	26.44	25.93	0.51
Oct	25.55	25.41	0.14	29.26	28.78	0.48	29.81	29.31	0.5	27.47	26.89	0.58
Nov	24.45	24.4	0.05	28.42	28.27	0.15	29.54	29.42	0.12	25.53	25.24	0.29
Dic	26.04	26.02	0.02	30.52	30.5	0.02	32	32.16	-0.16	26.75	26.55	0.2
	Promedio		0.08	Promedio		0.33	Promedio		0.33	Promedio		0.36

Se realizó el cálculo de las temperaturas agregando cortinas cerradas de tejido medio a las ventanas de nuestra vivienda y en las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos.



**Tabla 5.6: Comparación de temperaturas en el uso de cortinas y sin cortinas (S/C) en el SC-6.**

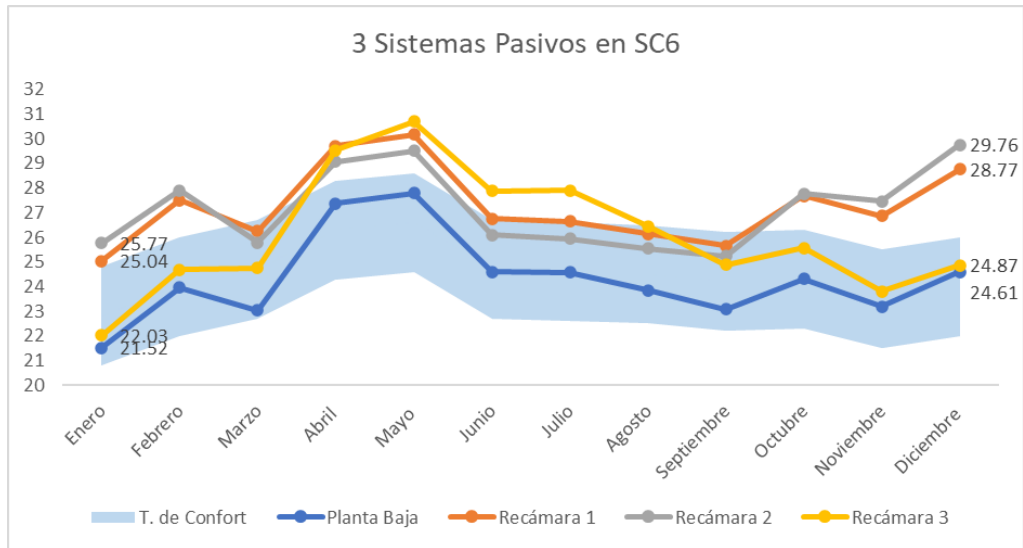
Mes	Planta Baja			Recámara 1			Recámara 2			Recámara 3		
	S/C	Cortinas	Dif	S/C	Cortinas	Dif	S/C	Cortinas	Dif	S/C	Cortinas	Dif
Ene	22.39	22.15	0.24	26.1	25.63	0.43	27.31	26.47	0.84	23.13	22.58	0.55
Feb	25.03	24.8	0.23	28.9	28.51	0.39	29.83	29.07	0.76	26.32	25.73	0.59
Mar	23.8	23.64	0.16	27.2	26.88	0.3	27.04	26.54	0.5	25.99	25.54	0.45
Abr	28.26	28.09	0.17	30.9	30.58	0.33	30.51	30.02	0.49	31.14	30.63	0.51
May	28.68	28.53	0.15	31.5	31.16	0.34	31	30.52	0.48	32.47	31.91	0.56
Jun	25.57	25.4	0.17	28.2	27.86	0.36	27.67	27.18	0.49	29.81	29.21	0.6
Jul	25.64	25.42	0.22	28.2	27.84	0.39	27.63	27.1	0.53	29.98	29.3	0.68
Ago	24.73	24.6	0.13	27.5	27.19	0.31	27.08	26.63	0.45	28.19	27.7	0.49
Sep	23.83	23.74	0.09	26.8	26.58	0.25	26.69	26.29	0.4	26.38	25.97	0.41
Oct	25.27	25.13	0.14	29.2	28.85	0.3	29.66	29.08	0.58	27.29	26.78	0.51
Nov	24.15	23.94	0.21	28.2	27.82	0.37	29.31	28.56	0.75	25.25	24.7	0.55
Dic	25.73	25.41	0.32	30.3	29.76	0.53	31.93	30.89	1.04	26.41	25.76	0.65
	Promedio		0.19	Promedio		0.36	Promedio		0.61	Promedio		0.55

**Tabla 5.7: Comparación de temperaturas en el uso de cortinas y sin cortinas (S/C) en el SC-8.**

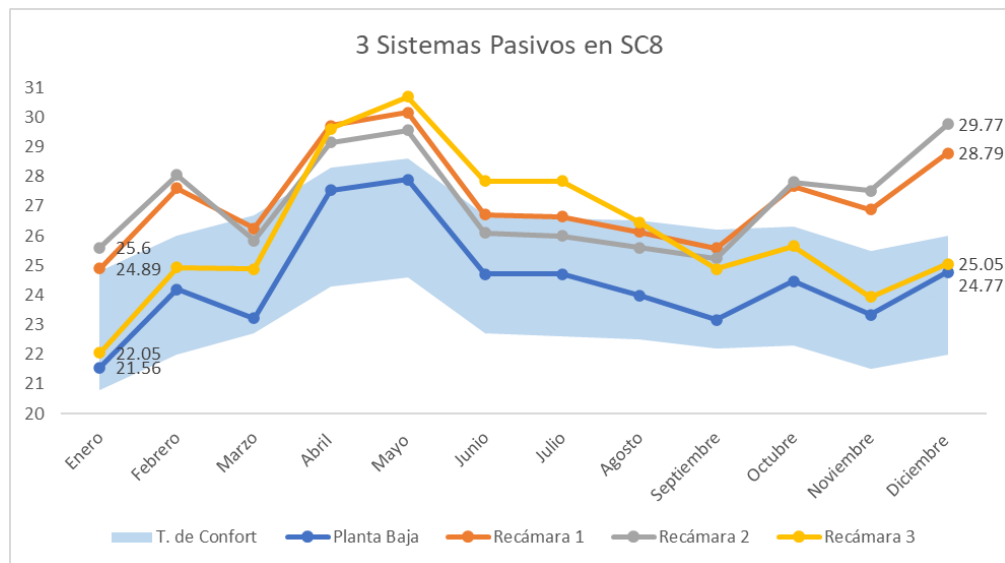
Mes	Planta Baja			Recámara 1			Recámara 2			Recámara 3		
	S/C	Cortinas	Dif	S/C	Cortinas	Dif	S/C	Cortinas	Dif	S/C	Cortinas	Dif
Ene	22.56	23.45	-0.89	26.07	25.68	0.39	27.27	26.53	0.74	23.29	22.74	0.55
Feb	25.41	25.21	0.2	29.21	28.85	0.36	30.15	29.47	0.68	26.73	26.14	0.59
Mar	24.08	23.94	0.14	27.25	26.99	0.26	27.17	26.73	0.44	26.2	25.77	0.43
Abr	28.56	28.4	0.16	31.02	30.7	0.32	30.66	30.21	0.45	31.31	30.85	0.46
May	28.92	28.78	0.14	31.56	31.25	0.31	31.1	30.66	0.44	32.53	32.04	0.49
Jun	25.82	25.68	0.14	28.33	27.99	0.34	27.77	27.3	0.47	29.89	29.35	0.54
Jul	25.9	25.71	0.19	28.36	27.99	0.37	27.75	27.26	0.49	30.04	29.42	0.62
Ago	24.99	24.88	0.11	27.6	27.31	0.29	27.2	26.79	0.41	28.29	27.85	0.44
Sep	24.01	23.96	0.05	26.86	26.63	0.23	26.75	26.39	0.36	26.44	26.07	0.37
Oct	25.55	25.42	0.13	29.26	29	0.26	29.81	29.3	0.51	27.47	26.97	0.5
Nov	24.45	24.26	0.19	28.42	28.07	0.35	29.54	28.84	0.7	25.53	24.98	0.55
Dic	26.04	25.75	0.29	30.52	30.01	0.51	32	31.15	0.85	26.75	26.08	0.67
	Promedio		0.07	Promedio		0.33	Promedio		0.55	Promedio		0.52

Obtenidos estos resultados, en cuanto a las diferencias de temperaturas que existen entre la aplicación del sistema pasivo y sin la aplicación del mismo, en las tablas anteriores se presenta la aplicación de techos frescos, muros frescos, y cortinas de tejido medio, estos como sistemas pasivos de la vivienda, en donde, el muro fresco provee la mayor disminución de temperatura por sí solo, sin tomar en cuenta la aplicación simultánea de los dos sistemas pasivos seleccionados, las cortinas realizan una mejora significativa por igual, pero no lo suficientemente importante en comparación con los muros, esto debido a que la ganancia solar externa solo es bloqueada con ayuda de las cortinas en donde se encuentra la reflectancia solar

directa, por lo que, no genera suficiente reducción de temperatura en la vivienda, sin embargo, se expone que la mayor reducción de temperatura se da en las recámaras o en el piso superior de la vivienda, dado que, la aplicación del techo fresco se da sólo en la cubierta superior, y solo ahí existe esa mejora de temperatura más notable que en la planta baja. A continuación, se muestran los gráficos de ambos sistemas constructivos con la aplicación de los 3 sistemas pasivos.



**Figura 5.12: Temperaturas en el SC-6 con la aplicación de los sistemas pasivos.**



**Figura 5.13: Temperaturas en el SC-8 con la aplicación de los sistemas pasivos.**

Tabla 5.8: Comparación de temperaturas en la aplicación de los sistemas pasivos en SC-6.

Mes	Planta Baja			Recámara 1			Recámara 2			Recámara 3		
	Original	MF, TFyC	Dif	Original	MF, TFyC	Dif	Original	MF, TFyC	Dif	Original	MF, TFyC	Dif
Ene	22.39	21.52	0.87	26.06	25.04	1.02	27.31	25.77	1.54	23.13	22.03	1.1
Feb	25.03	23.97	1.06	28.9	27.5	1.4	29.83	27.9	1.93	26.32	24.68	1.64
Mar	23.8	23.04	0.76	27.18	26.26	0.92	27.04	25.79	1.25	25.99	24.76	1.23
Abr	28.26	27.37	0.89	30.91	29.71	1.2	30.51	29.07	1.44	31.14	29.54	1.6
May	28.68	27.79	0.89	31.5	30.18	1.32	31	29.51	1.49	32.47	30.7	1.77
Jun	25.57	24.6	0.97	28.22	26.76	1.46	27.67	26.1	1.57	29.81	27.89	1.92
Jul	25.64	24.58	1.06	28.23	26.65	1.58	27.63	25.95	1.68	29.98	27.91	2.07
Ago	24.73	23.86	0.87	27.5	26.14	1.36	27.08	25.54	1.54	28.19	26.45	1.74
Sep	23.83	23.08	0.75	26.83	25.65	1.18	26.69	25.25	1.44	26.38	24.89	1.49
Oct	25.27	24.32	0.95	29.15	27.68	1.47	29.66	27.77	1.89	27.29	25.57	1.72
Nov	24.15	23.19	0.96	28.19	26.86	1.33	29.31	27.47	1.84	25.25	23.8	1.45
Dic	25.73	24.61	1.12	30.29	28.77	1.52	31.93	29.76	2.17	26.41	24.87	1.54
	Promedio		0.93	Promedio		1.31	Promedio		1.65	Promedio		1.61

Tabla 5.9: Comparación de temperaturas en la aplicación de los sistemas pasivos en SC-8.

Mes	Planta Baja			Recámara 1			Recámara 2			Recámara 3		
	Original	MF, TFyC	Dif	Original	MF, TFyC	Dif	Original	MF, TFyC	Dif	Original	MF, TFyC	Dif
Ene	22.56	21.56	1	26.07	24.89	1.18	27.27	25.6	1.67	23.29	22.05	1.24
Feb	25.41	24.19	1.22	29.21	27.61	1.6	30.15	28.05	2.1	26.73	24.93	1.8
Mar	24.08	23.22	0.86	27.25	26.25	1	27.17	25.84	1.33	26.2	24.88	1.32
Abr	28.56	27.54	1.02	31.02	29.71	1.31	30.66	29.15	1.51	31.31	29.61	1.7
May	28.92	27.89	1.03	31.56	30.15	1.41	31.1	29.55	1.55	32.53	30.68	1.85
Jun	25.82	24.71	1.11	28.33	26.72	1.61	27.77	26.1	1.67	29.89	27.84	2.05
Jul	25.9	24.71	1.19	28.36	26.65	1.71	27.75	25.99	1.76	30.04	27.85	2.19
Ago	24.99	23.99	1	27.6	26.13	1.47	27.2	25.59	1.61	28.29	26.45	1.84
Sep	24.01	23.17	0.84	26.86	25.58	1.28	26.75	25.24	1.51	26.44	24.88	1.56
Oct	25.55	24.46	1.09	29.26	27.67	1.59	29.81	27.81	2	27.47	25.65	1.82
Nov	24.45	23.34	1.11	28.42	26.89	1.53	29.54	27.51	2.03	25.53	23.94	1.59
Dic	26.04	24.77	1.27	30.52	28.79	1.73	32	29.77	2.23	26.75	25.05	1.7
	Promedio		1.06	Promedio		1.45	Promedio		1.75	Promedio		1.72

Para esto, las temperaturas en la mayoría de las áreas térmicas se encuentran dentro de la zona de confort, pero no en su totalidad, mostradas las diferencias de temperatura en las tablas anteriores, a continuación, se muestran las ganancias de energía en KW, de cada uno de los sistemas pasivos.

#### 5.4 Ganancias de Energía del SC-6, SC-8 y SC-referencia.

El sistema constructivo 6 (SC-6), uno de los mejores sistemas constructivos que fue seleccionado debido a sus temperaturas más cercanas a la zona de confort, pero de igual manera, estas se vieron mejoradas por el uso de los sistemas pasivos, el muro fresco solamente obtuvo una ganancia de energía de 703.63kW en la planta baja, mientras que nuestro muro gris, obtuvo 1841.08kW, es decir más del doble que el muro fresco, esto refleja la disminución de temperatura en el interior, a continuación se presenta la gráfica de las ganancias de energía en los muros del SC6.

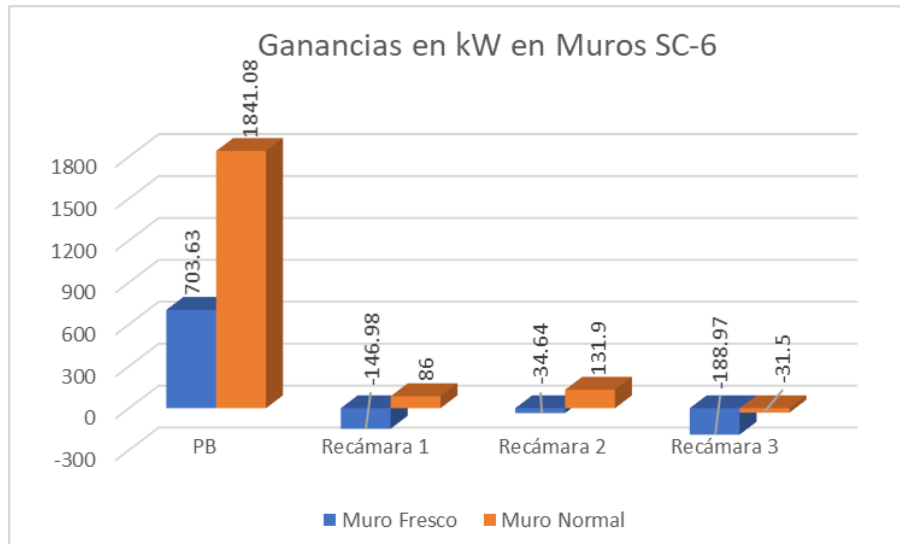


Figura 5.14: Comparación de las ganancias energéticas de los muros en el SC-6.

La grafica anterior muestra que en las recámaras existe una ganancia de energía negativa, esto dado que, las sumas de ganancia de energía, varía mensualmente, y estos resultados demuestran que, aun así, representa un porcentaje de ganancia mayor al que se tenía con los muros comunes.

Las ganancias de energía también se presentan en los dos restantes sistemas pasivos, el techo fresco y las cortinas de tejido medio, en donde, las ganancias variaron en menor proporción en comparación a los muros y muros frescos en cuestión de la reducción promedio de temperatura interior, por ello, se presentan las siguientes gráficas de las ganancias de energía de estos dos sistemas pasivos.

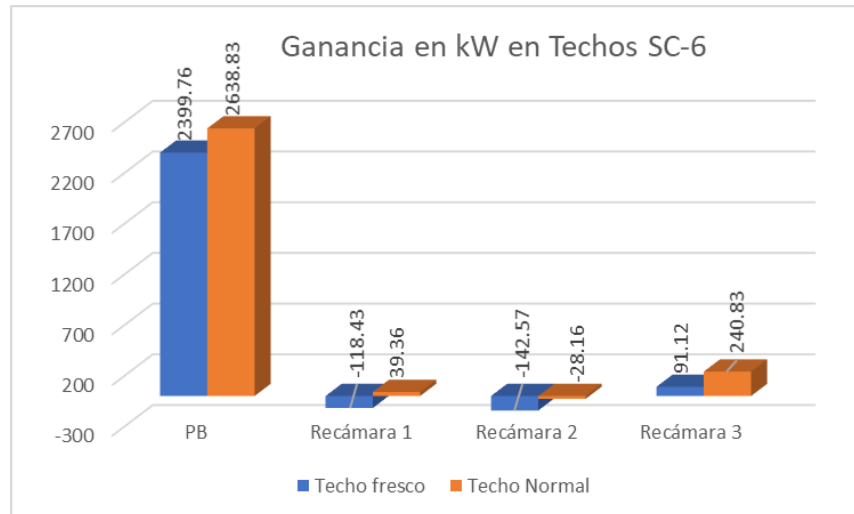


Figura 5.15: Comparación de las ganancias energéticas en los techos del SC-6.

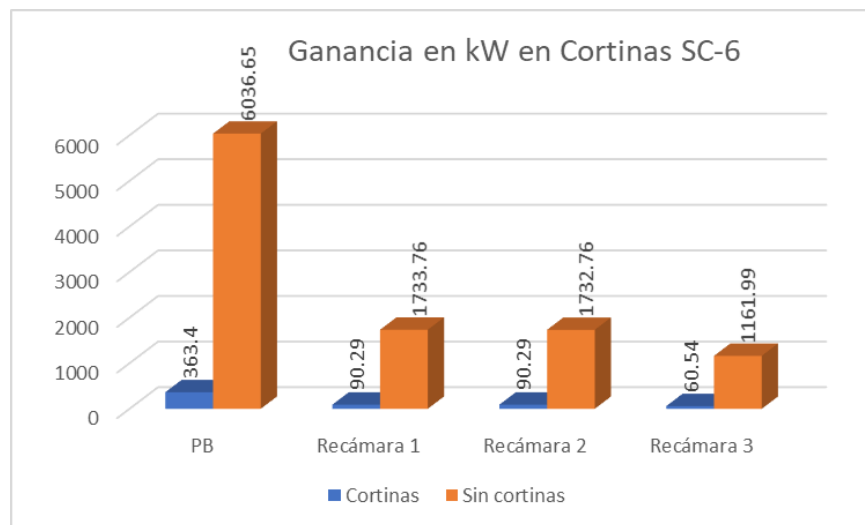


Figura 5.16: Comparación de las ganancias energéticas de las cortinas en el SC-6.

Las cortinas tuvieron una mejora con mayor margen de distanciamiento entre no contar con el uso de cortinas, ya que la ganancia solar externa, fue menor utilizando las cortinas en nuestras ventanas que se tienen en la vivienda, y de esta manera se puede alcanzar una temperatura interior más confortable en comparación de no contar con este sistema pasivo.

Los sistemas pasivos en este sistema SC-6, se mostraron de manera gráfica en cuanto a las ganancias de energía, en las tablas se presentan las diferencias de temperatura, donde se conoce la ganancia total de energía de los 3 sistemas pasivos, en comparativa con la vivienda sin la aplicación de ningún sistema pasivo, para ello, se muestra la siguiente figura donde se realiza dicha comparación de las ganancias de energía.

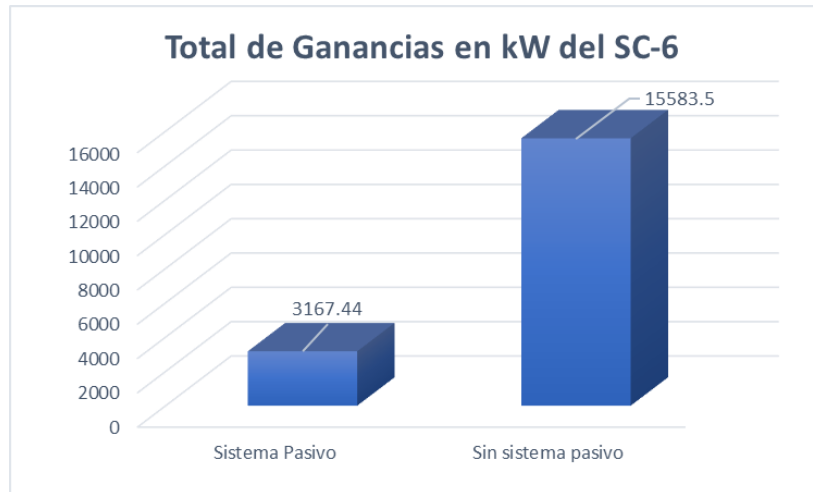


Figura 5.17: Comparación de ganancias energéticas totales en el SC-6.

Del lado derecho se observa el total de ganancias de energía, donde la cantidad total es 5 veces mayor, en comparación con la aplicación de los sistemas pasivos para la vivienda.

Esta comparación se realizó de igual forma para el sistema constructivo SC-8, en donde se observan los cambios entre la aplicación de los sistemas pasivos y cuando estos no se aplican mediante la ganancia de energía.

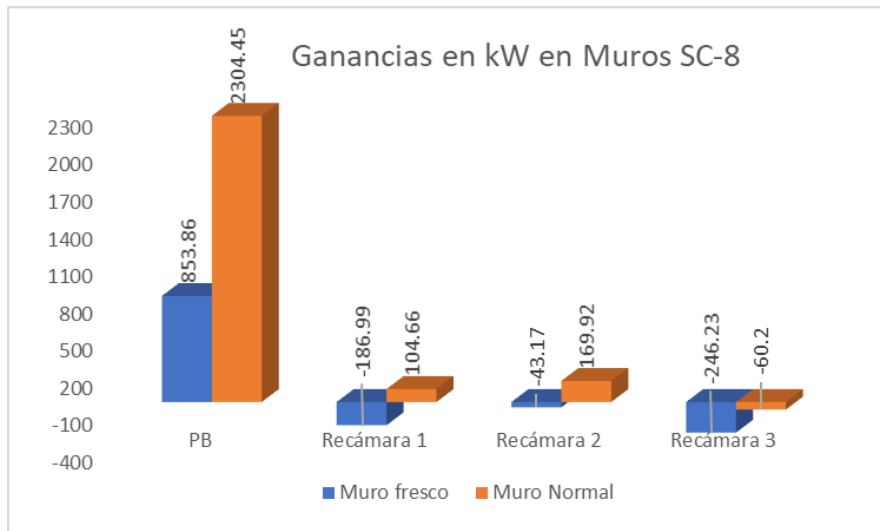


Figura 5.18: Comparación de las ganancias energéticas de los muros en SC-8.

En el caso de los muros en el SC-8, se observa que la ganancia de energía en la planta baja es incluso mayor sin los sistemas pasivos en comparación con el sistema anterior el SC-6, esto debido que, el SC-8 no cuenta con la placa térmica dentro de los materiales que conforman este sistema constructivo, este sistema constructivo presenta en las tres recámaras una sumatoria negativa del total con la aplicación de los sistemas pasivos.

En este SC-8 se encuentra también la aplicación de los sistemas pasivos restantes como son techo fresco y las cortinas de tejido medio, para ello, se muestran las siguientes gráficas comparando la aplicación de los sistemas pasivos y cuando estos no están en aplicación.

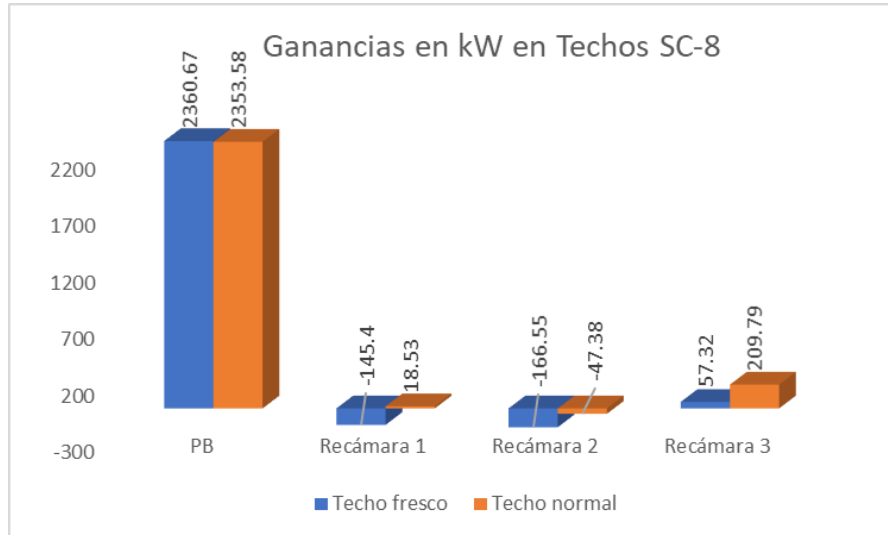


Figura 5.19: Comparación de las ganancias energéticas de los techos en el SC-8.

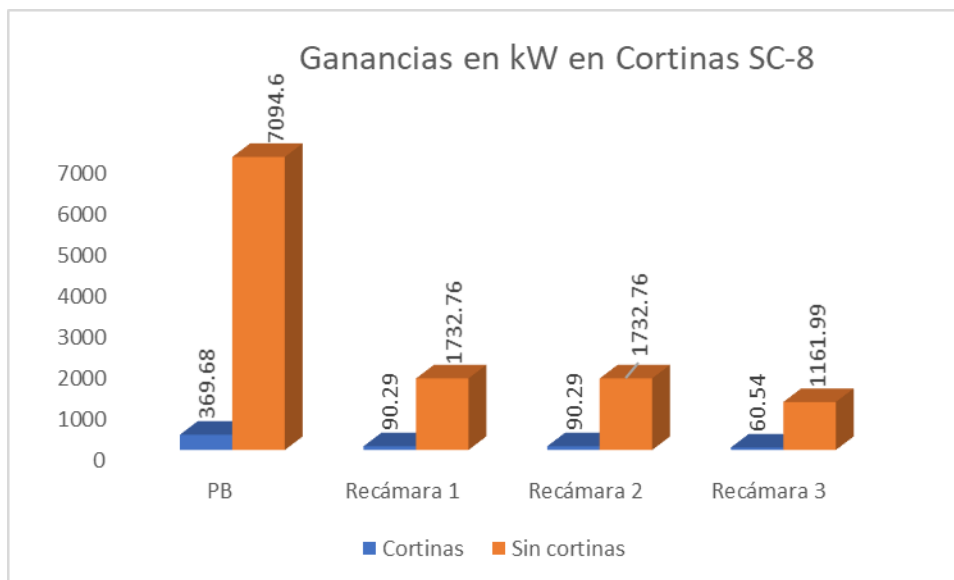


Figura 5.20: Comparación de las ganancias energéticas de las cortinas en el SC-8.

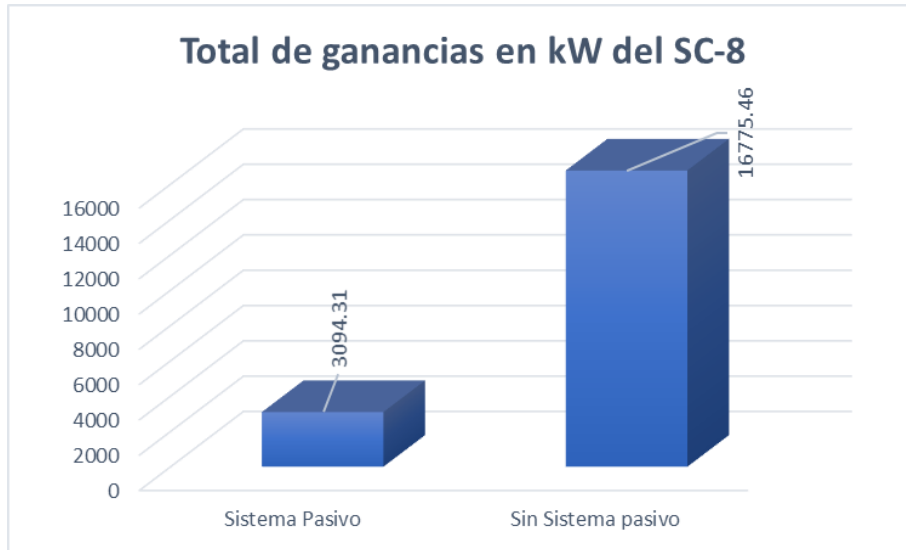


Figura 5.21: Comparación de ganancias energéticas totales en el SC-8.

Para el sistema de referencia se presentan los datos de ganancias energéticas como se muestra en los casos anteriores, estos datos obtenidos fueron representados en las figuras que se muestran a continuación.

Como primer caso se muestran las ganancias de energía en los muros de la vivienda de referencia, donde se observa que la aplicación de los sistemas pasivos es de importancia para la reducción de las ganancias energéticas, ya que la aplicación de los muros frescos se presenta en la totalidad de la vivienda, siendo el sistema pasivo con mayor diferencia entre los 3 sistemas pasivos aplicados.

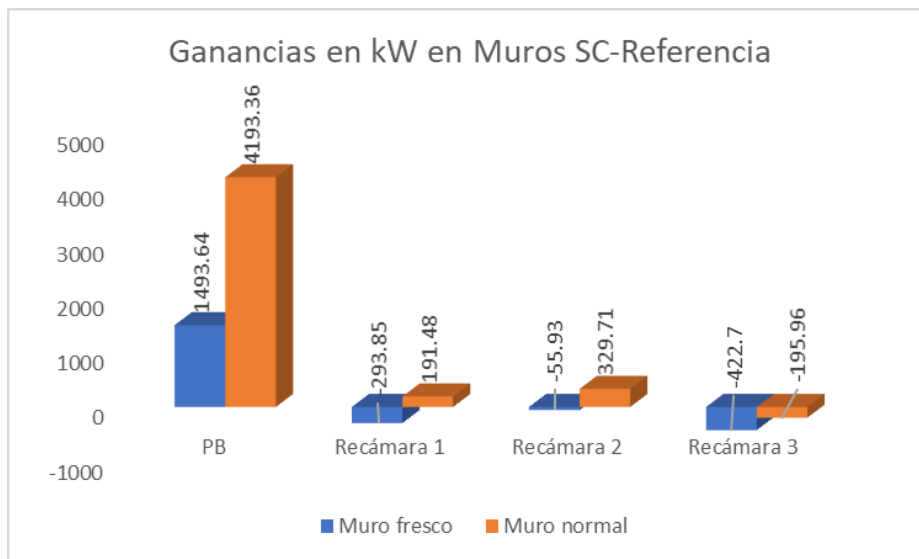


Figura 5.22: Comparación de las ganancias energéticas de los muros en SC-Referencia.



Por otra parte, se muestran la comparación de las ganancias en cuanto a la aplicación de los sistemas pasivos tanto en los techos como en la aplicación de las cortinas en la vivienda con el sistema constructivo de referencia y su comportamiento con y sin la aplicación de sistemas pasivos.

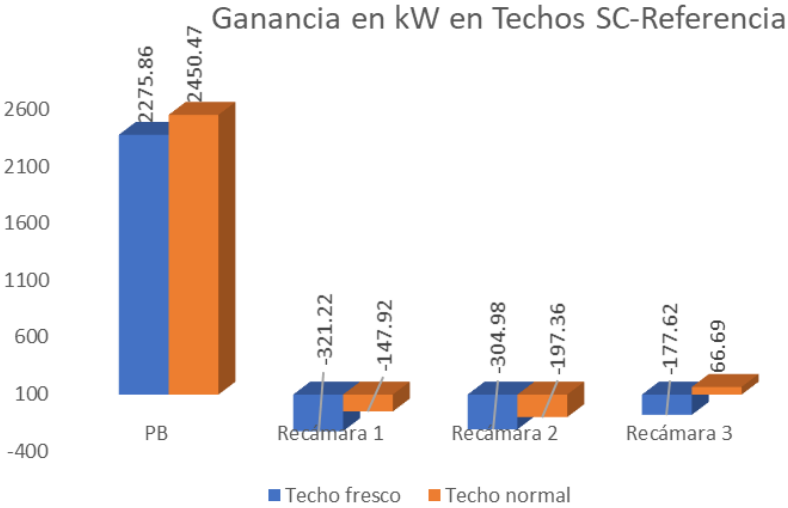


Figura 5.23: Comparación de las ganancias energéticas de los techos en SC-Referencia.

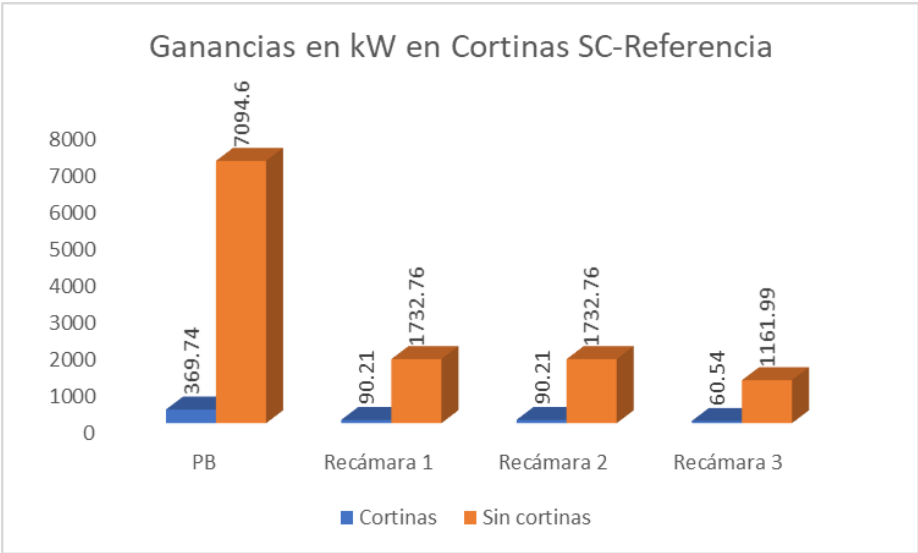
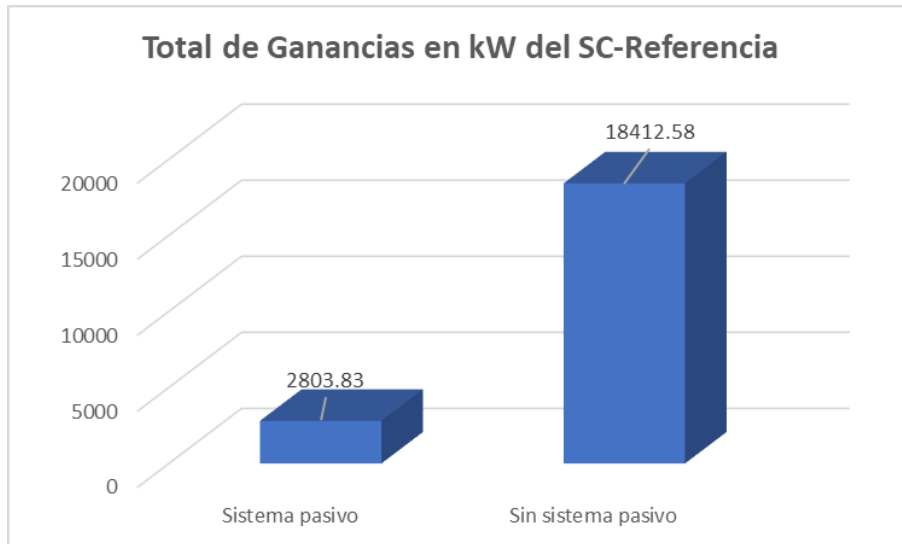


Figura 5.24: Comparación de las ganancias energéticas de las cortinas en SC-Referencia.

Para finalizar, se muestran los resultados de las ganancias energéticas totales del sistema de referencia en comparativa de la presencia de los sistemas pasivos aplicados en la vivienda y cuando estos no son aplicados dentro de la misma.



*Figura 5.25: Comparación de las ganancias energéticas totales en SC-Referencia.*

Los sistemas pasivos, ayudan a la reducción de ganancias de energía, lo que establece la temperatura de confort de la vivienda en las zonas donde son aplicados estos sistemas, ya que la diferencia de temperatura aplicado en cada uno de los sistemas ayuda a encontrar el confort térmico dentro de estas zonas, ya que, de esta manera se ahorra o disminuye el consumo de energía, tratando de mantener en la zona de confort a la vivienda, por lo que, es una forma más económica de reducir las temperaturas interiores sin el uso de aire acondicionado, solamente con la aplicación de sistemas pasivos que aporten una mejora en las temperaturas.

### 5.5 Sistemas constructivos con Aire acondicionado

Para este apartado se realizó la simulación de los 9 sistemas constructivos, con la aplicación de aire acondicionado dentro de los mismos, donde, las temperaturas de las zonas entran dentro de la zona de confort con ayuda del sistema de enfriamiento, por lo tanto, se presentan las gráficas de los sistemas constructivos seleccionados como lo es el SC-6 y el SC-8, donde el resultado para los gráficos de los demás sistemas constructivos es similar a los que se presentan a continuación.

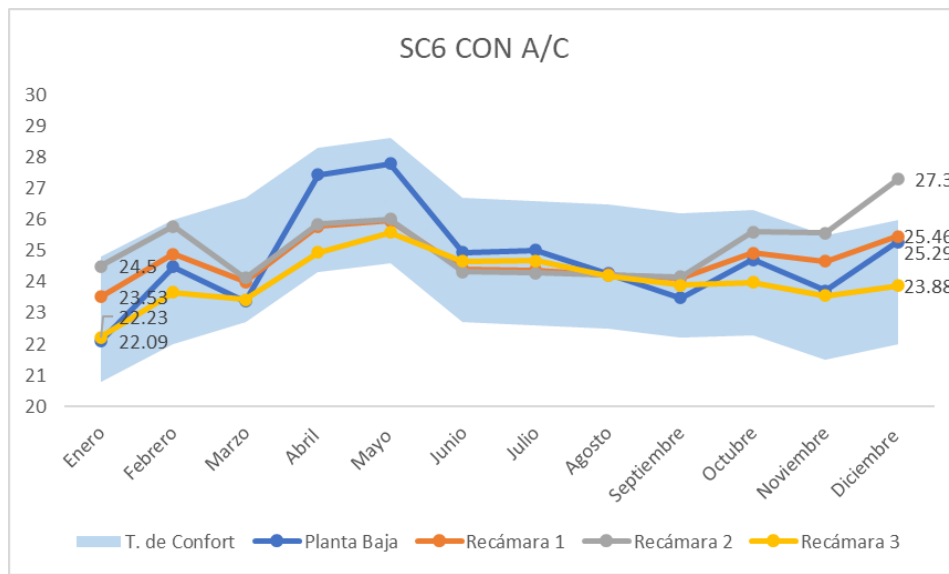


Figura 5.26: Aplicación de Aire Acondicionado (A/C) en el SC-6.

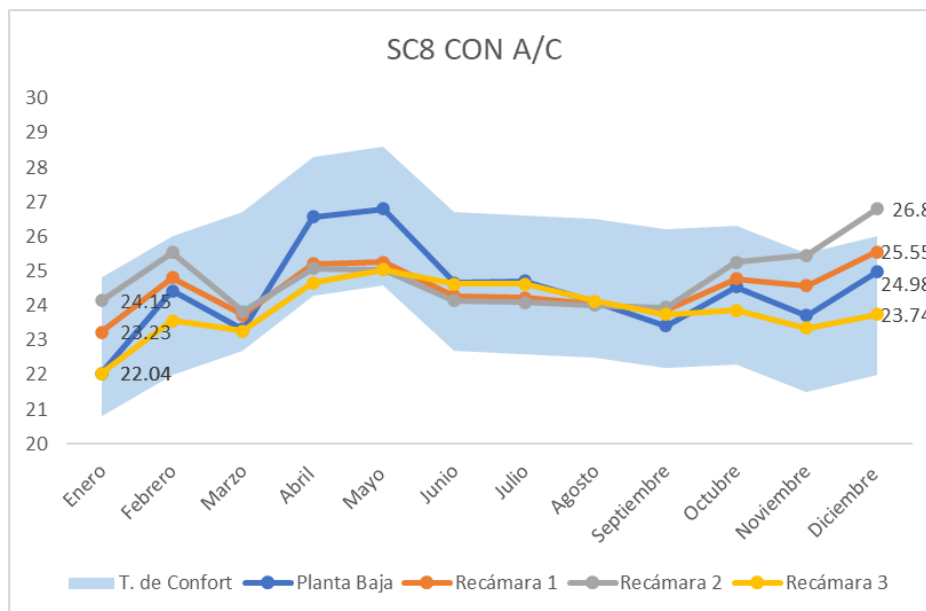


Figura 5.27: Aplicación de Aire Acondicionado (A/C) en el SC-8.

De los resultados de la simulación para los sistemas constructivos, se observa que la temperatura es totalmente agradable para los ocupantes, es decir, el confort térmico, se puede encontrar con ayuda de sistemas de refrigeración, no obstante, estos sistemas requieren un costo, el cual, los ocupantes deben pagar, por lo que, con base a los resultados de consumo de energía de cada sistema constructivo se presenta el siguiente apartado.

### 5.5.1 Costo del aire acondicionado

Para conocer el gasto económico por el uso del aire acondicionado en nuestros sistemas constructivos, se realizó la simulación con la aplicación de este sistema de enfriamiento, en donde, las temperaturas fueron establecidas dentro de la zona de confort con el uso del A/C, esto con una aplicación de aire acondicionado en las zonas de estudio de la vivienda, en este caso. La planta baja, y las tres recamaras ubicadas en el piso superior de la vivienda, se obtuvo el gasto de energía mensual del aire acondicionado, de cada una de las zonas para sumar un total general de la vivienda por mes, y sumando los costos generados por mes, se realizó el cálculo anual tanto en kW, como en pesos, estos costos se realizaron, a través de la página web [cfecontrol.com](http://cfecontrol.com) donde, se calcula el total a pagar, por los kW consumidos seleccionando la tarifa aplicada a la zona en donde se encuentra ubicada la vivienda.

Total de consumo de kW por sistema constructivo con sus respectivos costos

*Tabla 5.10: Costos anuales en los sistemas constructivos con el uso del A/C.*

<b>Sistemas Constructivos</b>	<b>Total kW</b>	<b>Total Costos</b>
SC-Referencia	5976.03	\$16,803.77
SC-3	6157.65	\$17,890.77
SC-4	6752.12	\$19,557.43
SC-6	3341.47	\$7923.61
SC-8	4447.97	\$11,732.11
SC-7	5595.77	\$15,887.31
SC-22	7426.38	\$22,442.48
SC-24	5596.03	\$15,883.73
SC-AB	6453.45	\$18,951.64

En la tabla anterior se muestra el costo total obtenido de cada uno de los sistemas constructivos estudiados y analizados, estos costos y consumos energéticos en kW se refieren en cuanto al uso del aire acondicionado para mantener la temperatura de cada una de las áreas de estudio dentro de la zona de confort, por lo que a continuación se presenta una tabla de ordenamiento descendente en cuanto al sistema constructivo con mayor costo de enfriamiento hasta conocer el sistema constructivo más barato en cuanto a los costos de refrigeración interior con el uso del aire acondicionado.

*Tabla 5.11: Costos del uso anual del A/C en orden descendente.*

<b>Sistemas constructivos</b>	<b>Total kW</b>	<b>Total Costos</b>
SC-22	7426.38	\$22,442.48
SC-24	6752.12	\$19,557.43
SC-AB	6453.45	\$18,951.64
SC-3	6157.65	\$17,890.77
SC-Referencia	5976.03	\$16,803.77
SC-7	5595.77	\$15,887.31
SC-24	5596.03	\$15,883.73
SC-8	4447.97	\$11,732.11
SC-6	3341.47	\$7923.61

Con base en los resultados anteriormente mostrados en las tablas, los sistemas constructivos elegidos en este caso el SC-6 Y SC-8 resultaron ser los más baratos sin la aplicación de sistemas pasivos, ya que los componentes de estos sistemas constructivos ayudan significativamente a la reducción de la temperatura interior y esto genera por consecuencia que el uso del aire acondicionado sea menor en comparación con los demás sistemas analizados.

El sistema constructivo que mayor gasto generó como se observa en la tabla anterior, fue el SC-22, el cual se encuentra como el que más enfriamiento requiere para estar dentro de la zona de confort, y por lo tanto, requiere mayor gasto energético para lograrlo, esta comparación, se realiza debido a que, los sistemas constructivos, no siempre presentan las condiciones de clima agradables dentro de la vivienda, pero no solamente influye el sistema o los materiales que lo conforman, sino también, el medio en el cual se desarrolla, la orientación, ventilación y clima de la ubicación geográfica, por lo que, se concluye que el sistema constructivo SC-22, no es el más ideal para la construcción de una vivienda en la ciudad de Cuernavaca, Morelos; ya que con el tipo de clima con el que cuenta y la referencia de construcción que se expone, el clima en su interior presenta un gran gasto económico, si se requiere mantener la temperatura de confort dentro de ella.

Sin embargo, los sistemas que menor gasto representan fueron el SC-6 y SC-8, que a pesar, de existir una diferencia de \$4000 pesos entre ambos, no se encuentran en las mismas condiciones que los restantes, ya que en la tabla anterior, se observa que la diferencia entre los restantes es de \$1000 pesos entre uno y otro, pero sobrepasan los \$15,000 pesos anuales de costo de refrigeración, lo que representa un gasto considerable en el uso de la energía eléctrica, solamente valorando que, este costo representa la cantidad de energía utilizada solo por el sistema de enfriamiento, descartando luz interior, exterior, aparatos electrodomésticos, equipos electrónicos y de entretenimiento que sean requeridos por los ocupantes, por lo que considerando estos gastos y el gasto anual de energía eléctrica, se elevaría aún más teniendo en cuenta el uso de estos equipos que son requeridos existiendo la ocupación de personas dentro de la vivienda.

## **Capítulo 6: Conclusiones**

**En este apartado se exponen las conclusiones obtenidas de las simulaciones de los sistemas constructivos estudiados, así como las mejoras aplicadas a los sistemas seleccionados, esto con el objetivo de obtener un estudio complementado en cuanto al confort térmico y los gastos dentro de la implementación de estrategias para lograr un confort térmico en las viviendas de Cuernavaca, Morelos.**

## 6.1 Conclusiones Generales

Para finalizar, de los sistemas constructivos estudiados, los sistemas con menor costo económico fueron seleccionados para la aplicación de sistemas pasivos, esto con la finalidad de obtener el mayor mejoramiento posible en cuanto a la zona de confort, los sistemas constructivos más baratos para mantenerlos en la zona de confort fueron el Sistema constructivo 6 (SC-6) y el Sistema constructivo 8 (SC-8).

En el estudio se agregaron 3 sistemas pasivos, Muros frescos, Techos frescos, y cortinas de tejido medio, de los cuales, resultaron favorables en la disminución de la temperatura interna de la vivienda, se analizaron por separado y en conjunto, pero cada sistema pasivo agregó una diferencia de temperatura distinta, pero los Muros Frescos realizaron la disminución más significativa de entre los sistemas pasivos seleccionados, lo cual no significa que en conjunto la diferencia fuera muy significativa, es decir, el promedio en los sistemas constructivos rondó entre el 1.60°C, por lo que, en comparación con el muro fresco que fue el sistema pasivo que mayormente favoreció las temperaturas internas de la vivienda.

Los sistemas pasivos en los sistemas constructivos reducían en promedio un 80% las ganancias energéticas dentro de la vivienda aplicando los 3 sistemas mencionados anteriormente.

El sistema pasivo con el menor aporte reductivo a las ganancias energéticas era el Techo fresco, ya que este sistema aplicado presentaba una disminución en promedio de solo el 10% en la planta baja de la vivienda, mientras que en la planta alta en promedio se reducía un 63% de las ganancias energéticas, esto debido a que la mejora del techo fresco tiene un mayor impacto sobre la planta alta de la vivienda.

Los sistemas pasivos sirvieron para determinar en qué medida, el confort mejoraba o si existía mayor mitigación de calor, esto como una propuesta de encontrar el confort térmico sin necesidad de realizar un gasto económico excesivo, ya que, en ocasiones las viviendas de interés social cuentan con un color blanco en su exterior por lo que la absorción de calor es menor en dichas viviendas, el uso de cortinas impide el paso de las ganancias solares en la vivienda, y los techos en ocasiones se realiza un impermeabilizado en color blanco, lo cual, realiza un techo fresco, por lo que se recomienda en ocasiones, el uso de colores claros en las viviendas, para que la absorción sea menor a un color oscuro, los sistemas pasivos son la alternativa económica a las temperaturas que se encuentran en la vivienda, sin embargo, existe el uso del sistema de enfriamiento o aire acondicionado el cual, sin mayor esfuerzo puede regular la temperatura interna de la vivienda hasta encontrar el estado de confort del cuerpo humano, pero, en caso contrario a la facilidad de regular la temperatura, se encuentra el alto costo monetario que este genera, para el propietario de la vivienda, por lo que, se realizó el análisis del impacto económico del uso del aire acondicionado a lo largo de un año en la vivienda con sus distintos sistemas constructivos, el cual resultó ser caro en comparación de un sistema

pasivo, tomando en cuenta solamente el costo del sistema de enfriamiento, sin agregar aparatos electrodomésticos o iluminación dentro de la vivienda, por lo que, un sistema pasivo puede ser la diferencia de encontrar la temperatura de confort de una manera más económica.

El uso de un sistema constructivo adecuado en este caso a la ciudad de Cuernavaca, Morelos, puede ser beneficioso para los habitantes de una vivienda de interés social, ya que, de los sistemas estudiados la mayoría de ellos se encuentran por arriba de la zona de confort, lo que puede causar en las personas problemas de disgusto o irritabilidad, por no encontrar ese estado de confort dentro de su vivienda debido a que se pueden encontrar temperaturas muy elevadas para permanecer cierto tiempo en la vivienda.

Por lo tanto, un sistema constructivo identificado como dos mejores de los estudiados, puede ayudar a reducir las temperaturas en el interior de la vivienda, así como también, el gasto económico generado en cuanto a la implementación de un sistema de enfriamiento, ya que para cada sistema constructivo el costo fue variante en cuanto a las temperaturas que almacenaban en su interior, por ello, en este trabajo la identificación de estos sistemas constructivos, mejora la visión de las próximas construcciones a realizar para el bienestar social y económica de las personas que pertenezcan a estas viviendas de interés social, y de cuáles sistemas constructivos resultan perjudiciales para encontrar el confort térmico dentro de las viviendas.

Este estudio identifica los sistemas constructivos ideales para la construcción de viviendas, que puedan establecer un confort térmico adecuado dentro de las mismas y que el consumo energético por la implementación de sistemas de enfriamiento sea menor en comparación de los demás sistemas constructivos estudiados, por lo que, el SC-6 y SC-8 resultaron ser los sistemas constructivos más ideales para la ciudad de Cuernavaca, Morelos.



# Referencias

- Aguillon Robles, J., & Arista González, G. J. (2015). *Habitabilidad en la Vivienda de Interés Social en San Luis Potosí. Confort y Aislamiento Térmico*. Obtenido de ReserchGate: [www.reserchgate.net](http://www.reserchgate.net)
- Arroyo Martínez, S. M. (2020). *Dimensionamiento de la vivienda de interés social, en función de las propiedades térmicas de los materiales, en climas semidesérticos*. Obtenido de Universidad Autónoma de Querétaro.
- ASHRAE. (2005). Thermal Comfort. En *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* (pág. 11).
- Ávila Hernández, A. (2018). *Simulación de una vivienda con techo verde y su efecto en el confort térmico. Tesis de maestría en ciencias en ingeniería mecánica*.
- Blender, M. (2015). *Arquitectura y energía*. Obtenido de <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/la-transmision-del-calor/>
- Bravo, G., & González, E. (2003). Confort térmico en el trópico húmedo: experiencias de campo en viviendas naturalmente ventiladas. *Ambiente construido*.
- Castilla, M., Álvarez, J., Berenguel, M., Rodríguez, F., Guzmán, J., & Pérez, M. (2011). *A comparison of thermal comfort predictive control strategies*.
- Cengel, A. Y. (2011). *Transferencia de calor y masa, fundamentos y aplicaciones*. México: MCGrawHill.
- Chapple, P. (2008). Confort térmico en las viviendas. *Revista BIT*.
- Chen, X., Wang, Q., & Srebric, J. (2015). *Model Predictive Control for Indoor Thermal Comfort and Energy Optimization Using Occupant Feedback*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.002>
- Dabe, T., & Adane, V. (2018). *The impact of building profiles on the performance of daylight and indoor temperatures in low-rise residential building for the hot and dry climatic zones*. Obtenido de Building and Environment: doi:10.1016/j.buildenv.2018.05.038
- Djongyang, N., Tchinda, R., & Njomo, D. (2010). *Thermal Comfort: A review paper*. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- Flores, L., Flores Larsen, S., & Filippin, C. (2007). *Comportamiento térmico de invierno y verano de viviendas de interés social en la provincia de Salta*. Obtenido de Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.
- Giraldo, W., & Herrera, C. A. (2017). *Ventilación pasiva y confort térmico en vivienda de interés social en clima ecuatorial*. Obtenido de Ingeniería y Desarrollo.
- Hernández, P. (2016). *Análisis térmico del efecto la razón de aspecto área vidriada-pared (RAVP) en el consumo energético de edificaciones no residenciales*. Tesis de maestría en ciencia en ingeniería mecánica.

- Herrera López, A. L. (2016). *Propuesta de adecuación bioclimática sustentable para lograr el confort térmico en viviendas unifamiliares de interés social en Tepic, Nayarit*. Obtenido de Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente.
- Huelsz, G. (2011). *Desarrollo y validación de una metodología para estimar los impactos en el ahorro de energía por el uso de sistemas pasivo-constructivos en la edificación para diferentes climas de México, apoyado por el fondo sectorial conacyt-sener sustentabilidad*.
- INAFED. (2017). *Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México*. Obtenido de <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM17morelos/mediofisico.html#:~:text=El%20estado%20de%20Morelos%20se,oeeste%20del%20meridiano%20de%20Greenwich>
- INEGI. (2013). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/>
- INEGI. (2020). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Obtenido de <https://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mor/territorio/clima.aspx?tema=me&e=17>
- Jimenez Carballo, C. A. (2018). *Instituto Tecnológico de Costa Rica*. Obtenido de Transferencia de Calor. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10176/Trasferencia%20de%20calor.pdf?sequence=1>
- Kumar, A., & Ramgopal, M. (2013). *Field studies on human thermal comfort- An overview*. Obtenido de Building and Environment: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- Ledesma, V. (2018). Sistemas activos y pasivos, la combinación más eficiente en la proyección de espacios. *Mundo HVAC&R*.
- Lu, S., Pang, B., Qi, Y., & Fang, K. (2017). *Field study of thermal comfort in non-air-conditioned buildings in a tropical island climate*. Obtenido de Applied Ergonomics: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- Nicol, J. (2004). *Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics*. Obtenido de Energy and buildings: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- Nicol, J., & Humphreys, M. (2002). *Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings*. Obtenido de Energy and buildings : [www.elsevier.com/locate/enbuild](http://www.elsevier.com/locate/enbuild)
- Pensantes Moyano, M. P. (2012). *Universidad de Cuenca*. Obtenido de Confort térmico: <https://core.ac.uk/download/pdf/38647532.pdf>
- Roux Gutiérrez, R. S., & García Izaguirre, V. M. (21 de Abril de 2014). *Thermal comfort versus energy consumption in social housing in warm humid climate*.
- Ruellan, M., Park, H., & Bennacer, R. (2016). *Residential building energy demand and thermal comfort: Thermal dynamics of electrical appliances and their impact*. Obtenido de Energy and Buildings: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

- Santos Silva, A., Silva Almeida, L. S., & Ghisi, E. (2016). *DECISION MAKING PROCESS FOR IMPROVING THERMAL AND ENERGY PERFORMANCE OF RESIDENTIAL BUILDINGS: A CASE STUDY OF CONSTRUCTIVE SYSTEMS IN BRAZIL*. Obtenido de Energy and Buildings: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.084>
- Sicurella, F., Evola, G., & Wurtz, E. (2011). *A statical approach for the evaluation of thermal and visual comfort in free-running buildings*. Obtenido de Energy and Buildings : [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- Tyubee, B., Sewuese Iorpev, P., & Yakubu Oche, C. (2019). *Assessment of perceived and observed occupants' thermal comfort in residential buildings in Agan, Makurdi, Northcentral Nigeria*. Obtenido de Urban Climate: <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.101120>
- Wang, Z., Wang, J., He, Y., Liu, Y., Lin, B., & Hong, T. (2019). *Dimension analysis of subjective thermal comfort metrics based on ASHRAE Global Thermal Comfort Database using machine learning*. Obtenido de Journal of Building Engineering: <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.101120>

DR. ARTURO MOLINA OCAMPO  
DR. VICTOR MANUEL ZEZATTI FLORES  
DR. EFRAIN SIMA MOO  
DRA. MIRIAM NAVARRETE PROCOPIO  
ING. SERGIO RENE PEDRAL  
MONSALVO  
P R E S E N T E

Me permito comunicarles que han sido designados integrantes del **COMITÉ REVISOR** del trabajo de:  
**TESIS**

Titulado:

**Estudio Térmico de los sistemas constructivos utilizados en los muros de las viviendas del estado de Morelos**

Que presenta (el) o (la) **C. CASTAÑEDA ZARAGOZA KEVIN NEFTALI**

Del programa educativo de: **INGENIERIA MECÁNICA**

ATENTAMENTE  
*Por una humanidad culta*

**DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ**  
**DIRECTORA**

Se anexa firma electrónica

**DICTAMEN**

DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ  
DIRECTORA DE LA FCQeI  
P R E S E N T E

En respuesta a su amable solicitud para emitir DICTÁMEN sobre el trabajo que se menciona, me permito informarle que nuestro voto es:

VOTO	NOMBRE	FIRMA
APROBATORIO	DR. ARTURO MOLINA OCAMPO	
APROBATORIO	DR. VICTOR MANUEL ZEZATTI FLORES	
APROBATORIO	DR. EFRAIN SIMA MOO	
APROBATORIO	DRA. MIRIAM NAVARRETE PROCOPIO	
APROBATORIO	ING. SERGIO RENE PEDRAL MONSALVO	

***El voto del comité es aprobatorio, se anexan firmas electrónicas***

VALH/ATI/srpm



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

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

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

### Sello electrónico

**VIRIDIANA AYDEE LEON HERNANDEZ** | Fecha:2022-09-07 21:59:08 | Firmante

AHzVjrlOvLiJLkN4t1BuYJN5zfFJl3qrhAcjEzxDNnljblA4PtxtMyY9T7NXNJuqpxH9tHEFquwfmlKXflBQT7MitZdtVRxcaxofAlqXnajBgyanRR9AzNZeyHTfieiFpMfGwTU3Hrw8XqeP  
yK8g71vGLuz9hmUcoAgmtgDIMjhjYFnZNrdolw9xSjC3EWsma3h2zuWQccNcbi2p+g64NFAXmfsEUUwN0OuHL3Tq6+ZBJ01zhZhk3ymsBOiKfc6xgHxJv8X4LMaju/bJC4cKWi3t  
Ony7il44GdqeyZ2nXZnG8obxU0eN6EVnolyByfsdq1HJVy72UmTgmGsbPzC7Q==

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



[VcHr8xbia](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/Gk0fJ7fLIS9FcAH2cOxgUedqVtTwDCnr>





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

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

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

### Sello electrónico

**ARTURO MOLINA OCAMPO | Fecha:2022-09-08 16:28:38 | Firmante**

b6EeCumXjBHiKC3H/zgFtzoDi6LxFtMih10rUqeZ+NOjWLB5V95lMouZK3p4r3deVMWtjvwx5i+BzVgWN+kulyzpjXtG+KYe6lqsy9m0d5pEnZ621SeADVwxN2pp0gHtdxWB5F2gXbnNRPvVwnP026un21wCm5+bkHqNLoP/w/OOERxejh9kOfb+RMKemJEzru7ve9QhSo+csN93vi4R6FEr2ovqYezGAuWvxdFapdAjZ1J+bbLi0h16ld+ssRouVf5719HfljXkZ1CBcw6lx/kDlDyEcS5juBJX7+10qDTy7pwofCbtNhswiQqnl7ME7r3m8XPs3uhmaCc+Ygw==

**VICTOR MANUEL ZEZATTI FLORES | Fecha:2022-09-08 18:23:11 | Firmante**

plNZtU9oSiCbv4Vb47N1qN5DjahmuzCAP76BkKA/fAzlBbeYI9ewSpcSVb5YD+J4Kfofaue0o74/MfQPOgnen2/UyEmOP/VDNvz+mplzm7r1l6+bNHkGEeZlg1R54vDWL4KYBs0WResR1edorF8i6YhIQXT6x/71McYqzGy9jUs7jeWA3ynZgpVEY1jY8sHJaJpYjZORhYaF7Cw5gMSunovJeWAa6o8clOgXJMQueOCTgJfuvok+mJYhctp3D9fVNmYQRZxWoU+CinT1HxzQBQrnTNE6/69pwV3TMMhp+T1KQGD9D1urZ13a7tHaNJVr4j1xWFm0T4q6//tKY97RJw==

**MIRIAM NAVARRETE PROCOPIO | Fecha:2022-09-13 09:40:07 | Firmante**

DH1uG/8gbK6GaMklYqDKQdpmAeu+xKj5+QVUMP29o7MIZfCZJ0AuWHsQwMOYsj1m/5ALuJyZ/QQgSxrNp3x1gbnjSrdO8zfcSQ+L7ythdEGMglghU831fUsvK7COXU2a2c/c3KOG4idhnCHxoamJBbvNKxT8pyUPX1W61M0iEtaxX2Yw/z7V2dBl9bPnDyEtrXIS+g212PaQQtwBApbGe3VbTulRvotKoR03YO0PWGDt2b4v0ddw3GtgZGMJuabUK5NotLbKrhrS8Dv0spwfdjD2alGSWjhd2bpz11CRKynttpb4QLZwJlStYbZHqkvuqAKyixQv4a5aCTnP5lQnA==

**SERGIO RENE PEDRAL MONSALVO | Fecha:2022-09-14 07:35:10 | Firmante**

IG9vxZ/wnmpgaKNa99+gLbV3V3aypeiTjy9sAULVejdj4vSdfs3QTaumucgnijfYTY/rEHOZZFhZsMg/EGC5yZoxyDJTfTQrW7vfnUuNR36dXTO0NnOgAw0R03KJsupTtVYEm24QtaGVbn9lHaRZxNn+bpCuLH0k0TZChxTQFn1CLhLVvJojz3bJM0vp0+myqaJYdpL8goQxKxQOS0CtmH6rDv7lfu+Pmfnd+jt39v92yJxUic2rqKktQT2YJjSAvuJRVqzIOaQbJs2BtxY+pboGMRfllQil/ErQXcPFGkdeTKYWs84FFfMRbB1Z2wHv9zPa9voGVsgN8JaRh8A==

**EFRAIN SIMA MOO | Fecha:2022-09-14 10:12:47 | Firmante**

a6psDn5s/xXadopZYXwqeEV0lyKX6hhl0bmiw8HHINrVT31xP8xPjAM54gVGLfGVL3llt5o81CFoEopPAgttkGQW+z7b9/VX5oOXpGGzJ2WnvpUzox3+y2MEHqEv7GEI4HXp/o8Dc5B4MmBCokt/WsAM6gxbJsFrV+Y+0xb9SHACvZ58ADPNZaaRpxw347ctYB0ufSe6i5VGJglycO5JeJB3cH8x2y2Mlg2cOVO/quHSCCpPTAuXicqgcbayL8lrmArIUGwAlx0nW3/RbVReEeu2IP+UNasWROiYcfCjHfg1cWJz1o6iObbL+kCLA3Um38KOKxzJIOI5+0Z+A==

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



d7gsmzwlc

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/ROniNeWfBh9Aunqs7gB4oGB0jv44rmV>

