

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Evaluación de la eficiencia energética en edificación de uso mixto  
mediante un sistema de fachadas ventiladas en muros exteriores  
favoreciendo la efectividad térmica en zonas tropicales en Guatemala

Trabajo de graduación presentado por Renato Paolo Lossi Salazar para  
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil Arquitectónica

Guatemala,

2024



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Evaluación de la eficiencia energética en edificación de uso mixto  
mediante un sistema de fachadas ventiladas en muros exteriores  
favoreciendo la efectividad térmica en zonas tropicales en Guatemala


Trabajo de graduación presentado por Renato Paolo Lossi Salazar para  
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil Arquitectónica

Guatemala,


2024





Vo.Bo.:

(f)   
Arq. Juan Pablo Blas Arias

Tribunal Examinador:

(f)   
Arq. Juan Pablo Blas Arias

(f)   
Ing. Jorge Carlos Escobar Polanco

(f)   
Ing. Otoniel Alejandro Echeverria Castellanos

-Fecha de aprobación: Guatemala, 30 de septiembre de 2024.

# CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>LISTA DE CUADROS</b> . . . . .	<b>IX</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> . . . . .	<b>XII</b>
<b>RESUMEN</b> . . . . .	<b>XIII</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>II. JUSTIFICACIÓN</b> . . . . .	<b>3</b>
<b>III. OBJETIVOS</b> . . . . .	<b>5</b>
A    Objetivo general . . . . .	5
B    Objetivos específicos . . . . .	5
<b>IV. MARCO TEÓRICO</b> . . . . .	<b>6</b>
A    Sostenibilidad . . . . .	6
1    Concepto . . . . .	6
2    Ahorro energético en edificaciones . . . . .	6
3    Reducción de uso de recursos naturales en edificaciones . . . . .	7
4    Disminución de emisiones de contaminantes en edificaciones . . . . .	7
5    Materiales reutilizables o reciclados en edificaciones . . . . .	8
6    La energía contenida en una edificación . . . . .	8
7    Huella de carbono en construcciones . . . . .	10
8    Sistemas de gestión ambiental ISO 14001 . . . . .	11
B    Propiedades térmicas de los materiales . . . . .	11
1    Capacidad calorífica . . . . .	11
2    Conductividad térmica . . . . .	12
3    Dilatación o expansión térmica . . . . .	13

4	Aislantes térmicos . . . . .	13
5	Transmitancia térmica . . . . .	14
6	Transferencia de calor por conducción . . . . .	15
7	Transferencia de calor por convección . . . . .	16
8	Transferencia de calor por radiación . . . . .	17
9	Conductores . . . . .	18
10	Puente térmico . . . . .	18
11	Resistencia térmica . . . . .	19
12	Propiedad térmica de los bloques de concreto . . . . .	20
13	Propiedad térmica del ladrillo . . . . .	21
C	Aplicación de método constructivo . . . . .	22
1	Mécanica de materiales en los cerramientos . . . . .	22
2	Mécanica de materiales en las divisiones . . . . .	23
3	Sistema de fachada ventilada . . . . .	23
4	Proceso de instalación de fachada ventilada . . . . .	24
5	Ventajas de uso de fachada ventilada . . . . .	24
6	Tipos de fachada ventilada . . . . .	26
7	Condiciones de instalación de fachada ventilada . . . . .	26
8	Uso de fachada ventilada en verano . . . . .	27
9	Uso de fachada ventilada en invierno . . . . .	27
D	Clima tropical . . . . .	28
1	Concepto . . . . .	28
2	Clima tropical en Guatemala . . . . .	28
3	Estrategias principales de diseño . . . . .	30
E	BIM y sostenibilidad . . . . .	32
1	Concepto . . . . .	32
2	Dimensión 6D . . . . .	32
F	Certificaciones sostenibles . . . . .	33

1	Concepto . . . . .	33
2	Certificaciones sostenibles en Guatemala . . . . .	34
G	Software Cypetherm . . . . .	35
1	Concepto . . . . .	35
2	Cálculo térmico mediante Cypetherm . . . . .	35
H	Calentamiento global . . . . .	37
1	Concepto . . . . .	37
2	Calentamiento global en Guatemala . . . . .	38
<b>V.</b>	<b>METODOLOGÍA . . . . .</b>	<b>40</b>
A	Etapa 1: Investigación de materiales . . . . .	44
1	Rockwool ProRox SL 930 . . . . .	44
2	Rockwool Rockboard 40 . . . . .	45
3	Rockwool AFB . . . . .	45
4	Tablero de fibra mineral IT600 . . . . .	46
5	Fibra de vidrio R-10 . . . . .	47
6	Panel Isobox . . . . .	48
7	Fibra cerámica . . . . .	49
8	Tablero de cemento USG Durock . . . . .	49
B	Etapa 2: Análisis de datos . . . . .	51
C	Etapa 3: Presentación de resultados . . . . .	57
<b>VI.</b>	<b>RESULTADOS . . . . .</b>	<b>59</b>
A	Resultados transmitancia térmica . . . . .	59
B	Precio por $m^2$ de instalación de fachada ventilada No.5 . . . . .	61
C	Precio por $m^2$ de instalación de fachada ventilada No.6 . . . . .	61
D	Fachada ventilada No.5 - Fibra de vidrio R-10 (mejorado) . . . . .	62
E	Fachada ventilada No.6 - Panel Isobox (mejorado) . . . . .	62
F	Resultados transmitancia térmica de fachadas ventiladas mejoradas . . . . .	63

G	Precio por $m^2$ de instalación de fachada ventilada No.5 mejorada . . . . .	63
H	Precio por $m^2$ de instalación de fachada ventilada No.6 mejorada . . . . .	64
I	Mejora en transmitancia térmica . . . . .	64
J	Comportamiento de temperatura interior de fachadas ventiladas . . . . .	65
K	Temperatura exterior de Guatemala . . . . .	65
L	Paquetes de familia del software de modelado Revit . . . . .	66
<b>VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS . . . . .</b>		<b>67</b>
<b>VIII. CONCLUSIONES . . . . .</b>		<b>72</b>
<b>IX. RECOMENDACIONES . . . . .</b>		<b>74</b>
<b>X. BIBLIOGRAFÍA . . . . .</b>		<b>75</b>
<b>XI. APÉNDICES . . . . .</b>		<b>84</b>
A	Fachada ventilada No.5 . . . . .	84
B	Fachada ventilada No.6 . . . . .	89
C	Fachada ventilada No.5 mejorada . . . . .	94
D	Fachada ventilada No.6 mejorada . . . . .	99
<b>XII. GLOSARIO . . . . .</b>		<b>104</b>

## LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Propiedades térmicas de materiales de construcción. . . . .	22
2	Propiedades térmicas de materiales seleccionados. . . . .	52
3	Resultados transmitancia térmica. . . . .	59
4	Precio por $m^2$ de instalación de fachada ventilada No.5. . . . .	61
5	Precio por $m^2$ de instalación de fachada ventilada No.6. . . . .	61
6	Propiedad térmica de tablayeso Usg Ultralight. . . . .	61
7	Resultados transmitancia térmica de fachadas ventiladas mejoradas. . . . .	63
8	Precio por $m^2$ de instalación de fachada ventilada No.5 mejorada. . . . .	63
9	Precio por $m^2$ de instalación de fachada ventilada No.6 mejorado. . . . .	64
10	Mejora de transmitancia térmica en muros evaluados. . . . .	64

## LISTA DE FIGURAS

<b>Ilustración</b>		<b>Página</b>
1	Ciclo de vida de materiales de construcción. . . . .	7
2	Energía contenida de materiales de construcción. . . . .	10
3	Transferencia de calor. . . . .	13
4	Transmisión de calor en muro homogéneo. . . . .	15
5	Transmisión de calor en muro heterogéneo simple. . . . .	15
6	Tipo de transferencias de calor. . . . .	17
7	Puente térmico en losa. . . . .	19
8	Resistencia térmica de un muro. . . . .	20
9	Detalle constructivo de fachada ventilada. . . . .	24
10	Efecto chimenea en fachada ventilada. . . . .	27
11	Análisis mensual del periodo 2010 a 2039. . . . .	29
12	Temperatura media 2010 a 2039. . . . .	30
13	Estudio de carta solar. . . . .	31
14	6ta Dimensión del BIM. . . . .	33
15	Ejemplo de análisis en Cypetherm. . . . .	37
16	Edificio Ada Street. . . . .	40
17	Planta de tienda souvenirs y comercio. . . . .	41
18	Planta típica de apartamentos. . . . .	42
19	Terreno 19 Avenida 16-60, Cdad. de Guatemala, zona 10. . . . .	43
20	ProRox SL 930. . . . .	44
21	Rockboard 40/60. . . . .	45
22	Lana mineral de roca AFB (Acoustical Fire Batt). . . . .	46
23	Fibra mineral IT600. . . . .	47
24	Fibra de vidrio R-10 3inX15.24mX61cm. . . . .	48
25	Panel isobox. . . . .	48

26	Fibra cerámica. . . . .	49
27	USG Durock 1/2 x 4 x 8. . . . .	50
28	Modelo programa Cypetherm. . . . .	52
29	Fachada ventilada No.1. . . . .	53
30	Fachada ventilada No.2. . . . .	54
31	Fachada ventilada No.3. . . . .	54
32	Fachada ventilada No.4. . . . .	55
33	Fachada ventilada No.5. . . . .	55
34	Fachada ventilada No.6. . . . .	56
35	Fachada ventilada No.7. . . . .	56
36	Muro convencional. . . . .	57
37	Indicador de emisiones globales. . . . .	59
38	Indicador de demanda de calefacción. . . . .	60
39	Indicador de demanda de refrigeración. . . . .	60
40	Fachada ventilada No.5 mejorado. . . . .	62
41	Fachada ventilada No.6 mejorado. . . . .	62
42	Gráfica de comportamiento térmico interior, . . . . .	65
43	Gráfica de temperatura exterior en Guatemala. . . . .	66
44	Isométrico fachadas ventiladas. . . . .	66
45	Fachada ventilada No.5 - Descripción de materiales y elementos constructivos. . . . .	84
46	Fachada ventilada No.5 - Calificación energética. . . . .	85
47	Fachada ventilada No.5 - Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1. . . . .	86
48	Fachada ventilada No.5 - Caracterización de los elementos que componen la envolvente térmica. . . . .	87
49	Fachada ventilada No.5 - Ficha técnica fibra de vidrio. . . . .	88
50	Fachada ventilada No.5 - Ficha técnica tablero de cemento durock USG. . . . .	89
51	Fachada ventilada No.6 - Descripción de materiales y elementos constructivos. . . . .	89
52	Fachada ventilada No.6 - Calificación energética. . . . .	90

53	Fachada ventilada No.6 - Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1.	91
54	Fachada ventilada No.6 - Caracterización de los elementos que componen la envolvente térmica. . . . .	92
55	Fachada ventilada No.6 - Ficha técnica panel Isobox. . . . .	93
56	Fachada ventilada No.5 mejorado - Descripción de materiales y elementos constructivos. . . . .	94
57	Fachada ventilada No.5 mejorado - Calificación energética. . . . .	95
58	Fachada ventilada No.5 mejorado - Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1. . . . .	96
59	Fachada ventilada No.5 mejorado - Caracterización de los elementos que componen la envolvente térmica. . . . .	97
60	Fachada ventilada No.5 mejorado - Ficha técnica tablayeso USG Ultralight. . . . .	98
61	Fachada ventilada No.6 mejorado - Descripción de materiales y elementos constructivos. . . . .	99
62	Fachada ventilada No.6 mejorado - Calificación energética. . . . .	100
63	Fachada ventilada No.6 mejorado - Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1. . . . .	101
64	Fachada ventilada No.6 mejorado - Caracterización de los elementos que componen la envolvente térmica. . . . .	102
65	Cálculo de temperatura interior utilizando fachada ventilada. . . . .	103

## RESUMEN

Esta propuesta de tesis abarca un análisis comparativo de soluciones constructivas para identificar un sistema de fachada ventilada aplicado a una edificación de uso mixto para evaluar si forman parte de un aislamiento térmico eficiente. Tomando en cuenta que fue analizado bajo los parámetros de un clima tropical en la ciudad de Guatemala.

Dicho estudio permitió conocer de manera detallada lo que implica la sostenibilidad en edificaciones e infraestructura, considerando el impacto ambiental en todos sus componentes, materiales y sus propiedades. Así también cuánto simplifica incluir este sistema y cómo aporta económicamente a los sistemas constructivos actuales.

También se describieron las normas de diseño aplicadas que permiten regirse bajo un esquema formal de desarrollo y las condiciones climáticas que están expuestas a un clima en zonas tropicales. Asimismo, se presentaron las aplicaciones del método constructivo que favorezcan un ahorro y eficiencia térmica.

Por último, se detallaron las ventajas y desventajas que impliquen dicho método constructivo, el uso de un software llamado Cypetherm para validar procesos de cálculo y variables que se compararon como transferencia térmica. También se llevó a cabo paquetes de familia aplicado al software de modelado Revit para definir soluciones constructivas de muros de fachadas ventilada y en beneficio del modelado de eficiencia energética.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria de la construcción es una de las áreas con mayor impacto ambiental, ya que es responsable de la extracción y agotamiento de recursos que produce, perjudicando los ecosistemas, generando residuos y provocando efectos adversos a la salud humana. Asimismo, las personas también contribuyen en el impacto ambiental y uno de los casos es cuando dependen del consumo abundante de la energía eléctrica para las actividades diarias. Un ejemplo es el uso de los sistemas de aire acondicionado durante la época de calor, ya que además de consumir bastante energía también afecta en presentar un costo elevado del consumo para una edificación.

Una solución para favorecer un ambiente confortable en lugares cálidos, pero sin generar un impacto ambiental, es por medio de aislantes térmicos que se encargan de oponerse al flujo de calor a través de un sistema de anclajes en una fachada ventilada. Sin embargo, la búsqueda por desarrollar construcciones más eficientes y amigables con el medio ambiente ha llevado a generar avances para fabricar e implementar nuevos materiales para la construcción. Las nuevas construcciones apuestan a materiales que disminuyan el uso de los recursos no renovables, que provengan de fuentes abundantes, de bajas emisiones y de baja energía incorporada, tales como: materiales biodegradables, madera certificada, bioplásticos, entre otros.

Además de la tecnología que se tiene para fabricar dichos materiales, es importante también destacar la obligación que tienen ahora los fabricantes de brindar productos con datos estandarizados de energía para la fabricación y transferencia térmica para promover y a la vez facilitar diseños con bajas emisiones y una alta eficiencia térmica. Hoy en día existen diferentes estándares que se utilizan para comparar diversos materiales y sistemas constructivos con datos de transferencia de calor y optimizar su aplicación en el diseño de una edificación. Cabe destacar, los estándares se rigen por un esquema formal de criterios y soluciones para desarrollar un edificio eficiente en relación con el consumo de recursos durante todo su ciclo de vida.

Asimismo, optimizan la eficiencia energética de las edificaciones con el ahorro de recursos naturales y la utilización de ambientes saludables y ecológicos. Bajo estos estándares las edificaciones responden con un consumo menor de energía, generando menos residuos y aprovechando las oportunidades del entorno sin generar un impacto negativo. También, se pretende construir edificios duraderos, confortables, saludables, funcionales y accesibles para habitar y a la vez trabajar en el mismo, esto para optimizar la productividad de los ocupantes y hacerlo respetuoso a la salud de

dichos ocupantes.

Por lo que es una metodología que ofrece una alta posibilidad para su implementación en Guatemala, no solo por contar con una diversidad de materiales de construcción que se comercializan dentro del país, sino también porque está ubicado en una zona tropical en el mundo. Es decir, Guatemala cuenta con un clima cálido en la mayoría del año.

## II. JUSTIFICACIÓN

Para la elaboración de una edificación es indispensable el uso de materiales tales como el concreto y acero, pero muchos de estos materiales que se usan en la actualidad son provenientes de una explotación de recursos como el agua, combustible, electricidad, etc. Una de las opciones para aprovechar los recursos es por medio de las construcciones sostenibles en donde abarca desde la fase de diseño, anteproyecto, la fase de construcción, utilización del edificio, la demolición de este y la gestión de los residuos. La característica clave de la construcción sostenible es reducir todos los impactos ambientales que pueden presentarse durante el ciclo de vida de una construcción.

Esto se logra englobando factores como el uso eficiente del agua y de la energía eléctrica, uso de materiales de construcción y recursos naturales que no perjudiquen al medio ambiente, una correcta gestión de residuos y utilización de energía renovables. Los factores que influyen en los criterios de sostenibilidad son los materiales y los métodos constructivos y un ejemplo de estos métodos constructivos es la implementación de aislantes térmicos. Dichos productos llegan a crear una barrera al paso del calor entre espacios que naturalmente tienden a equilibrarse en temperatura, evitando que ocurra una transferencia de calor.

Una propuesta, para adaptar este método, es a partir del uso de materiales que se comercialicen dentro del país, que se tengan con más accesibilidad y que no generen un impacto ambiental para su uso y medir que combinaciones entre capas de materiales en un sistema de fachada ventilada puede rendir mejor en cuanto a la eficiencia térmica en una edificación. Dicha propuesta busca la solución constructiva más efectiva, pero siempre cumpliendo con las especificaciones de los criterios de sostenibilidad. Dichos criterios de sostenibilidad cumplen con diferentes beneficios y entre ellos está el ecológico, dado a que se trata de no interferir entre el ecosistema local y global, esto logrando un equilibrio en los recursos que se extraen y se devuelven.

También, hay beneficios del bienestar personal, ya que se garantiza principalmente resguardar por la salud física y mental, con ello logrando un ambiente lo más agradable para los usuarios. Por último, los beneficios económicos que se trata de que sea lo más rentable posible y así lograr aprovechar todos los recursos que se utilice y con ello garantizar a largo plazo menos dependencia de los gastos eléctricos. Cabe destacar que, actualmente hay equipos especializados que se encargan de medir variables de transferencia de calor en los aislantes térmicos en diferentes ambientes, pero resultan ser nada rentable para su análisis.

Sin embargo, el avance de la tecnología ha favorecido a implementar simulaciones ambientales y energéticas a través de softwares especializados. Dichas simulaciones permiten evaluar aspectos como los niveles de confort, consumos de energía, emisiones de carbono, transferencia de calor, entre otros. Estos resultados influyen en la toma de decisiones para identificar soluciones constructivas durante el proceso de diseño de una edificación.

### **III. OBJETIVOS**

#### **A. Objetivo general**

Evaluar cuáles son las soluciones para una eficiencia energética y aislamiento térmico aplicado a un sistema de fachada ventilada en un clima tropical.

#### **B. Objetivos específicos**

- Identificar las soluciones constructivas más efectivas en un sistema de fachada ventilada aplicado a una edificación de uso mixto para mantener la menor transferencia de calor por medio del software Cypetherm.
- Analizar los impactos positivos en cuanto a los métodos y materiales constructivos actuales en comparación con los que se rigen por los métodos y materiales de criterios sostenibles que involucren eficiencia energética y aislamiento térmico.
- Analizar la eficiencia térmica de una edificación de uso mixto aplicado a un sistema de fachada ventilada y determinar variables de transferencia de calor y resistencia térmica.
- Determinar el costo de la implementación de un sistema de fachada ventilada y cómo aporta económicamente a los sistemas constructivos actuales.

## IV. MARCO TEÓRICO

### A. Sostenibilidad

#### 1. Concepto.

La sostenibilidad implica asegurar las necesidades de la actualidad, pero sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras. Tomando en cuenta que se rige bajo los pilares de la protección del medio ambiente, crecimiento económico y desarrollo social. En el caso de medio ambiente, factores como la protección y uso racional de los recursos naturales, apuesta por las energías renovables, ahorro de agua, incentivar la movilidad sostenible, y la innovación en construcción y arquitectura sostenible colaboran con la sostenibilidad desde varios puntos. En el pilar social, la sostenibilidad impulsa el desarrollo social para buscar una coherencia entre comunidades y culturales para lograr niveles satisfactorios en el estilo de vida, sanidad y educación.

Por otro lado, en el pilar económico la sostenibilidad promueve un crecimiento económico que genera riqueza equitativa para todos sin perjudicar el medio ambiente. Este pilar incluye diferentes actividades, tantas finanzas hasta agricultura, turismo, la industria, entre otros. Cabe destacar que una inversión y distribución igualitario de los recursos económicos favorece a dichos pilares para lograr un desarrollo en conjunto. Asimismo, al estar relacionadas los pilares de sostenibilidad fomentan a resolver problemas del cambio climático a partir desde una perspectiva global y promoviendo dicho desarrollo. (Acciona, 2020)

#### 2. Ahorro energético en edificaciones.

Una construcción sostenible que implique un ahorro energético es aquella que minimiza el uso de energía, esto de forma racional, con el fin de ahorrar gastos y emisiones. Sin embargo, para llevar a cabo dicho ahorro se tiene que optimizar tanto el consumo como la producción de energía, esto por medio de fuentes renovables y promoviendo el reciclaje. Es decir, la reducción del uso de energía no implica disminuir las comodidades, al contrario, esto se puede lograr por medio de prácticas como el modelo energético, diseño de instalaciones eléctricas, correcta elección de luminarias, equipo mecánico y cristales. (IPUR, 2021)

### 3. Reducción de uso de recursos naturales en edificaciones.

La construcción de edificaciones implica la utilización de materiales que provienen de recursos naturales tales como: madera, minerales, agua y energía. Los materiales que son tratados y que han sufrido un proceso de fabricación utilizado en el área de la construcción tiene efectos medioambientales muy predominantes, además de depender de un uso intensivo de energía. A su vez siguen generando impactos ambientales debido a la contaminación por las emisiones que se provoca en los mismos.

Preservar el medio ambiente consiste en minimizar el uso de recursos naturales, pero para esto es indispensable analizar los ciclos de vida de dichos recursos y materiales de construcción para que en lugar de que sean para un uso de cadena con principio y fin, lo cual induce a utilizar nuevos recursos, se puede promover la reutilización y reciclaje de los materiales de construcción y recursos, esto para aumentar su tiempo de vida útil. (SATEMediterráneo,2021)



Figura 1. Ciclo de vida de materiales de construcción.

Fuente: (Gruppe, 2016)

### 4. Disminución de emisiones de contaminantes en edificaciones.

En la actualidad, el área de la construcción es responsable del 23 % de la contaminación atmosférica, un 40 % de la contaminación proveniente del agua potable y 50 % de residuos en los vertederos. La producción de dióxido de carbono es una de las principales causas del calentamiento

global, pero desafortunadamente en el sector de la construcción contribuye en 39 % de emisiones de dióxido de carbono proveniente de la energía. Dicho porcentaje se origina durante la obra, transporte y la elaboración de los materiales de construcción.

Sin embargo, hay otro factor que afecta en la contaminación atmosférica y casi no se toma en cuenta y es el polvo de las obras, también denominadas PM10, siendo material particulado menor o igual a 10  $\mu\text{m}$  de diámetro. No obstante, las edificaciones sostenibles velan por el cumplimiento del bienestar de las personas que utilicen dichos edificios y esto se logra mejorando la calidad del aire interior por medio del control de aperturas del exterior de las instalaciones. Esto beneficia al habilitar una ventilación natural, al emplear materiales ecológicos, al dar seguimiento a la producción del CO<sub>2</sub>, entre otras. (Dobrowolska,2022)

## **5. Materiales reutilizables o reciclados en edificaciones.**

En todas las etapas de desarrollo de un edificio se generan residuos, iniciando por el acondicionamiento de suelos hasta llegar a la demolición del mismo, pero es indispensable una gestión adecuada para que los materiales sobrantes no generen un impacto ambiental. Un método para reducir la cantidad de residuos y con ello minimizar el daño al medio ambiente es por medio de la reutilización y reciclaje de materiales. Para llevar a cabo esta gestión de materiales se debe de considerar el equipo necesario para la recolección, el transporte, tipos de materiales y valores aproximados, entre otros.

Por ello es importante considerar los beneficios económicos, sociales y ambientales de este método. Cabe destacar que, la efectividad de las técnicas del uso de los materiales dependerá de los mercados de los materiales individuales proveniente de los desechos extraídos, del manejo adecuado de los componentes y de las opciones utilizadas para la recuperación. Esto aportará al orden y la organización, así también como promover decisiones conscientes con el medio ambiente y la utilización de recursos naturales no renovables. (Bonet et al., 2016)

## **6. La energía contenida en una edificación.**

La energía contenida es la energía total que se ha consumido a lo largo de la construcción de un proyecto. Dicha energía abarca desde la fabricación de los materiales, el medio de transporte

de estos y el uso de la maquinaria durante la ejecución de la obra. También se puede llamar energía gris y es el indicador más utilizado para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> en el desarrollo de una obra. Este valor se puede calcular sumando las energías contenidas en los materiales utilizados más la que se consumió durante el proceso de construcción, las dimensionales de estos valores son joules, watts o BTU's.

Para que un edificio se considere sostenible, no es suficiente con una disminución de consumo energético, ya que se estaría tomando en cuenta únicamente su etapa de uso y no su ciclo de vida completo. No será de mucha ayuda construir un edificio que no consume energía si durante el proceso de construcción se utilizó materiales de alta energía contenida, eventualmente el impacto ambiental no disminuiría. Esto debe tomarse en cuenta desde la fase de diseño, esto garantizará no solo la disminución del consumo de agua sino también el de combustibles fósiles y la generación de residuos. Existen tres criterios que ayudan a tomar en cuenta cómo reducir la energía contenida: usar materiales locales, disminuir el proceso de transporte con consumo de combustibles fósiles y el uso de materiales con baja energía contenida.

En el área de la construcción, los materiales que más utilizan un consumo energético tanto en su proceso como en su uso son los metales como el acero y el aluminio. Por otro lado, materiales como concreto y ladrillo tienen un menor consumo. No obstante, la relación del índice de energía contenida y la cantidad de material usado en obra es lo que va a definir si conviene usarlo. Por lo tanto, siempre hay que buscar un balance y medir el impacto de utilizar materiales para un proceso constructivo. (Pereira, 2022)

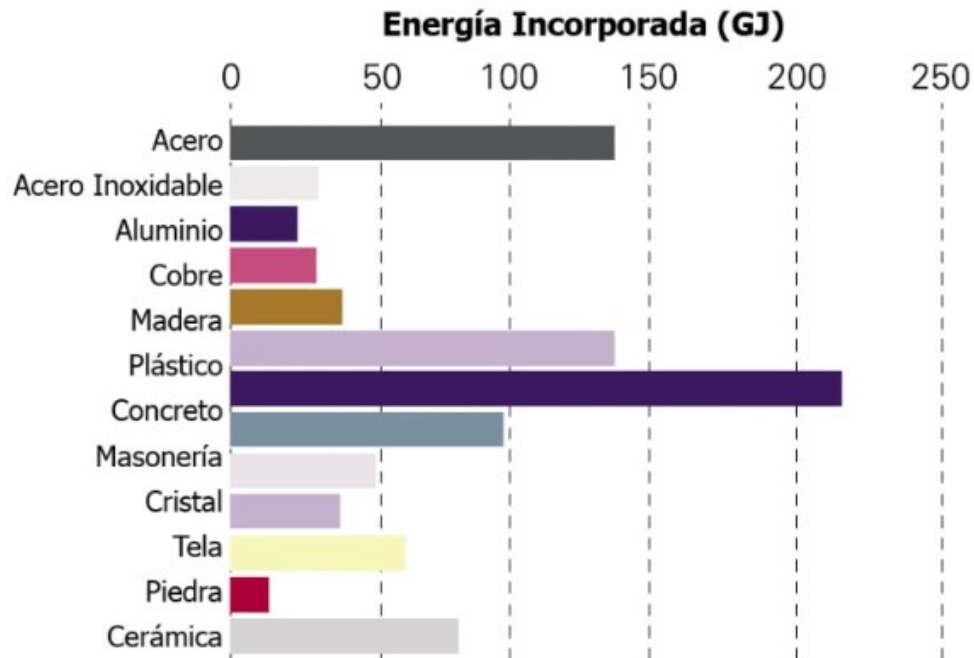


Figura 2. Energía contenida de materiales de construcción.

Fuente: (Gramas, 2014)

## 7. Huella de carbono en construcciones.

Es todo conjunto de emisiones de gases de efecto invernadero, de forma directa o indirectamente, por productos, personas o regiones geográficas y se mide en CO<sub>2</sub> equivalentes. También se puede decir que es una herramienta, ya que permite identificar a cada persona en cuánto a cómo radica las emisiones en sus actividades diarias. Sin embargo, esto es una necesidad en la que deben tomarse acciones, porque según las previsiones de la AIE (Agencia Internacional de Energía) las economías industrializadas aumentarán sus emisiones de CO<sub>2</sub> en 400 mega toneladas entre 2006 y 2030. Una de las soluciones para contribuir a la disminución de estas emisiones es el uso de fuentes de energía renovables.

Además, para el caso de la construcción es necesario el uso de materiales sostenibles que incluyan materias primas naturales como fibras vegetales, arcillas y piedras, tomando en cuenta que cuenten con un buen rendimiento térmico para aportar una mejor climatización en los ambientes interiores. La implementación de grandes ventanales, la correcta orientación y la ventilación natural son otras

de las opciones para incidir en una disminución de emisión de CO<sub>2</sub>. Por naturaleza cualquier edificio genera, por poco que sea, una cantidad de efecto invernadero, además de su emisión en la fase de construcción también radica en el uso, demolición y mantenimiento, transporte y generación de residuos. Por lo tanto, las construcciones pueden tener un impacto ya sea negativo o positivo en el medio ambiente, pero todo depende de cómo se diseñe, planifique y se construya. (Torres, 2021)

## **8. Sistemas de gestión ambiental ISO 14001.**

El sistema de gestión ambiental, basado en la norma ISO 14001, permite que una organización pueda medir sus actividades, servicios y productos que sean susceptibles a un impacto sobre el medio ambiente y con ello minimizarlos. Este sistema se basa en una gestión de causa y efecto, es decir, las actividades, servicios y productos que provee una organización son las causa y los efectos son los impactos que provoca sobre el medio ambiente. Los impactos pueden ser la contaminación producida en un terreno colindante de la organización o un aumento de enfermedades, como asma, en las personas que se encuentre en un radio cercado de la empresa.

Los sistemas de gestión ambiental se relacionan con la gestión de calidad, debido a que son mecanismos que se dan por procesos sistemáticos y cíclicos en el que se planea lograr una mejora continua. Dicho ciclo inicia con la planificación de un resultado deseado por la organización y verificar si el plan funciona. Si el plan no funciona de deben de realizar modificaciones en el proceso, para ello se toman en cuenta las observaciones que surgen durante el proceso de comprobación del plan. Por otro lado, si el planteamiento inicial cumple con el plan, el sistema proyectará muchos progresos que mejorarán el avance continuo hacia el resultado final. (ESGinnova, 2014)

## **B. Propiedades térmicas de los materiales**

### **1. Capacidad calorífica.**

La capacidad calorífica es una propiedad que indica la habilidad de un material en absorber calor y cambiar su temperatura, esto se expresa al medir la energía externa necesaria para aumentar una unidad de temperatura. En condiciones matemáticas, la capacidad calorífica “C” se expresa como:

$$C = \frac{\Delta Q}{T} \quad (1)$$

Donde “Q” es el cambio de calor en joules (J) y “T” la temperatura en grados centígrados (°C).

Dicha capacidad calorífica se identifica como la mayor o menor dificultad que puede presentar un cuerpo para experimentar cambios si se le expone a calor. Un ejemplo en donde se aplique estos conceptos, la capacidad calorífica del agua de una piscina será considerablemente mayor a diferencia de la capacidad calorífica de un vaso de que se puede calentar de forma simple en un microondas. (INFINITIA Industrial Consulting, 2022)

## 2. Conductividad térmica.

La conductividad térmica “K” es la capacidad de un material en transferir calor y se expresa en unidades del Sistema Internacional:

$$K = \frac{Q * d}{A * \Delta T} \quad (2)$$

Donde Q es la cantidad de calor transferido a través del material en joules (J) o Vatios (W). d es la distancia entre los dos planos del material en metros (m). A es el área de la superficie del material en metros cuadrados ( $m^2$ ). Cambio de temperatura es la diferencia de temperaturas entre las dos caras del material en grados centígrados (°C). El resultado es dado en (W/(m\*K))

Cabe destacar que los metales son materiales que tienen la capacidad de transferir temperaturas extremas tanto caliente como fríos, pero el diamante es un material conductor térmico más eficaz conocido por el hombre y le siguen materiales como plata, cobre, carburo de silicio, grafito, hierro y el acero. La razón por la que se expresa una conductividad térmica en los metales es por la cantidad de electrones libres en las capas más externas, lo que permite una mayor movilidad y transporte de energía térmica, pero a diferencia de los plásticos, materiales aislantes o bien la madera funcionan oponiéndose al flujo de calor. Asimismo, la conducción térmica es un fenómeno que hace que el calor siempre fluya de la región de temperatura más alta a la más baja entre distintos cuerpos. (INFINITIA Industrial Consulting, 2022)

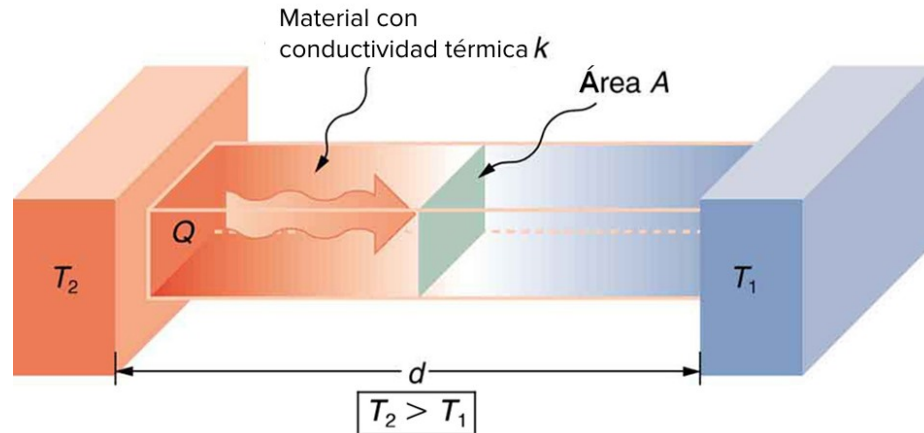


Figura 3. Transferencia de calor.

Fuente: (Costigan, 2016)

### 3. Dilatación o expansión térmica.

Algunos materiales presentan una propiedad de expansión cuando se elevan a una alta temperatura y se contraen a una baja de temperatura. La dilatación térmica de los materiales representa su expansión cuando se calientan. Sin embargo, hay diferentes tipos de dilatación térmica y uno de ellos es la lineal que es cuando domina la variación en una única dimensión de un cuerpo. La dilatación cúbica se basa en el coeficiente de dilatación volumétrica y compara el valor del volumen total de un cuerpo previo y posterior a un cambio de temperatura. Por último, La dilatación de área o superficial es cuando un cuerpo aumenta sus dimensiones en la misma proporción (INFINITIA Industrial Consulting, 2022).

### 4. Aislantes térmicos.

Los aislantes térmicos se caracterizan como un conjunto de materiales y técnicas de instalación empleados a un espacio para minimizar las transferencias de calor a través de los espacios adyacentes. Además, disponen de propiedades que los vuelven convenientes por su conductividad y su permeabilidad, logrando así un mayor impedimento de calor a habitaciones. También poseen una capacidad calorífica que se analiza para valorar el comportamiento del aislante durante un periodo de tiempo, sin embargo, propiedades como absorción del agua es importante analizar debido a que puede alterar otros factores como la conductividad, densidad y dicha capacidad calorífica. Los

aislantes térmicos proporcionan muchas ventajas tales como el ahorro económico y energético, un cuidado del medio ambiente, una optimización de la habitabilidad y el confort e incluso una mejoría en la estética de las edificaciones. (Aceroform, 2022)

## 5. Transmitancia térmica.

La transmitancia térmica es el medio de calor que fluye por unidad de tiempo y superficie entre un material que separa dos espacios con distintas condiciones, es decir, con una diferencia de temperatura de por lo menos un grado centígrado.

La fórmula para realizar el cálculo de transmitancia térmica solo para el análisis de un material independiente es por medio de:

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (3)$$

Donde “ $R_t$ ” es la resistencia térmica de todas la capa de material que se está analizando y como resultado es dado en  $(W/m^2 \cdot K)$ . Cabe destacar que la ecuación de transmitancia térmica puede utilizarse tanto en fachadas como en cubiertas o tejados, pero debe de considerarse que las capas de materiales deben ser distribuidos de forma homogénea sin importar el grosor. En el caso si se quisiera analizar un elemento homogéneo en contacto con el exterior se expresa por medio de la formula:

$$U = \frac{1}{R_i + \sum \frac{e}{\lambda} + R_e} \quad (4)$$

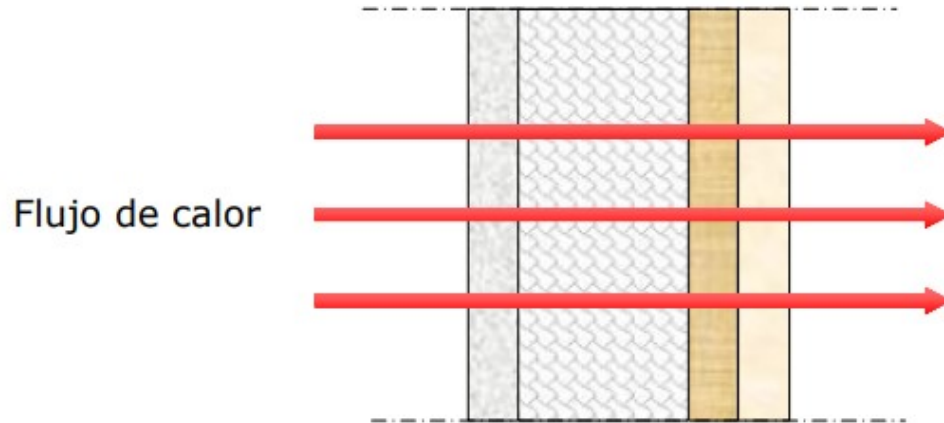
Donde “ $R_i$ ” es la resistencia térmica de superficie interior  $(m^2 \cdot K/W)$ , “ $R_e$ ” es la resistencia térmica de superficie exterior  $(m^2 \cdot K/W)$ , “ $e$ ” es el espesor de la capa del material a evaluar en metros (m) y “ $\lambda$ ” es el coeficiente de conductividad térmica del material en  $(W/m \cdot K)$ .

Si no fuera el caso en donde se analiza un elemento homogéneo, se requiere una fórmula heterogénea adicional que toma en cuenta las diferentes áreas que tienen las capas que se quiere analizar. Esta fórmula se expresa por medio de:

$$U = \frac{\sum U_i * A_i}{\sum A_i} \quad (5)$$

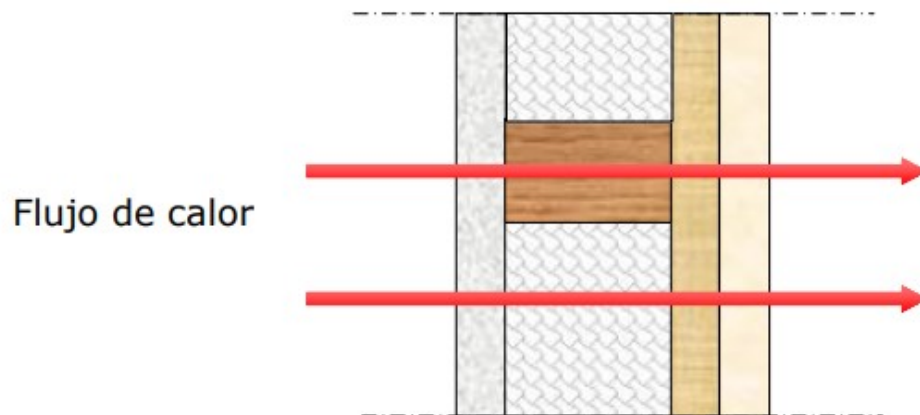
Donde “ $U_i$ ” es la transmitancia térmica de un material  $(W/m^2 \cdot K)$  y “ $A_i$ ” es es el área de superficie de un material en metros (m).

Asimismo, hay que tomar en cuenta que la conductividad térmica es un dato que debería ser proporcionado por los fabricantes de cada uno de los materiales que se utiliza para formar las capas, ya que esto permite calcular con más precisión la transmitancia térmica. (Climalit Plus, 2020)



*Figura 4.* Transmisión de calor en muro homogéneo.

Fuente: (ACR,2021)



*Figura 5.* Transmisión de calor en muro heterogéneo simple.

Fuente: (ACR,2021)

## **6. Transferencia de calor por conducción.**

Es el efecto de interacción entre moléculas. Las moléculas se caracterizan porque, al estar a una temperatura más alta vibran con una mayor rapidez, dichas moléculas chocan contra otras con menor carga energética que se encuentran en una menor temperatura. La consecuencia del choque entre moléculas que se desplazan a mayor velocidad transfiere una parte de su energía a las moléculas que se están moviendo más despacio. Cabe destacar que la transferencia de calor por conducción siempre se da desde una zona con una mayor temperatura hacia una zona con menor temperatura. Es decir, la transferencia de calor por conducción se da por medio de una diferencia de temperaturas.

La fórmula para realizar el cálculo de transferencia de calor por conducción es por medio de:

$$q = k_c * A * \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (6)$$

Donde la variable  $k_c$  es conductividad térmica del  $W/m^2\text{°C}$ , la variable  $A$  es el área de la superficie a analizar en  $m^2$ , la variable  $T_1-T_2$  es el cambio de temperatura exterior menos interior y la variable  $L$  es la longitud característica en m. (Jiménez, 2022)

## **7. Transferencia de calor por convección.**

Es un tipo de transferencia de calor que opera dos mecanismos de forma simultánea. El primer mecanismo se da por medio del movimiento molecular, es decir, por la transferencia de calor por conducción. El segundo mecanismo es por medio de la transferencia de calor por medio del movimiento macroscópico de “paquetes” de fluido. Dicho movimiento de fluido es dado por el gran número de moléculas que se desplazan por cuestión de una fuerza externa. La fuerza externa puede ser por un gradiente de densidad, convección natural, presión generada, un ventilador o una combinación de ambas. No obstante, este tipo de transferencia de calor depende de la densidad, viscosidad, velocidad del fluido y sus propiedades térmicas (conductividad térmica y calor específico).

Para ejemplificar este tipo de transferencia de calor puede ser el sistema de calefacción domésticos de aire y agua calientes, el sistema de enfriamiento de un motor de combustión y también el flujo de sangre en el cuerpo humano. La convección se puede clasificar por forzada y natural, la convección forzada es cuando el fluido circula impulsado por un ventilador o bomba. Por otro lado, la convección natural se debe a diferencias de densidad provocadas por expansión térmica, como por ejemplo el ascenso de aire caliente.

La fórmula para realizar el cálculo de transferencia de calor por convección es por medio de:

$$q = h_c * A * (T_1 - T_2) \quad (7)$$

Donde la variable  $h_c$  es el coeficiente convectivo de transferencia de calor  $W/m^2\text{°C}$ , la variable  $A$  es el área de la superficie a analizar en  $m^2$  y la variable  $T_1 - T_2$  es el cambio de temperatura exterior menos interior. (Jiménez, 2022)

## 8. Transferencia de calor por radiación.

La radiación se le conoce como la transferencia de calor provocado por ondas electromagnéticas, por ejemplo: la luz visible, el infrarrojo y la radiación ultravioleta. El índice de radiación de energía de una superficie es directamente proporcional al área superficial del material a analizar, siendo aumentado por la temperatura. La fórmula para realizar el cálculo de transferencia de calor por radiación es por medio de:

$$q = \epsilon_{ef} * \sigma * A * (T_1^4 - T_2^4) \quad (8)$$

Donde epsilon es la Emisividad de la superficie del material, Sigma es la constante de Stefan Boltzmann,  $A$  es el área de la superficie a analizar en  $m^2$  y  $T_1 - T_2$  es el cambio de temperatura exterior menos interior. (Jiménez, 2022)



Figura 6. Tipo de transferencias de calor.

Fuente: (Leskow, 2021)

## **9. Conductores.**

En la clasificación de materiales para este tema de conductores existen dos siendo metales y no metales. En el caso de los metales, se caracterizan por ser buenos conductores de calor y es debido a que tienen una gran cantidad de electrones que puede desplazarse sin restricciones. En el caso de no metales (como puede ser la tela o madera) tienen una cantidad pequeña de electrones libres lo cual es susceptible a que tengan baja capacidad de conducir calor.

No obstante, el medio por el cual una sustancia puede conducir calor depende de su fase. En el caso de los gases, son malos conductores térmicos debido a que las moléculas están relativamente separadas y eso provoca que los choques entre ellas sean mínima. Por el contrario, los líquidos y sólidos son mejores conductores térmicos, debido a que sus moléculas están menos separadas y por lo tanto es más propenso que interactúen entre sí. (Jiménez, 2022)

## **10. Puente térmico.**

Un puente térmico se define como un área de un envolvente de una edificación o vivienda que se transmite con mayor facilidad el calor hacia otras áreas. Esto es dado por la capacidad de conductividad térmica de los materiales que se extiende en los envolventes, también por la diferencia de espesores de los mismos y por razones geométricas de la estructura. Sin embargo, es importante evitar esos puentes térmicos para minimizar las pérdidas de calor y, por lo tanto, mantener un ambiente con más confort.

Una de las soluciones más efectivas para reducir los puentes térmicos es a través de sistemas de rotura de puente térmico utilizando materiales con características de poca conductividad térmica, con esto se logra que la cara interior y exterior de una estructura se limite el contacto y reduciendo la pérdida de calor. Un ejemplo a pequeña escala de un puente térmico es por medio de una ventana con marcos de aluminio, esto se debe a que el aluminio tiene una gran conductividad térmica siendo mayor que el cristal. Por lo tanto, una solución para evitar este puente térmico es por medio de perfiles de plástico embutidos que separan el perfil del aluminio de la ventana y con ello minimizando la pérdida de calor. (Ecohouses, 2018)

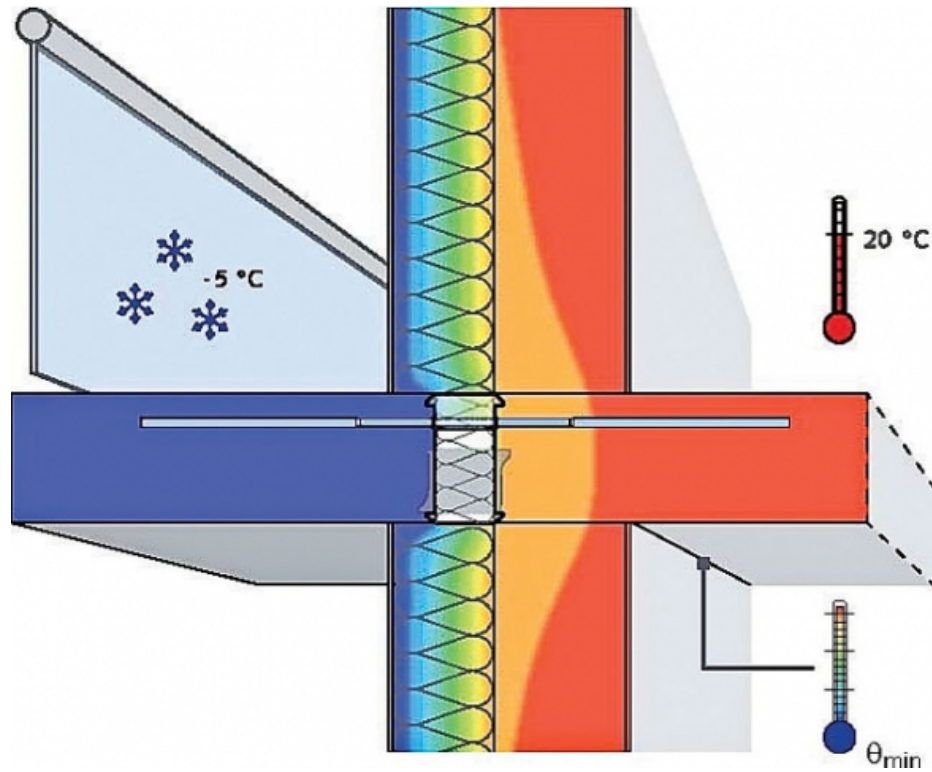


Figura 7. Puente térmico en losa.

Fuente: (Tiberio, 2018)

## 11. Resistencia térmica.

Es una propiedad que indica la capacidad de un material, ya sea de forma aislante o de envolvente de una edificación o vivienda, de oponerse al flujo de calor y esto se mide en ( $m^2 \cdot K/W$ ). La resistencia térmica se expresa a través de:

$$Rt = \frac{e}{\lambda} \quad (9)$$

Donde “e” es el espesor de la capa del material a evaluar en metros (m) y “Lambda” es el coeficiente de conductividad térmica del material en ( $W/m \cdot K$ ).

Para mantener una vivienda de forma confortable y de bajo consumo energético es recomendable utilizar aislantes con una baja conductividad térmica y con grandes espesores para que su resistencia térmica sea de un valor alto. Cabe destacar, la resistencia térmica es directamente proporcional al espesor “e” del aislante, por lo tanto, con un mayor espesor se puede lograr mantener una mejor

aislación en un ambiente. Sin embargo, además de analizar la resistencia térmica de los materiales para resistir al flujo de calor también se debe de considerar la correcta instalación evitando los puentes térmicos y lograr aprovechar la capacidad térmica que puede ofrecer los materiales. (Aislacel, 2022)

En el caso del material del hormigón simple, cuenta con una resistencia térmica alrededor de  $0.058 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  y con una transmitancia térmica de  $17.20 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ . En los casos en el que el hormigón cuenta con un armado, siendo afectado térmicamente por el material del acero, su resistencia térmica baja alrededor de un  $0.043 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  y por lo tanto su forma de transmitir calor es más alto que un convencional siendo de  $23 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ . No obstante, esto puede ir variando, como se dijo con anterioridad, debido al espesor que tenga el muro a analizar. En los materiales de madera puede ir variando sus propiedades térmicas por el tipo que sea, en el caso de la madera frondosa tiene una resistencia térmica de  $0.556 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  y una transmitancia térmica de  $1.80 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ . Por otro lado, en el caso de la madera conífera tiene una resistencia térmica de  $0.667 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  y una transmitancia térmica de  $1.50 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ . (Seiscubos, s. f.)

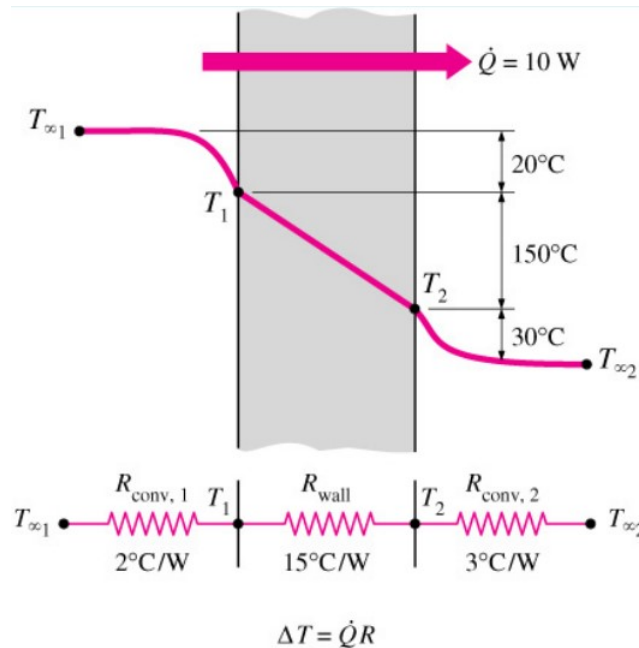


Figura 8. Resistencia térmica de un muro.

Fuente: (Connor, 2020)

## 12. Propiedad térmica de los bloques de concreto.

Los bloques de concreto tienen diferentes usos, ya que se puede usar como elemento estructural o bien como divisiones entre espacios. Además, se caracterizan por ser materiales ejemplares por ser resistentes y con mucha durabilidad, pero no son los aislantes térmicos perfectos. La transferencia de calor que puede ocurrir desde adentro hacia afuera de una estructura y viceversa puede ser una desventaja para el material, ya que favorece a conducir una transferencia de calor considerable. (Fisher, 2023)

### **13. Propiedad térmica del ladrillo.**

El ladrillo se caracteriza por tener propiedades de versatilidad, resistencia y propiedades de aislamiento térmico, eso lo convierte en un material idóneo para aplicaciones arquitectónicas y de ingeniería. La aplicación de este elemento constructivo posibilita el uso desde los pisos, muros, dinteles, arcos hasta vigas. Cabe destacar que dicho elemento constructivo se utiliza tradicionalmente como mampostería, el cual se ha aprovechado por su condición modular para garantizar la estabilidad de un muro. Es ideal como aislante térmico, debido a que se encarga de acaparar el calor durante el día y lo transmite en la noche. Aunado a esto, favorece en la difusión de vapor de agua contenida en el aire húmedo y tiene resistencia al fuego. (El comercio, 2020)

		<b>Conductividad</b> W/m-k	<b>Resistencia</b> m <sup>2</sup> -K/W	<b>Transmitancia</b> W/m <sup>2</sup> -K
No aislantes	Basalto	3.500	0.029	35.00
	Piedra arenisca	3.000	0.033	30.00
	Hormigón armado	2.300	0.043	23.00
	Hormigón convencional	1.720	0.058	17.20
	Ladrillo macizo	1.500	0.067	15.00
	Piedra caliza	1.400	0.071	14.00
	Adobe	1.100	0.091	11.00
	Ladrillo perforado	0.740	0.135	7.40
	Bloques de termoarcilla	0.250	0.400	2.50
Intermedios	Madera frondosa	0.180	0.556	1.80
	Madera conífera	0.150	0.667	1.50
	Tablero de partículas de madera	0.130	0.769	1.30
	Hormigón celular	0.090	1.111	0.90
	Panel de perlita expandida (EPB)	0.062	1.613	0.62
Aislantes	Corcho expandido	0.049	2.041	0.49
	Lana mineral	0.040	2.500	0.40
	Poliestireno extruido (XPS)	0.038	2.632	0.38
	Poliestireno expandido (EPS)	0.037	2.703	0.37
	Poliuretano proyectado (PUR)	0.035	2.857	0.35
	Espuma de poliisocianurato (PIR)	0.025	4.000	0.25

Cuadro 1

*Propiedades térmicas de materiales de construcción.*

Fuente: (Seiscubos B, s.f.)

## C. Aplicación de método constructivo

### 1. Mécanica de materiales en los cerramientos.

Cerramientos exteriores se refiere a los elementos o bien superficies que delimitan y a la vez acondicionan los espacios y con ello limitando el ingreso que da paso de la luz o el aire. Los cerramientos suelen hacerse con tabiques u otros materiales que favorecen a cerrar o tapar las aberturas y proveer funciones aislantes térmico y acústico y funciones sanitarias. Además, puede proveer protección al recinto, también añade rasgos estéticos al lugar tanto de la vista exterior como interior. No obstante, para la selección de materiales de cerramientos depende del área a cerrar y la capacidad económica del usuario, así también como los rasgos estéticos deseados.

Entre los materiales más comunes en donde conforman los cerramientos son el concreto, alumi-

nio y pvc. Esto se debe a la durabilidad y versatilidad que brindan a una estructura, pero a pesar de ello pueden provocar un puente térmico que afectan el interior del recinto. No obstante, existen materiales que evitan los puentes térmicos con el uso de sus propiedades térmicas tales como el policarbonato o el panel Sándwich, ya que su conductividad térmica es mínima. (Tradeal, s. f.)

## **2. Mécanica de materiales en las divisiones.**

Los cerramientos interiores se encargan de dividir un espacio habitable y al mismo tiempo protegerlos del sonido o la luz exterior. Los cerramientos interiores se caracterizan por su disposición, ya que pueden ser fijos o bien móviles (puertas o cortinas de cristal). No obstante, al igual con los cerramientos exteriores también, se pueden clasificar por materiales, acabados, tamaños, espesores y las capacidades de aislamiento que puede proveer entre recintos. (Palencia, 2023)

## **3. Sistema de fachada ventilada.**

Un sistema de fachada ventilada es un conjunto de revestimiento exterior de un edificio. Tiene la característica que puede instalarse en obras de construcción nuevas o bien en edificios ya existentes. Este sistema funciona con una cámara de aire entre el muro perimetral y el revestimiento exterior y su objetivo principal es ejercer un sistema de regulador de intercambio de calor, luz y aire que se distribuye entre el exterior e interior de un edificio. Además, la fachada ventilada promueve el flujo convectivo del aire que ingresa en la cámara de aire y es por eso que favorece en la eficiencia térmica debido a la diferencia que se establece entre la temperatura del interior y exterior de la cámara.

Cabe destacar, en época de verano es beneficioso usar la fachada ventilada, ya que el aumento de temperatura en el interior de la cámara de aire provoca un “efecto chimenea” que su principio es empujar el aire hacia arriba. Este efecto genera una reducción de temperaturas hacia la temperatura de la pared que da al interior del edificio. Es decir, mantiene fresco el recinto. Otro elemento importante en la fachada ventilada es una capa aislante, el muro que se encarga de soportar la estructura de la fachada ventilada va adherido a dicha capa aislante. (Larrotcha, 2021)

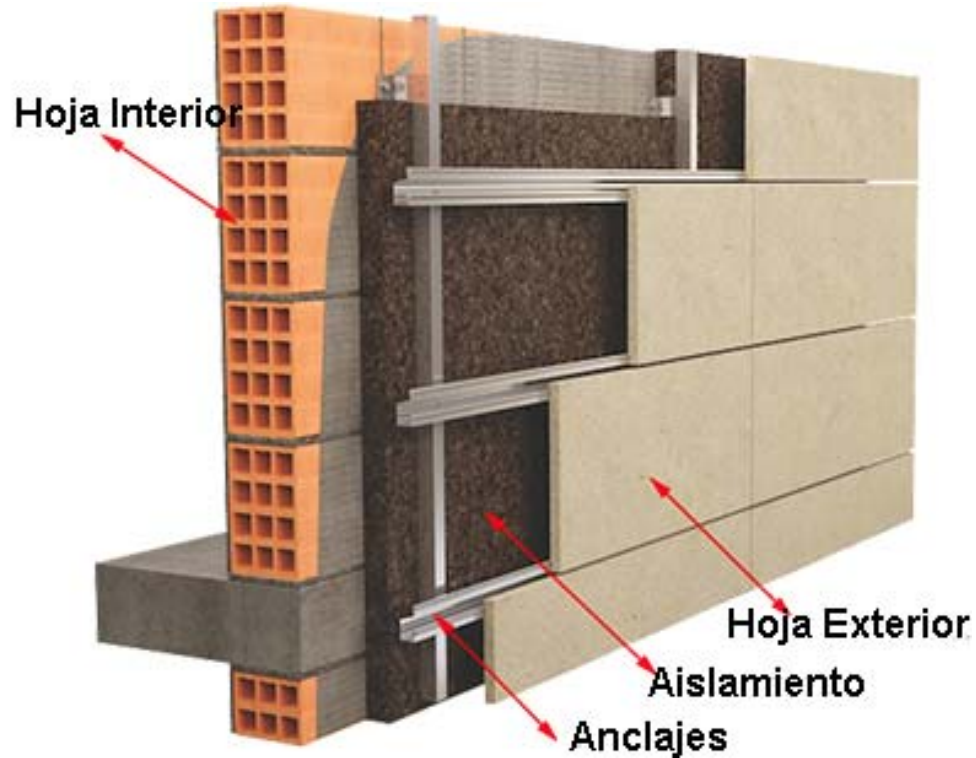


Figura 9. Detalle constructivo de fachada ventilada.

Fuente: (Reformas integrales de viviendas, 2023)

#### 4. Proceso de instalación de fachada ventilada.

Una fachada ventilada es un sistema que va instalado por anclajes en un muro de soporte de ladrillo, hormigón o block de concreto. Seguido del muro se encuentra la capa aislante, dicho material es el encargado de reforzar la capacidad aislante térmica y acústica. Posterior a la capa aislante se encuentra la cámara de aire que es el encargado de la gestión de las corrientes de aire, además de aislar el calor del muro exterior.

Además, se encarga también de reducir la húmeda por condensación en invierno. Por último, se encuentra una capa exterior o de revestimiento de fachada ventilada. Esta capa exterior puede estar hecha de piedra natural ultraligera, metal, madera o una combinación de estos materiales, Sin embargo, se escoge el material de la capa exterior en función de las propiedades que provee y por las funciones estéticas. (Larrotcha, 2021)

#### 5. Ventajas de uso de fachada ventilada.

Existe una variedad de ventajas que ofrece la fachada ventilada, entre ellas están:

- 1) La protección de cerramiento interior contra condiciones climáticas.
- 2) Al utilizar una fachada ventilada hay una mejora de eficiencia energética del edificio, debido al aislamiento exterior continuo y a la cámara ventilada.
- 3) Reducción de humedades lo cual se vuelve más fácil la salida del vapor de agua procedente del interior del recinto.
- 4) Identificando los puentes térmicos en una edificación se pueden eliminar con la aplicación de un aislante interrumpiendo el cerramiento base.
- 5) Ocurre un efecto llamado “efecto chimenea” que se ve beneficiado un edificio dado a que la ventilación de la cámara en verano reduce la temperatura dentro de los recintos.
- 6) No ocurre restricción de movimiento por dilatación tanto de la subestructura como del revestimiento, reduciendo posibles roturas de placas o bien elementos discontinuos en las juntas.
- 7) Existe otro aislamiento que se pone en práctica y es el aislamiento acústico, debido a la incorporación del aislante y de la cámara de aire. Esto promueve parte del confort de un usuario dentro de un recinto.
- 8) Inercia térmica del cerramiento. Una de las funciones de utilizar un material aislante dentro de una fachada ventilada es trabajar como almacén térmico, lo cual facilita que la temperatura del interior se mantenga constante durante todo el día.
- 9) Se mantiene en un equilibrio higrotérmico con más salubridad dentro del recinto.
- 10) Las fachadas ventiladas permiten tener una mayor vida útil, esto debido a la ventilación permanente que proporciona la cámara de aire. Los materiales del revestimiento exterior de las fachadas también se ven beneficiados por tener una mayor durabilidad.
- 11) Las fachadas ventiladas necesitan poco mantenimiento, menos si utilizamos materiales de revestimiento que presentan características resistentes a los inconvenientes climáticos. Como por ejemplo, la pizarra natural.
- 12) Aumenta el valor de la construcción, ya que la inversión que se lleve a cabo en fachadas ventiladas se verá reflejado y beneficiado en eficiencia energética, duración y vida útil, y el

bajo coste en mantenimiento. Lo cual es un valor agregado que no cualquier construcción tiene. (Larrotcha, 2021)

## **6. Tipos de fachada ventilada.**

Las fachadas ventiladas se pueden clasificar de diferentes formas, sin embargo, según el tipo de material son:

- 1) De cerámica extrusionada, tienden a ser una opción muy segura.
- 2) De piedra, son acabados naturales.
- 3) Gres porcelánico, tiene durabilidad y es atractivo visualmente.
- 4) De madera, es un material ecológico.
- 5) De metal, tiene funciones estéticos.
- 6) De composite, tiene un grado de resistencia alto. (Loizaga, 2022)

## **7. Condiciones de instalación de fachada ventilada.**

En condiciones climáticas en donde la presencia del clima se presenta de manera drástica, el ahorro energético que se adquiere al instalar un sistema de fachada ventilada con respecto al consumo de calefacción ronda entre un 40 % y un 50 %. Ahora bien, el precio para instalar una fachada ventilada lo va a determinar los materiales tanto en el recubrimiento como en el aislante que se use y el tamaño en  $m^2$  del muro perimetral que se quiere recubrir.

Cabe destacar que una fachada ventilada es apta para cualquier tipo de edificación, sin embargo, hay que considerar previo a la instalación las condiciones del muro perimetral que sujetara la nueva estructura y ver si es óptimo. Una vez instalada la fachada ventilada, va a proveer diferentes beneficios y entre ellos está el grado de impermeabilización alto, ya que la cámara de aire tiene una ventilación constante lo cual aporta la impermeabilización del muro perimetral. Sin importar que tenga una junta abierta, seguirá evitando que el agua no pase en gran cantidad al interior. (Loizaga, 2022)

## 8. Uso de fachada ventilada en verano.

Los principales efectos de utilizar una fachada ventilada bajo estas condiciones es que deja de haber un golpe de sol en el muro perimetral del edificio, esto se beneficia en que los recintos no padezcan de una temperatura tan alta. Además, ocurre el efecto chimenea en la fachada ventilada, ya que el aire se escapa desde abajo hacia arriba en la cámara de aire y ayuda a que el aire que queda adentro esté más fresco. Aproximadamente, se calcula que en verano puede reducir hasta un 40 % de calor dentro de los recintos. (Loizaga, 2022)

## 9. Uso de fachada ventilada en invierno.

En invierno también ocurre el efecto chimenea dentro de la fachada ventilada, esto se debe a que se calienta el aire entre ambas capas y esto logra que las condiciones interiores de los recintos sean más cálidos. Este aporte da notoriamente un ahorro en el gasto energético. (Loizaga, 2022)

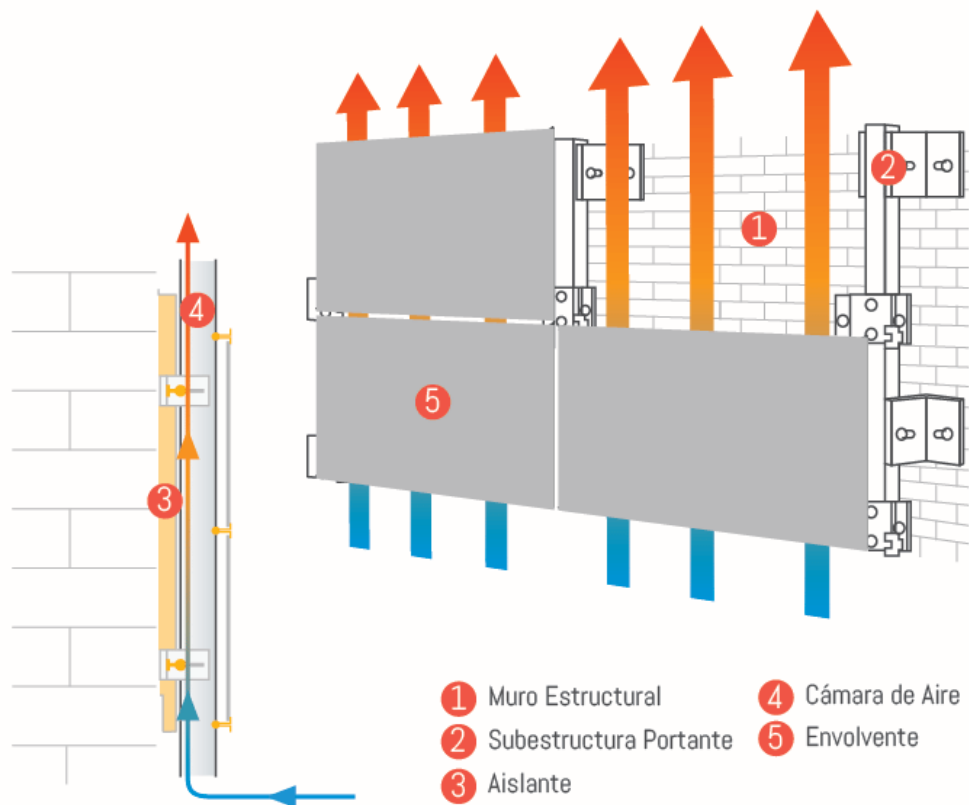


Figura 10. Efecto chimenea en fachada ventilada.

Fuente: (Liv, 2017)

## **D. Clima tropical**

### **1. Concepto.**

El tipo de clima tropical se conoce como de los más comunes en todo el mundo, ya que es caracterizado por tener altas temperaturas y humedad durante todo el año. Se identifica ese tipo de clima en zonas cercanas al ecuador y abarca desde la línea del trópico de Cáncer hasta la línea del trópico de Capricornio. Llega a tener en promedio un rango de temperatura desde los 20°C hasta los 35°C y la humedad relativa es alta, lo cual es susceptible a una gran cantidad de precipitaciones durante todo el año. Cabe destacar que la intensidad de lluvia puede variar según la ubicación geográfica que se encuentre la zona.

Usualmente se considera que cualquier lugar que reciba más de 2000 mm de precipitaciones de forma anual puede ser catalogado como un clima tropical. En el clima tropical existe dos tipos de estaciones distintas siendo la estación seca y la estación húmeda. La estación seca se identifica por tener una menor cantidad de precipitaciones, mientras que la estación húmeda tiene abarca una gran cantidad de lluvia. Sin embargo, la humedad y las altas precipitaciones dan lugar a que se desarrolle una gran variedad de especies de plantas y animales, dentro de las cuales se encuentra selva, bosques tropicales y diversos ecosistemas ricos en flora y fauna. (Microscopio, 2023)

### **2. Clima tropical en Guatemala.**

Guatemala se encuentra en América Central, lo cual hace que tenga un clima muy variado, pero en la mayoría del territorio del país experimenta un clima tropical. Esto se debe a la cercanía con el ecuador y su topografía con características montañosas. Una de las razones que explique la razón de que Guatemala padezca de un clima tropical y la razón del porque hace tanto calor es:

- 1) Temperaturas elevadas: Una de las características de las regiones tropicales es la presencia de altas temperaturas durante todo el año. En Guatemala las temperaturas promedio varían alrededor de los 24°C y los 28°C en las tierras bajas, sin embargo, en los meses más cálidos siendo de marzo a junio incluso puede llegar a superar los 30°C.
- 2) Humedad: Otra de las características principales del clima tropical es la humedad. En Guatemala se presenta humedades considerablemente altas, específicamente durante las épocas

lluviosas y es directamente proporcional a que la temperatura sea más alta.

- 3) Radiación solar directa: Debido a que Guatemala se encuentra cerca del ecuador, está en expuesta de forma significativa a la radiación solar directa durante todo el año. Esto es susceptible al calor que se percibe en todo el país.
- 4) Estación lluviosa y seca: En el territorio guatemalteco existe dos principales estaciones: la estación seca que está presente desde noviembre a abril y la estación lluviosa que está presente desde mayo a octubre. Durante la estación será, el sol tiende a presentar más intensidad y por lo tanto las temperaturas también. Durante la estación lluviosa, las temperaturas pueden presentarse de forma un poco más moderadas, esto se debe a la presencia de nubosidad y la precipitación. Sin embargo, la humedad puede ser alto y ,como se mencionó anteriormente, esto puede explicar la razón de la presencia del clima más caluroso.
- 5) Topografía: Guatemala padece de una topografía montañosa en la mayoría de su territorio y debido a esto puede influir en el clima. En las ubicaciones más altas puede ser un poco más frescas que en las ubicaciones bajas, esto es debido a la latitud. A pesar de ello, se puede presentar temperaturas cálidas durante el día. (Bardales et al., 2019)

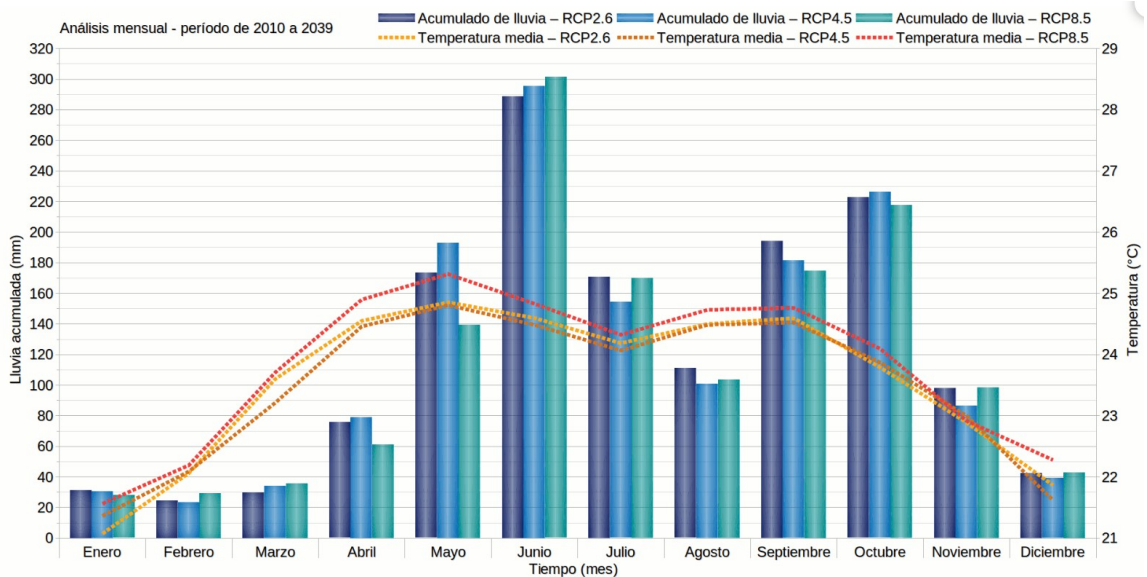


Figura 11. Análisis mensual del periodo 2010 a 2039.

Fuente: (INSIVUMEH, 2022)

Por lo tanto, Guatemala se caracteriza por tener un clima tropical y esa es la razón por la cual padece de temperaturas elevadas, alta humedad, radiación solar directa y presencia de distinción entre la estación lluviosa y seca. Todos estos factores son los que definen que tanto calor puede presentarse en el país. (Bardales et al., 2019)

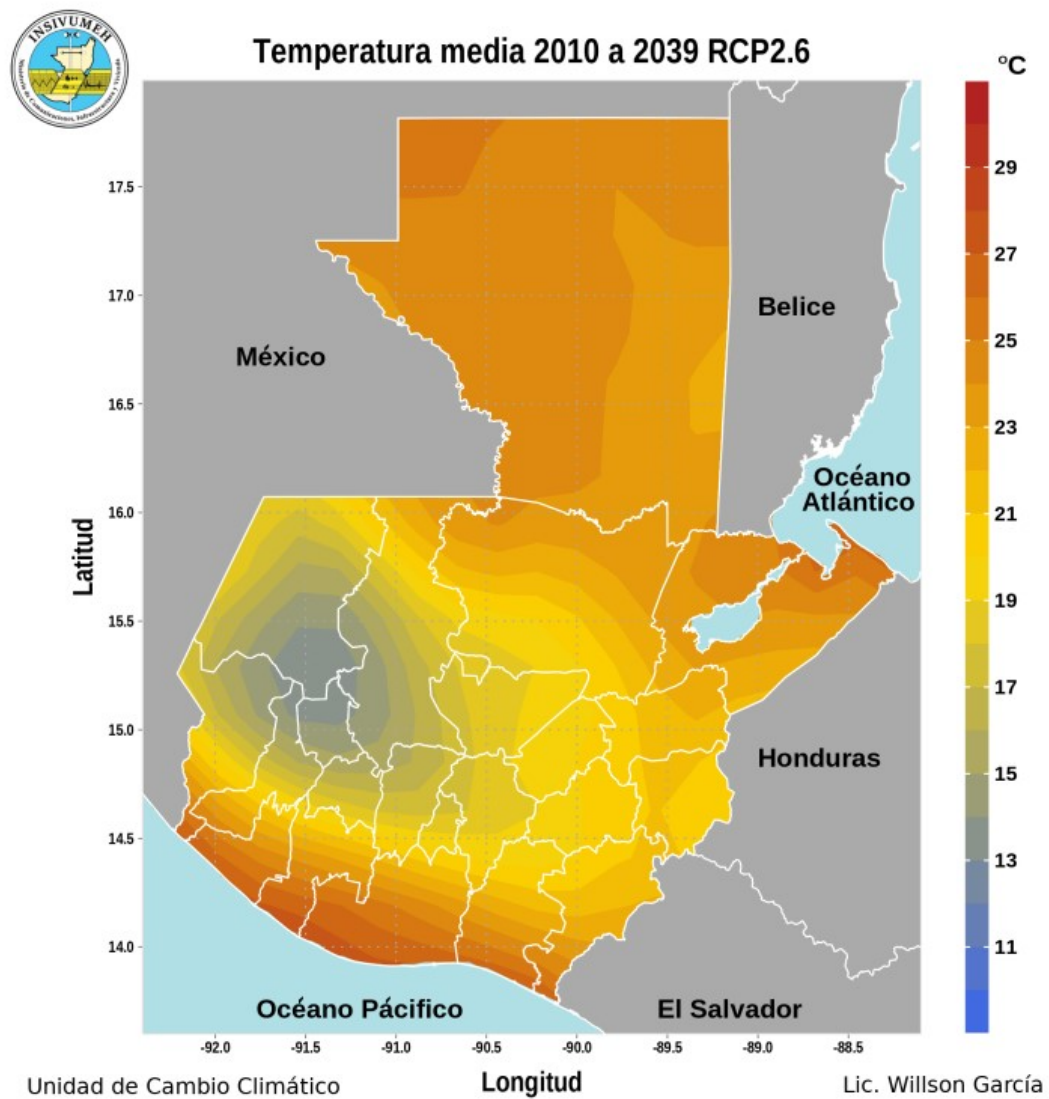


Figura 12. Temperatura media 2010 a 2039.

Fuente: (INSIVUMEH, 2022)

### 3. Estrategias principales de diseño.

Las construcciones de tipo sostenible se identifican por un buen diseño térmico de una edificación y la utilización de materiales locales, con baja incidencia de “energía gris”, pudiendo ser térmicamente eficiente y al mismo tiempo con un diseño bajo condiciones climáticas ya sea tropicales o de cualquier tipo de clima. En el caso del tipo de clima tropical, el análisis del confort térmico dentro de las edificaciones es esenciales para el bienestar de los individuos. Por esta razón, se tiene que considerar una correcta adaptación de una edificación a un área que padezca de temperatura caliente y húmeda, ya que no es recomendable replicar un modelo de vivienda o edificio estándar en diferentes lugares sin haber considerado un estudio del clima previo. Esto es para garantizar una comodidad térmica de manera pasiva, es decir, sin consumir mucha energía eléctrica y tampoco una alta emisión de gases de efecto invernadero. (Construction21, 2020)

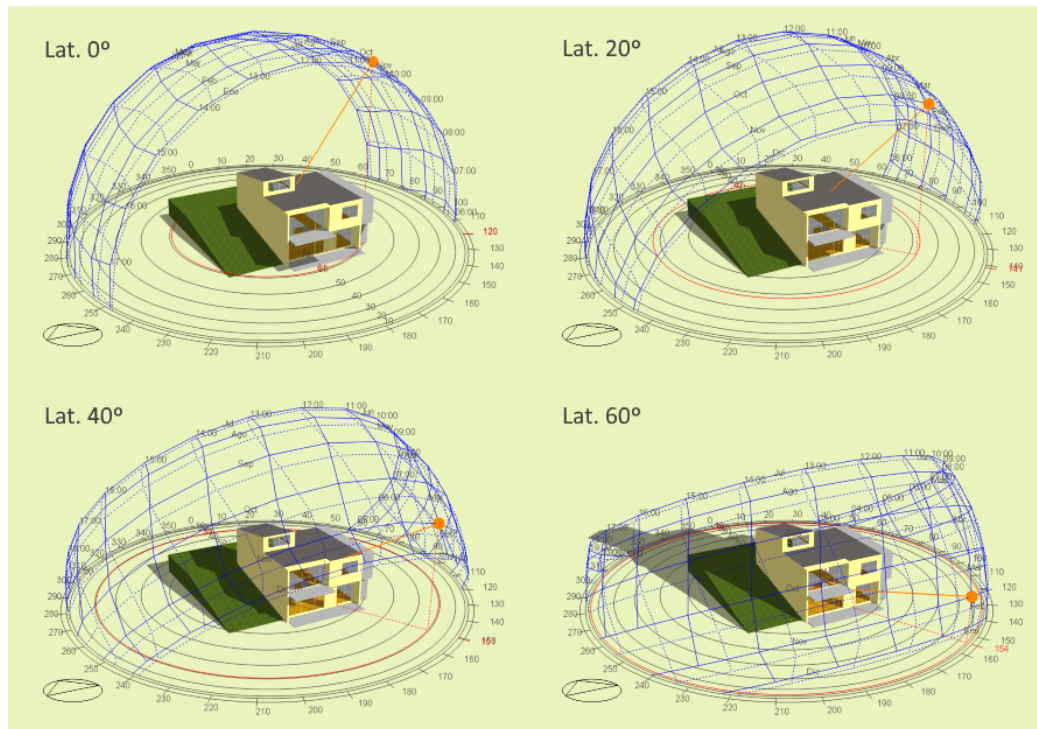


Figura 13. Estudio de carta solar.

Fuente: (Ordóñez, 2022)

Por lo tanto, la adecuación de una construcción en cualquier tipo de clima es una condición para el bienestar de los habitantes, que solo con un análisis y un buen diseño tanto del entorno como de los materiales a utilizar puedan garantizar un bajo impacto en el medio ambiente. Uno de los factores a tomar en cuenta para el diseño es saber orientar las fachadas más grandes, las cubiertas

y las ventanas para no exponerlos mucho tiempo a altos niveles de radiación solar. Por eso es recomendable orientar las fachadas con mayor área hacia el Noroeste, este y sureste, esto se debe a que las primeras horas del día se logra captar la cantidad de radiación solar necesaria sin perjudicar la temperatura interior. También, es importante considerar las construcciones colindantes, ya que si la distancia entre las construcciones es mínima se reduce la posibilidad de captar ventilación necesaria durante la época de calor. Por lo que se debe procurar fachadas libres para una ventilación efectiva en dicha época, ya que permite la disipación de calor. (Conavi, s. f.)

## **E. BIM y sostenibilidad**

### **1. Concepto.**

Al implementar la metodología BIM a la construcción sostenible puede brindar soluciones que promueva una mejora en la calidad del proyecto y a la vez reducir costos. Asimismo, un modelo BIM proporciona datos necesarios para llevar a cabo cálculos de energía en donde se puede ejecutar diferentes escenarios con mayor exactitud y velocidad. También se puede ejecutar y evaluar diferentes diseños de energía de modo que se pueda seleccionar materiales acordes a las necesidades y cumpliendo con los criterios de sostenibilidad y también planificar de una vez la orientación del edificio para captar más la luz natural y así reducir el consumo eléctrico. Hablando de materiales, un ejemplo para garantizar un uso óptimo de materiales por medio del BIM es cuando se diseñan tuberías de agua y conductos de aire acondicionado con recorridos más cortos posibles y con curvas y uniones mínimas, ahorrando materiales y mejorando el flujo de aire y agua. (BIMnd, 2017)

### **2. Dimensión 6D.**

La 6D BIM está relacionado con la eficiencia energética y el desarrollo sostenible de una edificación nueva o existente. Cabe destacar que en esta dimensión se busca examinar desde tres perspectivas siendo la ambiental que se basa en la capacidad de reproducir y sostener los recursos naturales. La segunda perspectiva es la económica que es el derecho de generar ingresos y trabajo. Por último, la tercera perspectiva es la social que es el bienestar para el hombre. En dicha dimensión permite analizar desde la fase de diseño las soluciones técnicas más adecuadas a adoptar para garantizar un menor consumo energético, mayor confort y calidad, con ello garantizando una

sostenibilidad y un uso eficiente en todo el ciclo de vida del proyecto. También, asegura una gestión más consciente y ordenada del flujo de inversión en el activo. (BibLus, 2015)

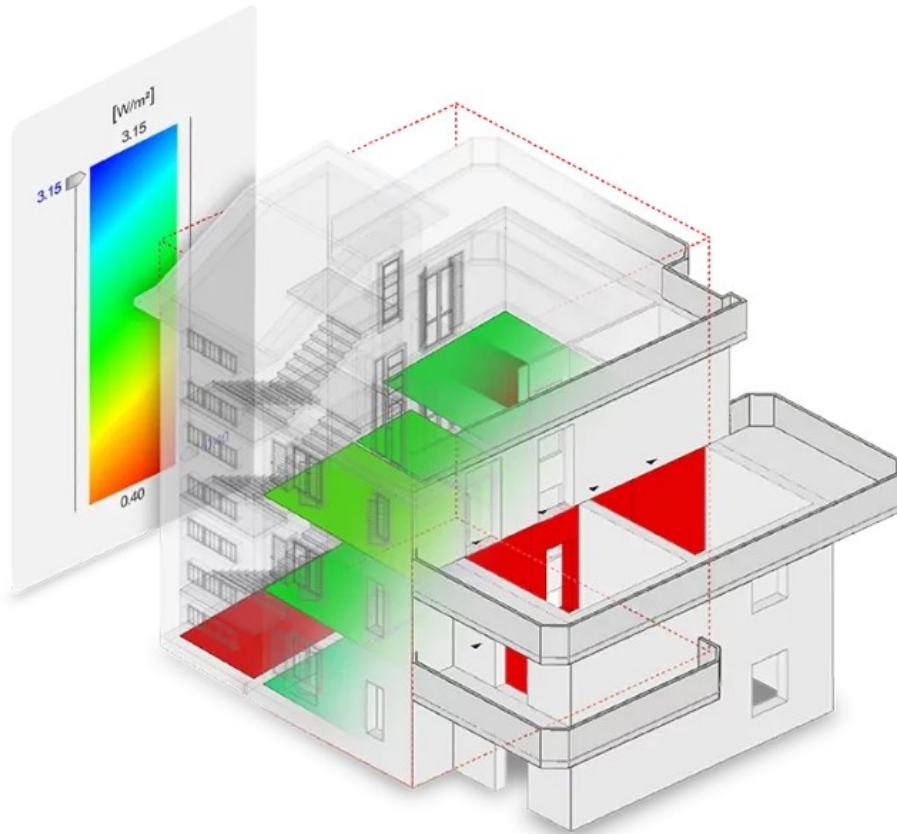


Figura 14. 6ta Dimensión del BIM.

Fuente: (Sancho, 2023)

## F. Certificaciones sostenibles

### 1. Concepto.

Los certificados de sostenibilidad analizan el impacto medio ambiental que es ocasionado por las construcciones y operaciones de las edificaciones, sin embargo también abarca los aspectos económicos y de salud y bienestar. Asimismo, todas las metodologías integran en mayor o menor medida los conceptos de economía circular y se alinean de forma paralela con los objetivos de

desarrollo sostenible (ODS). Cabe destacar que para que dichos sistemas de certificaciones otorguen sellos de reconocimiento se tiene que evaluar todo el ciclo de vida de una edificación, otros dan más énfasis en el área de diseño bioclimático o bien en el entorno del edificio; mientras que otros toman en cuenta para su análisis los medios de transporte de los usuarios o la cercanía al transporte público. Actualmente, hay una variedad de certificados de sostenibilidad que dominan en países desarrollados, así como: EDGE, LEED (Estados Unidos), BREEAM (Reino Unido), VERDE (España) y DGNB (Alemania). (Dalaison, 2020)

## **2. Certificaciones sostenibles en Guatemala.**

En Guatemala, así como en otros países, están presentes diversas certificaciones de construcción sostenible que tiene como objetivo promover prácticas ambientales responsables y eficientes en el área de la construcción. A continuación, se mencionan algunas de las certificaciones que se encuentran presentadas actualmente en Guatemala:

- 1) LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental): LEED es una de las certificaciones sostenibles más reconocidas a nivel mundial. Esto es debido a que analiza el desempeño ambiental de los edificios y casas en una variedad de categorías para clasificar que nivel le corresponde de sostenible. Entre las categorías que se encuentra son: ubicación y transporte, eficiencia energética, materiales y recursos, calidad ambiental interior y diseño innovador. Actualmente, Guatemala cuenta con algunas edificaciones bajo el certificado LEED, específicamente en el sector corporativo y de servicios.
- 2) EDGE (Excelencia en Diseño para Edificaciones Eficientes): La certificación EDGE se le conoce como un sistema de certificación desarrollado bajo el Banco Mundial y su principal objetivo es la evaluación y promoción de edificaciones que se le conoce como energéticamente eficientes y al mismo tiempo manteniendo el respecto al medio ambiente. El objetivo de EDGE es la disminución de consumo de agua, energía y recursos en la construcción y operación de edificios. Actualmente, en Guatemala está teniendo un gran auge y es debido a la popularidad en proyectos de vivienda y desarrollo inmobiliario.
- 3) Certificación EarthCheck: EarthCheck es otra de las certificaciones internacionales para el área del turismo y la hospitalidad que se especifica en la sostenibilidad ambiental y social de

los destinos y operadores turísticos. A pesar de no ser una certificación de construcción puede aplicarse dentro de la rama de proyectos en Guatemala para el desarrollo turístico sostenible, específicamente en sectores naturales protegidos y áreas turísticas.

- 4) **Certificación Green Globe:** Muy parecido a EarthCheck, ya que Green Globe es una certificación internacional enfocada en el área de la industria del turismo y la hospitalidad que analiza y a la vez promueve prácticas sostenibles en sectores hoteleros, resorts y operadores turísticos. El objetivo de esta certificación es la gestión ambiental por medio de la eficiencia energética, gestión de desechos, conservación de la biodiversidad y participación comunitaria.

Estas son algunas de las certificaciones que se encuentran activas dentro de Guatemala y que se pueden seguir aplicando dentro de la gama de proyectos de construcción y desarrollo inmobiliario. La certificación de estas opciones puede promover a la eficiencia energética y con ello reducir los impactos ambientales y mejorar el desarrollo sostenible de la industria de la construcción. (Granda, 2023)

## **G. Software Cypetherm**

### **1. Concepto.**

Cypetherm Eplus es un software de Certificación Energética en cual incluye una variedad de herramientas y características para modelación y simulación de rendimiento energético. Además, también se encarga en el diseño de confort térmico en proyectos, el tiempo que se cumplen con las normativas (CTE DB HE 0, HE 1 y HE 4) y mediciones que se aplican en construcciones de edificios. No obstante, Cypetherm presenta sus resultados con base en los puentes térmicos lineales, cargas e inercias térmicas y sistemas de ventilación que son expuestas en un modelo analizado. Por último, este software está integrado en el flujo de trabajo Open BIM por medio de los estándares IFC. (CYPE Software, 2022)

### **2. Cálculo térmico mediante Cypetherm.**

El cálculo de transferencia de calor que se realiza mediante el programa cypetherm es en base a la norma UNE-EN ISO 10077-1. Dicha norma describe un método para un análisis de transmisión de calor por medio de elementos constructivos opacos tales como: ventanas, puertas, muros,

techos, entre otros. El objetivo principal de esta norma es brindar un método estándar para medir cómo es el comportamiento y rendimiento térmico en transmisiones de calor y pérdidas energéticas en elementos constructivos.

Para llevar a cabo el cálculo y análisis de la norma UNE-EN ISO 10077-1, se toman en cuenta diferentes pasos:

- 1) Definición geométrica: Se definen las dimensiones y características geométricas del elemento constructivo en función del tipo de material, espesor y cualquier capa adicional que pueda funcionar como aislamiento térmico.
- 2) Propiedades térmicas de los materiales: Se establece las propiedades térmicas de cada uno de los materiales que tenga el elemento constructivo. Las propiedades térmicas pueden ser: calor específico, resistencia térmica, conductividad térmica, densidad, entre otros.
- 3) Cálculo resistencia térmica: Una vez teniendo todos los datos de propiedades térmicas, se calcula la resistencia térmica en conjunto del elemento constructivo que compone todos los materiales a analizar. También incluyendo las resistencias superficiales.
- 4) Cálculo de las corrientes de calor: Posterior a tener la capacidad térmica del elemento constructivo se procede a utilizar las diferencias de temperatura entre el exterior y el interior del elemento, se analiza la corriente de calor que atraviesa el elemento constructivo.
- 5) Sumatoria de la transmisión de calor: Se suma todas las corrientes de calor que están afectando a la estructura y con ello obtener la transmisión de calor por medio del elemento.
- 6) Verificación de cumplimiento de requisitos: Se compara los resultados obtenidos del análisis con respecto a los establecidos a la norma UNE-EN ISO 10077-1, que puede presentar variabilidad en la norma según la aplicación y la ubicación del análisis.

Es importante considerar cada uno de los procedimientos y análisis que se detallan en la norma UNE-EN ISO 10077-1, ya que esto va a servir para garantizar un resultado lo más exacto con respecto al cálculo de la transmisión de calor en los elementos constructivos. Para lograr que un edificio alcance un rendimiento térmico y eficiencia energética es indispensable este tipo de análisis y diseño, ya que eso va a asegurar tanto un confort como un ahorro económico para los individuos que utilicen dichos espacios. (ETRES Consultores, 2022)

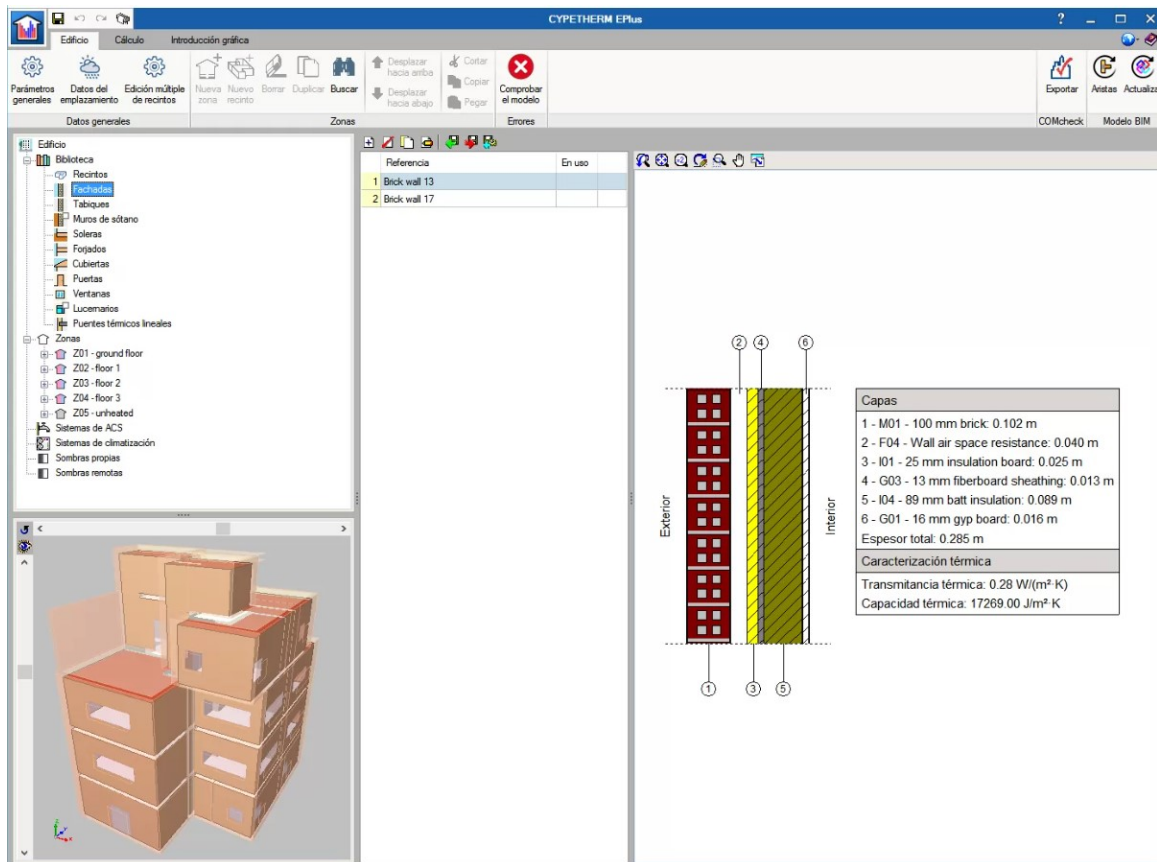


Figura 15. Ejemplo de análisis en Cypetherm.

Fuente: (CYPE Software, 2022)

## H. Calentamiento global

### 1. Concepto.

El calentamiento global es el crecimiento gradual de la temperatura promedio de la atmósfera terrestre y los océanos, en el cual es dado por la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Dichos gases pueden ser: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Estos gases son capaces de contener el calor generado por el sol en la atmósfera y esta es la razón por la cual se genera un efecto invernadero que aumenta las temperaturas de la tierra. El calentamiento global tiene diversas consecuencias, entre ellas está el derretimiento de los glaciares, crecimiento del nivel del mar, cambios en los patrones y eventos climáticos extremos, sequías prolongadas y mayor intensidad de incendios forestales.

Además de estas consecuencias, también afecta los diferentes ecosistemas y biodiversidad, la agricultura, disponibilidad de agua dulce y salud humana. Es indispensable tratar el calentamiento global por medio de disminución de emisiones de gases de efecto invernadero, utilización de fuentes de energía limpias y renovables, el resguardo de los ecosistemas y la implementación de prácticas sostenibles en todas las áreas de los sectores de la sociedad. (BBVA, 2024)

## **2. Calentamiento global en Guatemala.**

Alrededor de los últimos 50 años el planeta ha experimentado una ola de calentamiento mayor y de una forma más rápida en comparación en los últimos 2000 años. Esto es debido al aumento de los gases de efecto invernadero que son ocasionados por la actividad humana. En Guatemala no es una excepción, ya que la temperatura media anual ha crecido por lo menos un grado Celsius, las precipitaciones han crecido a lo largo de los años y su distribución ya no es proporcional en comparación con años pasados. Definitivamente los efectos del calentamiento global se han evidenciado y con ello su intensidad a través de los años.

Guatemala ha sido perjudicado por más de 15 tormentas extremas en un rango de tiempo de 20 años y que además han dejado alrededor de un millón de personas afectadas y de pérdidas millonarias. Tal como puede ser el ejemplo de la tormenta tropical Stan acontecido en el 2005 y a consecuencia de esto dejó alrededor de 664 fallecidos, 285,000 damnificados y pérdidas físicas alrededor de 983 millones de dólares. Por otro lado, la tormenta Agatha sucedido en el año 2010 dejó 152 fallecidos, más de 104,000 damnificados y pérdidas físicas alrededor de 650 millones de dólares. Se estima que el cambio climático en Guatemala se refleje en un crecimiento de temperatura entre 3 y 6 grados Celsius para finales del siglo y una disminución entre el 10 y el 30 % de precipitación en el área nacional.

Guatemala se encuentra muy indefenso ante los efectos del cambio climático y esto es debido a la vulnerabilidad y la exposición de las personas están directamente relacionadas con el nivel socio económico. Esto se debe a que al no contar con suficientes recursos o capacidades económicas aumenta las probabilidades negativas ante un evento extremo que afectará dichas personas. Aunado a esto, la pobreza, con poca educación y bajos índices de salud es probable que tenga una mayor dificultad para enfrentar eventos catastróficos ante un clima extremo. Bajo estas condiciones, los desastres son el producto de la deficiencia e injusticia del modelo de desarrollo humano. Una de

las formas de responder ante estos efectos del calentamiento global es por medio de reducir la vulnerabilidad de los efectos negativos de un evento extremo y minimizar los impactos del cambio climático. (Rosales, 2019)

## V. METODOLOGÍA

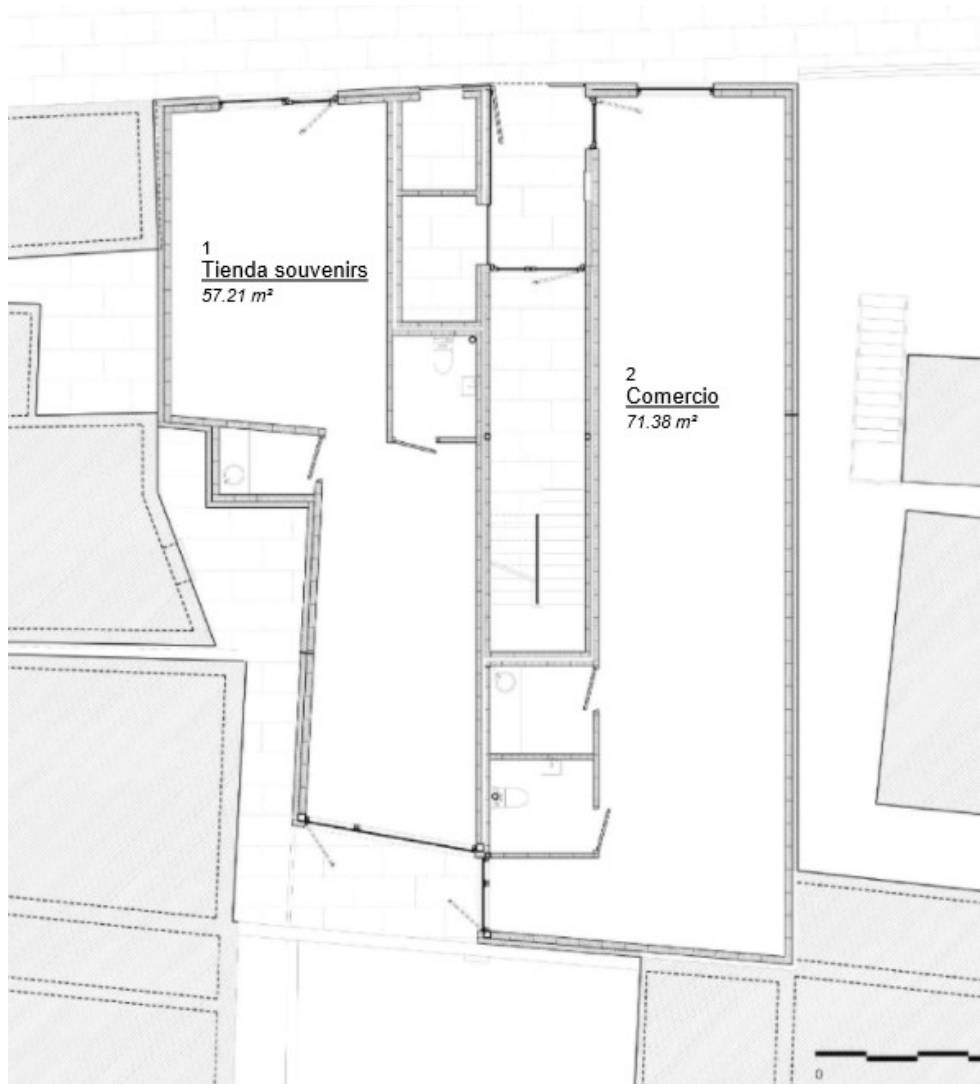
Para el caso a presentar, se buscó aplicar un método de aislamiento térmico por medio de un sistema de fachada ventilada en donde se evaluó distintos materiales. Con los resultados obtenidos, se analizó cuál combinación de capas de materiales logra ser más factible para un ambiente con clima tropical. Esto se llevó a cabo modelando un edificio de uso mixto por medio del software Cypetherm. Dicho edificio ya diseñado y en existencia se ubica en Inglaterra, específicamente en Broadway Market, en el sur de Londres.



*Figura 16.* Edificio Ada Street.

Fuente: (Divisare, s.f.)

Cuenta con 4 niveles, siendo la planta baja de comercio y tienda de souvenirs y 3 plantas típicas de apartamentos. Cabe destacar, uno de los supuestos que se tomó en cuenta fue que al momento de modelar el edificio iba a estar ubicado en Guatemala, específicamente con una latitud de 14.592348431642788 y una longitud de -90.50039327150647. Esto debido para identificar cuál sería la fachada más crítica y con ello proponer una solución que no solo abarque todas las fachadas del edificio sino también el lado que más lo necesite. Además, se tomó en cuenta una zona que fuera tanto residencial como un terreno que estuviera baldío con el área mínima para lograr posicionar el edificio a analizar. La ubicación del terreno es 19 Avenida 16-60, Cdad. de Guatemala, zona 10.



*Figura 17.* Planta de tienda souvenirs y comercio.

Fuente: (Divisare, s.f.)



Figura 18. Planta típica de apartamentos.

Fuente: (Divisare, s.f.)



Figura 19. Terreno 19 Avenida 16-60, Cdad. de Guatemala, zona 10.

Fuente: (Sun Tracker, s.f.)

Para el análisis de las propiedades térmicas de los materiales, que van a servir en los cerramien-

tos de la fachada ventilada de dicha edificación, se consideraron características esenciales como resistencia térmica y transmitancia térmica. Esto con el objetivo de identificar cómo fueron sus comportamientos bajo las condiciones de un clima tropical. La forma en que se desarrolló este análisis fue a partir de tres etapas:

#### **A. Etapa 1: Investigación de materiales**

Esta etapa consistió en la selección de materiales que tengan propiedades térmicas, que sean accesibles y a la vez comercializados dentro del mercado guatemalteco. Para la aplicación de dicho método se identificó cuales responden mejor bajo criterios de una baja conductividad térmica. Los materiales seleccionados son:

##### **1. Rockwool ProRox SL 930.**

Es comercializado por la empresa Grupo Umwelt y pertenece a la línea de productos ProRox SL. Este material se utiliza para sistemas que trabajan con temperatura de medias a altas. Cabe destacar, la lana de roca se reconoce como un material incombustible, el cual le permite no desarrollar humo tóxico y tampoco propagar la llama; creando una resistencia al fuego y a la humedad. Además, es un material que repele el agua y es inorgánico, es decir, es susceptible a evitar hongos o bacterias. ( Grupo Umwelt, 2019)



*Figura 20. ProRox SL 930.*

Fuente: (Grupo Umwelt, 2019)

## 2. Rockwool Rockboard 40.

Es comercializado por la empresa Grupo Umwelt y pertenece a la línea de productos Rockwool Rockboard. Se caracteriza por ser un aislante con diferentes propósitos, entre ellos son: absorción de energía, reducción de sonido a bajas frecuencias, mantener la integridad térmica y el control de humedad en ambientes a temperaturas altas. Cabe destacar, el uso de este material añade una resistencia contra incendios. ( Grupo Umwelt, 2019)



*Figura 21.* Rockboard 40/60.

Fuente: (Grupo Umwelt, 2019)

## 3. Rockwool AFB.

Es comercializado por la empresa Grupo Umwelt y pertenece a la línea de productos Rockwool. Este es un tipo de lana mineral de roca que presenta capacidades de aislante térmico y acústico con propiedades que lo hacen semi-flexibles. La implementación de este aislante está diseñado para sistemas de muros interiores, fachadas y techos. Cabe destacar, además de proveer la capacidad de

absorber el sonido, también se caracteriza por brindar protección contra incendios. Esto beneficia mucho en asegurar el confort y la seguridad de los ocupantes dentro del recinto en donde se utilice. (Grupo Umwelt, 2020)



*Figura 22.* Lana mineral de roca AFB (Acoustical Fire Batt).

Fuente: (Grupo Umwelt, 2020)

#### **4. Tablero de fibra mineral IT600.**

Es comercializado por la empresa Ingeniería Térmica S.A. Se caracteriza por su fácil y rápida instalación y aporta un ahorro en costos de energía eléctrica por su alta eficiencia térmica y además presenta una eficiencia acústica. Cabe destacar, presenta protección contra incendios y también se utiliza para aislar equipos mecánicos. (Ingeniería Térmica, S.A., 2022)



*Figura 23. Fibra mineral IT600.*

Fuente: (Ingeniería Térmica S.A, 2022)

### **5. Fibra de vidrio R-10.**

Es comercializado por la empresa TablaYeso. Es un material aislante termo-acústico hecho de fibra de vidrio de baja densidad, de forma aglutinada con resina fenólica de fraguado térmico. Destaca por su alta eficiencia térmica, resistencia a la vibración, no favorece a la corrosión y bajo mantenimiento. (TablaYeso, s. f.)



*Figura 24.* Fibra de vidrio R-10 3inX15.24mX61cm.

Fuente: (Tabla Yeso, s. f.)

## **6. Panel Isobox.**

Es comercializado por la empresa Cindu, específicamente en el área especializado en la producción de paneles metálicos aislantes para cubiertas y fachadas llamado Isocindu. Se caracteriza por ser un panel con nervaduras de ambos lados y en la cual contiene una espuma rígida de poliuretano (PUR) o poliisocianurato (PIR) con junta de encaje. El sistema está diseñado para usos de fachadas, paredes y prefabricados en obra; esto brinda un sistema con secciones simétricas que pueden adaptarse en cualquier división o fachada que se necesite. (Cindu - Guatemala, s. f.)



*Figura 25.* Panel isobox.

Fuente: (Cindu - Guatemala, s.f.)

## 7. Fibra cerámica.

Es comercializado por la empresa Intermica. Tiene la característica que puede utilizarse en diferentes aplicaciones y aporta una protección de refractorios y aislamiento para todo tipo de proceso industriales. Su elaboración es por medio de un proceso centrifugados y sopladados, esto permite asegurar fibras largas y al mismo tiempo flexibles. El resultado de este proceso es un producto fuerte y durable. (Ingeniería Térmica, S.A., 2022)



*Figura 26. Fibra cerámica.*

Fuente: (Ingeniería Térmica S.A, 2022)

## 8. Tablero de cemento USG Durock.

Es comercializado por la empresa Sistegua. El tablero es fabricado por medio del cemento Portland en su nucleo y laminado con una malla de fibra de vidrio polimerizada en ambas caras. Está diseñado para instalarse en muros, cámaras ventiladas, faldones y cielos interiores, que estén en contacto directo con el agua o condiciones de humedad alta. (USG Durock| Sistegua, s.f.)

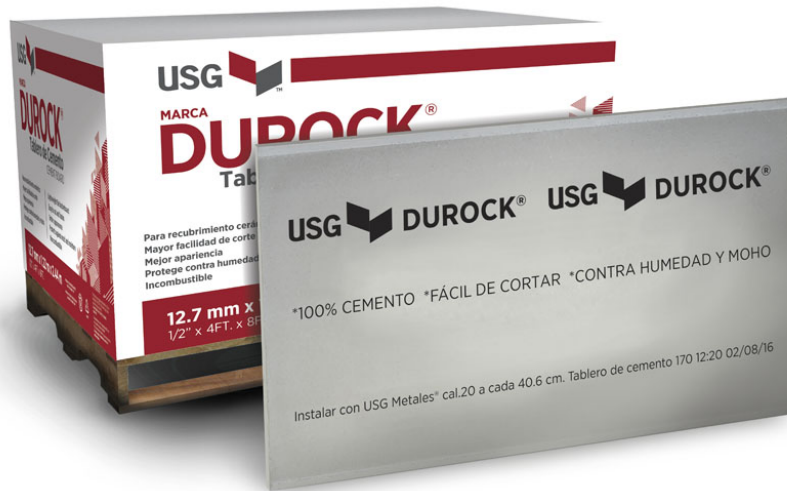


Figura 27. USG Durock 1/2 x 4 x 8.

Fuente: (Sistegua,s.f.)

Con respecto a los materiales seleccionados, cada uno de ellos forman parte de una variedad de productos dentro del mercado de aislantes térmicos en Guatemala y se caracterizan no solo por su accesibilidad sino por sus propiedades térmicas y el precio en el que disponen de cada uno. Cabe destacar que la mayoría de ellos no son nativos y eso implica que tiene que pasar por un medio de transporte para comercializarse dentro del país y con ello generar una mayor energía contenida en el proceso. Sin embargo, utilizar materiales que producen contaminación desde su transporte para luego ser empleados como un sistema de aislante térmico de edificaciones puede tomarse en cuenta como una estrategia más sostenible a diferencia de depender de un consumo constante de energía eléctrica para acondicionar dichas edificaciones. Esto se debe por algunas razones:

- 1) Eficiencia energética: Al utilizar materiales con capacidad de aislamiento térmico disminuye la cantidad de energía necesaria para sustentar una temperatura cómoda dentro de una edificación. Es decir, se necesita menos energía eléctrica para enfriar o calentar un recinto y por lo tanto disminuye la huella de carbono relacionado con el consumo de energía eléctrica.
- 2) Reducción de emisiones: A pesar que el transporte de materiales puede provocar contaminación debido a la energía contenida, esta puede ser compensada por la disminución de emisiones a lo largo del ciclo de vida de una edificación. Esto se debe a que al reducir la necesidad de

depender de sistemas de calefacción o refrigeración, que dependen de una cantidad considerable de electricidad, se minimizan las emisiones de gases de efecto invernadero relacionado con dicho consumo de electricidad.

- 3) Durabilidad y vida útil prolongada: Los materiales de aislamiento térmico pueden llegar a tener una vida útil prolongada, lo que implica que una vez siendo instalados pueden brindar beneficios durante muchos años sin la necesidad de un mantenimiento o ser reemplazados con frecuencia. Esto minimiza una cantidad de recursos necesarios en el uso a lo largo de la vida del material aislante en comparación con los sistemas de calefacción y refrigeración que pueden necesitar de mantenimiento regular o actualización.
- 4) Independencia energética: Al disminuir la dependencia del consumo energético para satisfacer el acondicionamiento térmico de edificios, se aumenta la autonomía energética. Esto es específicamente importante en áreas donde la infraestructura eléctrica puede ser vulnerable o en áreas donde se busca minimizar la dependencia de fuentes de energía no renovables.

Por lo tanto, mientras que el transporte o exportación de materiales de otro país puede generar contaminación, considerar el ciclo de vida completo y los beneficios a largo plazo de los materiales de aislamiento térmico, aplicados a un sistema de fachada ventilada, puede llevar a decisiones más sostenibles en la construcción y el diseño de edificaciones.

## **B. Etapa 2: Análisis de datos**

Consistió en adaptar los materiales seleccionados para modelarlos como parte de un sistema de fachada ventilada en los cerramientos que se llevó a cabo en dicha edificación por medio de un programa llamado Cypetherm. En dicho programa se evaluó la variabilidad de anchos, altos, espesores, combinaciones de capas y disposiciones de lugares de dichos cerramientos. Esto para analizar cómo pueden favorecer o afectar el análisis térmico bajo las condiciones climáticas expuestas.

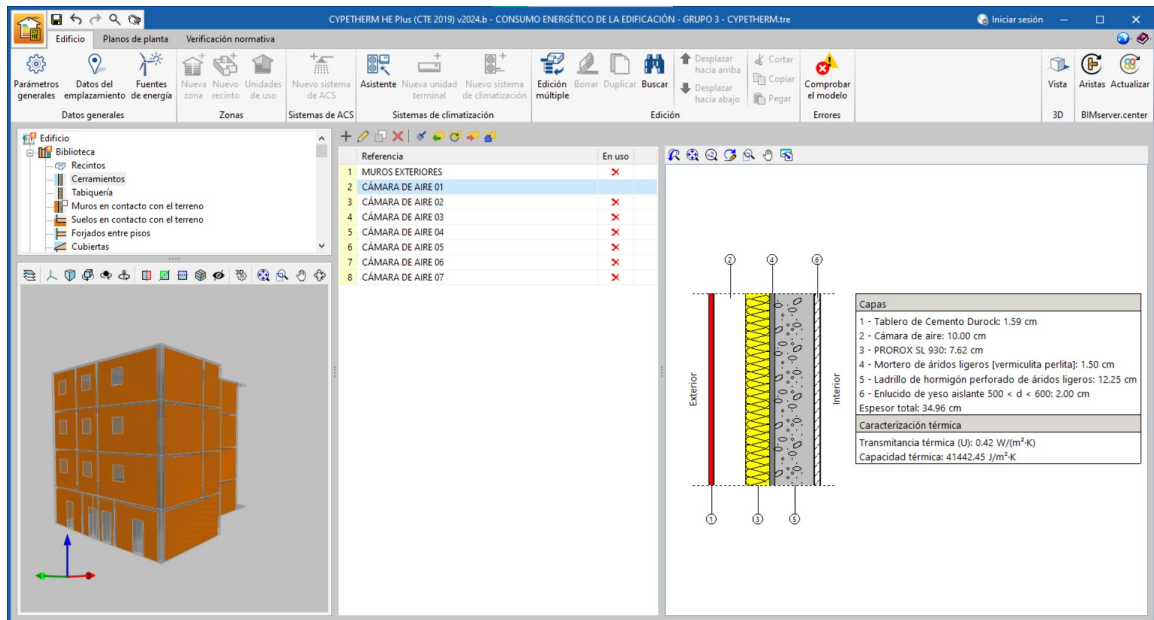


Figura 28. Modelo programa Cypetherm.

Fuente: Elaboración propia

Para validar procesos de cálculo se necesitaron variables como resistencia térmica y transmitancia térmica de cada uno de los materiales a analizar, obtenidos a través de sus respectivas fichas técnicas. Este procedimiento servirá para comprobar el coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (k), transmitancia térmica (U) y los rendimientos que pueden ofrecer dichos materiales.

Fachada Ventilada	Empresa	Producto	Espesor (in)	AxB (ft)	$\lambda$ (w/m²·k)	R (m²·k/w)	Precio (Q/m2)
1	Umwelt	Rockwool ProRox SL 930	2.0	2x4	-	0.74	Q 240.00
2	Umwelt	Rockwool Rockboard 40	2.0	2x4	-	0.74	Q 300.00
3	Umwelt	Rockwool AFB	2.0	2x4	-	0.72	Q 180.00
4	Intermica	Tablero de Fibra Mineral IT600	2.0	2x4	0.04	-	Q 98.47
5	TablaYeso	Fibra de Vidrio R-10	3.0	2x50	-	1.76	Q 40.34
6	Cindu	Panel Isobox	1.5	3.28x39	-	2.00	Q 497.09
7	Intermica	Fibra Cerámica	2.0	2x6	0.09	-	Q 223.06
-	Sistegua	Tablero cemento Durock USG	0.5	4x8	0.099	0.128	Q 114.22

Cuadro 2

Propiedades térmicas de materiales seleccionados.

Fuente: Elaboración propia extraída de la ficha técnica de cada producto

Cabe destacar que se realizaron siete análisis de fachadas ventiladas en las cuales los únicos

materiales que cambiaron fueron los diferentes aislantes térmicos seleccionados. Esto, para evitar la variabilidad en los resultados y que lo único que distinga serán las propiedades que pueda aportar cada uno de los aislantes utilizados. Como se mencionó anteriormente, el sistema estructural de los siete análisis fueron bajo las mismas condiciones en las que se construye en Guatemala, siendo con un muro de ladrillo de hormigón. Los sistemas de fachadas ventiladas fueron:

1) Fachada ventilada No.1 - Rockwool ProRox SL 930

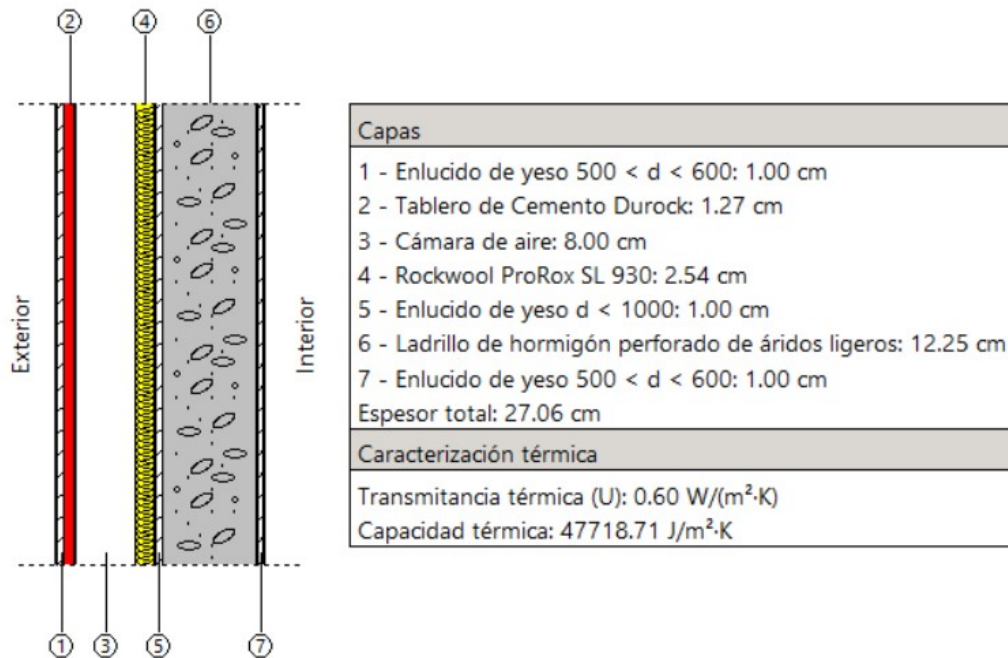


Figura 29. Fachada ventilada No.1.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cypetherm

2) Fachada ventilada No.2 - Rockwool Rockboard 40

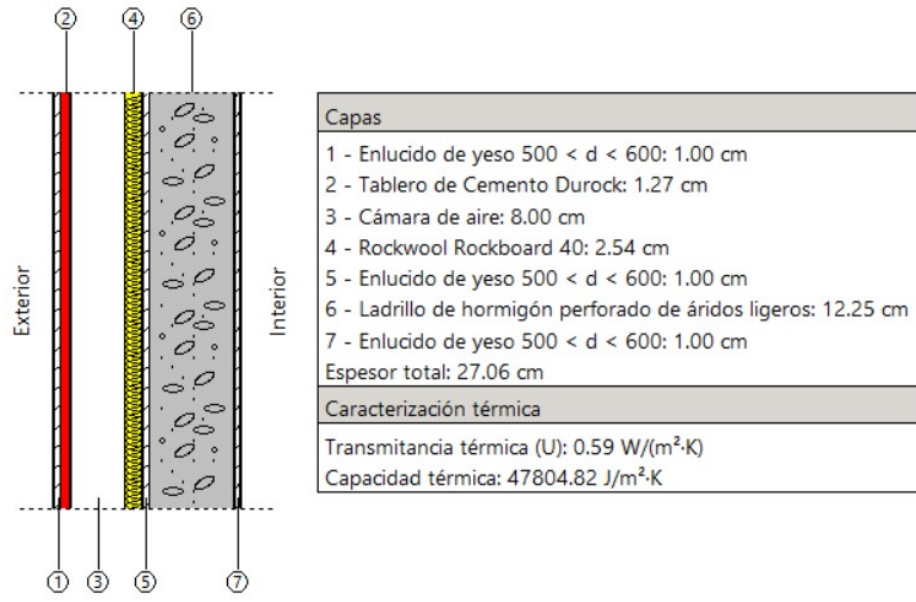


Figura 30. Fachada ventilada No.2.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cypetherm

3) Fachada ventilada No.3 - Rockwool AFB

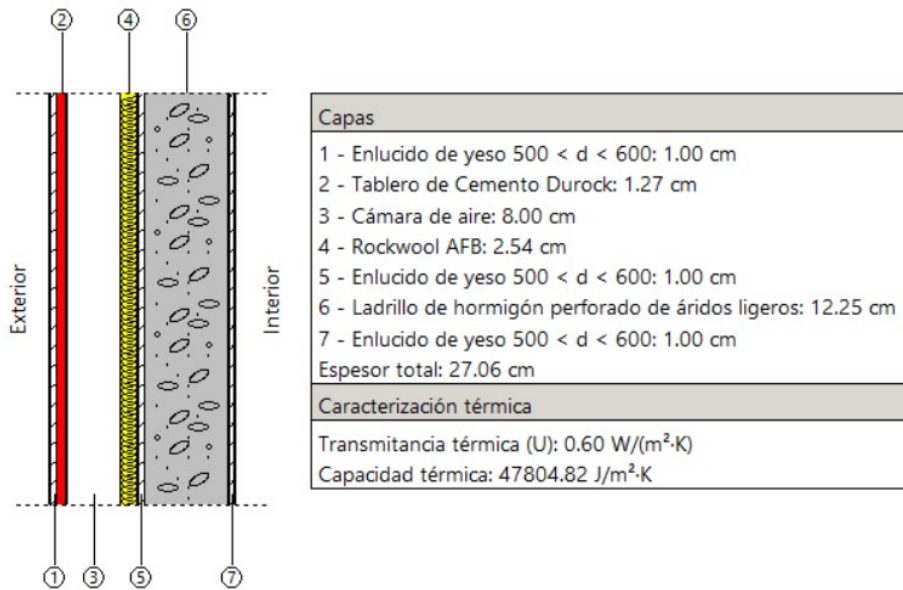


Figura 31. Fachada ventilada No.3.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cypetherm

4) Fachada ventilada No.4 - Tablero de fibra mineral IT600

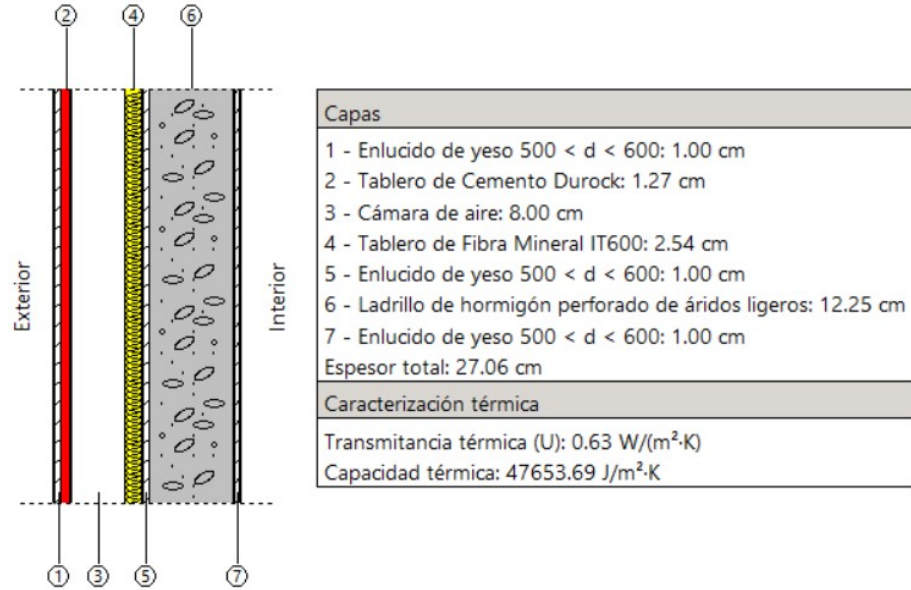


Figura 32. Fachada ventilada No.4.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cypetherm

#### 5) Fachada ventilada No.5 - Fibra de vidrio R-10

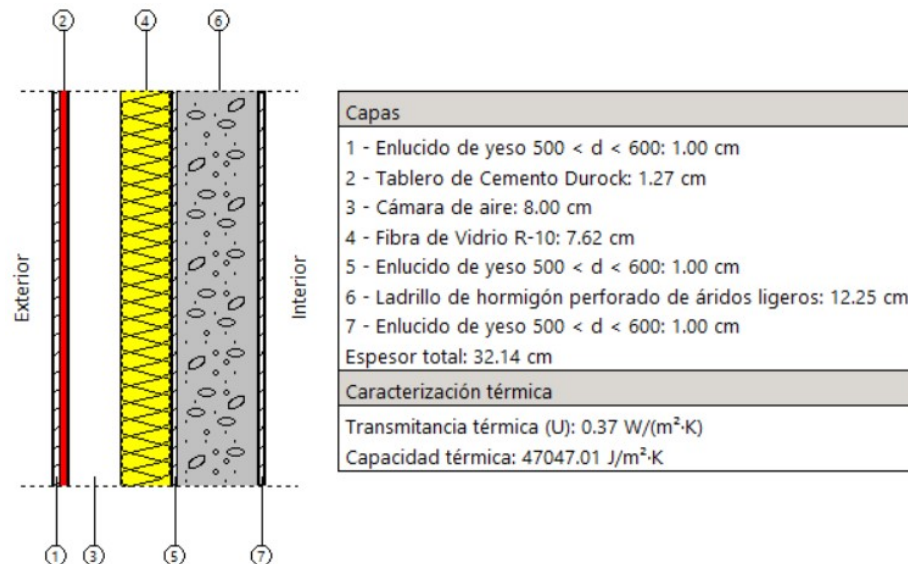


Figura 33. Fachada ventilada No.5.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cypetherm

#### 6) Fachada ventilada No.6 - Panel Isofox

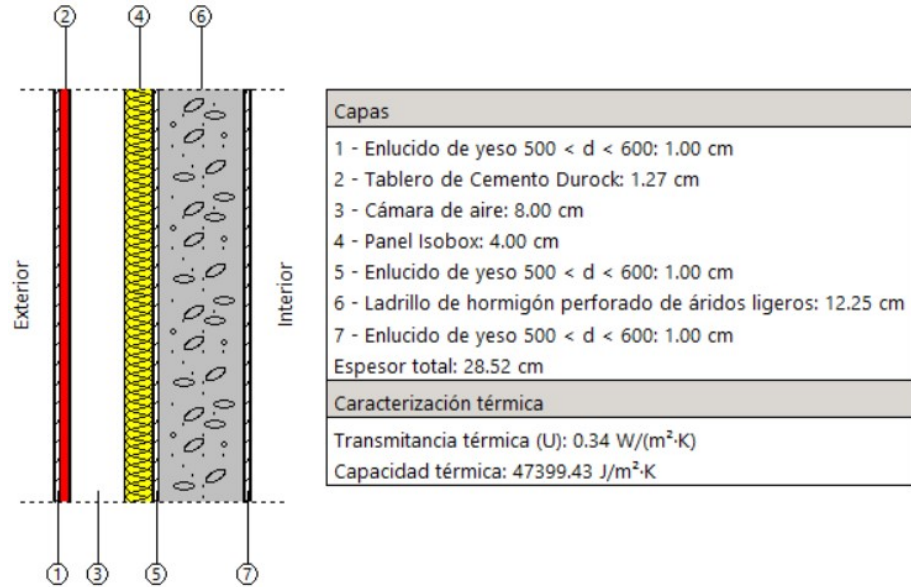


Figura 34. Fachada ventilada No.6.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cypetherm

7) Fachada ventilada No.7 - Fibra cerámica

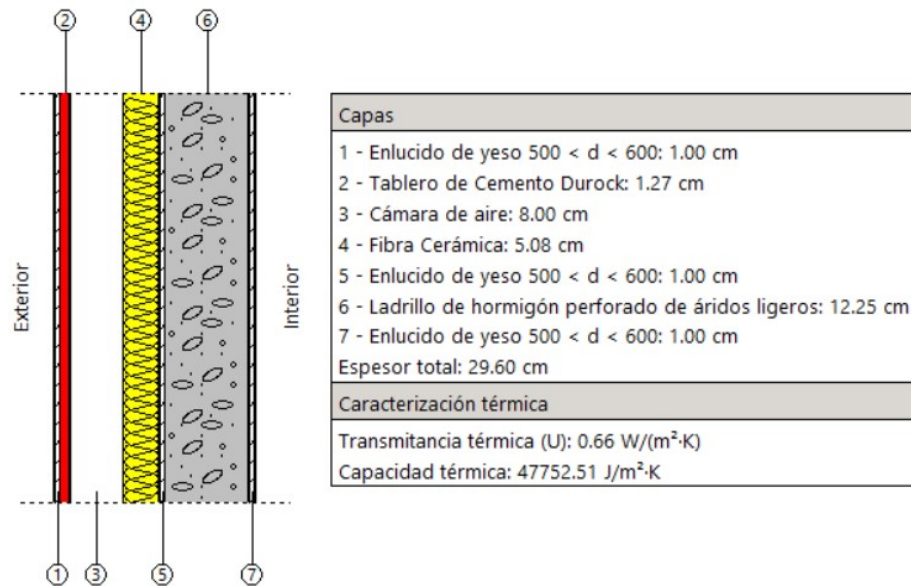


Figura 35. Fachada ventilada No.7.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cypetherm

Además, se evaluó el coeficiente de transmitancia térmica en un muro convencional sin la aplicación de una fachada ventilada para posteriormente ser comparado con los análisis de fachadas ventiladas con menor transmitancia térmica. Esto con el objetivo de demostrar cómo influye positivamente la aplicación de dicho sistema constructivo.

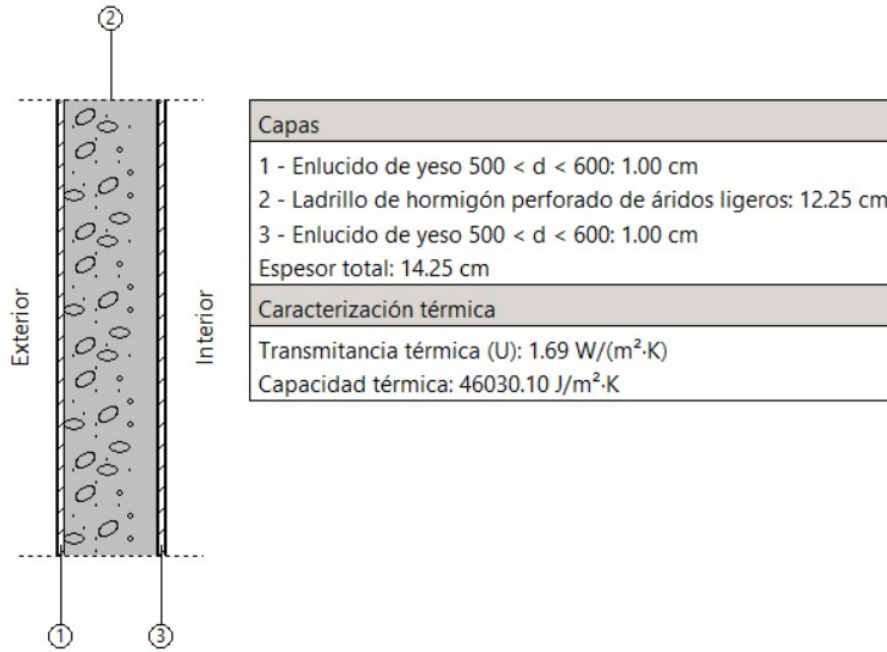


Figura 36. Muro convencional.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cypetherm

### C. Etapa 3: Presentación de resultados

La tercera etapa consistió en presentar una tabla comparativa en donde se indicó valores tanto de transmitancia térmica como de eficiencia energética. Esto para evaluar si cumple bajo los requerimientos de la normativa Código Técnico de la Edificación (CTE) de España y el Building Regulations de Reino Unido. Se adjuntó indicadores para validar el nivel de eficiencia en cada uno de las fachadas ventiladas en base a los resultados obtenidos. Además, acompañado de las tablas se describió el precio por metro cuadrado que se necesita para el uso he instalación de la fachada ventilada con mejor respuesta térmica. Por último, se escogió las fachadas con mejor transmitancia térmica y se propuso una mejora para lograr cumplir no solo con las normativas de Código técnico mencionadas sino también con una normativa alemana llamada EnEV (Energieeinsparverordnung)

y con ello el precio por metro cuadrado para su instalación.

Para la validación y chequeo de estos análisis se contó con el apoyo de un asesor que domina conocimientos en el tema de análisis térmicos y manejo del programa Cypetherm en dicho tema para orientar en el desarrollo de la investigación y dar seguimiento en los avances. Se llevó a cabo esta investigación, ya que servirá de base para optar a métodos alternativos y con ello promover el uso de materiales adecuados que hará que el acondicionamiento estructural de las edificaciones sea más eficiente en cuando al aislamiento térmico.

De modo que se obtenga beneficios ecológicos como la optimización del ahorro de energía y disminución de emisiones contaminantes y, por lo tanto, beneficios económicos que redundará en un ahorro de gasto energético. También beneficios de bienestar personal, ya que más allá de la regulación consta en la creación de un ambiente de calidad para asegurar un confort en las instalaciones que se aplique este método y garantizar un ambiente con una temperatura ideal.

## VI. RESULTADOS

### A. Resultados transmitancia térmica

Fachada ventilada	U (W/m <sup>2</sup> *k)	K (W/m <sup>2</sup> *k)	Emisión global (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> *año)	Demanda de calefacción (kWh/m <sup>2</sup> *año)	Demanda de refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> *año)
1	0.60	1.30	31.91	107.47	6.17
2	0.59	1.29	31.70	106.71	6.13
3	0.60	1.29	31.86	107.27	6.17
4	0.63	1.31	32.32	108.99	6.26
5	0.37	1.14	28.46	97.74	5.48
6	0.34	1.13	28.02	93.15	5.37
7	0.66	1.33	32.74	110.52	6.35

Cuadro 3

*Resultados transmitancia térmica.*

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cypetherm

Donde  $U$  es la transmitancia térmica de una fachada ventilada de forma unitaria y  $k$  es el valor calculado del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica.

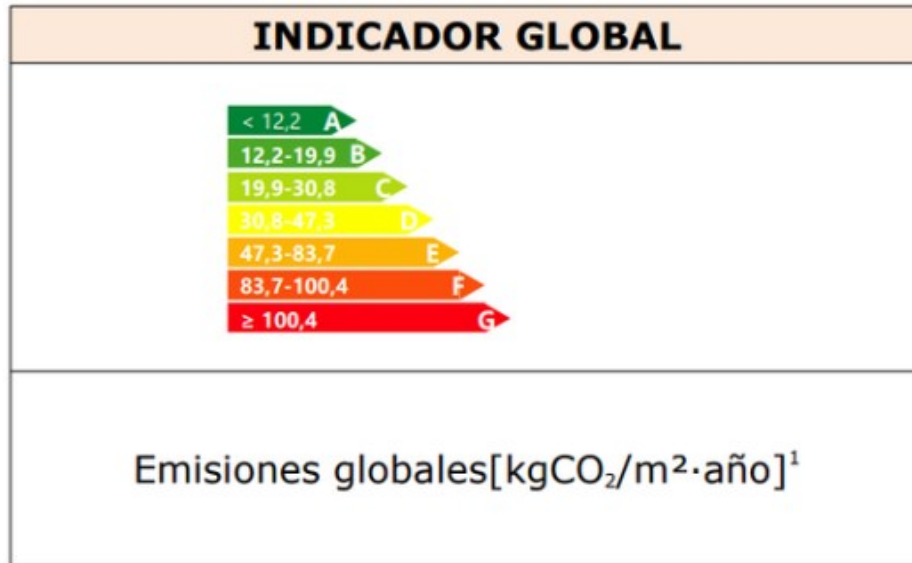


Figura 37. Indicador de emisiones globales.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cypetherm

La Figura 37 indica los grados de calificación global según el Código Técnico de la Edificación

(CTE). Esto se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo, llamándose también emisiones globales. Estas emisiones se miden por cada metro cuadrado de un edificio durante un año. Sus dimensionales son  $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{año}$ .

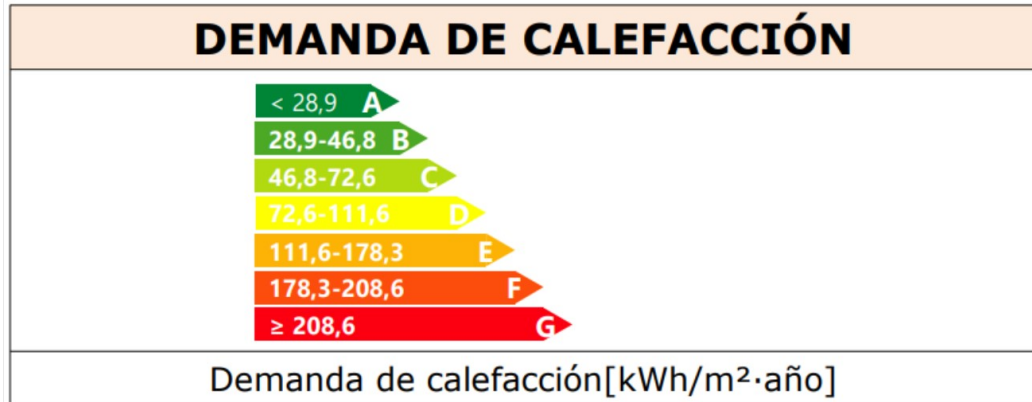


Figura 38. Indicador de demanda de calefacción.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cypetherm

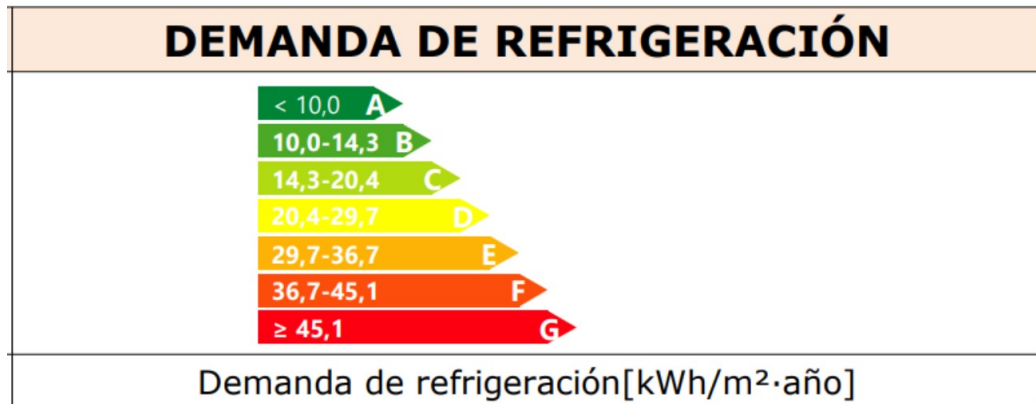
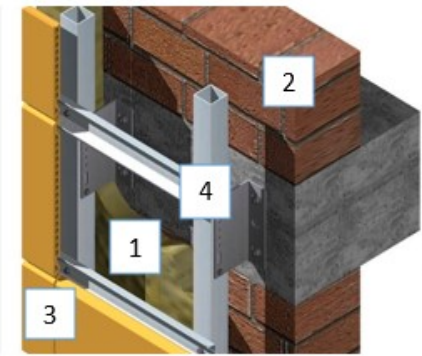


Figura 39. Indicador de demanda de refrigeración.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cypetherm

Las Figuras 38 y 39 indican la demanda de calefacción y refrigeración según el Código Técnico de la Edificación (CTE). Esto se expresa en términos de cuánta energía se necesita para calentar o enfriar cada metro cuadrado de un edificio durante un año. Sus dimensionales son  $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{año}$ .

**B. Precio por m<sup>2</sup> de instalación de fachada ventilada No.5**



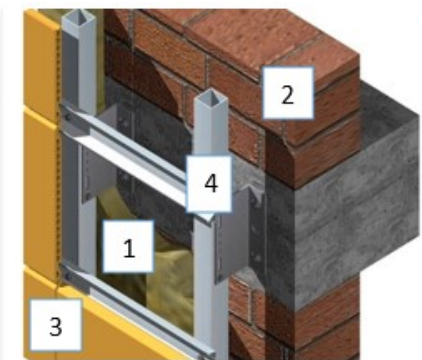
No.	Material	Precio (Q/m <sup>2</sup> )	
1	Fibra de vidrio R-10	Q	40.34
2	Muro + mano de obra	Q	500.00
3	Tablero cemento Durock USG	Q	114.22
4	Anclaje	Q	75.00
	Mano de obra (instalación)	Q	400.00
	<b>Total</b>	<b>Q</b>	<b>1,129.55</b>

Cuadro 4

*Precio por m<sup>2</sup> de instalación de fachada ventilada No.5.*

Fuente: Elaboración propia extraída de la cotización del producto de cada empresa

**C. Precio por m<sup>2</sup> de instalación de fachada ventilada No.6**



No.	Material	Precio (Q/m <sup>2</sup> )	
1	Panel Isobox	Q	497.09
2	Muro + mano de obra	Q	500.00
3	Tablero cemento Durock USG	Q	114.22
4	Anclaje	Q	75.00
	Mano de obra (instalación)	Q	400.00
	<b>Total</b>	<b>Q</b>	<b>1,586.31</b>

Cuadro 5

*Precio por m<sup>2</sup> de instalación de fachada ventilada No.6.*

Fuente: Elaboración propia extraída de la cotización del producto de cada empresa

Material	Empresa	Producto	Espesor (in)	AxB (ft)	λ (w/m <sup>2</sup> *k)	R (m <sup>2</sup> *k/w)	Precio (Q/m <sup>2</sup> )
1	Distribuidora Mariscal	Tablayeso Usg Ultralight	0.5	4x8	0.0848	-	Q 22.83

Cuadro 6

*Propiedad térmica de tablayeso Usg Ultralight.*

Fuente: Elaboración propia extraída de la ficha técnica del producto

**D. Fachada ventilada No.5 - Fibra de vidrio R-10 (mejorado)**

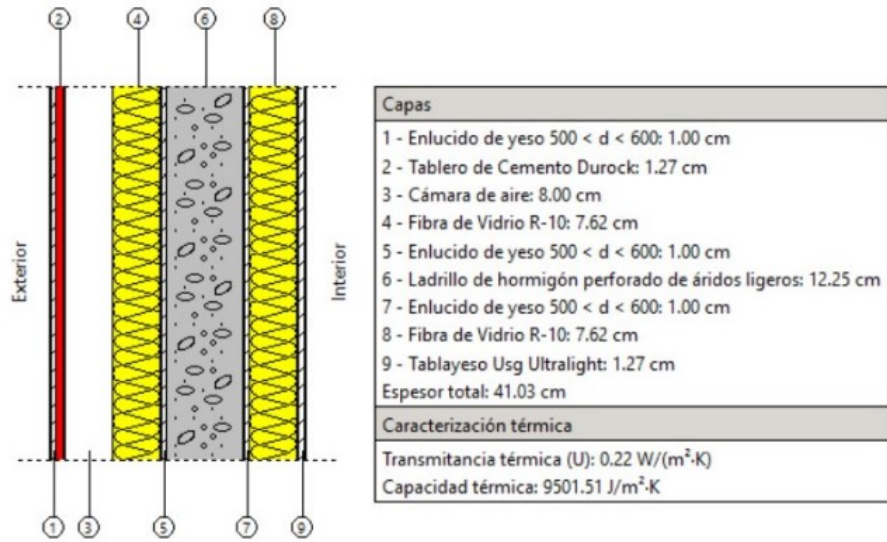


Figura 40. Fachada ventilada No.5 mejorado.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cypetherm

**E. Fachada ventilada No.6 - Panel Isobox (mejorado)**

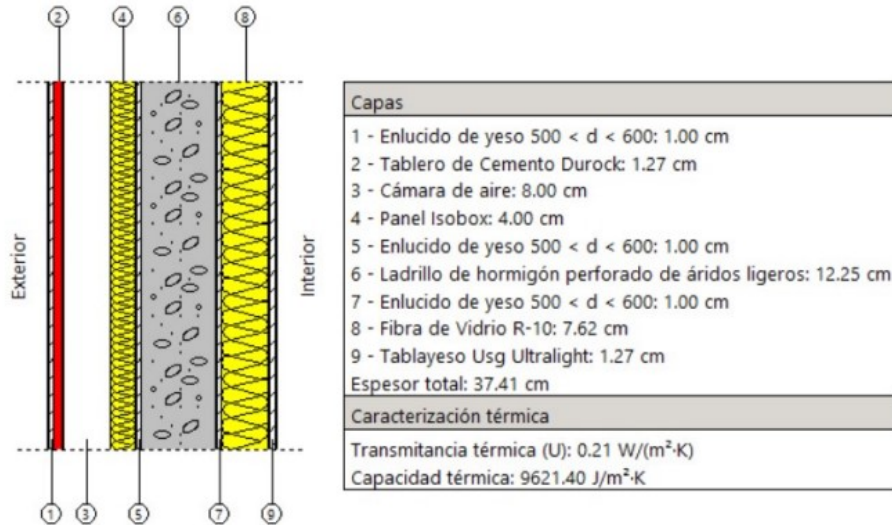


Figura 41. Fachada ventilada No.6 mejorado.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cypetherm

## F. Resultados transmitancia térmica de fachadas ventiladas mejoradas

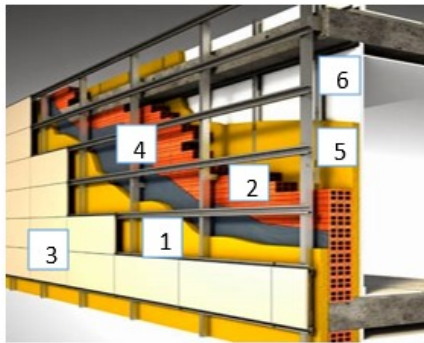
Fachada ventilada	U (W/m <sup>2</sup> *k)	K (W/m <sup>2</sup> *k)	Emisión global (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> *año)	Demanda de calefacción (kWh/m <sup>2</sup> *año)	Demanda de refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> *año)
5	0.22	1.04	26.08	85.81	5.27
6	0.21	1.04	25.92	85.26	5.21

Cuadro 7

*Resultados transmitancia térmica de fachadas ventiladas mejoradas.*

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cypetherm

## G. Precio por m<sup>2</sup> de instalación de fachada ventilada No.5 mejorada



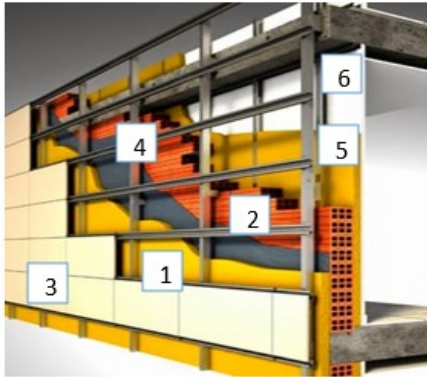
No.	Material	Precio (Q/m <sup>2</sup> )
1	Fibra de vidrio R-10	Q 40.34
2	Muro + mano de obra	Q 500.00
3	Tablero cemento Durock USG	Q 114.22
4	Anclaje	Q 75.00
5	Fibra de vidrio R-10	Q 40.34
6	Tablayeso Usg Ultralight	Q 22.83
	Mano de obra (instalación)	Q 460.00
	<b>Total</b>	<b>Q 1,252.72</b>

Cuadro 8

*Precio por m<sup>2</sup> de instalación de fachada ventilada No.5 mejorada.*

Fuente: Elaboración propia extraída de la cotización del producto de cada empresa

## H. Precio por $m^2$ de instalación de fachada ventilada No.6 mejorada



No.	Material	Precio (Q/m <sup>2</sup> )
1	Panel Isobox	Q 497.09
2	Muro + Mano de Obra	Q 500.00
3	Tablero cemento Durock USG	Q 114.22
4	Anclaje	Q 75.00
5	Fibra de vidrio R-10	Q 40.34
6	Tablayeso Usg Ultralight	Q 22.83
	Mano de obra (instalación)	Q 460.00
	<b>Total</b>	<b>Q 1,709.48</b>

Cuadro 9

*Precio por  $m^2$  de instalación de fachada ventilada No.6 mejorado.*

Fuente: Elaboración propia extraída de la cotización del producto de cada empresa

## I. Mejora en transmitancia térmica

Muro	U (W/m <sup>2</sup> *k)	Mejora
Fachada ventilada No. 6 mejorado	0.21	88%
Fachada ventilada No. 5 mejorado	0.22	87%
Fachada ventilada No. 6	0.34	80%
Fachada ventilada No. 5	0.37	78%
Muro convencional	1.69	0%

Cuadro 10

*Mejora de transmitancia térmica en muros evaluados.*

Fuente: Elaboración propia

## J. Comportamiento de temperatura interior de fachadas ventiladas

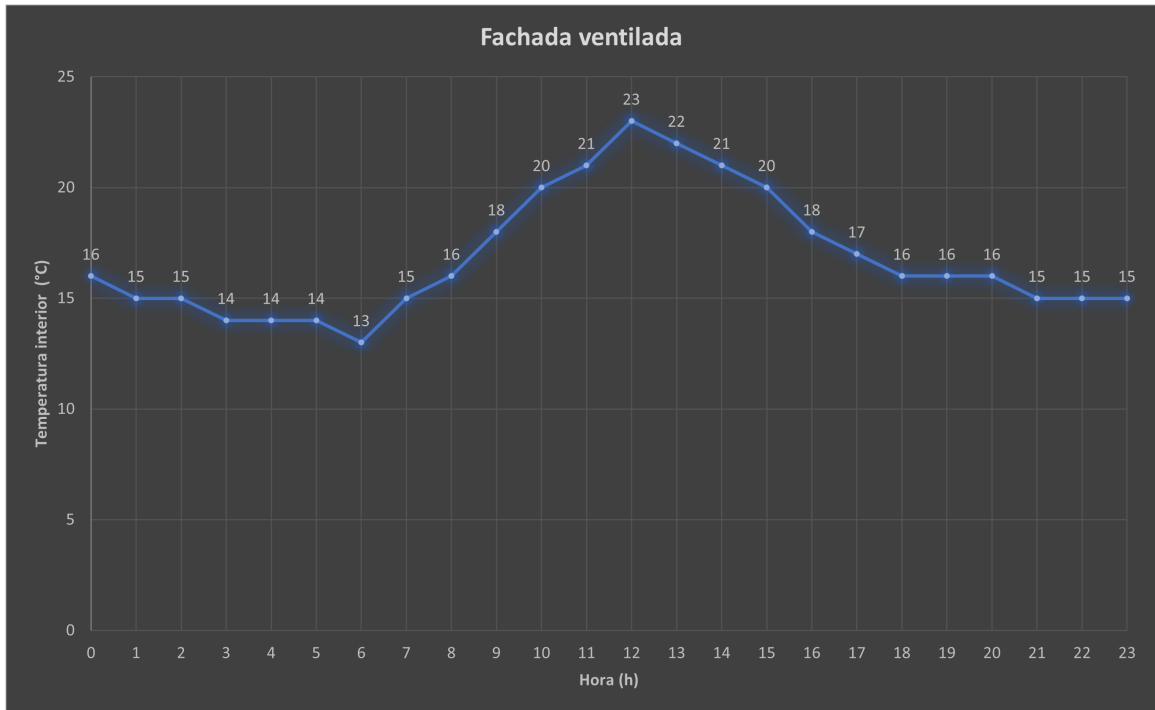


Figura 42. Gráfica de comportamiento térmico interior,

Fuente: Elaboración propia

La Figura 42 indica la variación de temperatura interior (°C) de un recinto en función de las 24 horas del día. Tomando en cuenta que es bajo el uso de una fachada ventilada lo cual marca una diferencia con las temperaturas exteriores que se presentará con la siguiente figura.

## K. Temperatura exterior de Guatemala

La Figura 43 indica la variación de temperatura exterior (°C) en función de las 24 horas del día sábado 3 de agosto.

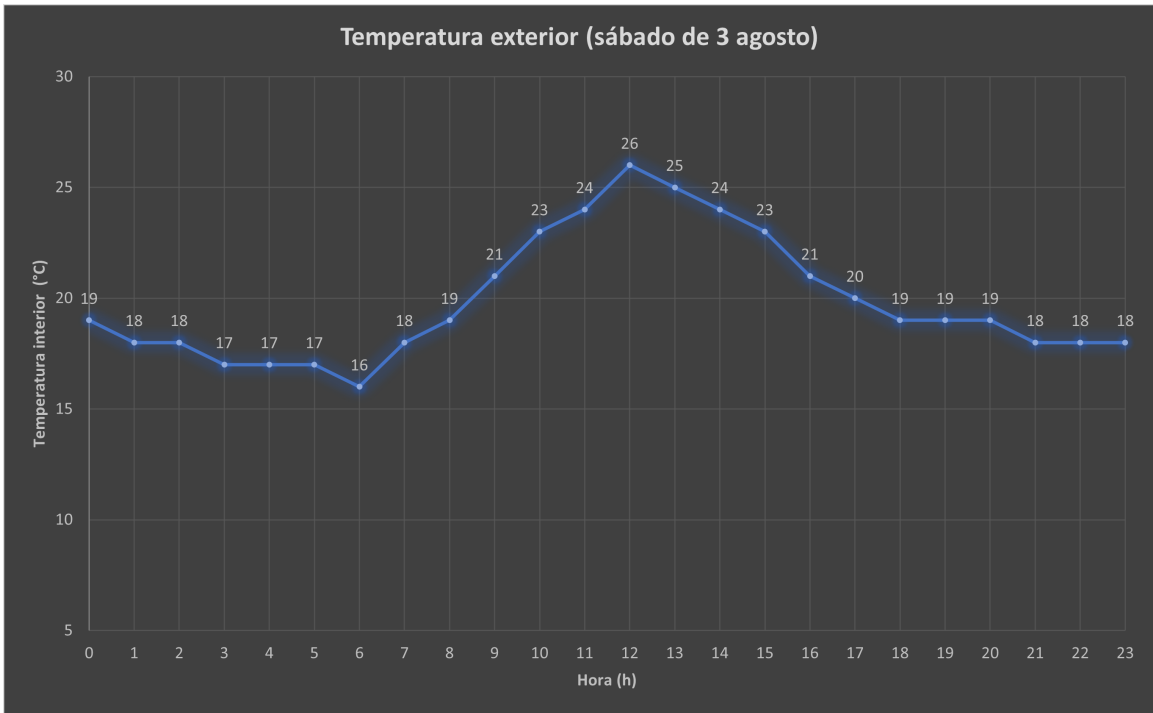


Figura 43. Gráfica de temperatura exterior en Guatemala.

Fuente: (AccuWeather, s.f.)

## L. Paquetes de familia del software de modelado Revit

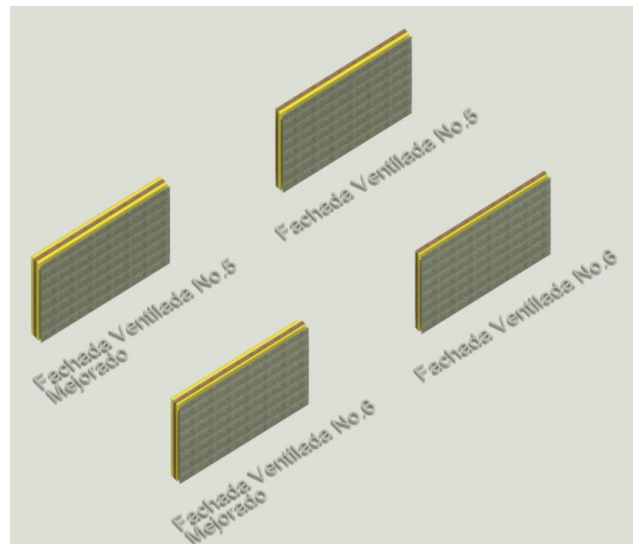


Figura 44. Isométrico fachadas ventiladas.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de software Revit 2023

## VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este trabajo de investigación en relación al análisis comparativo de soluciones constructivas para identificar un sistema de fachada ventilada, se realizó por medio de una modelación de una edificación de uso mixto ya en existencia ubicado en el sur de Londres, Inglaterra en Broadway Market. Esto bajo la premisa que fue modelado estructuralmente con las mismas condiciones que se construye en Guatemala y así identificar cuales opciones de fachadas ventiladas forman parte de un aislamiento térmico eficiente. Es decir, cual va a tener una menor transferencia de calor y un mayor confort dentro del recinto.

Para el diseño de las fachadas ventiladas, se necesitó considerar que cada uno de los materiales a analizar contara con fichas técnicas que respalden sus datos estandarizados de transferencia térmica y/o resistencia térmica. Esto para garantizar que los resultados obtenidos no tengan fuentes de error provenientes de sus propiedades térmicas. En el análisis de las fachadas ventiladas se decidió utilizar como único variante el material del aislante térmico, ya que ese es el material que mayor variedad puede presentarse dentro del mercado de Guatemala en cuanto a precio y propiedades térmicas. Se utilizó como material estándar en todas las pruebas el mismo muro de ladrillo, el tablero de Cemento Durock y el mismo ancho de cámara de aire, ya que esos materiales no van a presentar un cambio significativo de propiedades de transmitancia térmica en comparación con el aislante. Es decir, el material que mayor impacto va a significar en cuanto eficiencia energética va a ser el aislante.

Como se puede evidenciar a partir de la Figura 29 hasta la Figura 35, se analizó 7 fachadas ventiladas y, como se mencionó anteriormente, cada una contaba un aislante térmico diferente de los cuales eran provenientes de empresas guatemaltecas que se dedican a la venta y distribución de sus productos de aislantes térmicos. Entre ellas están: Umwelt, Intérmica, Tablayeso y Cindu. En el Cuadro 2 se describe a detalle cada uno de los materiales utilizados con la respectiva empresa y sus propiedades térmicas y precio por metro cuadrado. Para llevar a cabo el análisis térmico de fachadas ventiladas se necesitó utilizar un software especializado que siga los principios de la física de la transferencia de calor y la normativa correspondiente. Además, que tome la interacción entre los distintos componentes de la fachada y el ambiente exterior e interior. Para este caso se utilizó el software Cypetherm y en el se determinó que la fachada ventilada más eficiente con una menor transferencia de calor fue la fachada ventilada No.5 y No.6, siendo el aislante fibra de vidrio R-10 y del panel Isobox respectivamente. Esto se identifica en el Cuadro 3 donde la fachada ventilada

No.5 obtuvo un valor U de  $0.37 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  y para la fachada ventilada No.6 obtuvo un valor U de  $0.34 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Además del resultado del valor U (coeficiente de transferencia térmica), dentro del mismo cuadro se compararon 3 variables más siendo el dato K (Valor calculado del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica), la emisión global, la demanda de calefacción y la demanda de refrigeración. La diferencia entre el valor U y el valor K, es que el valor U toma en cuenta la transferencia térmica unitaria de la fachada ventilada y el valor K toma en cuenta la transferencia de calor global de la fachada, es decir, toma en cuenta la transferencia de calor del suelo en contacto con el terreno, cubierta, vacíos y puentes térmicos. En cuanto a la emisión global indica cuánto dióxido de carbono se libera al consumir energía por metro cuadrado de forma anual. Por último, la demanda de calefacción y la de refrigeración indica cuánta energía se necesita para calentar o enfriar cada metro cuadrado de un edificio durante un año.

Con respecto al valor de emisiones globales, se puede ver que mantienen un valor muy similar para la fachada ventilada No.5 y No.6 con un valor de  $28.46 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2\cdot\text{año}$  y  $28.02 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2\cdot\text{año}$  respectivamente. Existe un indicador de emisiones globales que categoriza desde A hasta G y para estos tipos de fachadas ventiladas se encuentran en un valor C dando a entender que se encuentra muy cercano a un valor ideal de emisiones de dióxido de carbono por metro cuadrado de forma anual. Ahora bien, en el caso de demanda de calefacción se encuentran en un valor D para ambas fachadas ventiladas y en la demanda de refrigeración se encuentran en un valor A, dando a entender que su diseño rinde mejor para aislar temperaturas bajas.

También se realizó un análisis de costo por metro cuadrado de los elementos que se necesita para llevar a cabo una fachada ventilada. Cabe destacar, los precios de los materiales fueron obtenidos por medio de las respectivas empresas que los vende en Guatemala, el precio del muro y la mano de obra fue corroborada por el asesor de esta tesis y el precio de la mano de obra de instalación de la fachada ventilada fue en base al precio que opera la empresa guatemalteca Tectosá. Esto para respaldar el precio global de instalación de una fachada ventilada. Como se puede mostrar en los Cuadros 4 y 5, se describe los 4 elementos fundamentales de forma gráfica y la mano de obra de instalación global. Para el caso de la fachada ventilada No.5 tiene un costo total de  $\text{Q}1,129.55/\text{m}^2$  y para la fachada ventilada No.6 tiene un costo total de  $\text{Q}1,586.31/\text{m}^2$ . La razón por el cual el precio de la fachada ventilada No.6 es mayor es debido a que el aislante, siendo el panel Isobox, cuenta

con un sistema más elaborado de nervaduras de ambos lados que contiene en su núcleo una espuma rígida de poliuretano (PUR) o poliisocianurato (PIR). Sin embargo, la fachada ventilada No.5 es más barata, ya que el aislante que utiliza es más sencillo por ser una fibra de vidrio de baja densidad de forma aglutinada con resina fenólica de fraguado térmico haciendo que sea homogéneo en toda su distribución, pero sigue aportando una gran capacidad térmica.

Cabe destacar, en Guatemala no existe una normativa que establezca el valor límite de la transmitancia térmica de una fachada. No obstante, en Europa existen tres normativas que varían según el país y la zona climática, entre ellos están España, Reino Unido y Alemania. En el caso de España, tiene establecido un Código Técnico de la Edificación (CTE), en la sección HE1 (Ahorro de energía), los valores límite de transmitancia térmica  $U$  para fachadas varían entre 0.38 y 0.35  $W/m^2 \cdot K$ . Para el caso de Reino Unido, utiliza la normativa Building Regulations y en el estipulan un valor máximo de 0.30  $W/m^2 \cdot K$  para fachadas. En el caso de Alemania tiene una normativa más rigurosa, su normativa se llama EnEV (Energieeinsparverordnung) y establece límites de  $U$  entre 0.20 y 0.28  $W/m^2 \cdot K$  para fachadas. El valor límite establecido por los países se debe a que entre más bajo sea la temperatura del país más bajo tiene que ser el valor de transferencia térmica  $U$  y es para garantizar una menor una pérdida de calor.

Para cumplir con estas normativas mencionadas se tendría que modificar las 2 fachadas ventiladas, siendo la No.5 y la No.6, que lograron tener un menor coeficiente de transferencia térmica. Como se puede ver en la Figura 37 y 38, se agregó 2 capas en la parte interior del muro siendo el aislante térmico fibra de vidrio R-10 y un tablayeso Usg Ultralight para ambas fachadas ventiladas. Esto es debido a que se consideró el material que menor costo represente al sistema constructivo, pero con la premisa que siga cumpliendo con las especificaciones térmicas que se busca para lograr reducir el coeficiente de transferencia térmica previamente obtenido. Como se puede evidenciar en el Cuadro 7, las mejoras de la fachada No.5 y la fachada No.6 obtuvieron como resultado 0.22  $W/m^2 \cdot K$  y 0.21  $W/m^2 \cdot K$  respectivamente, dando a entender que esta mejora si logra cumplir con el valor límite de la transmitancia térmica que establecen los 3 países europeos.

Con respecto a las nuevas cotizaciones de las fachadas ventiladas, como se puede ver en el Cuadro 8 se tomó en cuenta los 2 materiales extras siendo la fibra de vidrio R-10 y el tablayeso Usg Ultralight. Además, se tomó en cuenta un aumento de precio por la mano de obra de instalación de la fachada ventilada, ya que los  $Q60.00/m^2$  extras se obtuvieron en base al precio que maneja la

empresa guatemalteca Suelos & Fachadas para la instalación del tablayeso USG Ultralight y la fibra de vidrio R-10. Esto para obtener la suma del precio por metro cuadrado del sistema constructivo de la fachada ventilada No.5 con un total de Q1,252.72/m<sup>2</sup>. En el Cuadro 9 se tomó en cuenta los mismos agregados tomando cuenta que es con respecto a la fachada ventilada No.6, haciendo un total de Q1,709.48/m<sup>2</sup>.

Para ambos casos representa un aumento de Q123.16/m<sup>2</sup> al sistema constructivo con respecto a la versión no mejorada. Este aumento de precio se ve reflejado en el coeficiente de transmitancia térmica, tal como se puede ver en la Figura 42, ya que demuestra sus mejoras en comparación con un muro convencional que se construye en Guatemala hasta un 88 %. Además, estas mejoras también reducen humedades, reducen los puentes térmicos, mejoran el aislamiento acústico debido a la incorporación del aislante agregado, mejora el confort térmico dentro del recinto y le da una plusvalía a la edificación debido a la gran inversión que se refleja en la duración, vida útil y el bajo costo de mantenimiento que representa la fachada ventilada. Todos estos beneficios mencionados que aporta el uso de la fachada ventilada está más presente en las horas con una temperatura más crítica en Guatemala.

La temperatura media anual del país ronda alrededor de los 24°C, sin embargo la temperatura puede llegar a alcanzar en promedio en los meses más calurosos de marzo y abril hasta los 27°C (Weather Spark, s.f.). Por eso es muy importante estimar cómo sería el comportamiento térmico dentro del recinto utilizando este sistema constructivo. Como se puede ver en la Figura 43, se llevó a cabo un análisis gráfico de la variación de la temperatura interior en función de las horas que abarca el día para verificar en qué momento es más útil el uso de la fachada ventilada. Cabe destacar, esto se realizó bajo las siguientes suposiciones: No hay variaciones de temperatura, no hay un sistema de calefacción o refrigeración, hay un flujo de calor Q constante, un área de superficie de 4x8 ft y una temperatura interior en el recinto de 21°C.

Las temperaturas exteriores en función de las horas de Guatemala se obtuvo de la página AccuWeather y varía desde los 18°C hasta los 26°C, tomando en cuenta que se tomó de referencia las temperaturas del día sábado 3 de agosto del 2024 (AccuWeather, s.f.). Como se puede ver en dicha gráfica, el rango de horas que más útil va a ser la fachada ventilada está entre las 10 am y las 3 pm, esto es debido a que supera los 20°C llegando hasta los 23°C en la hora más crítica siendo las 12 pm. Vale la pena señalar que esta gráfica puede aplicarse tanto para las fachadas ventiladas No.5 y

No.6 como para las fachadas ventiladas mejoradas, con la condición de que partan de las mismas suposiciones del cálculo de flujo de calor  $Q$  y de las mismas temperaturas exteriores. Esto demuestra que la implementación de fachadas ventiladas con materiales y aislantes térmicos adecuados es una estrategia eficaz para controlar la temperatura interior de un edificio en relación con las condiciones exteriores. Esto debido a la comparación con la Figura 42 en donde se detalla de forma gráfica la variación de temperatura exterior en función de las horas del día sábado 3 de agosto siendo mucho mayor la temperatura con respecto a la temperatura interior de la gráfica anterior. Además de controlar adecuadamente la temperatura interior, mejora el confort térmico de los ocupantes, contribuye en la sostenibilidad energética y la protección del edificio a largo plazo.

Cabe destacar, también se llevó a cabo paquetes de familia de las fachadas ventiladas propuestas aplicado al software de modelado Revit, como se puede ver en la Figura 42, esto para contribuir en los diseños de modelados 3D futuros para definir las soluciones constructivas en beneficio de temas del modelado de eficiencia energética. Es muy importante mencionar la razón por la cual se escogió esas opciones de aislantes térmicos y no materiales necesariamente nativos del país. Lo anterior tiene que pasar por un medio de transporte para ser comercializados dentro del país, siendo un proceso generador de energía contenida, para luego ser utilizado en un sistema de aislante térmico puede ser una estrategia más sostenible que solo depender del consumo de energía eléctrica por el resto del ciclo de vida de una edificación. Esto se debe a la eficiencia energética que genera por la disminución de consumo energético para mantener un confort térmico dentro del recinto. Además, promueve una reducción de emisiones de huella de carbono a lo largo del ciclo de vida de una edificación, ya que va a haber una menor dependencia de sistemas de calefacción o refrigeración.

También, permite tener una vida útil prolongada por parte de la fachada ventilada gracias a su bajo mantenimiento, en comparación con un sistema de calefacción y refrigeración siempre necesitará un mantenimiento regular y con ello un costo adicional. Por último, esto también disminuye una dependencia energética, ya que se vuelve una autonomía energética al contar con un sistema que limite el consumo para mantener un confort térmico y esto se vuelve más importante en áreas donde la infraestructura eléctrica puede ser vulnerable o bien en áreas donde se busca minimizar la dependencia de fuentes de energía renovables. Por lo tanto, tiene un mayor peso considerar el ciclo de vida completo y los beneficios a largo plazo que aporta un sistema de fachada ventilada debido a la eficiencia de costos de transporte. A pesar de la inversión inicial puede llevar a tomar decisiones con un enfoque de sostenible en la construcción y el diseño de edificaciones.

## VIII. CONCLUSIONES

- Se identificaron cuatro soluciones constructivas más efectivas en un sistema de fachada ventilada para mantener la menor transferencia de calor por medio del software Cypetherm. La primera fachada ventilada, siendo la fachada No.5, está compuesto por un tablero de cemento durock, cámara de aire, fibra de vidrio R-10 y ladrillo de hormigón. La segunda fachada ventilada, siendo la fachada No.6, está compuesto por un tablero de cemento durock, cámara de aire, panel Isobox y ladrillo de hormigón. La tercera fachada ventilada, siendo la fachada No.5 mejorado, está compuesto por un tablero de cemento durock, cámara de aire, fibra de vidrio R-10, ladrillo de hormigón, fibra de vidrio R-10 y tablayeso usg ultralight. La cuarta fachada ventilada, siendo la fachada No.6 mejorado, está compuesto por un tablero de cemento durock, cámara de aire, panel Isobox, ladrillo de hormigón, fibra de vidrio R-10 y tablayeso usg ultralight.
- Los métodos y materiales constructivos analizados involucran una eficiencia energética y aislamiento térmico, ya que promueven impactos positivos al disminuir la transmitancia térmica entre un 87 % y 88 % para las fachadas ventiladas mejoradas No.5 y No.6 respectivamente en comparación con un muro sin fachada ventilada. Esto disminuye la demanda de refrigeración entre 5.21 y 5.27 kWh/m<sup>2</sup>\*año y las emisiones de gases de efecto invernadero entre 25.92 y 26.08 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>\*año respectivamente. Para las fachadas ventiladas No.5 y No.6, disminuyen la transmitancia térmica entre un 78 % y 80 % respectivamente en comparación con un muro sin fachada ventilada, esto disminuye la demanda de refrigeración entre 5.37 y 5.48 kWh/m<sup>2</sup>\*año y las emisiones de gases de efecto invernadero entre 28.02 y 28.46 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>\*año respectivamente. Estos enfoques aseguran un confort interior constante, especialmente durante las horas pico, y mejoran la calidad de vida de los ocupantes. Además, su durabilidad y bajo requerimiento de mantenimiento los hacen económicamente viables a largo plazo, reforzando la importancia de adoptar criterios sostenibles en la construcción moderna.
- La fachada ventilada No.5 aporta un coeficiente de transmitancia térmica U de 0.37 w/m<sup>2</sup>\*k, una resistencia térmica de 2.70 m<sup>2</sup>\*k/w y un coeficiente global de transmisión de calor "k" de 1.14 W/m<sup>2</sup>\*k. La fachada ventilada No.6 aporta un coeficiente de transmitancia térmica U de 0.34 w/m<sup>2</sup>\*k, una resistencia térmica de 2.94 m<sup>2</sup>\*k/w y un coeficiente global de transmisión de calor "k" de 1.13 W/m<sup>2</sup>\*k. La fachada ventilada No.5 mejorado aporta un coeficiente

de transmitancia térmica  $U$  de  $0.22 \text{ w/m}^2\cdot\text{k}$ , una resistencia térmica de  $4.55 \text{ m}^2\cdot\text{k/w}$  y un coeficiente global de transmisión de calor " $k$ " de  $1.04 \text{ W/m}^2\cdot\text{k}$ . La fachada ventilada No.6 mejorado aporta un coeficiente de transmitancia térmica  $U$  de  $0.21 \text{ w/m}^2\cdot\text{k}$ , una resistencia térmica de  $4.76 \text{ m}^2\cdot\text{k/w}$  y un coeficiente global de transmisión de calor " $k$ " de  $1.04 \text{ W/m}^2\cdot\text{k}$ .

- El costo de instalación para la fachada ventilada No.5 es de  $Q1,129.55/\text{m}^2$  y para la fachada ventilada No.6 es de  $Q1,586.31/\text{m}^2$ . El costo de implementación para la fachada ventilada No.5 mejorado es de  $Q1,252.72/\text{m}^2$  y para la fachada ventilada No.6 mejorado es de  $Q1,709.48/\text{m}^2$ . Cabe destacar, el aumento de precio de las fachadas ventiladas mejoradas no justifica que va a existir una mejora en cuanto a emisiones globales, demanda de calefacción y demanda refrigeración. Es decir, tanto las versiones estándar como las versiones mejoradas se encuentran bajo los mismos indicadores de eficiencia energética. Por lo tanto, aplicar las fachadas ventiladas mejoradas no representa considerablemente una mejora en eficiencia energética; únicamente en eficiencia térmica.
- A pesar que el uso de una fachada ventilada cuesta el doble de un levantado normal de muro, es importante considerar que los beneficios se muestran tanto en confort térmico como económicos y por eso podría ser utilizado únicamente en la fachada más crítica siendo la que está orientada hacia el este. Debido a que ahorraría costos de instalación en las demás fachadas y además se le daría provecho a la inversión en la fachada más crítica. Esto bajo la suposición que se ubica en Guatemala el edificio con una latitud de  $14.592348431642788$  y una longitud de  $-90.50039327150647$ .

## IX. RECOMENDACIONES

- Si se da seguimiento a esta tesis con una fase 2, considerar factores como humedad, velocidad del aire, actividad física, entre otras. Esto para complementar los resultados obtenidos y ver cómo se puede alcanzar el mayor confort térmico bajo este sistema de fachadas ventiladas.
- Analizar la posibilidad de utilizar otro software para validar procesos de cálculo de transmitancia térmica bajo los mismos parámetros de las fachadas ventiladas que se analizó y con ello comparar si los resultados obtenidos son correctos.
- Tanto la fachada ventilada No.5 como la No.6 responden bien ante el aislamiento a altas temperaturas exteriores. Sin embargo, si se llega a dar seguimiento a esta tesis considerar que estas fachadas ventiladas no responden bien ante bajas temperaturas exteriores y es muy probable que el consumo energético aumente en estas épocas. Por lo tanto, tomar en cuenta que estos resultados podrían dar razón para buscar otro método constructivo o otro tipo de aislante térmico que pueda responder mejor ante bajas temperaturas exteriores.
- Para un ahorro de costos, se podría implementar el uso de la fachada ventilada en orientación al lado más crítico de una edificación. Para este caso, la fachada más crítica se encuentra en el lado este del terreno que se ubicó en Guatemala. Esto con el objetivo de reducir la mayor cantidad de transferencia térmica en las primeras horas del día.
- Para el seguimiento de esta tesis, evaluar la aplicación de un sistema de fachada ventilada interna para analizar si responde mejor en comparación con los resultados obtenidos de la fachada ventilada en exterior.

## X. BIBLIOGRAFÍA

- Acciona. (2020, 6 enero). *¿Qué es la sostenibilidad?*  
<https://www.sostenibilidad.com/desarrollo-sostenible/que-es-la-sostenibilidad/?adin=02021864894>.
- AccuWeather. (s. f.). *Tiempo cada hora en Ciudad de Guatemala*. Guatemala | AccuWeather.  
<https://www.accuweather.com/es/gt/guatemala-city/187765/hourly-weather-forecast/187765>
- ACR. (2021, 5 agosto). *Transferencia de calor*. Recuperado 20 de marzo de 2024, de  
<https://www.acrlatinoamerica.com/202108059997/articulos/otros-enfoques/transferencia-de-calor-iii.html>
- Acerofom. (2022, 12 mayo). *¿Qué son los aislantes térmicos?*  
<https://www.acerofom.com.mx/blog/que-son-los-aislantes-termicos/>.
- Aislacel. (2022, 4 agosto). *¿Qué es la conductividad térmica?*  
<https://www.aislacel.cl/article/que-es-la-conductividad-termica-resistencia-termica-r-y-transmitancia-termica-u-y-el-r100>.
- BibLus. (2015, 7 octubre). *Las dimensiones del BIM*  
<https://biblus.accasoftware.com/es/las-dimensiones-del-bim/>.
- BIMnd. (2017, 12 junio). *La Sostenibilidad en la Construcción ¿Cómo ayuda BIM?*  
<https://www.bimnd.es/la-sostenibilidad-en-la-construccion-como-ayuda-bim/>
- Bonet, R. (2016, 25 febrero). *Construcción sostenible, una alternativa para la edificación de viviendas de interés social y prioritario*  
<http://www.hildebrandt.cl/materiales-reutilizables-yreciclables-de-la-construccion-de-edificios/>.
- Builder, D. (2020, 15 abril). *Características de DesignBuilder*  
<https://www.designbuilder-lat.com/caracteristicas/descripcion-general>.
- Bardales, W., Castañón2, C., & Herrera, J. (2019, 22 septiembre). *Clima de Guatemala, tenden-*

*cias observadas e índices de cambio climático.* República de Guatemala.  
<https://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2019/07/1RepCCGuaCap2.pdf>

BBVA. (2024, 6 febrero). *¿Qué es el calentamiento global y cuáles son las causas?* BBVA NOTICIAS  
<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-calentamiento-global/>

Cindu de Guatemala S.A. (s.f.). *Isobox*  
<https://gt.cindu.com/gt/es/productos-gt/paneles-met%C3%A1licos-aislantes/isobox/>

Conavi. (s. f.). *SIESCO - Documentos. Diseño Bioclimático*  
<https://siesco.conavi.gob.mx/siesco/documentos.aspx>.

Connor, N. (2020, 8 enero). *¿Qué es la unidad de conductividad térmica? Definición.* Thermal Engineering.  
<https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-unidad-de-conductividad-termica-definicion/>

Construction21. (2020, 8 diciembre). *Estrategia de desarrollo para el sector de la construcción.*  
<https://www.construction21.org/espana/articulos/h/estrategia-de-desarrollo-para-el-setor-de-la-construction-tropical.html>

Consulting, I. I. (2022, 28 junio). *Propiedades térmicas de los materiales.*  
<https://www.infinitiaresearch.com/noticias/propiedades-termicas-de-los-materiales/>.

CYPE Software. (2022, 16 mayo). *CYPETHERM EPlus.* CYPE.  
<https://info.cype.com/es/producto/cypetherm-eplus/>: :text =CYPETHERM %20EPlus %20es %20 una % 20 aplicaci %C3 %B3n,y %20reconocidos %20de %20la %20actualidad.

CYPE Software. (2022, mayo 16). *CYPETHERM EPlus.* CYPE.  
<https://info.cype.com/es/producto/cypetherm-eplus/>

Dalaison, W. (2020, 9 marzo). *La certificación de edificios verdes es cada vez más accesible en América Latina y el Caribe.* Sostenibilidad.

<https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/la-certificacion-de-edificios-verdes-es-cada-vez-mas-accesible-en-america-latina-y-el-caribe/>

DesignBuilder. (2021, 14 agosto). *Características*  
<https://www.designbuilder-lat.com/caracteristicas/>.

Dobrowolska, K. (2022, 26 octubre). *How Does Construction Affect The Environment?*  
<https://archdesk.com/es/blog/como-afecta-la-construccion-al-medio-ambiente/>

Ecohouses. (2018, 21 de abril). *¿Qué es un puente térmico y cómo funciona?*  
<https://www.ecohouses.es/que-es-un-puente-termico-y-como-funciona/?lang=es>.

ESGinnova. (2014, 20 noviembre). *ISO 14001: ¿En qué se basa un Sistema de Gestión Ambiental?*  
<https://www.nueva-iso-14001.com/2014/11/iso-14001-en-que-se-basa-un-sistema-de-gestion-ambiental/>.

Eurofins. (2021, 4 noviembre). *¿Qué es la construcción sostenible y por qué es importante?*  
<https://envira.es/es/construccion-sostenible/>.

ETRES Consultores. (2022, 4 marzo). *Curso CYPETHERM HE Plus. Cursos Eficiencia Energética.*  
<https://cursoeficienciaenergetica.com/producto/curso-cypetherm-he-plus/>

ESGinnova. (2014, 20 noviembre). *ISO 14001: ¿En qué se basa un Sistema de Gestión Ambiental?* Recuperado 25 de febrero de 2024, de  
<https://www.nueva-iso-14001.com/2014/11/iso-14001-en-que-se-basa-un-sistema-de-gestion-ambiental/>

El comercio. (2020, 3 enero). *El ladrillo, un material cálido y resistente que tiene varios usos.* El Comercio. Recuperado 5 de marzo de 2024, de  
<https://www.elcomercio.com/construir/ladrillo-usos-construccion-arquitectura-vivienda.html>

Fernández, L. (2013, 3 abril). *Bienestar Social, Económico y Ambiental para las Presentes y Futuras Generaciones*.

<https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sciarttextpid=S071807642013000200013> : %7E : text = En %20la %20declaraci %C3 %B3n %20de %20Rio, para %20atend

Fisher, A. (2023, 14 diciembre). *Aislamiento de bloques de hormigón: una guía. Ernest Maier*.  
<https://ernestmaier.com/es/concrete-blocks-insulation-a-guide/> : :text =Si %20bien %20los %20bloques %20de, en %20climas %20c %C3 %A1lidos %20 como % 20 fr %C3 %AD os.

Gruppe, H. (2016, 25 febrero). *El impacto ambiental de los edificios - Hildebrandt*. Hildebrandt.  
<https://www.hildebrandt.cl/el-impacto-ambiental-de-los-edificios/>

Gramas. (2014, 22 enero). *Energía incorporada*.  
<https://gramaconsultores.wordpress.com/2014/01/22/energia-incorporada/>

Grupo Umwelt. (2019, 21 mayo). *Grupo Umwelt*.  
<https://grupoumwelt.com/prorox-sl/>

Grupo Umwelt. (2022, 24 febrero). *Grupo Umwelt*.  
<https://grupoumwelt.com/rockboard/>

Grupo Umwelt. (2020, 4 febrero). *Grupo Umwelt*.  
<https://grupoumwelt.com/afb-acousticalfirebatt/>

Groupwork + Amin Taha, Charles Hosea · 2 Ada Street. (s. f.). *Divisare*.  
<https://divisare.com/projects/391184-groupwork-amin-taha-charles-hosea-2-ada-street>

Granda, C. (2023, 3 julio). *10 edificios verdes en Guatemala*. Leaf.  
<https://leaflatam.com/10-edificios-verdes-en-guatemala/>

INSIVUMEH. (2022, 5 febrero). *Cambio Climático*.  
<https://insivumeh.gob.gt/?pageid=14371>

Ingeniería Térmica, S.A. (2022, 11 octubre) *Refractarios y Aislantes*.  
<https://www.intermica.net/materiales-refractarios/tableros-de-fibra-mineral/tablero-de-fibra-mineral-it600/>

Ingeniería Térmica, S.A. (2022, 11 octubre) *Refractarios y Aislantes*.  
<https://www.intermica.net/materiales-refractarios/fibra-ceramica/>

Index. (2023, 23 abril). *Fachadas Ventiladas*.  
<https://www.indexfix.com/descargas-catalogos-folletos-lanzamientos>

Leskow, E. C. (2021, 16 julio). *Transferencia de Calor - Concepto, tipos, aislantes y medidas*.  
Concepto.  
<https://concepto.de/transferencia-de-calor/>

Larrotcha, S. (2021, 14 julio). *¿Qué es una fachada ventilada? Funcionamiento y ventajas*. Stonesize®  
<https://stonesizepanels.com/es/fachada-ventilada>

Loizaga. (2022, 19 octubre). *Fachada ventilada: 20 Preguntas y Respuestas (FAQs)*. Loizaga Construcciones.  
<https://www.loizagaconstrucciones.com/fachada-ventilada-faqs/>

Leskow, E. C. (2021, 16 julio). *Transferencia de Calor; tipos, aislantes y medidas*.  
<https://concepto.de/transferencia-de-calor/>

Liv, A. (2017, 29 marzo). *Rehabilitación de Fachadas con la cerámica Frontek*. Grupo Basica®.  
<https://www.grupobasica.com/rehabilitacion-fachadas-la-ceramica-frontek/>

Sancho, J. (2023, 28 septiembre). *Análisis de energía y medio ambiente utilizando tecnología BIM*. Acero Estudio.  
<https://aceroestudio.com/el-modelado-bim-para-analisis-de-energia-y-medio-ambiente/>

Ordóñez, A. (2022, 20 abril). *seiscubos - Orientación*.

<https://www.seiscubos.com/conocimiento/orientacion>

Reformas integrales de viviendas. (2023, 10 octubre). *¿Qué es una fachada ventilada? Tipos y detalle constructivo*. Reformas Integrales de Viviendas.

<https://reformasintegrales10.com/aislamiento/que-es-una-fachada-ventilada/>

Rosales, M. (2019, 14 septiembre). *Cambio climático: ¿cómo nos afecta y qué estamos haciendo en Guatemala?* Revista Yuam

<https://www.revistayuam.com/cambio-climatico-como-nos-afecta-y-que-estamos-haciendo-en-guatemala/>: :text=Los %20escenarios %20de %20cambio %20clim %C3 %A1tico, %2C %20y %20Ochoa %2C %202019).

Tiberio, A. J. (2018, 20 mayo). *Puentes térmicos ¿Qué son? ¿Cómo se calculan?* Arrebol Estudio.

<https://www.arrebolstudio.com/puentes-termicos-que-son/>

TablaYeso. (s. f.). *Especificaciones técnicas*

<https://www.tablayeso.gt/product/fibra-de-vidrio-r-10-3inx15-24mx61cm/>

Torres, H. (2021, 15 abril). *Huella de carbono en la construcción: minimizarla y compensarla*. ECC.

<https://www.cronista.com/columnistas/huella-de-carbono-en-la-construccion-minimizarla-y-compensarla/>

INSIVUMEH. (2022, 5 febrero). *Cambio Climático*.

<https://insivumeh.gob.gt/?pageid=14371>

IPUR. (2021, 8 marzo). *Cómo ahorrar energía en construcción*.

<https://aislaconpoliuretano.com/como-ahorrar-energia-en-construccion/>.

Jiménez, C. (2022, 15 mayo). *TRANSFERENCIA DE CALOR*. Tecnológico de Costa Rica.

[https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10176/Trasferencia %20de %20calor.pdf?](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10176/Trasferencia%20de%20calor.pdf?)

sequence=1isAllowed =y: :text=La %20transferencia %20de %20calor %20por,de %20menor %  
20temperatura %20del %20objeto

Maqueira, Á. (2011, 9 mayo). *Sostenibilidad y ecoeficiencia en arquitectura*. Universidad de Lima.

<https://www.redalyc.org/pdf/3374/337428495007.pdf>.

Mediterráneo, S. (2021, 26 noviembre). *Las claves para una construcción sostenible y su importancia*.

<https://satemediterraneo.com/las-claves-para-una-construccion-sostenible-y-su-importancia/>

Microscopio. (2023, 9 junio). *Clima tropical: características y definición*. Microscopio.pro.

<https://www.microscopio.pro/clima-tropical-caracteristicas-y-definicion/>.

Pereira, D. (2022, 26 julio). *La energía embebida y su importancia en la construcción sostenible*.

<https://colombia.argos.co/la-energia-embebida-y-su-importancia-en-la-construccion-sostenible/>

Plus, C. (2020, 23 enero). *Transmitancia térmica: ¿Cómo se calcula?*.

<https://climalit.es/blog/transmitancia-termica-se-calcula/>.

Portillo, G. (2022, 29 abril). *Clima templado*.

<https://www.meteorologiaenred.com/climatemplado.html>.

Palencia, D. (2023, 20 noviembre). *¿Qué es un cerramiento en construcción y para qué sirve?*

Cemix.

<https://www.cemix.com/cerramiento-construccion/>

Pereira, D. (2022, 26 julio). *La energía embebida y su importancia en la construcción sostenible*.

Cementos Argos Colombia.

<https://colombia.argos.co/la-energia-embebida-y-su-importancia-en-la-construccion-sostenible/>

Sancho, J. (2023, 28 septiembre). *Análisis de energía y medio ambiente utilizando tecnología*

*BIM*. Acero Estudio.

<https://aceroestudio.com/el-modelado-bim-para-analisis-de-energia-y-medio-ambiente/>

Sistegua.(s.f.). *Especificaciones técnicas*

<https://sistegua.com/producto/usg-durock-12-x-4-x-8-2/>

Salcedo, A. (2022, 17 agosto). *Clima Templado Subhúmedo: [Características, Flora, Fauna Y Adaptabilidad]*.

<https://www.sembrar100.com/el-clima/templado-subhumedo/>.

Seiscubos. (s. f.). *Importancia del aislamiento de los edificios.*

<https://www.seiscubos.com/blog/la-importancia-relativa-del-aislamiento-termico-de-los-edificios>.

SP. (2019, 15 abril). *Materiales aislantes térmicos: tipos y aplicaciones* SP Sistemas de Ventilación.

<https://www.solerpalau.com/es-es/blog/materiales-aislantes-termicos/>

Susunaga, J. (2014, 7 noviembre). *CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE, UNA ALTERNATIVA PARA LA EDIFICACIÓN DE VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL Y PRIORITARIO.*

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1727/1/CONSTRUCCI%C3%93N%20SOSTENIBLE,%>

Torres, H. (2021, 15 abril). *Huella de carbono en la construcción: minimizarla y compensarla.*

<https://www.cronista.com/columnistas/huella-de-carbono-en-la-construccion-minimizarla-y-compensarla/>.

Tradeal. (s. f.). *Materiales para cerramientos: ¿cuál es el más adecuado?* CERRAMIENTOS VALENCIA. Tradeal SL.

<https://www.cerramientosvalencia.net/blog/materiales-para-cerramientos-cual-es-el-mas-adecuado>

Verde, G. (2018, 24 abril). *Medidas para reducir el Impacto Ambiental de una Construcción.*

<https://generacionverde.com/blog/arquitectura-sustentable/7-medidas-para-reducir-el-impacto-ambiental-de-una-construccion/>.

Weather Spark. (s.f.). *El clima y el tiempo en Guatemala por mes, temperatura media.*  
<https://es.weatherspark.com/countries/GT>

## XI. APÉNDICES

### A. Fachada ventilada No.5

#### 1.2. Fachadas

##### 1.2.1. Parte ciega de las fachadas

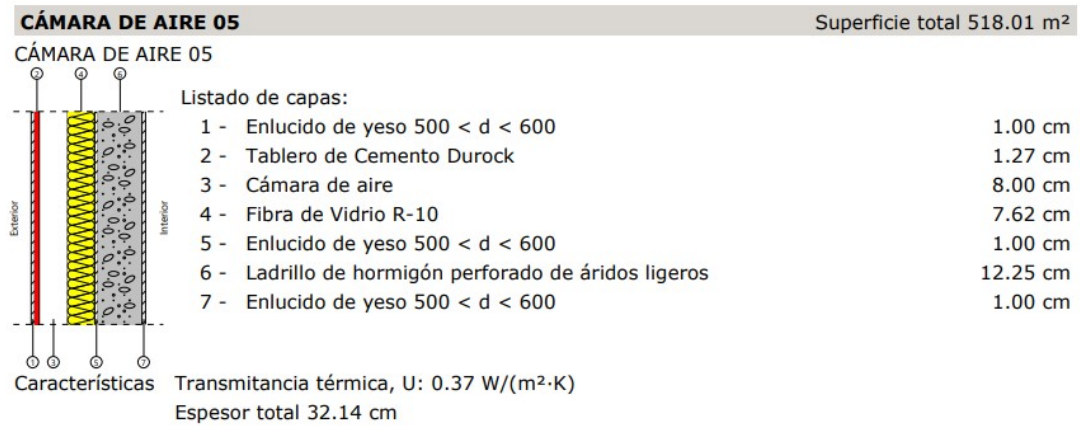


Figura 45. Fachada ventilada No.5 - Descripción de materiales y elementos constructivos.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cypetherm

## Calificación energética del edificio

<b>Zona climática</b>	D3	<b>Uso</b>	Residencial privado
-----------------------	----	------------	---------------------

### 1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	CALEFACCIÓN	ACS
	Emisiones calefacción [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]	Emisiones ACS [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]
	<b>25</b>	<b>2.4</b>
Emisiones globales[kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año] <sup>1</sup>	REFRIGERACIÓN	ILUMINACIÓN
	Emisiones refrigeración [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]	Emisiones iluminación [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]
	<b>0.72</b>	<b>-</b>

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año	kgCO <sub>2</sub> ·año
Emisiones CO <sub>2</sub> por consumo eléctrico	1.06	484.77
Emisiones CO <sub>2</sub> por otros combustibles	27.40	12577.18

### 2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	CALEFACCIÓN	ACS
	Energía primaria calefacción [kWh/m <sup>2</sup> ·año]	Energía primaria ACS [kWh/m <sup>2</sup> ·año]
	<b>118.05</b>	<b>11.35</b>
Consumo global de energía primaria no renovable[kWh/m <sup>2</sup> ·año] <sup>1</sup>	REFRIGERACIÓN	ILUMINACIÓN
	Energía primaria refrigeración [kWh/m <sup>2</sup> ·año]	Energía primaria iluminación [kWh/m <sup>2</sup> ·año]
	<b>4.25</b>	<b>-</b>

### 3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
Demanda de calefacción[kWh/m <sup>2</sup> ·año]	Demanda de refrigeración[kWh/m <sup>2</sup> ·año]

Figura 46. Fachada ventilada No.5 - Calificación energética.

## 1. CUANTIFICACIÓN DE LA EXIGENCIA

### 1.1. Condiciones de la envolvente térmica

#### 1.1.1. Transmitancia de la envolvente térmica

**Transmitancia de la envolvente térmica:** Existen elementos de la envolvente térmica cuya transmitancia térmica supera el valor límite. ✘

#### Coefficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K)

$$K = 1.14 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \leq K_{lim} = 0.54 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

donde:

*K*: Valor calculado del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

*K<sub>lim</sub>*: Valor límite del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

	S (m <sup>2</sup> )	L (m)	K <sub>i</sub> (W/(m <sup>2</sup> ·K))	%K
<b>Área total de intercambio de la envolvente térmica = 802.402 m<sup>2</sup></b>				
Fachadas	518.01	--	0.24	20.79
Suelos en contacto con el terreno	127.51	--	0.09	8.28
Cubiertas	117.96	--	0.12	10.23
Huecos	38.93	--	0.10	8.87
Puentes térmicos	--	951.591	0.59	51.83

donde:

*S*: Superficie, m<sup>2</sup>.

*L*: Longitud, m.

*K<sub>i</sub>*: Coeficiente parcial de transmisión de calor,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

%*K*: Porcentaje del coeficiente global de transmisión de calor., %.



#### 1.1.2. Control solar de la envolvente térmica

$$q_{sol,jul} = 1.43 \text{ kWh}/\text{m}^2 \leq q_{sol,jul,lim} = 2.00 \text{ kWh}/\text{m}^2$$

donde:

*q<sub>sol,jul</sub>*: Valor calculado del parámetro de control solar,  $\text{kWh}/\text{m}^2$ .

*q<sub>sol,jul,lim</sub>*: Valor límite del parámetro de control solar,  $\text{kWh}/\text{m}^2$ .


















Figura 47. Fachada ventilada No.5 - Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cypetherm

### 3.1. Caracterización de los elementos que componen la envolvente térmica

#### 3.1.1. Cerramientos opacos

Los cerramientos opacos suponen el **39.30%** del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).

	Tipo	S (m <sup>2</sup> )	U (W/(m <sup>2</sup> ·K))	U <sub>lim</sub> (W/(m <sup>2</sup> ·K))	α	O. (°)	S-U (W/K)	
<b>Zona común</b>								
Fachada		10.85	0.37	0.41	0.60	Oeste(270)	4.00	✓
Fachada		10.47	0.37	0.41	0.60	Oeste(267)	3.86	✓
Fachada		172.37	0.37	0.41	0.60	Norte(0)	63.50	✓
Fachada		24.55	0.37	0.41	0.60	Sur(181)	9.05	✓
Fachada		59.21	0.37	0.41	0.60	Este(96)	21.81	✓
Fachada		60.46	0.37	0.41	0.60	Sur(180)	22.27	✓
Fachada		1.41	0.37	0.41	0.60	Este(83)	0.52	✓
Fachada		3.42	0.37	0.41	0.60	Sur(178)	1.26	✓
Fachada		3.95	0.37	0.41	0.60	Este(98)	1.45	✓
Fachada		25.39	0.37	0.41	0.60	Este(100)	9.35	✓
Fachada		79.80	0.37	0.41	0.60	Oeste(268)	29.39	✓
Fachada		15.68	0.37	0.41	0.60	Este(93)	5.77	✓
Fachada		50.46	0.37	0.41	0.60	Sur(183)	18.59	✓
Cubierta		117.96	0.80	0.35	0.60	-	93.94	✗
Solera		127.51	0.60	0.65	-	-	75.98	✓
Partición interior vertical		0.55	0.64	0.65	-	-	-	✓
Partición interior horizontal		1.83	3.16	0.65	0.60	-	-	✗
							<b>360.74</b>	

donde:

S: Superficie, m<sup>2</sup>.

U: Transmitancia térmica, W/(m<sup>2</sup>·K).

U<sub>lim</sub>: Transmitancia térmica límite aplicada, W/(m<sup>2</sup>·K).

α: Coeficiente de absorción solar (absortividad) de la superficie opaca.

O.: Orientación de la superficie (azimut respecto al norte), °.

#### 3.1.2. Huecos

Los huecos suponen el **8.87%** del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).

	S (m <sup>2</sup> )	O. (°)	F. (%)	U (W/(m <sup>2</sup> ·K))	U <sub>lim</sub> (W/(m <sup>2</sup> ·K))	S-U (W/K)	g <sub>glu</sub>	g <sub>glu,w</sub>	Q <sub>sol,glu</sub> (kWh/mes)	%Q <sub>sol,glu</sub>	
<b>Zona común</b>											
PUERTA INTERIORES	1.07	Oeste(270)	1.00	2.23	5.70	2.38	0	0	0	0	✓
PUERTA INTERIORES	0.81	Oeste(267)	1.00	2.23	5.70	1.80	0	0	0	0	✓
PUERTA INTERIORES	1.89	Oeste(270)	1.00	2.23	5.70	4.21	0	0	0	0	✓
PUERTA INTERIORES	1.89	Oeste(267)	1.00	2.23	5.70	4.21	0	0	0	0	✓
PUERTA INTERIORES	1.89	Este(100)	1.00	2.23	5.70	4.21	0	0	0	0	✓

Figura 48. Fachada ventilada No.5 - Caracterización de los elementos que componen la envolvente térmica.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cypetherm

## PRESENTACIÓN

Rollos flexibles color rosa disponibles en las siguientes dos presentaciones:

PRESENTACIÓN	DISPONIBILIDAD EN ANCHOS	LONGITUD ESTÁNDAR
SIN RECUBRIMIENTO	41 cm y 61 cm 16 pulg. y 24 pulg.	15.24 mts (50 pies)
CON PAPEL KRAFT ASFALTADO		

\*Si requiere longitudes especiales, favor de consultar a nuestro Departamento de Ventas.

## DATOS TÉCNICOS NOMINALES

AISLHOGAR	ESPESOR		VALOR R		Banda de Octava (Hertz)*						
	cm	in	m <sup>2</sup> · K/W	(°F·ft <sup>2</sup> ·h / BTU)	125	250	500	1000	2000	4000	NRC
R-8*	6,4	(2.5)	1,41	(8)	0.34	0.81	0.96	0.90	0.88	0.93	0.90
R-10	7,6	(3)	1,76	(10)	0.29	0.82	1.02	0.94	0.96	0.98	0.95
R-11	8,9	(3.5)	1,94	(11)	0.48	1.00	1.12	1.03	0.97	0.96	1.05
R-13	8,9	(3.5)	2,29	(13)	0.49	1.11	1.12	1.02	1.01	1.05	1.05
R-19	15,9	(6.25)	3,35	(19)	0.67	1.22	1.08	1.04	1.05	1.05	1.10

\*Los valores de coeficientes de absorción de sonido son especificados sin barrera de vapor. Los valores mostrados en esta tabla son calculados respecto a parámetros de manufactura y estudios de laboratorio. \*La conductividad térmica del Aislhogar R-8 es de 0.039 W/m.k / 0.293 BTU.in/h.ft<sup>2</sup>.°F

## PROPIEDADES FÍSICAS

PROPIEDAD	MÉTODO DE PRUEBA	VALOR
Absorción de vapor de agua	ASTM C 1104	Promedio de 1.25% por volumen
Emisión de olores	ASTM 1304	Cumple con la norma
No corrosión	ASTM C 665	No acelera la corrosión de cobre, aluminio y acero.
	ASTM C 1617	Cumple con la norma
Resistencia a los hongos	ASTM C 1338	Cumple con la norma

Figura 49. Fachada ventilada No.5 - Ficha técnica fibra de vidrio.

## VALORES PARA LA **NOM-018-ENER-2011**

Planta	Resistencia Térmica	Conductividad Térmica	Densidad aparente	Permeabilidad de Vapor de Agua	Adsorción de Humedad		Absorción de Agua
Monterrey	0,128 m <sup>2</sup> · K/W 0,729 ft <sup>2</sup> h <sup>0</sup> F/BTU	0,0990 W/m·K	921,66 kg/m <sup>3</sup>	0,137 ng/Pa·s·m	10,22 % (masa)	9,41 % (volumen)	25,28 % (masa)

Figura 50. Fachada ventilada No.5 - Ficha técnica tablero de cemento durock USG.

Fuente: (Sistegua. s.f.)

### B. Fachada ventilada No.6

#### 1.2. Fachadas

##### 1.2.1. Parte ciega de las fachadas

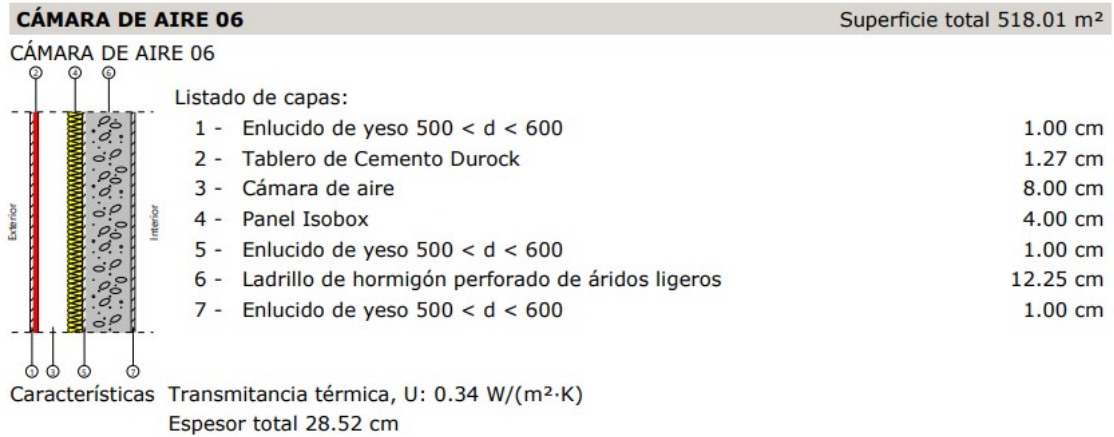


Figura 51. Fachada ventilada No.6 - Descripción de materiales y elementos constructivos.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cypetherm

## Calificación energética del edificio

<b>Zona climática</b>	D3	<b>Uso</b>	Residencial privado
-----------------------	----	------------	---------------------

### 1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	CALEFACCIÓN	ACS
	Emisiones calefacción [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]	Emisiones ACS [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]
	<b>24.58</b>	<b>2.4</b>
Emisiones globales [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año] <sup>1</sup>	REFRIGERACIÓN	ILUMINACIÓN
	Emisiones refrigeración [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]	Emisiones iluminación [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]
	<b>0.71</b>	<b>-</b>

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año	kgCO <sub>2</sub> ·año
Emisiones CO <sub>2</sub> por consumo eléctrico	1.04	478.35
Emisiones CO <sub>2</sub> por otros combustibles	26.98	12384.28

### 2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	CALEFACCIÓN	ACS
	Energía primaria calefacción [kWh/m <sup>2</sup> ·año]	Energía primaria ACS [kWh/m <sup>2</sup> ·año]
	<b>116.07</b>	<b>11.35</b>
Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m <sup>2</sup> ·año] <sup>1</sup>	REFRIGERACIÓN	ILUMINACIÓN
	Energía primaria refrigeración [kWh/m <sup>2</sup> ·año]	Energía primaria iluminación [kWh/m <sup>2</sup> ·año]
	<b>4.16</b>	<b>-</b>

### 3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
<b>93,15 D</b>	<b>1,17 A</b>
Demanda de calefacción [kWh/m <sup>2</sup> ·año]	Demanda de refrigeración [kWh/m <sup>2</sup> ·año]

Figura 52. Fachada ventilada No.6 - Calificación energética.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cyptherm

# 1. CUANTIFICACIÓN DE LA EXIGENCIA

## 1.1. Condiciones de la envolvente térmica

### 1.1.1. Transmitancia de la envolvente térmica

**Transmitancia de la envolvente térmica:** Existen elementos de la envolvente térmica cuya transmitancia térmica supera el valor límite. ✘

### Coefficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K)

$K = 1.13 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \leq K_{\text{lim}} = 0.54 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ✘

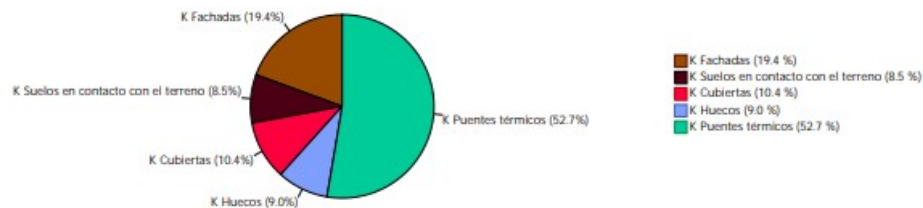
donde:

- $K$ : Valor calculado del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .
- $K_{\text{lim}}$ : Valor límite del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

	S (m <sup>2</sup> )	L (m)	K <sub>i</sub> (W/(m <sup>2</sup> ·K))	%K
<b>Área total de intercambio de la envolvente térmica = 802.402 m<sup>2</sup></b>				
Fachadas	518.01	--	0.22	19.41
Suelos en contacto con el terreno	127.51	--	0.10	8.52
Cubiertas	117.96	--	0.12	10.40
Huecos	38.93	--	0.10	9.01
Puentes térmicos	--	951.591	0.59	52.67

donde:

- $S$ : Superficie, m<sup>2</sup>.
- $L$ : Longitud, m.
- $K_i$ : Coeficiente parcial de transmisión de calor,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .
- $\%K$ : Porcentaje del coeficiente global de transmisión de calor, %.



### 1.1.2. Control solar de la envolvente térmica

$q_{\text{sol,ju}} = 1.43 \text{ kWh}/\text{m}^2 \leq q_{\text{sol,ju,lim}} = 2.00 \text{ kWh}/\text{m}^2$  ✔

donde:

- $q_{\text{sol,ju}}$ : Valor calculado del parámetro de control solar,  $\text{kWh}/\text{m}^2$ .
- $q_{\text{sol,ju,lim}}$ : Valor límite del parámetro de control solar,  $\text{kWh}/\text{m}^2$ .

Figura 53. Fachada ventilada No.6 - Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cyptherm

### 3.1. Caracterización de los elementos que componen la envolvente térmica

#### 3.1.1. Cerramientos opacos

Los cerramientos opacos suponen el **38.32%** del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).

	Tipo	S (m <sup>2</sup> )	U (W/(m <sup>2</sup> ·K))	U <sub>lim</sub> (W/(m <sup>2</sup> ·K))	α	O. (°)	S·U (W/K)	
<b>Zona común</b>								
Fachada		10.85	0.34	0.41	0.60	Oeste(270)	3.67	✓
Fachada		10.47	0.34	0.41	0.60	Oeste(267)	3.54	✓
Fachada		172.37	0.34	0.41	0.60	Norte(0)	58.34	✓
Fachada		24.55	0.34	0.41	0.60	Sur(181)	8.31	✓
Fachada		59.21	0.34	0.41	0.60	Este(96)	20.04	✓
Fachada		60.46	0.34	0.41	0.60	Sur(180)	20.46	✓
Fachada		1.41	0.34	0.41	0.60	Este(83)	0.48	✓
Fachada		3.42	0.34	0.41	0.60	Sur(178)	1.16	✓
Fachada		3.95	0.34	0.41	0.60	Este(98)	1.34	✓
Fachada		25.39	0.34	0.41	0.60	Este(100)	8.59	✓
Fachada		79.80	0.34	0.41	0.60	Oeste(268)	27.01	✓
Fachada		15.68	0.34	0.41	0.60	Este(93)	5.31	✓
Fachada		50.46	0.34	0.41	0.60	Sur(183)	17.08	✓
Cubierta		117.96	0.80	0.35	0.60	-	93.94	✗
Solera		127.51	0.60	0.65	-	-	76.94	✓
Partición interior vertical		0.55	0.64	0.65	-	-	-	✓
Partición interior horizontal		1.83	3.16	0.65	0.60	-	-	✗
							<b>346.19</b>	

donde:

S: Superficie, m<sup>2</sup>.

U: Transmitancia térmica, W/(m<sup>2</sup>·K).

U<sub>lim</sub>: Transmitancia térmica límite aplicada, W/(m<sup>2</sup>·K).

α: Coeficiente de absorción solar (absortividad) de la superficie opaca.

O.: Orientación de la superficie (azimut respecto al norte), °.

#### 3.1.2. Huecos

Los huecos suponen el **9.01%** del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).

	S (m <sup>2</sup> )	O. (°)	F <sub>g</sub> (%)	U (W/(m <sup>2</sup> ·K))	U <sub>lim</sub> (W/(m <sup>2</sup> ·K))	S·U (W/K)	g <sub>gl,n</sub>	g <sub>gl,h,m</sub>	Q <sub>sol,jul</sub> (kWh/mes)	%q <sub>sol,jul</sub>	
<b>Zona común</b>											
PUERTA INTERIORES	1.07	Oeste(270)	1.00	2.23	5.70	2.38	0	0	0	0	✓
PUERTA INTERIORES	0.81	Oeste(267)	1.00	2.23	5.70	1.80	0	0	0	0	✓
PUERTA INTERIORES	1.89	Oeste(270)	1.00	2.23	5.70	4.21	0	0	0	0	✓
PUERTA INTERIORES	1.89	Oeste(267)	1.00	2.23	5.70	4.21	0	0	0	0	✓
PUERTA INTERIORES	1.89	Este(100)	1.00	2.23	5.70	4.21	0	0	0	0	✓

Figura 54. Fachada ventilada No.6 - Caracterización de los elementos que componen la envolvente térmica.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cypetherm

# ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

# ISOBOX

SOBRECARGAS DISTANCIA ENTRE EJES									
CHAPAS EN ACERO 0.4 - 0.5 - 0.6 / APOYO 120mm									
CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA									
ESPESOR NOMINAL DEL PANEL									
	30			40			50		
ESPESOR CHAPA	0.4	0.5	0.6	0.4	0.5	0.6	0.4	0.5	0.6
kg/m <sup>2</sup>	ENTRE EJES MAX cm.								
50	245	260	200	302	320	240	358	380	290
60	227	240	180	283	300	230	330	350	270
80	194	205	160	245	260	200	292	310	240
100	170	180	145	217	230	180	260	275	215
120	156	165	135	198	210	165	236	250	195
140	142	150	125	179	190	155	217	230	185
160	127	135	115	165	175	140	198	210	170
180	118	125	110	155	165	135	184	195	160
200	109	115	100	146	155	125	175	185	150

Calculo para el dimensionamiento estático realizado según el contenido del Adjunto E de la norma UNI EN 14509.  
 Limite de flecha 1/200t

PESO DEL PANEL					AISLAMIENTO TÉRMICO			
CHAPA	PESO	ESPESOR NOMINAL DEL PANEL mm			K	ESPESOR NOMINAL DEL PANEL mm		
		30	40	50		30	40	50
0.4	kg/m <sup>2</sup>	7.7	8.2	8.5	W/m <sup>2</sup> K	0.64	0.50	0.40
0.5	kg/m <sup>2</sup>	9.3	9.6	10.1	kcal/m <sup>2</sup> h°C	0.57	0.44	0.35
0.6	kg/m <sup>2</sup>	11.4	11.8	12.2	Según el método de cálculo superado EN ISO 69646.			

CERTIFICADOS DE IDONEIDAD  
 - ISOCINDU Italia certificación ISO 9001 por el Ente TÜV SÜD  
 - ISOCINDU Ibérica certificado de calidad según la norma ISO 9001 por TÜV CERT.

Figura 55. Fachada ventilada No.6 - Ficha técnica panel Isobox.

Fuente: (Cindu de Guatemala S.A, s.f.)

### C. Fachada ventilada No.5 mejorada

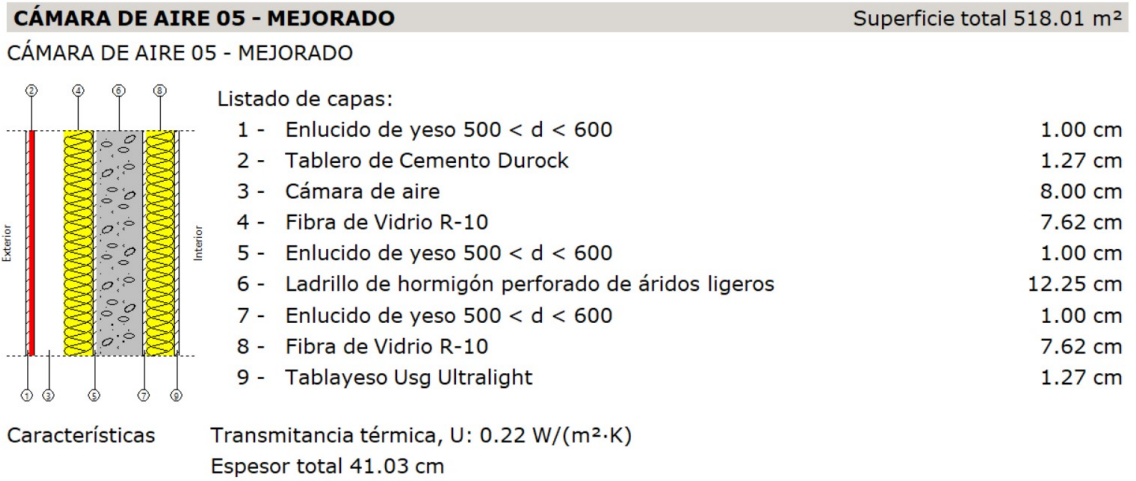


Figura 56. Fachada ventilada No.5 mejorado - Descripción de materiales y elementos constructivos.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cypetherm

Zona climática	D3	Uso	Residencial privado
----------------	----	-----	---------------------

### 1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	CALEFACCIÓN	ACS
	Emisiones calefacción [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]	Emisiones ACS [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]
	22.64	2.4
Emisiones globales[kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año] <sup>1</sup>	REFRIGERACIÓN	ILUMINACIÓN
	Emisiones refrigeración [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]	Emisiones iluminación [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]
	0.69	-

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año	kgCO <sub>2</sub> ·año
Emisiones CO <sub>2</sub> por consumo eléctrico	1.03	472.26
Emisiones CO <sub>2</sub> por otros combustibles	25.05	11495.63

### 2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	CALEFACCIÓN	ACS
	Energía primaria calefacción [kWh/m <sup>2</sup> ·año]	Energía primaria ACS [kWh/m <sup>2</sup> ·año]
	106.92	11.35
Consumo global de energía primaria no renovable[kWh/m <sup>2</sup> ·año] <sup>1</sup>	REFRIGERACIÓN	ILUMINACIÓN
	Energía primaria refrigeración [kWh/m <sup>2</sup> ·año]	Energía primaria iluminación [kWh/m <sup>2</sup> ·año]
	4.09	-

### 3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
Demanda de calefacción[kWh/m <sup>2</sup> ·año]	Demanda de refrigeración[kWh/m <sup>2</sup> ·año]

Figura 57. Fachada ventilada No.5 mejorado - Calificación energética.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cyptherm

## 1. CUANTIFICACIÓN DE LA EXIGENCIA

### 1.1. Condiciones de la envolvente térmica

#### 1.1.1. Transmitancia de la envolvente térmica

**Transmitancia de la envolvente térmica:** Existen elementos de la envolvente térmica cuya transmitancia térmica supera el valor límite. ✘

#### Coefficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K)

$$K = 1.04 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \leq K_{\text{lim}} = 0.54 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

donde:

$K$ : Valor calculado del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

$K_{\text{lim}}$ : Valor límite del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

	S ( $\text{m}^2$ )	L (m)	$K_i$ ( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ )	%K
<b>Área total de intercambio de la envolvente térmica = 802.402 <math>\text{m}^2</math></b>				
Fachadas	518.01	--	0.14	13.38
Suelos en contacto con el terreno	127.51	--	0.09	8.81
Cubiertas	117.96	--	0.12	11.22
Huecos	38.93	--	0.10	9.73
Puentes térmicos	--	951.591	0.59	56.85

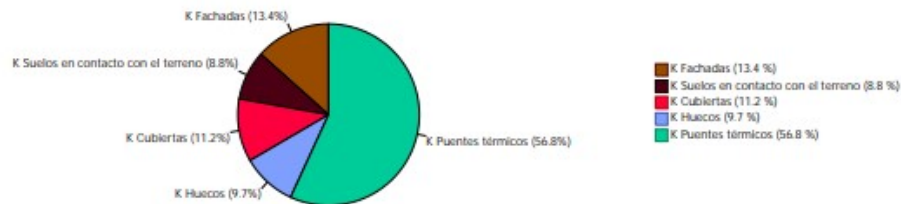
donde:

$S$ : Superficie,  $\text{m}^2$ .

$L$ : Longitud, m.

$K_i$ : Coeficiente parcial de transmisión de calor,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

%K: Porcentaje del coeficiente global de transmisión de calor, %.



#### 1.1.2. Control solar de la envolvente térmica

$$q_{\text{sol,cal}} = 1.43 \text{ kWh}/\text{m}^2 \leq q_{\text{sol,cal,lim}} = 2.00 \text{ kWh}/\text{m}^2$$

donde:

$q_{\text{sol,cal}}$ : Valor calculado del parámetro de control solar,  $\text{kWh}/\text{m}^2$ .

$q_{\text{sol,cal,lim}}$ : Valor límite del parámetro de control solar,  $\text{kWh}/\text{m}^2$ .

Figura 58. Fachada ventilada No.5 mejorado - Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1.


















Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cypetherm

### 3. DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA Y CONSTRUCTIVA DEL MODELO DE CÁLCULO

#### 3.1. Caracterización de los elementos que componen la envolvente térmica

##### 3.1.1. Cerramientos opacos

Los cerramientos opacos suponen el **33.42%** del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).

	Tipo	S (m <sup>2</sup> )	U (W/(m <sup>2</sup> ·K))	U <sub>lim</sub> (W/(m <sup>2</sup> ·K))	α	O. (°)	S·U (W/K)	
<b>Zona común</b>								
Fachada		10.85	0.22	0.41	0.60	Oeste(270)	2.35	✓
Fachada		10.47	0.22	0.41	0.60	Oeste(267)	2.26	✓
Fachada		172.37	0.22	0.41	0.60	Norte(0)	37.27	✓
Fachada		24.55	0.22	0.41	0.60	Sur(181)	5.31	✓
Fachada		59.21	0.22	0.41	0.60	Este(96)	12.80	✓
Fachada		60.46	0.22	0.41	0.60	Sur(180)	13.07	✓
Fachada		1.41	0.22	0.41	0.60	Este(83)	0.30	✓
Fachada		3.42	0.22	0.41	0.60	Sur(178)	0.74	✓
Fachada		3.95	0.22	0.41	0.60	Este(98)	0.85	✓
Fachada		25.39	0.22	0.41	0.60	Este(100)	5.49	✓
Fachada		79.80	0.22	0.41	0.60	Oeste(268)	17.26	✓
Fachada		15.68	0.22	0.41	0.60	Este(93)	3.39	✓
Fachada		50.46	0.22	0.41	0.60	Sur(183)	10.91	✓
Cubierta		117.96	0.80	0.35	0.60	-	93.94	✗
Solera		127.51	0.58	0.65	-	-	73.75	✓
Partición interior vertical		0.55	0.64	0.65	-	-	-	✓
Partición interior horizontal		1.83	3.16	0.65	0.60	-	-	✗
							<b>279.70</b>	

donde:

S: Superficie, m<sup>2</sup>.

U: Transmitancia térmica, W/(m<sup>2</sup>·K).

U<sub>lim</sub>: Transmitancia térmica límite aplicada, W/(m<sup>2</sup>·K).

α: Coeficiente de absorción solar (absortividad) de la superficie opaca.

O.: Orientación de la superficie (azimut respecto al norte), °.

##### 3.1.2. Huecos

Los huecos suponen el **9.73%** del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).

	S (m <sup>2</sup> )	O. (°)	F <sub>v</sub> (%)	U (W/(m <sup>2</sup> ·K))	U <sub>lim</sub> (W/(m <sup>2</sup> ·K))	S·U (W/K)	g <sub>gl,ext</sub>	g <sub>gl,int</sub>	Q <sub>gl,ext</sub> (kWh/mes)	%q <sub>gl,ext</sub>	
<b>Zona común</b>											
PUERTA INTERIORES	1.07	Oeste(270)	1.00	2.23	5.70	2.38	0	0	0	0	✓
PUERTA INTERIORES	0.81	Oeste(267)	1.00	2.23	5.70	1.80	0	0	0	0	✓
PUERTA INTERIORES	1.89	Oeste(270)	1.00	2.23	5.70	4.21	0	0	0	0	✓
PUERTA INTERIORES	1.89	Oeste(267)	1.00	2.23	5.70	4.21	0	0	0	0	✓
PUERTA INTERIORES	1.89	Este(100)	1.00	2.23	5.70	4.21	0	0	0	0	✓

Figura 59. Fachada ventilada No.5 mejorado - Caracterización de los elementos que componen la envolvente térmica.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cypetherm

Dimensiones e Información Técnica del Producto	
Espesor	1.27 cm (1/2")
Largo y ancho(1)	1.22 m ancho (4'); 2.44 m largo (8')
Peso(2)	6.22 kg/m <sup>2</sup>
Bordes	Rebajados
Embalaje	2 tableros por atado
Resistencia térmica (pruebas en EU)	0,0842 w/m-K
Coefficiente de expansión higrométrica:	7.2 x 10-6 in./in./% r.h. (7.2 x 10-6 mm/mm/% r.h.) (7.2 um/m/% r.h.)
Coefficiente de expansión térmica:	9.0 x 10-6 in./in./°f (16.2 x 10-6 mm/mm/°c) (16.2 um/m/°c)

Claves del producto		
Descripción del producto	Clave del producto	UPC
TABLAROCA® ULTRALIGHT® "Tablero de yeso ULTRALIGHT® 12.7 mm (1/2") 1.22 m x 2.44 m"	TBULI3244	0-81099-03857-0
TABLAROCA® ULTRALIGHT® "Tablero de yeso ULTRALIGHT® 12.7 mm (1/2") 1.22 m x 3.05 m"	TBULI3305	0-81099-03339-1

1) Es posible hacer solicitudes especiales de tableros de diferentes dimensiones. Pregunte a su representante local de USG acerca de su disponibilidad y características.

2) Representa el peso aproximado para propósitos de diseño y transportación. Para saber el peso específico del producto, contacte a su representante local de USG o marque al teléfono de Asesoría Técnica 01 800 USG 4 YOU.

### CERTIFICACIÓN BAJO LA **NOM-018-ENER-2011**

Planta	Conductividad Térmica	Densidad aparente	Permeabilidad al Vapor de Agua	Absorción de Humedad		Absorción de Agua
				0,87 % peso	0,42 % volumen	
<b>Monterrey</b>	0,0822 W/m-K	470,62 kg/m <sup>3</sup>	0,336 ng/Pa-s-m	0,87 % peso	0,42 % volumen	64,24 % peso
<b>Puebla</b>	0,0848 W/m-K	486,66 kg/m <sup>3</sup>	0,356 ng/Pa-s-m	2,47 % peso	1,19 % volumen	64,41 % peso
<b>Tecomán</b>	0,0845 W/m-K	485,69 kg/m <sup>3</sup>	0,347 ng/Pa-s-m	1,20 % peso	0,57 % volumen	59,76 % peso

Figura 60. Fachada ventilada No.5 mejorado - Ficha técnica tablayeso USG Ultralight.

Fuente: (Distribuidora Mariscal, 2024)

## D. Fachada ventilada No.6 mejorada

### 1.2. Fachadas

#### 1.2.1. Parte ciega de las fachadas

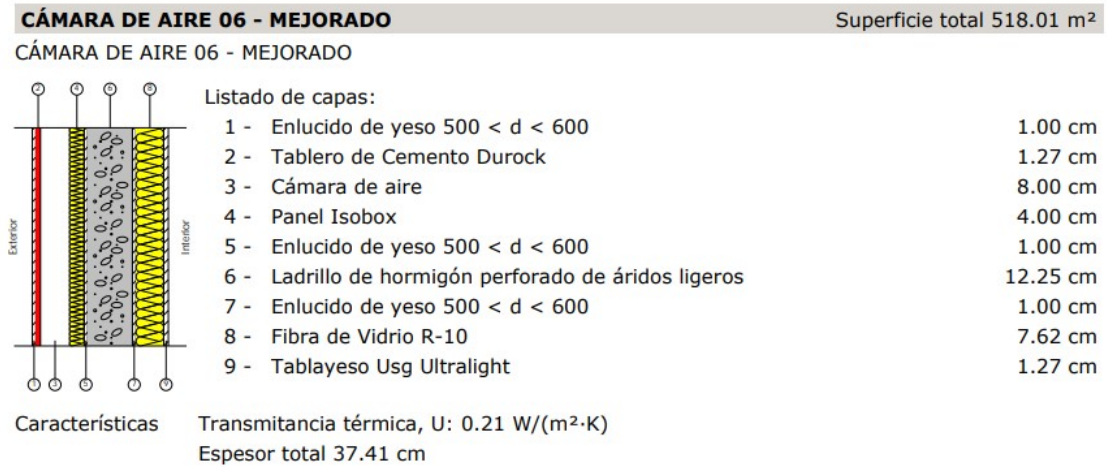


Figura 61. Fachada ventilada No.6 mejorado - Descripción de materiales y elementos constructivos.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cypetherm

<b>Zona climática</b>	D3	<b>Uso</b>	Residencial privado
-----------------------	----	------------	---------------------

### 1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	CALEFACCIÓN	ACS
	Emisiones calefacción [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]	Emisiones ACS [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]
	22.5	2.4
Emisiones globales[kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año] <sup>1</sup>	REFRIGERACIÓN	ILUMINACIÓN
	Emisiones refrigeración [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]	Emisiones iluminación [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]
	0.68	-

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año	kgCO <sub>2</sub> ·año
Emisiones CO2 por consumo eléctrico	1.02	468.69
Emisiones CO2 por otros combustibles	24.90	11429.71

### 2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	CALEFACCIÓN	ACS
	Energía primaria calefacción [kWh/m <sup>2</sup> ·año]	Energía primaria ACS [kWh/m <sup>2</sup> ·año]
	106.24	11.35
Consumo global de energía primaria no renovable[kWh/m <sup>2</sup> ·año] <sup>1</sup>	REFRIGERACIÓN	ILUMINACIÓN
	Energía primaria refrigeración [kWh/m <sup>2</sup> ·año]	Energía primaria iluminación [kWh/m <sup>2</sup> ·año]
	4.04	-

### 3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
Demanda de calefacción[kWh/m <sup>2</sup> ·año]	Demanda de refrigeración[kWh/m <sup>2</sup> ·año]

Figura 62. Fachada ventilada No.6 mejorado - Calificación energética.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cypetherm

## 1. CUANTIFICACIÓN DE LA EXIGENCIA

### 1.1. Condiciones de la envolvente térmica

#### 1.1.1. Transmitancia de la envolvente térmica

**Transmitancia de la envolvente térmica:** Existen elementos de la envolvente térmica cuya transmitancia térmica supera el valor límite. ✘

#### Coefficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K)

$$K = 1.04 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \leq K_{\text{lim}} = 0.54 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

donde:

*K:* Valor calculado del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

*K<sub>lim</sub>:* Valor límite del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

	S (m <sup>2</sup> )	L (m)	K <sub>i</sub> (W/(m <sup>2</sup> ·K))	%K
<b>Área total de intercambio de la envolvente térmica = 802.402 m<sup>2</sup></b>				
Fachadas	518.01	--	0.13	12.80
Suelos en contacto con el terreno	127.51	--	0.09	8.97
Cubiertas	117.96	--	0.12	11.29
Huecos	38.93	--	0.10	9.79
Puentes térmicos	--	951.591	0.59	57.17

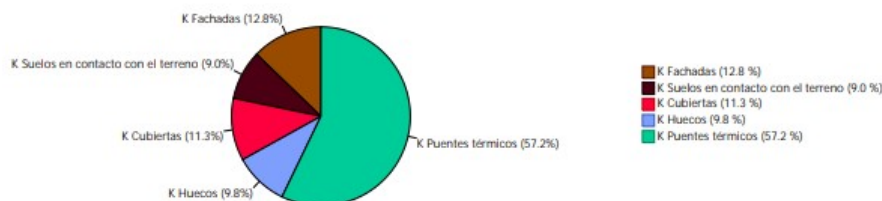
donde:

*S:* Superficie, m<sup>2</sup>.

*L:* Longitud, m.

*K<sub>i</sub>:* Coeficiente parcial de transmisión de calor,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

*%K:* Porcentaje del coeficiente global de transmisión de calor, %.



#### 1.1.2. Control solar de la envolvente térmica

$$q_{\text{sol,Jul}} = 1.43 \text{ kWh}/\text{m}^2 \leq q_{\text{sol,Jul,lim}} = 2.00 \text{ kWh}/\text{m}^2$$

donde:

*q<sub>sol,Jul</sub>:* Valor calculado del parámetro de control solar,  $\text{kWh}/\text{m}^2$ .

*q<sub>sol,Jul,lim</sub>:* Valor límite del parámetro de control solar,  $\text{kWh}/\text{m}^2$ .

Figura 63. Fachada ventilada No.6 mejorado - Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cyptherm

### 3.1. Caracterización de los elementos que componen la envolvente térmica

#### 3.1.1. Cerramientos opacos

Los cerramientos opacos suponen el **33.05%** del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).

	Tipo	S (m <sup>2</sup> )	U (W/(m <sup>2</sup> ·K))	U <sub>lim</sub> (W/(m <sup>2</sup> ·K))	α	O. (°)	S-U (W/K)	
<b>Zona común</b>								
Fachada		10.85	0.21	0.41	0.60	Oeste(270)	2.23	✓
Fachada		10.47	0.21	0.41	0.60	Oeste(267)	2.15	✓
Fachada		172.37	0.21	0.41	0.60	Norte(0)	35.44	✓
Fachada		24.55	0.21	0.41	0.60	Sur(181)	5.05	✓
Fachada		59.21	0.21	0.41	0.60	Este(96)	12.17	✓
Fachada		60.46	0.21	0.41	0.60	Sur(180)	12.43	✓
Fachada		1.41	0.21	0.41	0.60	Este(83)	0.29	✓
Fachada		3.42	0.21	0.41	0.60	Sur(178)	0.70	✓
Fachada		3.95	0.21	0.41	0.60	Este(98)	0.81	✓
Fachada		25.39	0.21	0.41	0.60	Este(100)	5.22	✓
Fachada		79.80	0.21	0.41	0.60	Oeste(268)	16.41	✓
Fachada		15.68	0.21	0.41	0.60	Este(93)	3.22	✓
Fachada		50.46	0.21	0.41	0.60	Sur(183)	10.37	✓
Cubierta		117.96	0.80	0.35	0.60	-	93.94	✗
Solera		127.51	0.59	0.65	-	-	74.64	✓
Partición interior vertical		0.55	0.64	0.65	-	-	-	✓
Partición interior horizontal		1.83	3.16	0.65	0.60	-	-	✗
							<b>275.07</b>	

donde:

- S: Superficie, m<sup>2</sup>.
- U: Transmitancia térmica, W/(m<sup>2</sup>·K).
- U<sub>lim</sub>: Transmitancia térmica límite aplicada, W/(m<sup>2</sup>·K).
- α: Coeficiente de absorción solar (absortividad) de la superficie opaca.
- O.: Orientación de la superficie (azimut respecto al norte), °.

#### 3.1.2. Huecos

Los huecos suponen el **9.79%** del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).

	S (m <sup>2</sup> )	O. (°)	F <sub>r</sub> (%)	U (W/(m <sup>2</sup> ·K))	U <sub>lim</sub> (W/(m <sup>2</sup> ·K))	S-U (W/K)	g <sub>gl,α</sub>	g <sub>gl,α,wi</sub>	Q <sub>ext,gl,α</sub> (kWh/mes)	%q <sub>ext,gl,α</sub>	
<b>Zona común</b>											
PUERTA INTERIORES	1.07	Oeste(270)	1.00	2.23	5.70	2.38	0	0	0	0	✓
PUERTA INTERIORES	0.81	Oeste(267)	1.00	2.23	5.70	1.80	0	0	0	0	✓
PUERTA INTERIORES	1.89	Oeste(270)	1.00	2.23	5.70	4.21	0	0	0	0	✓
PUERTA INTERIORES	1.89	Oeste(267)	1.00	2.23	5.70	4.21	0	0	0	0	✓
PUERTA INTERIORES	1.89	Este(100)	1.00	2.23	5.70	4.21	0	0	0	0	✓

Figura 64. Fachada ventilada No.6 mejorado - Caracterización de los elementos que componen la envolvente térmica.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa Cypetherm

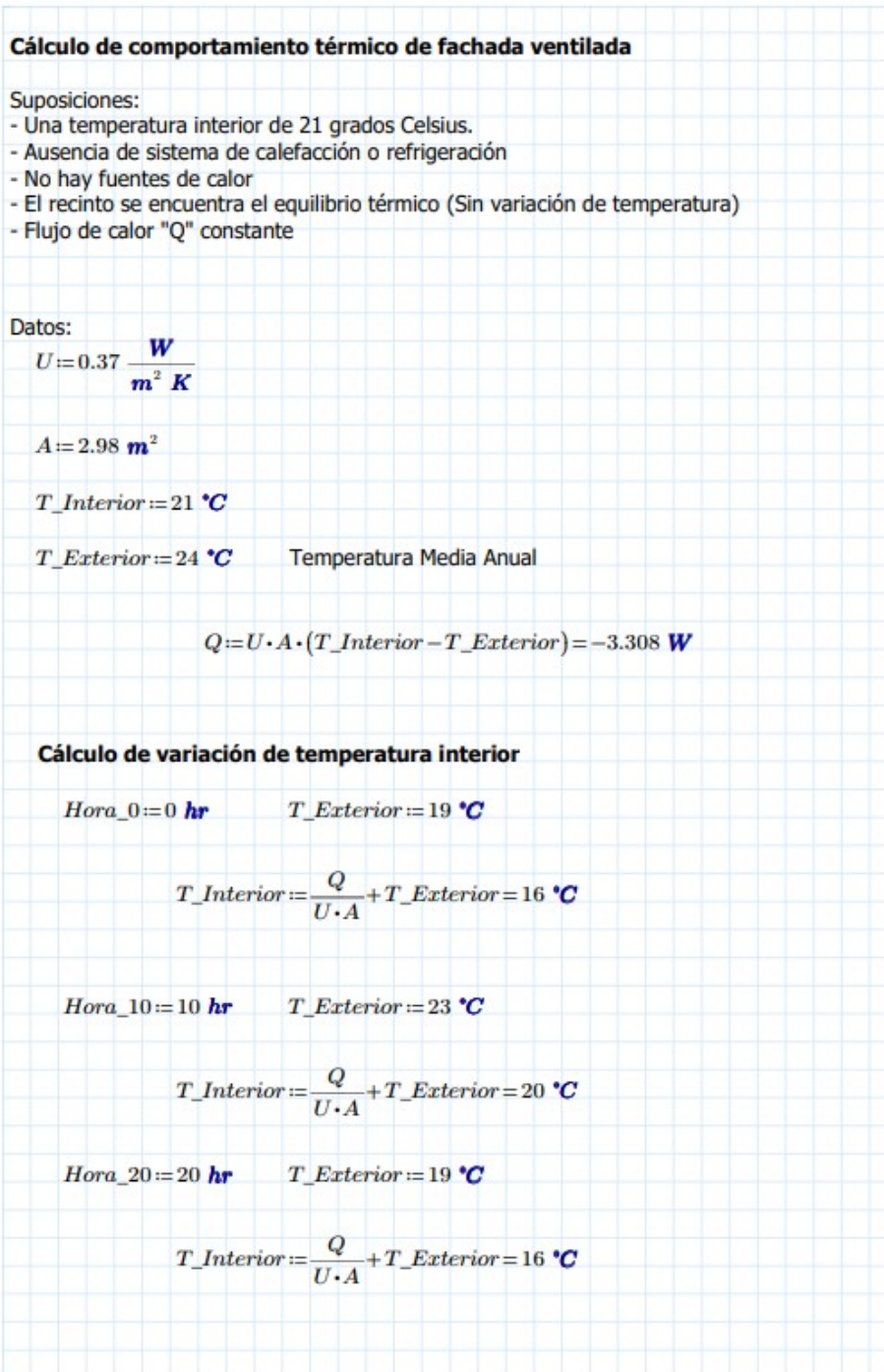


Figura 65. Cálculo de temperatura interior utilizando fachada ventilada.

Fuente: Elaboración propia extraída de resultados de programa PTC Mathcad Prime 7

## XII. GLOSARIO

- **Aislamiento térmico:** Es la capacidad de limitar la transmisión de calor cuando se desea que no sobrepasen ciertos límites de temperatura.
- **Aglutinar:** Unión de un elemento con otro de modo que resulte un cuerpo compacto.
- **Autonomía energética:** Capacidad de un sistema, comunidad o país para satisfacer sus propias necesidades energéticas sin requerir de fuentes externas.
- **Confort térmico:** Es la percepción de bienestar térmico que experimentan las personas en un determinado ambiente.
- **Demanda de calefacción:** Es la cantidad de energía necesaria para mantener una temperatura interior confortable en un edificio durante los periodos fríos.
- **Demanda de refrigeración:** Es la cantidad de energía necesaria para mantener una temperatura interior confortable en un edificio durante los periodos cálidos.
- **Eficiencia energética:** Es la optimización del consumo energético para llegar a unos niveles determinados de confort y de servicio y un ahorro en costos en el consumo.
- **Emisiones globales:** Son gases de CO<sub>2</sub> que se encuentran en la atmósfera, que capturan energía y aumenta la temperatura de la superficie del planeta.
- **Fachada ventilada:** Es un sistema constructivo que forma parte de una cámara de aire entre la capa de revestimiento exterior y la capa aislante del soporte o muro interior.
- **Fibra de vidrio:** Material compuesto por finos filamentos de vidrio que se entrelazan para llevar a cabo una estructura similar a la de una tela.
- **Propiedades térmicas:** Es la menor o mayor capacidad de transferir calor o acumularlo y con ello ser propicio a la inercia térmica de una construcción.
- **Pérdida de calor:** Es la transferencia de calor desde el interior de un edificio hacia el exterior, ya que la temperatura interior es mayor que la exterior.

- **Puentes térmicos:** Es un defecto en la fachada de un edificio en donde se producen pérdidas o ganancias de calor. Esto provoca un consumo mayor de la energía para calentar o enfriar los espacios interiores del edificio.
- **Plusvalía:** Es el incremento del valor de un activo, especialmente bienes inmuebles, a lo largo del tiempo.
- **Resina fenólica:** Polímeros sintéticos que dan lugar debido a la reacción de fenol con formaldehído, y como resultado da materiales rígidos e hidrófugos.
- **Recinto:** Espacio delimitado por paredes, techos y suelos, que puede ser tanto exterior como interior, y es destinado a un uso específico.
- **Sustentabilidad:** Es cubrir las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas.
- **Transferencia de calor:** Fenómeno físico que ocurre en el paso de energía calórica de un lugar a otro.