

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

Renato Paolo Lossi Salazar 19368

Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle de Guatemala

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 y con ello 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 conlleva la sostenibilidad que implica el desarrollo de 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 lo que son las normas de diseño aplicadas que permiten registrarse bajo un esquema formal de desarrollo y las condiciones climáticas que están expuestas a un clima en zonas tropicales. Asimismo, se presentó las aplicaciones del método constructivo que favorezcan un ahorro y eficiencia térmica. Por último, se detalló las ventajas y desventajas que impliquen dicho método constructivo y el uso de un software llamado Cypetherm para validar procesos de cálculo, y variables que se compararon como transferencia de calor y resistencia térmica. Esto también para generar paquetes de familia aplicado al software de modelado Revit y para definir las soluciones constructivas de muros de fachadas, para un beneficio de temas del modelado de eficiencia energética.

Palabras Claves: Sistema de fachada ventilada, edificio de uso mixto, aislamiento térmico, aporte económico, Cypetherm.

Abstract

This thesis proposal includes a comparative analysis of constructive solutions to identify a ventilated facade system applied to a mixed-use building and evaluate if they are part of an efficient thermal insulation. Taking into account that it was analyzed under the parameters of a tropical climate in Guatemala City. This study allowed to know in detail what sustainability implies in the development of buildings and infrastructure, considering the environmental impact in all its components, materials and their properties. Also, how much it simplifies the inclusion of this system and how it contributes economically to the current construction systems.

It was also described what are the design standards applied that allow to be governed under a formal development scheme and the climatic conditions that are exposed to a climate in tropical areas. Likewise, the applications of the construction method that favor

thermal savings and efficiency were presented. Finally, the advantages and disadvantages of this construction method and the use of a software called Cypetherm to validate calculation processes, and variables that were compared such as heat transfer and thermal resistance were detailed. This also to generate family packages applied to Revit modeling software and to define the constructive solutions of facade walls, for the benefit of energy efficiency modeling issues.

Key Words: Ventilated facade system, mixed-use building, thermal insulation, economic contribution, Cypetherm.

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 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 ser 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, la luz del sol está más presente y es una de las razones por las que Guatemala no cuenta

con las cuatro estaciones del año, como otros países

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 cual combinación de capas de materiales logra ser más factible para un ambiente con clima tropical. En el presente trabajo se llevó a cabo por medio de una modelación de una edificación de uso mixto por medio del software cypetherm. Dicho edificio ya diseñado y en existencia se ubica en Inglaterra, específicamente en el sur de Londres, en 2 ada street.

Cuenta con 4 niveles, siendo la planta baja de comercio y amenidades y 3 plantas típicas de apartamentos. Cabe destacar, uno de los supuestos que se tomó en cuenta fue la modelación estructural del edificio bajo las mismas condiciones que se construye en Guatemala. Esto debido para obtener un resultado lo más exacto posible bajo las condiciones que presenta en el país y con ello evaluar su comportamiento de aislamiento térmico.

Para el análisis de las propiedades térmicas de los materiales, que van a servir en los cerramientos de la fachada ventilada de dicha edificación, se consideró características esenciales como resistencia y transmitancia térmicas. 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 3 etapas:

Etapas 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:

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).

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).

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 diseñada 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).

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).

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.).

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.).

Fibra Cerámica. Es comercializado por la empresa Intérmica. Tiene la característica que puede utilizarse en diferentes aplicaciones y aporta una protección de refractarios y aislamiento para todo tipo de proceso industriales. Su elaboración es por medio de un proceso centrifugados y soplados, 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).

Tablero de Cemento USG Durock. Es comercializado por la empresa Sistegua. El tablero es fabricado por medio del cemento Portland en su núcleo y laminado con una malla de fibra de vidrio polimerizada en ambas caras. Está diseñado para instalarse en muros, cámaras ventiladas, 49 faldones y cielos interiores, que estén en contacto directo con el agua o condiciones de humedad alta (USG Durock| Sistegua, s.f.).

Etapas 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.

Para validar procesos de cálculo se necesitaron variables como resistencia y transmitancia térmicas 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.

Cabe destacar, se realizó 7 análisis de fachadas ventiladas en la cual el único material que cambió fue 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 7 análisis fue bajo las mismas condiciones que se

construye en Guatemala, siendo con un muro de ladrillo de hormigón.

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 una 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 e 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

Resultados

Tabla 1. Transmitancia térmica de Fachadas Ventiladas

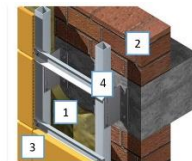
Fachada Ventilada	U (W/m²·K)	K (W/m²·K)	Emisión Global (kgCO2/m²·año)	Demanda de Calefacción (kWh/m²·año)	Demanda de Refrigeración (kWh/m²·año)
1	0.60	1.30	31.91	107.47	6.17
2	0.59	1.29	31.70	106.71	6.13
3	0.60	1.29	31.86	107.27	6.17
4	0.63	1.31	32.32	108.99	6.26
5	0.37	1.14	28.46	97.74	5.48
6	0.34	1.13	28.02	93.15	5.37
7	0.66	1.33	32.74	110.52	6.35

Tabla 2. Precio por m2 de instalación de Fachada Ventilada No.5



No.	Material	Precio (Q/m2)
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
	Total	Q 1,129.55

Tabla 3. Precio por m2 de instalación de Fachada Ventilada No.6



No.	Material	Precio (Q/m2)
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
	Total	Q 1,586.31

Tabla 4. Transmitancia térmica de Fachadas Ventiladas Mejoradas

Fachada Ventilada	U (W/m ² *K)	K (W/m ² *K)	Emisión Global (kgCO ₂ /m ² *año)	Demanda de Calefacción (kWh/m ² *año)	Demanda de Refrigeración (kWh/m ² *año)
5	0.22	1.04	26.08	85.81	5.27
6	0.21	1.04	25.92	85.26	5.21

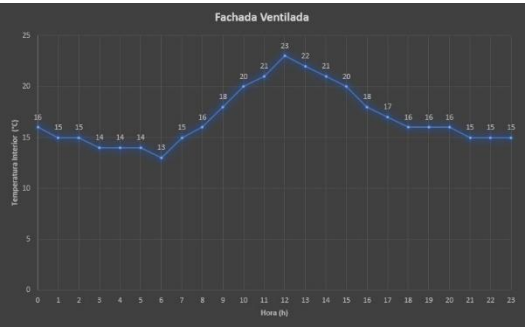
Tabla 5. Precio por m2 de instalación de Fachada Ventilada No.5 Mejorado

No.	Material	Precio (Q/m2)
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 Usq Ultralight	Q 22.83
	Mano de obra (instalación)	Q 460.00
Total		Q 1,252.72

Tabla 6. Precio por m2 de instalación de Fachada Ventilada No.6 Mejorado

No.	Material	Precio (Q/m2)
1	Panel Isobox	Q 497.09
2	Muro + Mano de Obra	Q 500.00
3	Tablero cemento Durock	Q 114.22
4	Anclaje	Q 75.00
5	Fibra de Vidrio R-10	Q 40.34
6	Tablayeso Usq Ultralight	Q 22.83
	Mano de obra (instalación)	Q 460.00
Total		Q 1,709.48

Figura 1. Temperatura interior de Fachadas Ventiladas



Discusión

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 2 ada Street. 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 única 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 10 hasta la figura 17, 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. 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 él se determinó que la fachada ventilada más eficiente con una menor transferencia de calor fue la fachada No.5 y No.6, siendo del aislante Fibra de Vidrio R-10 y del Panel Isobox respectivamente. Esto se identifica en el Tabla 1 donde la fachada ventilada No.5 obtuvo un valor U de $0.37 \text{ W/m}^2\text{k}$ y para la fachada ventilada No.6 obtuvo un valor U de $0.34 \text{ W/m}^2\text{k}$.

Además del resultado del valor U (coeficiente de transferencia térmica), dentro del mismo cuadro se comparó 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 $28.46 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2\text{año}$ y $28.02 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2\text{año}$ 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 Tectosa. Esto para respaldar el precio global de instalación de una fachada ventilada. Como se puede mostrar en la tabla 2 y 3, 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 $Q1,129.55/\text{m}^2$ y para la fachada ventilada No.6 tiene un costo total de $Q1,586.31/\text{m}^2$. 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 17 y 18, 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 Tabla 4, 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 la Tabla 5 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^2 . En la Tabla 6 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/m². Para ambos casos representa un aumento de Q123.16/m² al sistema constructivo con respecto a la versión no mejorada. Sin embargo, este aumento no solo mejora la eficiencia energética sino también reduce humedades, reduce los puentes térmicos, mejora 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 1, 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: el recinto está en equilibrio térmico y no hay variaciones de temperatura significativas, 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 obtuvieron 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.. 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 19, 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 es debido 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 sustentabilidad en la construcción y el diseño de edificaciones.

Tablas y Figuras

Figura 2. Rockwool ProRox SL 930

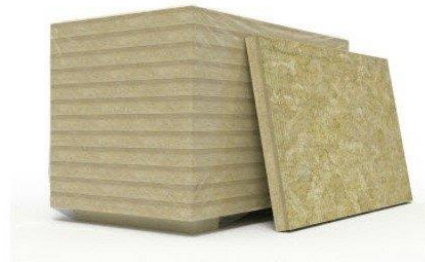


Figura 3. Rockwool Rockboard 40



Figura 4. Rockwool AFB



Figura 5. Tablero de Fibra Mineral IT600

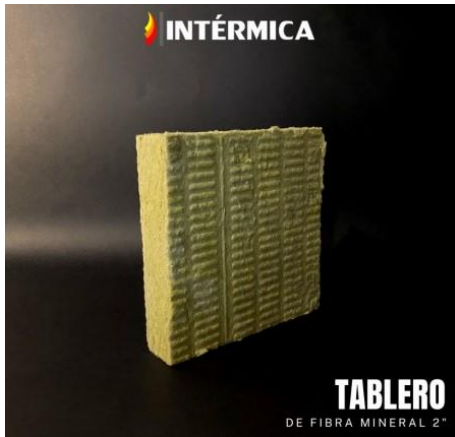


Figura 6. Fibra de vidrio R-10



Figura 7. Panel Isobox



Figura 8. Fibra Cerámica



Figura 9. Tablero de Cemento USG Durock



Figura 26. USG Durock 1/2 x 4 x 8.

Fuente: (Sistegua,s.f.)

Figura 10. Fachada Ventilada No.1

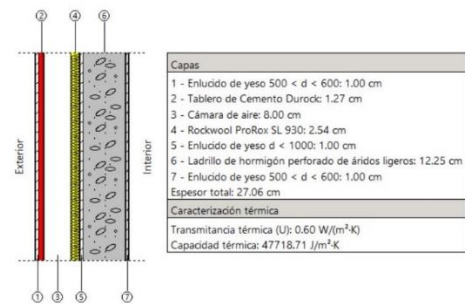


Figura 11. Fachada Ventilada No.2

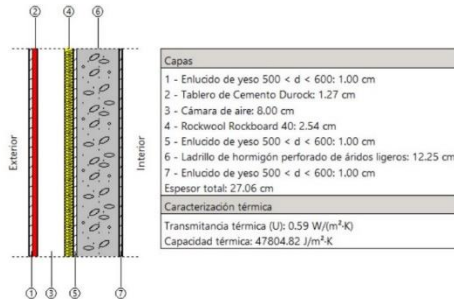


Figura 12. Fachada Ventilada No.3

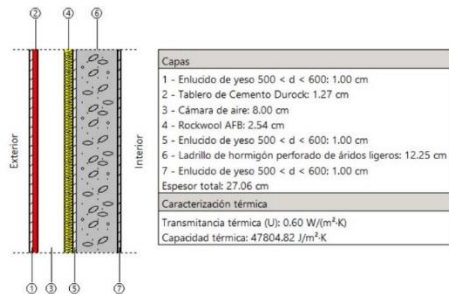


Figura 13. Fachada Ventilada No.4

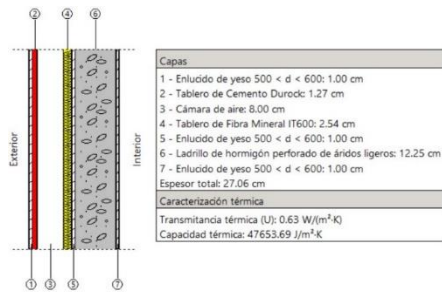


Figura 14. Fachada Ventilada No.5

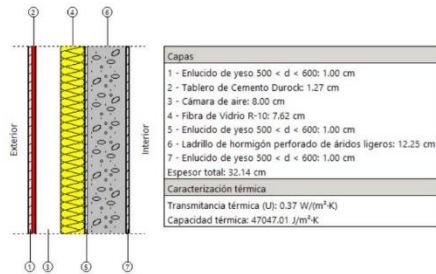


Figura 15. Fachada Ventilada No.6

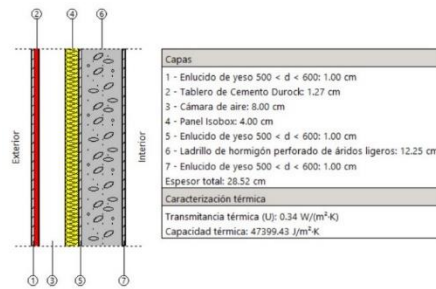


Figura 16. Fachada Ventilada No.7

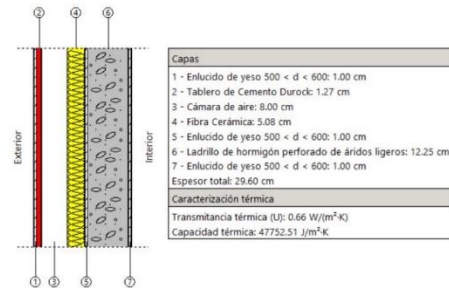


Figura 17. Fachada Ventilada No.5 Mejorado

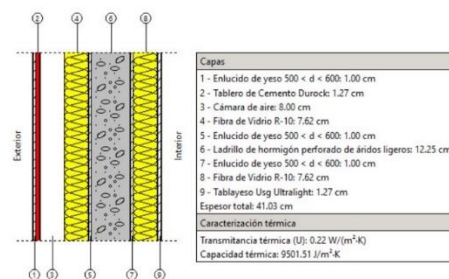


Figura 18. Fachada Ventilada No.6 Mejorado

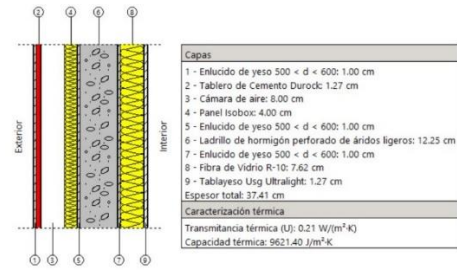


Figura 19. Isométrico Fachada Ventilada 5 y 6

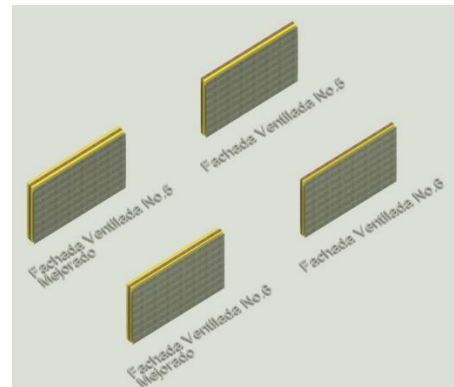
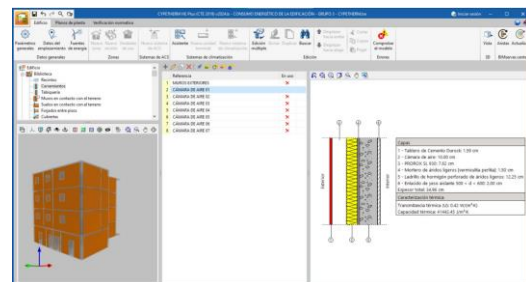


Figura 20. Edificio Ada Street.



Figura 21. Análisis en Cypetherm



Referencias

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, 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/2021/08/05/9997/articulos/otros-enfoques/transferencia-de-caloriii.html>

Aceroform. (2022, 12 mayo). ¿Qué son los aislantes térmicos? <https://www.aceroform.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-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 INTERES SOCIAL Y PRIORITARIO. <http://www.hildebrandt.cl/materiales-reutilizables-y-reciclables-de-la-construccion-de-edificios/>.

Builder, D. (2020, 15 abril). Características de DesignBuilder. <https://www.designbuilder-lat.com/caracteristicas/descripcion-general>.

Bardales, W., Castañón, C., & Herrera, J. (2019, 22 septiembre). Clima de Guatemala, tendencias 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/gte/s/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-laconstruction-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 %20una % 20 aplicaci %C3 %B3n,y %20reconocidos %20de %20la %20actualidad.

CYPE Software. (2022b, 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-masaccesible-en-america-latina-y-el-caribe/>

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

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-gestionambiental/>.

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-gestionambiental/>

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 %20atendFisher, A. (2023, 14 diciembre). Aislamiento de bloques de hormigón: una guía. Ernest Maier. <https://ernestmaier.com/es/concre>

te-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. (Intérmica) - Refractarios y Aislantes. <https://www.intermica.net/materiales->

refractarios/tableros-de-fibra-mineral/tablero-de-fibramineral-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>

Leskow, E. C. (2021, 16 julio). Transferencia de Calor - Concepto, tipos, aislantes y medidas. Concepto. <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/>