



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS CON UN EIFS DE RESISTENCIA TÉRMICA VARIABLE INCORPORADO.

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN HÁBITAT SUSTENTABLE Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

AUTOR: ISMAEL PALACIOS MACKAY

Ingeniero Civil Electrónico

PROFESOR GUÍA: Dr. Ariel Bobadilla Moreno

CONCEPCIÓN, Septiembre de 2016

Agradecimientos:

A mi esposa Titina por su apoyo incondicional.

A mis hijos por el aliento en los momentos difíciles.

INDICE	Página
1. Introducción	3
1.1. Glosario de términos	5
2. Marco Teórico	
2.1. Nuevos desafíos en la reducción de la demanda energética	6
2.2. La naturaleza como fuente de inspiración	8
2.3. Cambio de paradigma	9
2.4. Envoltente ideal y el concepto de una envoltente selectiva	11
2.5. Investigaciones en torno al desarrollo y desempeño de una envoltente tipo CABS	13
2.6. Limitaciones del software tipo BPS para simulación de envoltentes dinámicas	20
2.7. Intervalo de simulación para optimización	22
2.8. D-EIFS: una nueva propuesta para una futura solución constructiva de muro	23
3. Hipótesis	27
4. Objetivos y Metodología	
4.1. Objetivo general.	28
4.2. Objetivos específicos	28
4.3. Metodología	
4.3.1. Definición general	29
4.3.2. Pasos a seguir	29
4.3.3. Formulación del problema y supuestos metodológicos	33
5. Desarrollo de un Modelo de D-EIFS para Simulación	
5.1. Elección del clima de emplazamiento	38
5.2. Selección de un edificio de estudio	38
5.3. Modelamiento y parámetros de operación del edificio de estudio	38
5.4. Simulación del edificio de estudio	43
5.5. Incorporación de EIFS en edificio de estudio para minimizar demanda energética	44
5.6. Solución constructiva de muro con D-EIFS incorporado:	
5.6.1. Modelamiento de un D-EIFS	46
5.6.2. Rango de operación del D-EIFS propuesto	47
5.6.3. Intervalo de tiempo de operación del D-EIFS propuesto	49
5.6.4. Método de búsqueda de transmitancia óptima del D-EIFS	51
6. Resultados	
6.1. Demanda energética del edificio de estudio sin y con EIFS incorporado	56
6.2. Demanda energética del edificio de estudio con D-EIFS incorporado	56
6.3. Comparación demanda energética EIFS versus D-EIFS	58
6.4. Transmitancia térmica óptima del D-EIFS	60
6.5. Transmitancia térmica óptima para distintos intervalos de tiempo de operación	62
6.6. Estimación del error en la obtención de la demanda de energía	64
7. Discusión	65
8. Conclusiones	71
9. Propuestas para investigación posterior	73
10. Bibliografía	75
11. Anexo: Tablas con transmitancia térmica óptima y demanda energética mínima	78

1. INTRODUCCION

Las consecuencias del calentamiento global que se están observando así como los estudios que se han llevado a cabo al respecto, indican que es necesario tomar medidas inmediatas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Estudios han develado que el consumo de energía primaria de los edificios en la mayoría de los países de la IEA, representaban el año 2008 el 40% del consumo total de energía primaria, lo que ha ido en aumento debido a diversos factores, por lo que los estados miembros de la Unión Europea han establecido metas ambiciosas para el desempeño energético de los edificios, las que comenzarán a regir a partir del año 2018.

La naturaleza ofrece una variedad de ejemplos que los seres humanos han tomado como referencia para considerar lo aprendido de ella en el diseño de viviendas, edificios y construcciones en general, y su observación y respeto puede mejorar la calidad de vida y reducir el impacto que el desarrollo conlleva.

En la arquitectura desde tiempos remotos se ha evidenciado que las viviendas varían en su diseño y materialidad respondiendo a factores culturales y geográficos. Las características de las viviendas y su materialidad han evolucionado para adaptarse a las condiciones climáticas del lugar donde se encuentran emplazadas, entre otros aspectos de uso, con el objetivo de lograr confort y protección.

La frase “No es la más fuerte de las especies la que sobrevive, tampoco es la más inteligente, sino la que es capaz de adaptarse a los cambios” atribuida al naturalista Charles Darwin, sumado a lo expuesto anteriormente, sugiere explorar en profundidad el concepto de adaptabilidad en la arquitectura en lo que al desempeño energético de los edificios se refiere.

Si se revisa la tecnología de punta, cada día se avanza más hacia el concepto de adaptabilidad; es decir, sistemas que son dinámicos y que permiten adaptarse a los cambios del entorno para el logro de un objetivo. Un ejemplo son los sistemas de iluminación inteligentes que mediante un algoritmo de control apaga o enciende en forma dinámica y según las condiciones de iluminación, cada una de las luminarias de un edificio en forma independiente, con el objetivo de minimizar el consumo de energía. Otro ejemplo es la adaptación dinámica de la posición de las protecciones solares a lo largo del día según la ubicación del sol.

Estos conceptos de adaptabilidad no solo se ven reflejados en la arquitectura sino se han visto reflejados en diversos algoritmos y soluciones tecnológicas lo que hace suponer que para lograr la sustentabilidad en general, deberíamos tener presente el incorporar en los diseños y soluciones, el concepto de adaptabilidad para el objetivo que se persiga. Otra manera de enfocar la problemática es investigar en forma teórica el potencial y efectos de tecnologías y/o sistemas donde la adaptabilidad pudiera estar presente en el futuro, y si se logran resultados que permitan un desempeño energético superior al existente con las tecnologías actuales, impulsar su investigación y desarrollo tecnológico, teniendo presente con anterioridad los resultados esperados.

Esta tesis consiste en un estudio exploratorio para determinar el potencial de reducción de la demanda energética de calefacción y refrigeración para un EIFS adaptativo o dinámico, inexistente en la actualidad, aplicado a un edificio de referencia.

Se presenta un modelo teórico de un EIFS dinámico (Dynamic EIFS) el que se denomina en el presente estudio "*D-EIFS*", y se propone una metodología de uso de software estándar tipo BPS para la estimación de la demanda energética de edificios de oficinas que posean un D-EIFS incorporado.

Además de lo anterior, se presenta una propuesta general de investigación posterior utilizando optimización multivariable, para reducir en forma importante la demanda de energía de calefacción y refrigeración de edificios.

Finalmente, se esboza una idea básica de una línea de investigación tendiente al desarrollo de un D-EIFS basado en la biomimética.

1.1. Glosario de términos.

AIF:	Advanced Integrated Façades: Fachadas integradas avanzadas.
Biomimética:	Imitación de los sistemas biológicos de la naturaleza.
BOP:	Building Optimization Problem: Problema de optimización de edificios.
BPS:	Building Performance Simulation: Simulación del desempeño de edificios.
CABS:	Climate Adaptive Building Shells: Envoltentes de edificios adaptivas al clima
DVH:	Doble vidrio hermético.
D-EIFS:	Dynamic External Insulation Finishing System: EIFS Dinámico.
DSF:	Double Skin Façades: Fachadas con doble piel.
EIFS:	External Insulation Finishing System: Sistema de terminación exterior con aislación térmica.
EPBD:	Energy Performance Buildings Directive: Directiva paradesempeño energético de edificios.
LHTES:	Latent Heat Thermal Energy Storage Systems: Sistemas de almacenamiento de energía térmica como calor latente.
MFM:	Multi Functional Façades Modules: Módulos de fachadas multifuncionales.
nZEB:	nearly Zero Energy Buildings: Edificios cercanos a ZEB.
OVF:	Opaque Ventilated Façade: Fachada opaca ventilada.
PCM:	Phase Change Materials: Materiales de cambio de fase.
PCMIBW:	Phase Change Materials Integrated in Building Walls: PCM intregrados en muros de edificios.
RBE:	Responsive Building Elements. Elementos Constructivos con capacidad de Respuesta
REHVA:	The Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations: Federación de asociaciones Europeas de calefacción, ventilación y aire acondicionado.
RHC:	Receding Horizon Control. Algoritmo de control de eventos con horizonte lejano
TES:	Thermal Energy Storage. Almacenamiento de energía térmica.
VIP:	Vacuum Insulation Panels: Paneles de aislación térmica al vacío.
VRC:	Variable Reflectivity Coatings: Superficies con reflectividad variable.
WWR:	Windows to Wall Ratio: Relación entre superficie de ventanas y superficie de muros.
ZEB:	Zero Energy Buildings: Edificios Cero Energía.

2. MARCO TEORICO

2.1. Nuevos desafíos en la reducción de la demanda energética.

Las consecuencias del calentamiento global que se están observando, así como los estudios que se han llevado a cabo, indican que es necesario tomar medidas inmediatas y adoptar acuerdos de mediano plazo para frenar el aumento de temperatura del planeta.

El panel intergubernamental para el cambio climático “Intergovernmental Panel on Climate Change” (IPCC) es un grupo de miles de expertos que han contribuido a estudiar el cambio climático y le reportan a la convención marco del cambio climático de las naciones Unidas (UNFCCC) y al mundo, a través de los informes de evaluación “Assessment Report” (AR) siendo el AR5 el último reporte emitido el año 2013. La IPCC después de 4 intentos logró corroborar la influencia del hombre en el cambio climático (emisiones antropogénicas) [1], lo que ha llevado a la Unión Europea a adoptar acuerdos para una reducción drástica de las emisiones de gases de efecto invernadero [2] los que mayoritariamente se deben al consumo de energía. Las estrategias complementarios de adaptación y mitigación son las que permitirán reducir y manejar los riesgos del cambio climático [1].

Estudios han develado que en la mayoría de los países de la agencia internacional de energía “International Energy Agency” (IEA), el consumo de energía primaria de los edificios representaban en el año 2008 el 40% del consumo total de energía primaria. Esto ha ido aumentando debido a diferentes factores; entre ellos el aumento de la población mundial, el desarrollo de economías emergentes, y el cambio climático en sí mismo, que está demandando más energía para enfriar edificios en los climas cálidos [3]. Por otra parte, según lo expuesto por Y. Zhang, Y. Zhang, X. Wang, y Q. Chen [4], el consumo de energía para calefacción y refrigeración en China corresponde al 15% del total del consumo energético y va en aumento, y los edificios son los responsables de alrededor del 18% de las emisiones de CO₂ relacionadas con el consumo energético en ese país.

Tomando en consideración lo expuesto anteriormente, la IEA se ha planteado que “las políticas de eficiencia energética para edificios deben estar basadas en estrategias de largo plazo con metas ambiciosas para la reducción del consumo en edificios nuevos y existentes” [3].

Por otra parte, los estados miembros de la Unión Europea, por medio de la directiva “Energy Performance Buildings Directive (EPBD) 2010/31/EU”, en el artículo 9.1, han establecido

que los estados miembros deberán asegurar que para el 31 de diciembre de 2020 todas las construcciones nuevas serán del tipo “Nearly Zero Energy Buildings (nZEB)” y que después del 31 de diciembre de 2018 los edificios nuevos ocupados o que pertenezcan a autoridades del estado también serán del tipo “Nearly Zero Energy Buildings (nZEB)” [2].

¿Qué es un edificio nZEB?

La definición de un edificio del tipo “nZEB”, se basa en la definición de un edificio cero energía (Zero Energy Building) “ZEB”, que es un edificio que demanda 0 kWh/m²-año de energía primaria. La definición general de un edificio del tipo “nZEB” establecida en el artículo 2.2 de la directiva “EPBD 2010/31/EU” según lo citado por A. Hermelink, S. Schimschar, T. Boermans et al [2] es la siguiente: “Un edificio del tipo nZEB es un edificio que tiene un muy alto desempeño energético el que es determinado según lo establecido en el Anexo I de la directiva “EPBD 2010/31/EU” de la Unión Europea.

El Anexo I, artículo 1 estipula que: “El desempeño energético de un edificio debería ser determinado en base al consumo calculado o al consumo real anual necesario para cumplir con los diferentes requerimientos asociados a su uso típico, y debe reflejar la energía requerida para calefacción y la energía requerida para refrigeración (energía necesaria para evitar el sobrecalentamiento) para mantener las condiciones de temperaturas concebidas para el edificio, así como las necesidades de agua caliente”.

La directiva mencionada establece que un edificio del tipo nZEB deberá además de lo indicado anteriormente, obtener en forma mayoritaria la baja cantidad de energía que requiere, de fuentes de energía renovables incluyendo fuentes de energía renovables producidas en el mismo sitio de emplazamiento del edificio o cercanas al lugar donde se encuentre el edificio [5].-

Ecofys, Politecnico de Milano y la Universidad de Wuppertal en el resumen ejecutivo del informe final [2] solicitado por la Comisión Europea, establecen que muy probablemente para el año 2021, un edificio que posea una clasificación energética del tipo: “demanda de energía para calefacción y refrigeración < 30 kWh/m²-año” y con casi toda seguridad un edificio que posea una clasificación energética del tipo “demanda energética < 15 kWh/m²-año”, bastará para ser llamados edificios “nZEB”.

La definición general establecida en la legislación de la Unión Europea ha derivado en diferentes publicaciones con el objetivo de precisar la definición y establecer criterios, metodologías de cálculo y procedimientos que ayuden a determinar las condiciones que debe cumplir en cada país un edificio para ser catalogado como nZEB según los objetivos de reducción

relevante del consumo energético. Por ejemplo, un edificio podría conseguir la clasificación ZEB mediante un sobredimensionamiento en el uso de paneles solares fotovoltaicos, lo que no necesariamente se deriva en la aplicación de medidas de ahorro de energía [6]. En este sentido, cobra una importancia fundamental el análisis del desempeño energético de edificios desde el punto de vista del análisis del ciclo de vida el que incorpora, entre otros, la energía contenida en los materiales del edificio y sus sistemas. Un edificio que esté desconectado de la red eléctrica y por ende autosuficiente energéticamente, puede tener un desempeño más bajo que un edificio conectado a la red eléctrica, si se analiza desde el punto de vista del ciclo de vida [7].

Tal como se ha expuesto, dado que los edificios del tipo nZEB deben ser diseñados en sincronía con la red de generación eléctrica local y no imponiendo un estrés adicional sobre dicha red, la definición de un edificio del tipo nZEB deberá ser adaptada en cada país considerando las características de la matriz energética a la cuál accede cada edificio según su emplazamiento [6].

Finalmente, para poder lograr la ambiciosa meta establecida por la Unión Europea, resulta necesario realizar un cambio de paradigma que permita el desarrollo de nuevos conceptos y tecnologías capaces de mejorar el desempeño energético de los edificios [8].

2.2. La naturaleza como fuente de inspiración

En todas las ciencias la naturaleza ha sido utilizada como una guía y fuente de inspiración. Existe una ciencia relativamente nueva llamada “Biomimicry” que ha sido definida como la innovación inspirada por la naturaleza [9] y que observa la naturaleza para producir soluciones para los seres humanos imitando el diseño natural o buscando respuestas en la naturaleza a los problemas humanos [10]. A continuación se presenta el comportamiento de algunas aves que ha sido fuente de inspiración para el desarrollo de esta investigación y que sustentan y complementan las ideas de otros investigadores, que han desencadenado el cambio de paradigma.

Existen aves con la capacidad de modificar la disposición de su plumaje con el objetivo de lograr una regulación térmica de su cuerpo. Algunas por ejemplo, se protegen del frío aumentando el volumen de aire atrapado en su interior tal como se muestra en la Figura 1. En contraposición a lo anterior, para poder disipar calor retraen su plumaje liberando el aire que se encuentra atrapado, tal como se muestra en la Figura 2.-



Figura 1.- : Disposición plumaje para atrapar aire en su interior.



Figura 2.- Disposición plumaje para liberar aire de su interior.

Además de lo anterior, existen especies como los avestruces africanas que mediante el control del plumaje (extensión de sus alas y plumas) modifican la exposición del cuerpo al flujo de aire para dejar ingresar o salir calor del cuerpo [11].-

En el caso del ser humano, éste se adapta a las variaciones climáticas de las distintas estaciones mediante el uso de diferente tipo de ropa [4], poniendo o sacando prendas que rodean al cuerpo y cuyas características dependen de las condiciones ambientales existentes.-

Tanto en las aves como en los seres humanos, el objetivo es modificar la parte exterior del cuerpo como una manera de lograr el confort térmico y reducir el consumo de energía. En el caso de las aves lo logran con una capa natural y en caso de los seres humanos con una capa artificial (ropa). La modificación controlada tanto de la envolvente natural de las aves como de la envolvente artificial (ropa) de los seres humanos, se realiza en forma instintiva con el objetivo de minimizar el consumo de energía y/o para mantener la temperatura de confort.

Lo descrito anteriormente corresponde a lo que se podría llamar una envolvente cinética. El concepto de sistemas cinéticos ha estado presente en la arquitectura desde tiempos remotos, siendo las puertas tradicionales un ejemplo de ello. Desde entonces, han evolucionado desde sistemas manuales y mecánicos a en la actualidad sistemas electrónicos e inteligentes [12].

2.3. Cambio de paradigma.

Un cambio de paradigma significa realizar un cambio radical en los supuestos básicos que han sustentado durante años un determinada área de investigación, o un determinado entorno de desarrollo tecnológico.

El principio de aproximación por “conservación de energía” [13] basado en la minimización de las pérdidas y maximización de las ganancias de calor, ha sido hasta ahora el paradigma para el diseño de las envolventes de edificios, dado que la demanda de energía de calefacción es la más relevante comparada con la de refrigeración e iluminación, en aquellos climas donde se desarrollaron estos principios.

Por otra parte, se ha comprobado que el efecto de un aumento en la aislación térmica de la envolvente de los edificios es mayor en la demanda de energía para calefacción, que en la demanda de energía para refrigeración [14].

El diseño basado en el principio de conservación de energía ha llevado a desarrollar fachadas que desde el punto de vista de la aislación térmica son un compromiso para todo el año, lo que implica que están diseñadas para una situación promedio y con el objetivo de minimizar la demanda de energía de calefacción y refrigeración, junto con mantener ciertos parámetros de confort interior [15]. Sin embargo, las fachadas son precisamente un elemento que separa el interior del exterior de un edificio y por lo tanto están expuestas a condiciones meteorológicas y condiciones de ocupación interior cambiantes no solo a lo largo del año sino también a lo largo de un día.

En el diseño de fachadas se pueden mencionar dos estrategias que consideran una fachada como “*Excluyente*” o como “*Selectiva*” [16].

El diseño de fachadas basadas en una estrategia del tipo “*Excluyente*” consideran que se debe aislar completamente el exterior del interior del edificio, constituyéndose la envolvente en una barrera estática, con el objetivo de optimizar la función principal que es la de separar o excluir el interior del exterior lo que se ha logrado mediante el mejoramiento continuo de la aislación térmica, permeabilidad al aire e impermeabilización al agua por nombrar algunas de las características que los componentes de la fachada deben exhibir [13]. Esto ha derivado en una corriente de diseño y estándares tales como PassivHaus basados en la estrategia que considera que la envolvente debe ser del tipo “*Excluyente*”.

Por otra parte, el diseño de fachadas basadas en la estrategia del tipo “*Selectiva*” considera que la fachada es un elemento similar a un filtro entre el ambiente interior y exterior, y por lo tanto su rol principal es modular o administrar el flujo de energía y masa, según lo citado por Favoino F., Jin Q. y Overend M. en [16], y se formuló la hipótesis que la mejor envolvente diseñada con la estrategia del tipo “*Excluyente*” que es estática, al ser un muy buen compromiso para todo el año, puede ser superada desde el punto de vista de la disminución de la demanda de

energía para calefacción y refrigeración por ejemplo, si ésta puede responder a las condiciones cambiantes tanto interiores como exteriores [17].

La manera en que un edificio a través de su envolvente pueda cumplir este rol de administrar el flujo de energía y/o masa entre el interior y el ambiente exterior, es disponiendo de lo que se han denominado envolventes que se adaptan al clima: “Climate Adaptive Building Shells (CABS)” [17]. Una envolvente tipo CABS es aquella que es capaz de cambiar en el tiempo en forma repetitiva y reversible alguna de sus funciones, características o comportamiento, como una respuesta a cambios en los requerimientos del desempeño de un edificio o a cambios en las condiciones de borde, con el objetivo de mejorar el desempeño general de dicho edificio [17].

El cambio en el concepto de diseño desde una envolvente estática tradicional a una envolvente tipo CABS, representa el cambio de paradigma necesario para enfrentar desafíos tales como el establecido por la Unión Europea en lo que a la inminente exigencia de edificios del tipo nZEB se refiere, puesto que permite cambiar el concepto de diseño desde una envolvente del tipo “escudo protector, barrera, separación” a una envolvente del tipo “interface, administradora”; desde una envolvente “invariable, estática, genérica” a una envolvente “dinámica, adaptiva, personalizada, con capacidad de respuesta” o desde una envolvente del tipo “monofuncional de comportamiento único” a una “multifuncional e integradora”, envolvente que puede aprovechar las oportunidades que el ambiente exterior presenta a diario en vez de luchar contra él [13].

2.4. Envolvente ideal y el concepto de una envolvente “Selectiva”

Una envolvente ideal podría definirse como aquella que minimiza la demanda energética total asociada al espacio interior contenido por ella, mediante la adaptación de sus características termo-ópticas para variar las condiciones ambientales interiores, controlando el efecto de las variables ambientales exteriores tales como temperatura, radiación solar, viento y humedad, mediante una modulación selectiva de la envolvente ya sea almacenando, desplazando en el tiempo, re-direccionando o transformando la energía térmica y el flujo de masa, o simplemente rechazando la energía térmica y el flujo de masa [18].-

Diferentes palabras se han usado para describir el cambio de paradigma reflejado en una envolvente del tipo CABS, palabras citadas en tales como: “Cinética”, “Dinámica”, “Retráctil”, “Convertible”, “Transformable”, “Adaptativa” y “Reactiva”. Todos estos términos tienen algo en común y es el hecho que describen una envolvente “Selectiva” como un elemento de naturaleza “no estacionaria”, siendo éste el aspecto fundamental de dichas envolventes [19]. La naturaleza no estacionaria dependerá del diseño de la envolvente la que pudiera efectivamente poseer

movimiento físico (ésta se podría denominar “cinética”) como el que ocurre por ejemplo con persianas o elementos constructivos que se mueven dependiendo de la posición del sol, o también una envolvente que cambia sus cualidades térmicas y/o físicas para poder controlar el flujo de energía térmica y de masa entre el exterior e interior de un edificio (ésta se podría denominar “dinámica” o “adaptativa”).

Cabe destacar que existen dos aproximaciones generales para una envolvente del tipo “Selectiva” cuyas características han sido descritas anteriormente.

Una de ellas corresponde a un diseño de envolvente incorporando materiales que responden en forma intrínseca frente a determinados cambios en el ambiente, los que se conocen como “Responsive Building Elements (RBE)”. Estos elementos o materiales poseen una respuesta activa, autónoma, cambiando sus cualidades físicas frente a ciertas condiciones ambientales, y pueden ser “sintonizados” para aprovechar los recursos naturales disponibles, tales como la energía térmica que se acumula en los materiales de un edificio debido a la radiación solar.

Estas envolventes también se han denominado fachadas integradas avanzadas: Advanced Integrated Façades (AIF) y poseen un potencial no solo debido a la capacidad de responder dinámicamente frente a cambios en el medioambiente para reducir la demanda de energía de calefacción y refrigeración, sino también debido a la posibilidad de aprovechar la energía solar [20].

Un ejemplo de un material tipo RBE lo constituyen los materiales que cambian su fase llamados Phase Change Materials (PCM), los que al calentarse acumulan energía térmica en la forma de calor latente y cuando alcanzan una determinada temperatura experimentan un cambio de sólido a líquido derritiéndose. En forma inversa pasan de líquido a sólido cuando se enfrían, liberando la energía térmica [21]. También se han realizado investigaciones con ventanas que permiten bloquear la radiación solar mediante el desplazamiento de un fluido coloreado atrapado en una cámara de la ventana, el que se moviliza como una cortina frente a un aumento de la temperatura en la cámara [22].-

La otra aproximación en el diseño de una envolvente del tipo “Selectiva”, es aquella que considera la utilización de materiales que puedan cambiar sus cualidades térmicas y/o físicas en forma intencionada mediante un estímulo específico regulado a voluntad, independiente del ambiente que lo rodea, lo que se ha denominado modo de operación “Extrínseco” [23] y que responde a un esquema de control el que puede ser implementado también en lazo cerrado; es decir, con retroalimentación.

Un ejemplo lo constituye una envolvente que utilice superficies vidriadas basadas en vidrios electro-cromáticos, los que son capaces de lograr un ventana ópticamente controlable modificando los parámetros g-value (proporción de la radiación solar total que se transmite a través del vidrio) y Tvis (proporción de radiación solar visible que se transmite a través del vidrio) mediante cambios en la diferencia de potencial eléctrico que se le aplique [24].

Se evidencia en forma clara la diferencia de una envolvente Selectiva basada en materiales tipo RBE (PCM por ejemplo), los que no son controlables a voluntad sino reaccionan en forma autónoma frente a cambios en el ambiente, en contraposición a una basada en materiales que aplicando una variable de control producen un cambio en sus características termo-físicas, tales como los vidrios electrocromáticos.

2.5. Investigaciones en torno al desarrollo y desempeño de una envolvente tipo CABS.

Para lograr una adaptación dinámica del sistema constructivo de muro exterior de los edificios, especialmente como una manera de agregar masa térmica, se ha estado investigando la incorporación a ellos de materiales del tipo PCM (Phase Change Materials). Los materiales tipo PCM permiten disminuir los requerimientos de energía de los recintos contenidos al interior de los sistemas constructivos de muro, debido al desfase entre la hora de captación de energía y la hora de utilización, logrando reducir la cantidad de horas que el edificio está por sobre la temperatura de confort [21]. La incorporación de materiales tipo PCM en un sistema constructivo de muro son factibles de ser utilizados sólo en algunas soluciones de ingeniería aplicada, y la investigación concluye que para potenciar el efecto de dicha incorporación, debe utilizarse en combinación con otros medios o tecnologías [25].-

En los estudios en los que las características del sistema constructivo de muro se modifica mediante la incorporación de materiales tipo PCM que reaccionan a las diferencias de temperaturas, existe solo un rango de temperaturas y condiciones en que los materiales pueden modificar sus características, además de la existencia de un retardo en lograrlo. Por otra parte, otras investigaciones han determinado que se requieren períodos prolongados de exposición al sol y temperaturas exteriores relativamente altas para que el material tipo PCM se active, y se requiere un período de 10 a 12 horas para que el sistema se establezca por completo [26], lo que impide la adaptación óptima de la envolvente tipo CABS frente a condiciones exteriores e interiores que cambien con una mayor frecuencia.

Desde el punto de vista del intercambio de energía térmica desde el interior al exterior y viceversa, la inserción de material tipo PCM en un sistema experimental de ventanas arrojó como resultado que la transmitancia térmica de la solución no fue aumentada [27].-

De lo expuesto en los párrafos anteriores, se concluye que existen limitaciones en la aplicación de materiales RBE como los materiales tipo PCM, los que pueden ser parte de una solución constructiva de muro con ventajas demostradas en las investigaciones citadas, pero no son lo suficientemente versátiles como para considerarlos en sí mismos, como la base del cambio de paradigma requerido.

Otras investigaciones se han centrado en el desarrollo e investigación de soluciones tipo CABS para las superficies vidriadas desarrollando prototipos para investigación en fachadas cinéticas, las que mediante un algoritmo de control permiten variar el valor de la transmitancia térmica (U) así como bloquear o no la radiación solar, moviendo horizontal o verticalmente marcos montados en el exterior de las ventanas los que proveen de aislación térmica y protección solar variable, al ser desplazados mecánicamente. Este prototipo logró una reducción de un 50% en la demanda de energía al ser montados en un laboratorio experimental [28]. Las persianas motorizadas provistas de un controlador inteligente pueden lograr reducción de energía de refrigeración de un 20%, y de un 50% en energía para iluminación [29].

F. Favoino, F. Goia, M. Perino, y V. Serra desarrollaron un prototipo de envolvente modular tipo MFM que integra elementos tipo RBE en una envolvente AIF llamada "ACTive RESponsive and Solar" (ACTRESS) que está compuesta por 2 subsistemas o módulos: "Opaque Sub-Module" (OSM) y "Transparent Sub-Module" (TSM) y presentaron los resultados del desempeño obtenido luego de dos años de monitoreo [20].-

Para formar el módulo OSM que es esencialmente una fachada ventilada opaca (OVF), se integraron los siguientes componentes: panel fotovoltaico de vidrio laminado de silicio amorfo, ventiladores axiales, capa con PCM, capa aluminizada calentada con electricidad, panel de aislación al vacío. Este módulo OSM posee esencialmente las siguientes funciones: ventilación natural, ventilación mecánica energizada por el vidrio fotovoltaico y buffer térmico sin ventilación.



El módulo TSM se formó con los siguientes componentes: unidad vidriada triple, cavidad rellena con aerogel y cavidad con persianas venecianas comandadas eléctricamente usando la energía obtenida del panel fotovoltaico, para proveer en general de las siguientes funciones: control solar, evitar sobrecalentamiento en verano, proveer de luz natural pero evitando las ganancias solares.

La figura 3 muestra el prototipo de los módulos OSM y TSM los que fueron concebidos con una altura equivalente a un piso de un edificio.

Figura 3.- Módulos OSM y TSM de la fachada tipo MFM llamada ACTRESS. Foto obtenida de [20].-

La fachada ACTRESS presenta una fachada donde se busca conseguir la funcionalidad deseada para diferentes estrategias operativas, mediante un comportamiento dinámico, con el objetivo final de lograr un mejoramiento en el desempeño energético y confort interior. Los resultados presentados son sumamente interesantes y reflejan un esfuerzo por considerar el aporte de diferentes tecnologías existentes en la actualidad, en un módulo multifuncional dinámico, cuyo uso efectivamente mejora el desempeño energético. No obstante ACTRESS representa un avance destacable en el diseño de este tipo de soluciones, para efectos de esta investigación resulta especialmente interesante poner atención a los siguientes resultados:

- ✚ Se valida el hecho que el incluir elementos tipo PCM no logran en la práctica cumplir las expectativas, debido a resultados contradictorios, sumado a una acumulación de energía térmica menor a la necesaria, concordando con lo descrito por S. Grynning, F. Goia y B. Time [26].-
- ✚ El uso de aerogel como aislante térmico es excelente, pero la falta de control de las ganancias, puede generar sobrecalentamiento en verano traduciéndose en un desempeño menor al óptimo.
- ✚ Se concluye que es necesario tener un control total de la aislación térmica para dotar a la envolvente de la adaptabilidad requerida.

En general, el desarrollo de estrategias y sistemas de control que permitan modificar a voluntad las características, funciones y propiedades físicas de las envolventes tipo CABS, serán relevantes en la disminución de la demanda de energía de edificios [29].

Para determinar cuales características, funciones o propiedades físicas de las envolventes deberían ser variables, se puede revisar las investigaciones relacionadas con los motivos para adoptar envolventes adaptivas o incluir elementos específicos en ellas. Se ha determinado que los factores ambientales más comunes asociados a envolventes adaptativas y que la condicionan como sistema negociador del intercambio de energía y masa entre el exterior e interior, para una solución constructiva de muro, son la temperatura ambiente y la radiación solar en los % indicados en el gráfico nº1. Entonces, una envolvente adaptativa debería ser capaz de proveer de una aislación térmica y masa térmica controlable así como una capacidad de intercambio de calor radiante, ventilación, obtención de energía solar, iluminación natural, protección solar y humedad controlables [30].-

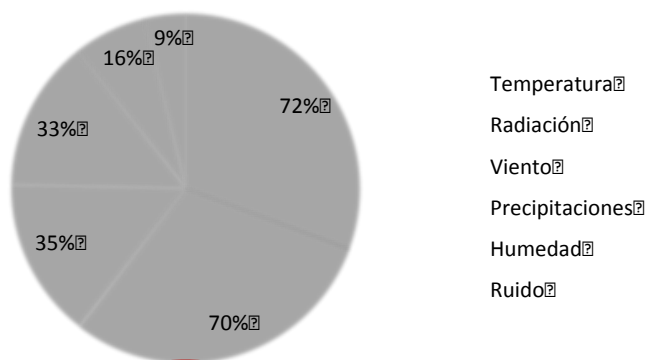


Gráfico nº1.- Factores para adoptar envolventes dinámicas en soluciones constructivas de muro, según estudio en 130 edificios. Gráfico adaptado de Aeleni D., Aeleni L. y Pacheco C. [30].-

Considerando a la temperatura como uno de los factores ambientales más relevantes, el intercambio selectivo de energía térmica puede ser modulado mediante una envolvente adaptiva que modifique su resistencia térmica a voluntad, lo que sumado a lo concluido en las investigaciones citadas, resulta en que el cambio de paradigma buscado puede basarse en la existencia de una envolvente dinámica que pueda cambiar en forma controlada su resistencia térmica.

Se ha determinado la existencia de un “punto de inflexión térmica” a partir del cual la envolvente óptima pasa de ser aquella con el valor de U más bajo, a aquella con el valor de U más alto. Considerando este punto de inflexión térmica descrito por Masoso O.T. y Grobler L.J. [31] se prevé que una envolvente dinámica que presente la posibilidad de cambiar su resistencia térmica desde un valor máximo a un valor mínimo (2 estados controlables), logrará una mejora en el desempeño energético por sobre la mejor envolvente estática, la que presenta un solo valor de resistencia térmica para todo el año.

Park B., Srubar W. y Krarti M. [32] determinaron el efecto de contar con una envolvente dinámica de 2 estados de aislación ($R=0,5$ y $R=2,5$), en la reducción de la demanda energética de calefacción y refrigeración de un departamento de referencia, respecto a una envolvente de resistencia térmica fija.

M. Kimber, W. W. Clark, y L. Schaefer [33] presentaron un análisis y diseño conceptual de una envolvente dinámica que puede presentar 2 estados llamados “estado de aislación” y “estado de conducción”, y proponen los fundamentos para el diseño de dicha envolvente cuya construcción se basa en láminas muy finas de un polímero, las que se encuentran a una muy corta distancia una de la otra de tal manera que el efecto de convección natural es despreciable. Para disminuir la resistencia térmica, se extrae el aire y las capas se juntan y comprimen, dejando como resistencia solo el material mismo de las capas.

De las investigaciones citadas en los dos párrafos anteriores, podría concluirse que bastaría con poder lograr una envolvente dinámica que presente sólo dos valores de resistencia térmica, una la más alta posible y otra la más baja posible, pero el comportamiento ideal de una envolvente dinámica de un edificio en lo que a sus características termo-físicas se refiere, fue explorado por Zhang Y., Chen Q., Zhang Y. y Wnag X. [34], llegando a un resultado teórico respecto a la forma que debe tener la función conductividad térmica de la envolvente versus tiempo, para efectivamente reducir la demanda de calefacción en invierno y la de refrigeración en verano. La función conductividad en el tiempo $\lambda(t)$ debería tener la forma de una escalera en verano y el valor mínimo posible en invierno. El otro resultado de este estudio teórico es que la inercia térmica definida como $\rho x C_p$ (densidad $[\text{kg}/\text{m}^3]$ x calor específico $[\text{J}/\text{kgK}]$) debería ser constante y presentar dos valores óptimos uno para verano y otro para invierno.

Considerando lo concluido por Zhang Y., Chen Q., Zhang Y. y Wnag X. [34], la mayor reducción en la demanda de energía para calefacción y refrigeración se lograría con una envolvente que pueda variar en forma controlada su resistencia térmica y presentando no solo dos estados o valores de resistencia térmica, sino un rango desde un mínimo a un máximo.

Erickson, J. en su investigación [35] determina, mediante la simulación de 48 diferentes escenarios, que la resistencia térmica adaptiva es la variable de una envolvente dinámica que desempeña el rol más importante en la demanda de energía.

Una envolvente como la descrita teóricamente en los párrafos anteriores, se prevé posible de lograr en el futuro próximo, considerando los resultados de investigaciones tales como la descrita por A. Berge, C. E. Hagentoft, y P. Wahlgren et al [36] donde se midió la resistencia térmica de una solución constructiva de muro experimental inyectada con material nano-poroso como el aerogel, sometida a cambios de presión en su interior. Se obtuvo un comportamiento dinámico donde la resistencia térmica varió en función de la presión interna, de una manera prácticamente lineal e incluso pequeñas variaciones de presión lograron variaciones importantes de la resistencia térmica de la solución constructiva de muro experimental, pero con un retardo de 40 minutos aproximadamente.

La tabla nº1 muestra un resumen de las tecnologías experimentales tendientes a lograr una resistencia térmica variable.

Tecnología	Rango de Adaptación
Termo-díodo Bidireccional	Conductividad Térmica 0,07-0,35 (W/mK) (Varga et al, 2002)
Aislación con Conductividad Variable	Transmitancia Térmica 1,0-8,0 (W/m ² K) (Benson et al, 1994)
VIP Adaptivo	Conductividad Térmica 0,007-0,019 (W/mK) (Berge et al, 2015)
Sábana Adaptiva de Aerogel	Conductividad Térmica 0,011-0,017 (W/mK) (Berge et al, 2015)
Muro Adaptivo Multicapas	Transmitancia Térmica 0,2-8,0 (W/m ² K) (Kimber et al, 2014)

Tabla Nº1: Tecnologías de envolventes con conductividad térmica variable.
Extraída de [37].-

Existen pocas investigaciones tendientes a determinar el potencial de reducción de la demanda energética de edificios que pudieran contar con una envolvente tipo CABS del tipo selectiva y que considera una envolvente con una resistencia térmica variable y controlada. Dos de ellas se describen a continuación.

En el estudio de S. Rasca [38] se modela el comportamiento dinámico mediante la variación de la relación superficie de ventana-superficie de muros (WWR), para determinar el potencial de ahorro, lo que desde el punto de vista teórico puede representar diferentes configuraciones con transmitancia térmica (U) variable, pero desde el punto de vista del diseño práctico de edificios se aleja de la realidad, dado que el diseño y determinación de la superficie de ventanas en un edificio no responde principalmente a aspectos energéticos, sino que a aspectos como el aprovechamiento de luz natural y confort visual especialmente en edificios donde la vista al paisaje y/o la integración con el exterior es considerado como relevante en el diseño.

Por otra parte, al reducir en forma importante la relación WWR en verano se reducen las ganancias solares y se obtiene un ahorro “artificial” de energía para refrigeración, dado que el poder reducir la superficie de ventanas se encuentra alejado de las posibilidades reales, debido al compromiso con la luz natural y la vista e integración con el espacio exterior producido por las superficies traslúcidas.

Una de las investigaciones teóricas más interesantes llevadas a cabo para determinar el potencial de reducción de la demanda de energía para calefacción, refrigeración e iluminación, junto con minimizar la falta de confort térmico interior, mediante el uso de una envolvente teórica tipo CABS, selectiva y con resistencia térmica variable, la realizaron Jin Q., Favoino F. y Overend M. [37].- La investigación utiliza la aproximación llamada “inversa” que consiste en obtener los parámetros y reactividad de la envolvente dinámica que minimiza la demanda de energía, conocido el edificio y su contexto así como el clima en que está emplazado [18].

El modelo teórico de edificio usado por Jin Q., Favoino F. y Overend M. [37] consiste en una oficina de 4,5m de ancho por 3m de profundidad y una altura de 4m, la que se supone es parte de un centro comercial donde está rodeada por otras oficinas y donde se supuso que cuatro de sus superficies que la rodean son adiabáticas, con excepción de la cara sur. La oficina posee una WWR=40% y no posee puertas. La solución constructiva de muro se configura mediante un panel de hormigón de 200mm de espesor en el interior, recubierto con aislación térmica de 25mm de espesor tanto por el exterior como por el interior, conformada por un material teórico que presenta resistencia térmica variable, pudiendo presentar una conductividad térmica desde 0,003 (W/mK) hasta 220 (W/mK).- La simulación se realizó mediante optimización multivariable y arrojó una reducción anual de la demanda de energía total (calefacción + refrigeración + iluminación) entre un 25% y un 35%, y un mejoramiento del confort térmico entre un 40% y un 60%.-

Finalmente, cabe mencionar que las envolventes tipo CABS aplicadas sólo por el exterior y que pudieran estar basadas en materiales que hacen uso de la nanotecnología, representan un

mayor potencial debido a la cantidad de edificios existentes que podrían beneficiarse, considerando las dificultades que poseen los edificios en uso al abordar un proyecto de recambio o adición de una envolvente por el interior [39].

2.6. Limitaciones del software tipo BPS para simulación de envolventes dinámicas

Una de los motivos que ha reducido la cantidad de investigaciones teóricas de envolventes tipo CABS, selectivas y que presentan una resistencia térmica variable, son las limitantes de los software de simulación tipo BPS las que fueron descritas en el estudio de F. Favoino y M. Overend [40], y se resumen a continuación:

- ✚ Capacidad para simular una envolvente que varía sus parámetros termo-físicos en forma dinámica.
- ✚ Capacidad para fijar en forma explícita las condiciones de borde del sistema, las que son las condiciones iniciales de la simulación tendiente a obtener el óptimo en el próximo intervalo de tiempo.
- ✚ Capacidad para implementar un algoritmo de control llamado *algoritmo de control de eventos de horizonte lejano*: “Receding Horizon Control” (RHC).
- ✚ Integración de otros subsistemas de un edificio con la lógica de control dinámica de la envolvente.

Un algoritmo convencional de optimización de horizonte fijo deriva en una secuencia de control del tipo $\{u_i, \dots, u_{i+N-1}\}$ que comienza en un tiempo actual i y termina en un tiempo futuro $i+N-1$, y se resuelve en una sola optimización. La solución convencional de horizonte de tiempo fijo posee la desventaja que si algún evento no previsto sucede en algún momento dentro del intervalo $[i, i+N-1]$ que no fue considerado en el modelo, la secuencia de control obtenida en una sola optimización, a partir de ese momento no responde al óptimo buscado. El algoritmo del tipo RHC soluciona este problema mediante la idea de mirar la optimización en un horizonte lejano, en cada tiempo perteneciente al intervalo $[i, i+N-1]$.

El concepto del algoritmo mencionado se puede resumir de la siguiente manera [41]:

- i. En el tiempo i y para el estado actual x_i se resuelve el problema de optimización considerando el intervalo que resta para llegar al tiempo final; es decir, se resuelve

para el intervalo $[i, i+N-1]$ tomando en consideración las restricciones actuales y futuras.

- ii. En la secuencia de control resultante $\{u_i, \dots, u_{i+N-1}\}$ se considera solo la secuencia de control obtenida para el tiempo actual i que es u_i .
- iii. Se mide el estado final al que se llegó en el tiempo $i+1$.
- iv. Se repite para el tiempo $i+1$ la obtención de la solución del problema de optimización considerando el intervalo que resta para llegar al tiempo final; es decir, se resuelve para el intervalo $[i+1, i+N]$ comenzando desde el nuevo estado obtenido x_{i+1} y se considera sólo la secuencia de control obtenida para el tiempo $i+1$ la que se agrega a la secuencia u_i obtenida anteriormente, para repetir el procedimiento descrito anteriormente.

El efecto de considerar la anticipación, reflejada en el algoritmo del tipo RHC en la obtención de una secuencia óptima, por ejemplo, la obtención de la resistencia térmica de la envolvente que minimiza la demanda de energía para el próximo intervalo de tiempo, se refleja en el gráfico nº 2, donde se evidencia que la decisión para el logro del mejor desempeño en el tiempo presente pudiera no ser la mejor decisión que lleva al mejor desempeño global en el futuro.

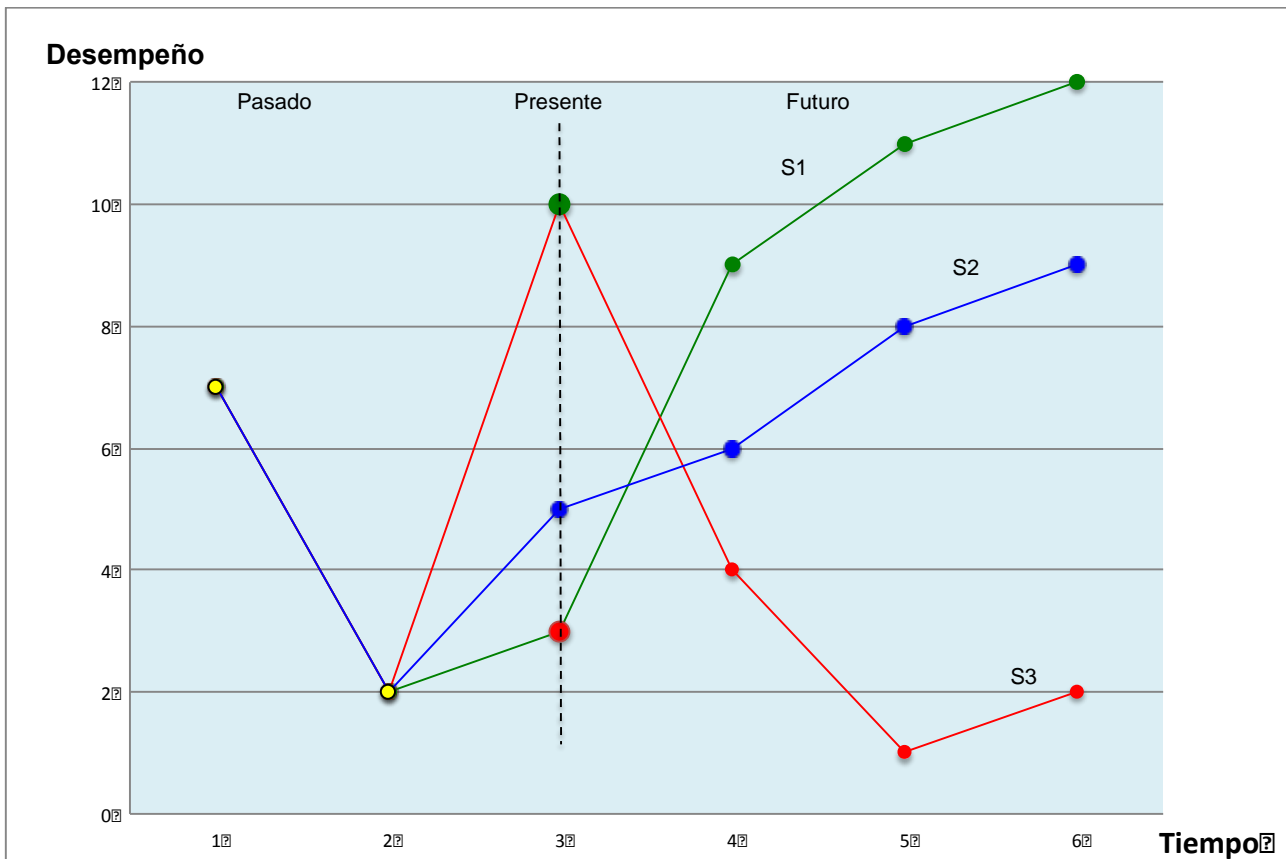


Gráfico n°2: Efecto de la anticipación y del uso de un algoritmo del tipo RHC. Gráfico adaptado de [17].-

En efecto, en el Gráfico n°2 se muestra que la decisión con mayor desempeño en el tiempo presente (tiempo 3) es la indicada con un círculo verde, pero en el tiempo futuro esta decisión se traduce en la secuencia S3 que es de menor desempeño que la secuencia S1 que es la de mayor desempeño futuro, y que se obtiene escogiendo en el presente (tiempo 3) la decisión indicada en el círculo verde, que en el tiempo presente es la de menor desempeño. En resumen, una decisión de mayor desempeño en el presente, no necesariamente garantiza que la secuencia que se siga sea la de mayor desempeño en el futuro.

Jin Q., Favoino F. y Overend M. [37], para realizar mediante simulación una estimación de la reducción de la demanda de energía total (calefacción, refrigeración e iluminación) junto con minimizar la falta de confort térmico en el interior, utilizaron una arquitectura de software a medida desarrollada por Favoino F. y Overend M. [40] la que permite solucionar los problemas que presenta el uso de software convencional tipo BPS en la estimación del desempeño de envolventes tipos CABS, integrando en una plataforma los siguientes software: EnergyPlus (LBNL, 2011), Matlab (2013), y GenOpt (Wetter, 2011), permitiendo así simular la envolvente dinámica e implementar el algoritmo del tipo RHC junto con una optimización multivariable.

2.7. Intervalo de simulación para optimización.

El uso de envolventes tipo CABS supone la implementación de un sistema de control que se encargue de determinar los parámetros termo-físicos óptimos para las condiciones ambientales y de ocupación presentes y futuras, los que se mantendrán por un cierto tiempo llamado intervalo de tiempo de operación (ΔT). Si se considera un año como el tiempo total de referencia para la obtención de la demanda de energía, en el caso de una envolvente basada en un EIFS estático el intervalo de tiempo de operación es anual, dado que las características de una envolvente estática no cambian en el tiempo. Por otra parte, una envolvente que pudiera cambiar sus parámetros termo-físicos, por ejemplo una vez al mes, posee un intervalo de tiempo de operación de un mes.

Según lo investigado por F. Favoino, Q. Jin, y M. Overend [16] para fachadas vidriadas, una fachada dinámica que se adapta en un tiempo más corto resulta en un mayor ahorro de energía que una fachada que se adapta en un tiempo más largo. Es decir, se puede inferir que para una envolvente opaca dinámica a menor tiempo de operación mayor es el ahorro potencial

de energía, debido a la capacidad para adaptarse a los cambios en el ambiente externo y los cambios en los parámetros de operación.

La limitante para simular una envolvente dinámica tipo CABS y obtener sus parámetros termo-físicos óptimos que minimizan la demanda de energía, desde el punto de vista del intervalo de operación, es la constante de tiempo del edificio. Los métodos de optimización en este caso pueden clasificarse en dos [18]:

i. Optimización de sistemas no dominados por el retardo de tiempo:

Son aquellos en los cuales la constante de tiempo del edificio es menor al intervalo de operación (ΔT). La constante de tiempo del edificio (τ) puede definirse como la capacidad térmica total del edificio (C) dividida por el coeficiente total de transferencia de calor entre el exterior e interior, el que corresponde al valor U para el caso en que no exista transferencia de masa entre el exterior e interior.

$$\tau = C/U < \Delta T$$

ii. Optimización de sistemas dominados por el retardo de tiempo:

Aquellos en los cuales la constante de tiempo del edificio es mayor al intervalo de operación.

En el caso i) es posible considerar que la búsqueda del óptimo anual se puede obtener como la sumatoria del óptimo de cada intervalo de operación, asumiendo que el sistema edificio llega al equilibrio antes de transcurrido en tiempo de operación,.

Por ejemplo, el retardo impuesto por la masa térmica de una solución constructiva de muro de un edificio de hormigón de 250 mm de espesor, se encuentra entre 6,8 y 10 horas [42] y según lo citado por G. Rodriguez [43] es aproximadamente 7,5 horas, por lo que en el ejemplo, un intervalo de tiempo mayor a este bastaría para considerar la búsqueda del óptimo mediante la sumatoria del óptimo de cada intervalo de operación.

En el caso ii) no es posible hacer la consideración anterior y las condiciones iniciales del intervalo de tiempo siguiente deben ser las condiciones dinámicas finales del intervalo anterior, ya que el edificio no ha llegado a su punto de equilibrio.

2.8. D-EIFS: una nueva propuesta para una futura solución constructiva de muro.

En forma similar a como las aves modifican la disposición de su plumaje para atrapar o liberar aire con el objetivo de lograr la temperatura de confort de sus cuerpos minimizando el

consumo de energía por la vía de la variación de la resistencia térmica de la envolvente, los edificios podrían incorporar en la solución constructiva de muro una envolvente selectiva que permita variar su resistencia térmica mediante un control externo, con el objetivo final de minimizar la demanda de energía para calefacción y refrigeración, manteniendo los parámetros de confort y aprovechando las condiciones climáticas imperantes.

Considerando los avances en la ciencia de materiales en general, así como los avances en nanotecnología en particular, se prevé que en el futuro se podrá contar con materiales que pudiesen modificar su resistencia térmica en forma inmediata y controlada e independiente de la temperatura y condiciones climáticas. Estos materiales podrían ser parte de una solución constructiva de muro para dotarlo de una envolvente con resistencia térmica variable, y que colabore con la regulación de la temperatura al interior de los edificios utilizando la menor cantidad de energía posible, al adaptarse en forma dinámica a las condiciones climáticas cambiantes.

Las investigaciones citadas en este capítulo y que representan el cambio de paradigma en lo que a la concepción de una envolvente ideal se refiere, así como los resultados específicos de investigaciones con envolventes dinámicas teóricas y experimentales considerados para la propuesta que se hace en esta investigación, se resumen a continuación:

- ✚ Concepto de envolvente “Selectiva” para administrar el flujo de energía térmica entre el interior y exterior como cambio de paradigma en contraposición a una envolvente del tipo exclusiva que aísla en forma permanente el exterior del interior.
- ✚ Temperatura exterior es factor determinante para adoptar envolvente dinámica. Además, investigaciones citadas conllevan a que una resistencia térmica dinámica de la envolvente es uno de los factores más relevantes a considerar.
- ✚ Es necesario tener un control total de resistencia térmica para dotar a la envolvente de la adaptabilidad requerida para lograr minimizar la demanda energética.
- ✚ Una solución de envolvente por el exterior posee un mayor rango de aplicación debido a la menor dificultad de aplicarla en edificios en uso, accediendo a un mayor beneficio global.
- ✚ El uso de elementos tipo RBE (como los materiales tipo PCM) por sí solos no pueden ser la base del cambio de paradigma y deben usarse en combinación con otras tecnologías.
- ✚ La función en el tiempo de la resistencia térmica óptima que minimiza la demanda de refrigeración y calefacción, requiere de una envolvente que pueda presentar en forma

controlada, no solo 2 estados de aislación y conducción sino diferentes valores de resistencia térmica en un rango.

- ✚ A menor intervalo de operación, mayor es la reducción de la demanda de energía para calefacción y refrigeración.
- ✚ Un material de resistencia térmica variable lográble con la tecnología existente y probado en forma experimental, requiere de 40 minutos aproximadamente para estabilizarse.
- ✚ Los software tipo BPS existentes poseen limitaciones para el estudio de envolventes tipo CABS con resistencia térmica variable.
- ✚ La relación WWR óptima para minimizar la demanda de energía se encuentra entre 40% y 50% según lo citado por F. Favoino, F. Goia, M. Perino, y V. Serra [20], sumado al hecho que un control dinámico de protecciones solares ha logrado experimentalmente una reducción de la demanda de energía de un 50% [28], y que las superficies traslucidas en la actualidad cuentan con la tecnología como la de los de vidrios electro-cromáticos que permiten modificar sus parámetros termo-ópticos en forma controlada, dotándolos en la práctica de lo requerido para construir envolventes traslucidas dinámicas, sugieren que la investigación se centre en proveer de estudios y desarrollo de materiales de resistencia térmica variable en la porción opaca de la envolvente que es la faltante.

En base a la literatura existente, se propone la definición de un **EIFS de Resistencia Térmica Variable o EIFS Dinámico** en inglés *Dynamic EIFS*, al que en adelante llamaremos **D-EIFS**, como una envolvente que se agrega a la solución constructiva de muro por el exterior y que permite, mediante un sistema de control, modificar su resistencia térmica dentro de un rango de operación y cada cierto intervalo de tiempo, en forma independiente de la temperatura ambiente y de las condiciones climáticas, con el objetivo de minimizar la demanda energética de calefacción y refrigeración.

Se propone que el D-EIFS posea un control de la resistencia térmica variable, comandado por un algoritmo tipo RHC con retroalimentación, basado en la medición en tiempo real de las variables tanto internas como externas y alimentado también con la predicción climatológica de variables ambientales, considerando también la energía contenida en la masa térmica del edificio y el retardo térmico inherente a ella, en cada intervalo de tiempo, para decidir cual será la resistencia térmica del D-EIFS para el próximo intervalo de tiempo.

La propuesta considera integrar a nivel de algoritmo de control, la operación del D-EIFS en conjunto con la operación de ventanas inteligentes, basadas en materiales como el vidrio electro-

cromático, de tal manera de obtener un set de parámetros termo-físicos para las dos tecnologías, que permitan minimizar la demanda de energía para calefacción, refrigeración e iluminación.

Según lo propuesto por Loonen, R., Rico-Martinez J.M., Favoino F. et al [23], la envolvente adaptiva teórica propuesta denominada D-EIFS, se clasifica como una envolvente con las siguientes características:

- Propósito: confort térmico
- Tipo de Respuesta Funcional: conductividad del flujo térmico
- Tipo de operación: extrínseca
- Tecnología: aislación térmica variable
- Tiempo de respuesta: minutos
- Escala espacial: elemento de la fachada
- Visibilidad: alta
- Grado de adaptabilidad: gradual

Como alcance de esta tesis se establece que el problema de encontrar la resistencia térmica óptima del D-EIFS se abordará en forma aislada de otros sistemas, tales como un conjunto de ventanas inteligentes, y se aplicará sólo sobre los muros aún cuando una envolvente con características dinámicas aplicada sobre la techumbre lograría también una reducción de la demanda de energía comparada con una envolvente de techumbre estática [44].

Es decir, se tendrá un problema de optimización monovariante considerando solo la superficie opaca de la envolvente de los muros que es donde precisamente el D-EIFS se agrega.

3. HIPOTESIS

La eficiencia energética de los edificios que poseen soluciones constructivas de muro que incorporan el mejor EIFS será mejorada si se incorpora a la solución constructiva de muro un D-EIFS, cuya resistencia térmica óptima se pueda variar en un rango, y sea determinada dinámicamente con el objetivo de minimizar la demanda energética de calefacción y refrigeración.

Es posible diseñar una metodología de uso de software convencional tipo BPS para simular el desempeño de un D-EIFS y lograr una estimación razonable de la demanda de energía de calefacción y refrigeración de un edificio de oficinas.

4. OBJETIVOS Y METODOLOGIA

4.1. Objetivo general

Desarrollar una metodología para evaluar, mediante el uso de software del tipo BPS, el desempeño de un *D-EIFS* en edificios de oficinas y evaluar el potencial mínimo de reducción de la demanda energética de un edificio de estudio que posea un *D-EIFS* incorporado respecto al mismo edificio con un EIFS de resistencia térmica fija.

4.2. Objetivos específicos

- Modelar un *D-EIFS* que permita modificar su resistencia térmica en forma independiente de los parámetros climáticos tales como la temperatura exterior.
- Definir el rango de operación del *D-EIFS* a considerar, dentro del cuál pueda presentar diferentes resistencias térmicas desde un valor mínimo a un valor máximo (RT_{min} , RT_1 , RT_2 , RT_{max}). Para efectos del estudio se trabajará con el inverso de la Resistencia Térmica que es la Transmitancia Térmica ($U = 1/RT$).
- Determinar el intervalo de tiempo (ΔT) luego del cuál se pueda cambiar la transmitancia térmica (U) del *D-EIFS* de un edificio, para ajustarse a la variabilidad de las condiciones climáticas con el objetivo de minimizar la demanda de energía térmica (en adelante igual a la suma de las demandas de energía de calefacción y de refrigeración).
- Desarrollar un método de búsqueda para la determinación del valor de Transmitancia Térmica (U) que un *D-EIFS* de un edificio debería tener durante un intervalo de tiempo (ΔT), para minimizar la demanda energética térmica de dicho edificio en ese intervalo, utilizando software comercial tipo BPS.
- Desarrollar la formulación matemática que permita obtener la demanda anual de calefacción y refrigeración de un *D-EIFS*, así como la formulación matemática para la estimación del error en su determinación.
- Evaluar el potencial de reducción de la demanda energética anual de un edificio de estudio, para un tipo de clima y que posea un *D-EIFS* incorporado, respecto al mismo edificio, emplazado en el mismo tipo de clima y que posea un EIFS.

4.3. Metodología

4.3.1. Definición general.

La metodología general a utilizar será MODELACION y SIMULACION, por lo que se requerirá del uso de un software de simulación energético ambiental para la obtención de la demanda energética anual de calefacción y refrigeración.

Se usará el software TAS versión 9.2.1.4. para modelar el edificio de estudio y obtener la demanda energética total de calefacción y refrigeración así como para modelar un D-EIFS teórico. El software TAS utiliza el motor de cálculo Energy Plus el que es usado en la gran mayoría de las investigaciones en esta área [45].

Se utilizará la aproximación llamada “inversa” que consiste en el caso de esta investigación en obtener el valor de U del D-EIFS que minimiza la demanda de energía, para cada intervalo de tiempo, dado el edificio de estudio y su contexto así como el clima en que está emplazado.

4.3.2. Pasos a seguir

A continuación se detallan los pasos a seguir que permiten el logro de los objetivos general y específicos planteados.

1) *Definir el tipo de clima donde se emplazará un edificio de estudio.*

La elección del clima debe considerar una zona templada evitando zonas con temperaturas extremas de tal manera que el estudio represente una condición presente en un porcentaje importante de urbes a nivel global. Además, la presencia de las 4 estaciones marcadas permite analizarlas también por separado para extrapolar algunos resultados a otros tipos de clima.

2) *Seleccionar un edificio para usarlo como edificio de estudio.*

Se considera utilizar un edificio de estudio cuyo destino sea institucional y que posea un EIFS incorporado en la solución constructiva de muro, de tal manera de poder

comparar el desempeño del aporte de un EIFS con el desempeño del aporte del D-EIFS teórico propuesto. Por otra parte, la elección del edificio de estudio debe ser atractivo para el desarrollo de una envolvente tipo D-EIFS debido al impacto en la reducción de la demanda energética global, al estar presente el tipo de edificio escogido en una cantidad relevante de urbes a nivel global. El carácter de edificio de oficinas permite representar a una cantidad importante de edificios corporativos que pueden solventar diseños con eficiencia energética o mejoramientos de su envolvente y que representen también al grupo de inversionistas, entre ellos el Estado, que están dispuestos y tienen los recursos para impulsar el diseño de edificios con eficiencia energética y tecnología de punta así como el mejoramiento de edificios existentes.

3) *Modelar el edificio de estudio seleccionado.*

La modelación considera incorporar la arquitectura y materialidad así como la orientación espacial del edificio seleccionado en el software de simulación escogido, para obtener una estimación de la demanda total anual de calefacción y refrigeración, dadas las condiciones y parámetros de operación y confort que se definan.

4) *Definir los parámetros de operación, simulación y las condiciones de confort deseadas.*

Se deben definir todos los parámetros de operación para los recintos del edificio, parámetros tales como: horario de ocupación; cantidad de personas en el horario de ocupación; aporte de energía por persona; aporte de energía de los sistemas de iluminación; infiltración y aquellos parámetros de simulación propiamente tal que el software requiera para la estimación de la demanda total anual la que se obtendrá sumando las demandas anuales totales de calefacción y refrigeración del edificio completo. Definir también las condiciones de confort deseadas.

5) *Simular el edificio de estudio seleccionado.*

Partiendo del modelo obtenido en el paso n°3 que representa al edificio seleccionado en el paso n°2, considerando el clima definido en el paso n°1, y los parámetros de operación, simulación y las condiciones de confort deseadas definidas en el paso n°4, considerar la incorporación de un EIFS en la solución constructiva de muro del

edificio de referencia, y realizar la simulación para obtener la demanda energética anual de calefacción y refrigeración mediante la utilización del software seleccionado.-

6) *Modelar el D-EIFS mediante la modificación de la capa de aislación de un EIFS.-*

Se debe establecer la manera de utilizar el software de simulación escogido para poder representar la presencia de un D-EIFS con diferentes resistencias térmicas. Agregando o quitando aislación térmica de las capas exteriores de la solución constructiva de muro del modelo, se puede generar un “estado” diferente del D-EIFS para cada espesor de aislación exterior considerada, donde a cada “estado” le corresponde una resistencia térmica diferente, la que dependerá de la cantidad de aislación presente en dicho estado. Es decir, el D-EIFS puede presentar diferentes estados y cada uno de ellos se consigue cambiando las capas externas de aislación.

7) *Proponer un rango de operación del D-EIFS.*

Dependiendo del material y del tipo de tecnología que en el futuro esté disponible, se podrá variar la resistencia térmica de un D-EIFS dentro de un cierto rango. Para efectos de esta investigación, se debe definir, mediante un criterio, el rango en que el D-EIFS podrá variar su resistencia térmica desde una resistencia térmica mínima a una máxima, llamando a este conjunto de resistencias térmicas el rango de operación del D-EIFS.

8) *Para efectos de la simulación, definir un intervalo de tiempo mínimo antes de realizar un cambio de estado del D-EIFS.*

La resistencia térmica de un D-EIFS podrá ser variada a voluntad, para adaptarse a las condiciones climáticas considerando los parámetros de operación y el logro de las condiciones de confort, de tal manera de minimizar la demanda energética de calefacción y refrigeración. Para efectos de este estudio, se debe definir cual es el tiempo mínimo que debe transcurrir antes que el D-EIFS teórico propuesto pueda variar su resistencia térmica, para adaptarse a las condiciones cambiantes del clima con el objetivo de lograr las condiciones de confort con la mínima utilización de energía para calefacción y refrigeración.

- 9) *Definir un método de búsqueda que modifique la resistencia térmica del D-EIFS, hasta obtener la demanda energética mínima de calefacción y refrigeración del edificio en estudio.*

Para cada intervalo de tiempo definido en el punto anterior, se debe definir un método de búsqueda que mediante simulación, permita obtener la resistencia térmica que el D-EIFS presentará en ese intervalo y que minimiza la demanda energética total, obtenida como la suma de las demandas energéticas de calefacción y refrigeración, en dicho intervalo.

- 10) *Realizar simulaciones energéticas para cada intervalo definido en el paso n°8.*

Para cada intervalo de tiempo definido en el paso n°8, usando el método de búsqueda del paso n°9, realizar las simulaciones necesarias hasta encontrar la resistencia térmica del D-EIFS que minimiza la demanda de calefacción y refrigeración. Para efectos del estudio, considerar y trabajar con la demanda total obtenida como la suma de las demandas de calefacción y refrigeración en cada intervalo. Variar la capa de aislación externa tal como se detalla en el paso n°6, para conseguir las variaciones de la resistencia térmica del D-EIFS durante el proceso de búsqueda.-

- 11) *Obtener la demanda energética anual de calefacción y refrigeración del edificio de estudio con D-EIFS.*

Obtener la demanda energética total anual del edificio que utiliza el D-EIFS, sumando las demandas energéticas totales (calefacción + refrigeración) obtenidas para cada intervalo de tiempo a lo largo del año, según lo desarrollado en el paso n°10.-

- 12) *Comparar la demanda energética del edificio de estudio que posee EIFS, con la demanda energética del edificio de estudio con D-EIFS incorporado.*

13) Consideraciones:

- i. Para efectos de este estudio, desestimar las posibilidades de ventilación natural como una estrategia para reducir la demanda de refrigeración. No se considera el uso de sombreaderos.
- ii. Esta investigación se focaliza exclusivamente en la demanda de energía para calefacción y refrigeración, dejando fuera del ámbito de estudio la energía requerida para iluminación en las horas de operación del edificio de estudio.
- iii. El estudio se focaliza en las potencialidades de reducción de la demanda energética asociada a una futura tecnología que hemos denominado D-EIFS. Esta tecnología podría aplicarse por el interior o simultáneamente por el interior y exterior de una solución constructiva de muro, y ejercer un control independiente de la cara interior respecto a la exterior, con el mismo objetivo de reducir más aún la demanda de energía para calefacción y refrigeración. Para efectos de este estudio, esta futura tecnología se incorporaría a una solución constructiva de muro, sólo por el exterior.
- iv. Considerando el punto anterior, un D-EIFS se podría configurar de tal manera que en cada fachada del edificio (norte, sur, este, oeste) su resistencia térmica sea controlada en forma independiente, para reducir más aún la demanda energética térmica.

Las posibilidades definidas en i), ii), iii) y iv) implica necesariamente el uso de herramientas de optimización multivariable o multidimensional [45], lo que quedará fuera del ámbito de este estudio.

4.3.3. Formulación del problema y supuestos metodológicos.

La Figura nº 4 muestra un mapa conceptual que representa la obtención de la demanda anual de calefacción y refrigeración de un edificio con EIFS y de uno con D-EIFS.

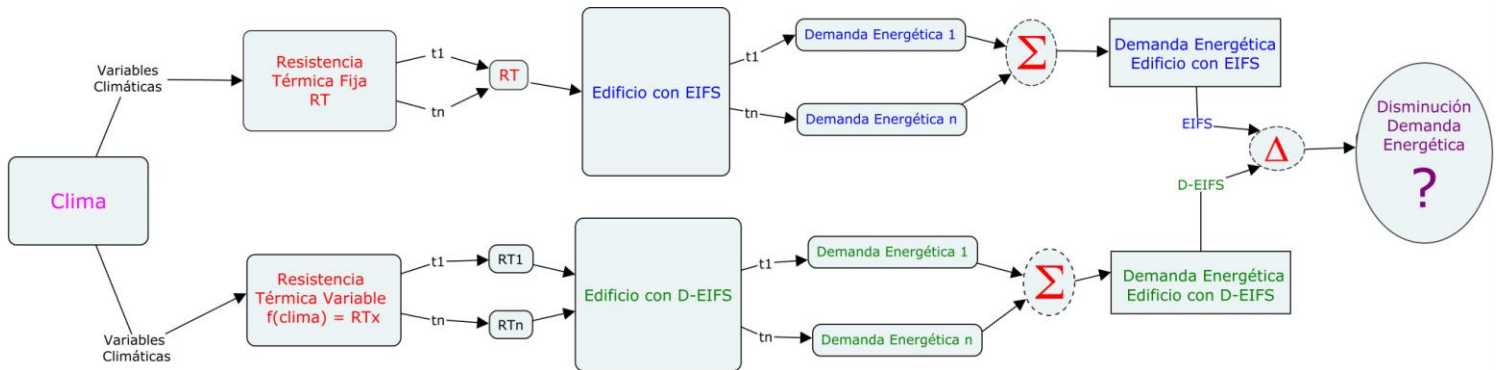


Figura nº 4: Mapa conceptual problema de investigación.

La formulación matemática para la obtención de la demanda anual de energía para calefacción y refrigeración en cada uno de los 2 casos, solución constructiva de muro con EIFS y solución constructiva de muro con D-EIFS incorporado, se presentan a continuación.

[Demanda Anual Energía para Calefacción y Refrigeración de un Edificio con EIFS incorporado](#)

$$E_{c+r} = \min \{ Sim_{j=1,k} (\Delta T=anual; U_j; P[1,..,n]) \} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

- E_{c+r} : Demanda anual de energía para calefacción y refrigeración
- $Sim()$: Simulación energética para el período ΔT , donde se obtiene por intermedio del software de simulación, la demanda energética de calefacción y refrigeración para los parámetros de simulación considerados.
- ΔT : Intervalo de tiempo de simulación.
- $U_j = 1/RT_j$: Transmitancia térmica de muro. Se dispone de k alternativas (j=1 a k) de EIFS, con valores de transmitancia térmica $U_1, U_2, \dots U_k$, valores que dependen de la aislación térmica considerada.
- $P[1,..,n]$: Vector de parámetros de simulación tales como: horario de ocupación, ganancias internas, temperaturas de confort, etc.

La ecuación (1) representa la obtención de la demanda energética mediante simulación, al escoger el valor de aislación térmica de la solución constructiva de muro con EIFS incorporado, representado por U_j que minimiza dicha demanda energética anual.

Demanda Anual Energía para Calefacción y Refrigeración de un Edificio con D-EIFS incorporado

$$E_{c+r} = \sum_{i=1,365} \min \{ Sim_{j=1,k} (\Delta T=d_i; U_j; P[1,..,n]) \} \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

- E_{c+r} : Demanda anual de energía para calefacción y refrigeración
- $Sim()$: Simulación energética para el período ΔT , donde se obtiene por intermedio del software de simulación, la demanda energética de calefacción y refrigeración para los parámetros de simulación considerados.
- ΔT : Intervalo de tiempo de simulación.
- d_i : día i (desde d_1 a d_{365} representando cada día del año).
- U_j : Transmitancia térmica del D-EIFS. Puede tomar cualquiera de los k estados (j=1 a k) $U_1, U_2, \dots U_k$. dado que posee resistencia térmica variable.
- $P[1,..,n]$: Vector de parámetros de simulación tales como: horario de ocupación, ganancias internas, temperatura de confort, infiltración, etc.

La ecuación (2) representa la obtención de la demanda energética mediante simulación, al escoger el valor de aislación térmica de la solución constructiva de muro con D-EIFS (representado por U_j) que minimiza dicha demanda energética, para cada día del año d_i , para luego sumar todas las demandas energéticas diarias mínimas, obteniendo así la demanda energética anual.

Una de las limitaciones que el software TAS usado en esta investigación posee, es que carece de la posibilidad de simular intervalos de tiempo menores a 1 día, con lo que ΔT queda sujeto a un mínimo de 1 día.

Por otra parte, la ecuación (2) es válida solo para métodos de optimización de sistemas no dominados por el retardo de tiempo, y según lo expuesto en 2.7. el uso de la ecuación (2) asume que para el edificio que se simule usando esta metodología, deberá revisarse el cumplimiento de la siguiente ecuación:

$$\tau = C/U < \Delta T$$

donde:

- τ : Constante de tiempo del edificio
- C: Capacidad térmica total del edificio.
- U: Transmitancia térmica total del edificio. Asume que no hay intercambio de masa entre el exterior e interior.
- ΔT : Intervalo de tiempo de operación = 1 día para el caso de uso de software TAS.-

De esta manera, al inicio de cada intervalo de tiempo de operación, el edificio se ha estabilizado térmicamente luego del cambio anterior del valor U del D-EIFS.

Para hacer uso de la ecuación (2), para un día d_i cualquiera se supondrá que el cambio a $U_{j(i+1)}$ que es el valor de U óptimo del D-EIFS que minimiza la demanda de energía para el día siguiente d_{i+1} , ocurre al final del intervalo de ocupación del edificio de oficinas del día anterior d_i , de tal manera que el edificio tenga el tiempo suficiente, desde el término del horario de oficina hasta el inicio del horario de oficinas del día siguiente, para estabilizarse antes que comience la simulación del nuevo día.

El valor de la demanda de energía de calefacción y refrigeración obtenido mediante simulación, depende entre otros parámetros, de las condiciones iniciales al momento de comenzar el nuevo intervalo de simulación con un nuevo valor de U. A continuación se define la nomenclatura que se usará para expresar la fórmula de estimación del error de la metodología usada:

d_i :	día i
d_{i+1} :	día i+1 (día siguiente al día i).
$U_{j(i)}$:	valor de la transmitancia térmica que minimiza la demanda de energía del día d_i .
$U_{j(i+1)}$:	valor de la transmitancia térmica que minimiza la demanda de energía del día d_{i+1}
$E_{(i+1)orig}$:	demanda de energía del día d_{i+1} obtenida con $U_{j(i)}$. Es decir, el valor de la demanda de energía $E_{(i+1)orig}$ se obtuvo simulando desde el día d_1 hasta el día d_{i+1} con un valor de $U = U_{j(i)}$.
$E_{(i+1)}$:	demanda de energía del día d_{i+1} obtenida con $U_{j(i+1)}$. Es decir, el valor de la demanda de energía $E_{(i+1)}$ se obtuvo simulando desde el día d_1 hasta el día d_{i+1} con un valor de $U = U_{j(i+1)}$.
E_{c+r} :	Demanda anual de energía para calefacción y refrigeración.

Considerando los estudios de las constantes de tiempo indicados en la sección 2.7., el edificio debería estar estabilizado al comienzo de cualquier intervalo, si se considera un cambio en el valor U llevado a cabo al final del período de ocupación del edificio correspondiente al intervalo previo.

Existe un error en la estimación de la demanda de energía, dado que las condiciones iniciales para el intervalo siguiente pudieran no ser exactamente las mismas que quedaron como

condiciones finales del intervalo de tiempo anterior. El error debería ser despreciable si la constante de tiempo del edificio es efectivamente menor al intervalo de tiempo entre cada cambio de U.

El error en el tiempo $i+1$ se puede definir como el diferencial de las 2 demandas de energía posibles de obtener con el valor de $U_{j(i+1)}$ y con el valor de $U_{j(i)}$ dividido por 2. Entonces, se define el error en un período de tiempo como:

$$\mathbf{Error}_{(i=1 \text{ a } n)} = \sum_{i=1, n} \{E_{(i+1)orig} - E_{(i+1)}\} / 2 \quad (\mathbf{kWh}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

lo que expresado en términos porcentuales y para un período anual resulta:

$$\mathbf{error \text{ anual } (\%)} = 100 (\mathbf{Error}_{(i=1 \text{ a } 364)} / E_{c+r}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

5. Desarrollo de un modelo de D-EIFS para simulación

5.1. Elección del clima de emplazamiento.

Se escoge el clima de Concepción, Chile, zona templada del litoral sur, debido a que posee una presencia de las 4 estaciones del año, por lo que es posible obtener conclusiones para otros tipos de clima, analizando las estaciones en forma separada, debido a la variabilidad de las condiciones meteorológicas durante el año.

5.2. Selección de un edificio de estudio.

Como edificio de estudio se seleccionó el edificio de gobierno correspondiente a la Contraloría General de la República de la VIII Región, el que se proyectó para ser emplazado en la ciudad de Concepción.

5.3. Modelamiento y parámetros de operación del edificio de estudio

Las figuras 5 y 6 muestran dos vistas arquitectónicas del modelo 3D en TAS versión 9.2.1.4 del edificio de estudio seleccionado.

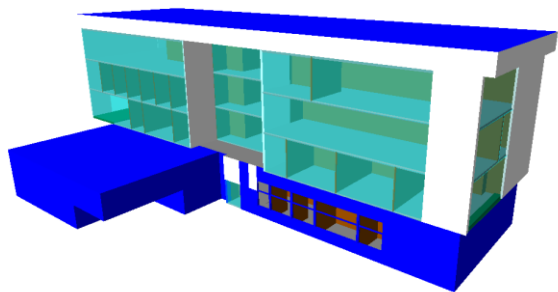


Figura n°5: Edificio Contraloría vista nor-poniente

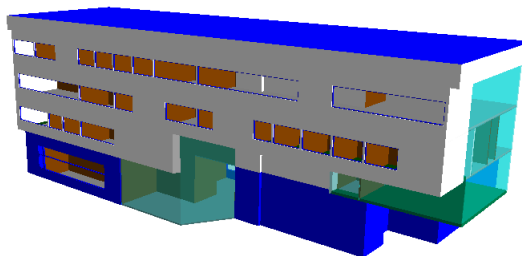


Figura n°6: Edificio Contraloría vista sur-oriente

Los muros exteriores del edificio de estudio están compuestos de paredes de hormigón armado de 250 mm de espesor y una capa de estuco de 5mm de espesor. Las ventanas del edificio son de Doble Vidrio Hermético (DVH) con baja transmisividad solar.

La Figura nº7 muestra la definición de los muros exteriores y la Figura nº8 muestra la definición del tipo de cristal del edificio de estudio, configurado en el software TAS versión 9.2.1.4., el que se utilizó para realizar las simulaciones dinámicas ya sea del edificio de estudio en su caso base como del D-EIFS en sus diferentes estados.

El archivo climático utilizado por el software TAS versión 9.2.1.4. es: **Concepcion_NCh-hourEPWCSV.epw** que corresponde a la ciudad de Concepción, Chile donde fue emplazado el edificio de estudio.

Opaque Construction Name: Muro Exterior Description:

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance (W/m ² ·°C)	Time Constant
Ext. Surf.	Int. Surf.	External	Internal		
0,400	0,650	0,900	0,900	0,197	8,756

Layer	M-Code	Width (mm)	Conductivity (W/m·°C)	Density (kg/m ³)	Specific Heat (J/kg·°C)	Description
Inner	am1concd\3	250,0	1,6	2200,0	920,0	CONCRETE 3% m.c. 10 *3
2	am1ins\12	162,0	0,033	32,0	1210,0	POLYSTRENE EXPANDED SHEET CLOSED
3	am1plast\21	3,38	0,18	800,0	837,0	PLASTERBOARD, PERLITE *3

* layer ignored in U-Value/R-Value Calculation

U/R Values (ISO 6946) (Homogenous)

Flow Direction	Internal U Value (W/m ² ·°C)	External U Value (W/m ² ·°C)
Horizontal	0,187	0,19
Upward	0,189	0,191
Downward	0,184	0,189

Show U Values Show R Values

Additional Heat Transfer: 0,0% F-Factor: 0,0 W/m·°C

Figura nº7: Definición de muros exteriores del caso base de estudio, en software TAS versión 9.2.1.4.-

Transparent Construction Name: Cristal Doble Description:

Solar Transmittance	External Solar Absorptance		Internal Solar Absorptance		Light Transmittance	Emissivity		Conductance (W/m²·°C)	Time Constant	External Blind	Internal Blind
	Ext. Surf.	Int. Surf.	Ext. Surf.	Int. Surf.		External	Internal				
0,498	0,173	0,135	0,227	0,097	0,760	0,845	0,845	2,6	0,000	No	No

Layer	M-Code	Width (mm)	Solar Trans.	Ext. Solar Refl.	Int. Solar Refl.	Conductivity (W/m·°C)	Description
1	am1pilk\26	6,0	0,630	0,200	0,150	1,0	6MM KAPPAFLOAT (NEUTRAL)
2	am1cav\2	10,0	0,000	0,000	0,000	0,0	10MM AIR (HORIZONTAL FLOW · T...
3	am1pilk\2	6,0	0,780	0,070	0,070	1,0	6MM CLEAR FLOAT

* layer ignored in U-Value/R-Value Calculation

Glazing U Values (EN 673)

U Value (W/m²·°C)
1,803

Show U Values Show R Values

Additional Heat Transfer: 0,0% F-Factor: 0,0 W/m·°C

Glazing Parameters

Light		Solar Energy (EN410)				Pilkington Shading Coefficients		
Transmittance	Reflectance	Direct Transmittance	Direct Reflectance	Direct Absorptance	Total Transmittance (G Value)	Short Wavelength	Long Wavelength	Total
0,760	0,120	0,498	0,193	0,308	0,616	0,573	0,136	0,709

Figura nº8: Definición de ventanas exteriores del caso base de estudio en software TAS versión 9.2.1.4.-

A continuación se detallan los parámetros de operación del edificio de estudio que se utilizaron para la simulación que permitió obtener la demanda anual total sumando las demandas anual de calefacción y anual de refrigeración, tanto para el edificio con EIFS como para el edificio con D-EIFS. Los parámetros de operación del edificio de estudio se muestran a continuación en las imágenes de las tablas del software TAS versión 9.2.1.4.-

Termostatos

Termostato Oficinas Acondicionadas

Gain	Value	Setback Value	Schedule
Upper Limit	24,0 °C	150,0 °C	8-18
Lower Limit	20,0 °C	-50,0 °C	8-18
Humidity Upper L...	100,0%	100,0%	24 Hours
Humidity Lower L...	0,0%	0,0%	24 Hours

Termostato Auditorio y Salas de Reuniones

Gain	Value	Setback Value	Schedule
Upper Limit	24,0 °C	150,0 °C	10-12 y 16-18
Lower Limit	20,0 °C	-50,0 °C	10-12 y 16-18
Humidity Upper L...	100,0%	100,0%	24 Hours
Humidity Lower L...	0,0%	0,0%	24 Hours

Zonas no Acondicionadas

En estas zonas, no se consideró termostato por lo que el sistema de climatización no actúa frente a cambios de temperatura en estas zonas no acondicionadas.

Ganancias Internas

Biblioteca

Gain	Value	Factor	Setback Value	Schedule
Infiltration	0,83 ach	1,0	0,0 ach	24 Hours
Ventilation	1,2 ach	1,0	0,0 ach	8-18
Lighting Gain	17,3 W/m ²	0,5	0,0 W/m ²	8-18
Occupancy Sensible Gain	12,0 W/m ²	0,5	0,0 W/m ²	8-18
Occupancy Latent Gain	8,0 W/m ²	0,5	0,0 W/m ²	8-18
Equipment Sensible Gain	10,0 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	8-18
Equipment Latent Gain	0,0 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	
Pollutant Generation	0,0 g/hr/m ²	1,0	0,0 g/hr/m ²	

Circulación

Gain	Value	Factor	Setback Value	Schedule
Infiltration	0,83 ach	1,0	0,0 ach	24 Hours
Ventilation	0,6 ach	1,0	0,0 ach	8-18
Lighting Gain	4,3 W/m ²	0,5	0,0 W/m ²	8-18
Occupancy Sensible Gain	6,0 W/m ²	0,2	0,0 W/m ²	8-18
Occupancy Latent Gain	4,0 W/m ²	0,2	0,0 W/m ²	8-18
Equipment Sensible Gain	5,0 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	8-18
Equipment Latent Gain	0,0 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	
Pollutant Generation	0,0 g/hr/m ²	1,0	0,0 g/hr/m ²	

Comedor

Gain	Value	Factor	Setback Value	Schedule
Infiltration	0,83 ach	1,0	0,0 ach	24 Hours
Ventilation	3,3 ach	1,0	0,0 ach	12-14
Lighting Gain	8,5 W/m ²	0,5	0,0 W/m ²	12-14
Occupancy Sensible Gain	42,0 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	12-14
Occupancy Latent Gain	28,0 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	12-14
Equipment Sensible Gain	20,0 W/m ²	0,3	0,0 W/m ²	12-14
Equipment Latent Gain	0,0 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	
Pollutant Generation	0,0 g/hr/m ²	1,0	0,0 g/hr/m ²	

Oficina Alta

Gain	Value	Factor	Setback Value	Schedule
Infiltration	0,83 ach	1,0	0,0 ach	24 Hours
Ventilation	1,2 ach	1,0	0,0 ach	8-18
Lighting Gain	17,3 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	8-18
Occupancy Sensible Gain	18,0 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	8-18
Occupancy Latent Gain	12,0 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	8-18
Equipment Sensible Gain	20,0 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	8-18
Equipment Latent Gain	0,0 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	
Pollutant Generation	0,0 g/hr/m ²	1,0	0,0 g/hr/m ²	









Oficina Media

Gain	Value	Factor	Setback Value	Schedule
Infiltration	0,83 ach	1,0	0,0 ach	24 Hours
Ventilation	0,9 ach	1,0	0,0 ach	8-18
Lighting Gain	17,3 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	8-18
Occupancy Sensible Gain	12,0 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	8-18
Occupancy Latent Gain	8,0 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	8-18
Equipment Sensible Gain	15,0 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	8-18
Equipment Latent Gain	0,0 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	
Pollutant Generation	0,0 g/hr/m ²	1,0	0,0 g/hr/m ²	









Oficina Baja

Gain	Value	Factor	Setback Value	Schedule
Infiltration	0,83 ach	1,0	0,0 ach	24 Hours
Ventilation	0,6 ach	1,0	0,0 ach	8-18
Lighting Gain	17,3 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	8-18
Occupancy Sensible Gain	6,0 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	8-18
Occupancy Latent Gain	4,0 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	8-18
Equipment Sensible Gain	10,0 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	8-18
Equipment Latent Gain	0,0 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	
Pollutant Generation	0,0 g/hr/m ²	1,0	0,0 g/hr/m ²	

Sala de Conferencias

Gain	Value	Factor	Setback Value	Schedule
 Infiltration	0,83 ach	1,0	0,0 ach	24 Hours
 Ventilation	2,3 ach	1,0	0,0 ach	10-12 y 16-18
 Lighting Gain	17,3 W/m ²	0,5	0,0 W/m ²	10-12 y 16-18
 Occupancy Sensible Gain	42,0 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	10-12 y 16-18
 Occupancy Latent Gain	28,0 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	10-12 y 16-18
 Equipment Sensible Gain	10,0 W/m ²	0,5	0,0 W/m ²	10-12 y 16-18
 Equipment Latent Gain	0,0 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	
 Pollutant Generation	0,0 g/hr/m ²	1,0	0,0 g/hr/m ²	

Sala de Reuniones

Gain	Value	Factor	Setback Value	Schedule
 Infiltration	0,83 ach	1,0	0,0 ach	24 Hours
 Ventilation	1,5 ach	1,0	0,0 ach	10-12 y 16-18
 Lighting Gain	12,9 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	10-12 y 16-18
 Occupancy Sensible Gain	24,0 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	10-12 y 16-18
 Occupancy Latent Gain	16,0 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	10-12 y 16-18
 Equipment Sensible Gain	5,0 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	10-12 y 16-18
 Equipment Latent Gain	0,0 W/m ²	1,0	0,0 W/m ²	
 Pollutant Generation	0,0 g/hr/m ²	1,0	0,0 g/hr/m ²	

Zonas no Acondicionadas:

En el caso de las zonas no acondicionadas solo se consideró el parámetro de infiltración con el mismo valor 0,83 ach.

5.4. Simulación del edificio de estudio.

El edificio de estudio en su concepción original no considera la utilización de un EIFS como parte de la solución constructiva de muro. Se simuló con las condiciones y parámetros de operación detalladas en la sección 5.3. para los 365 días del año y se sumó las demandas de calefacción y refrigeración obtenidas para cada día del año. De esta manera, se obtuvo la demanda anual total (calefacción + refrigeración) del edificio sin EIFS.

5.5. Incorporación de EIFS en edificio de estudio para minimizar demanda energética.

Para poder determinar el EIFS a considerar en el estudio, se debe determinar principalmente el espesor de la capa de aislación que debe tener el EIFS para minimizar la demanda energética total anual (calefacción + refrigeración). Esto se realizó mediante la obtención de una tabla con la demanda anual de calefacción y refrigeración para cada variación de la capa de aislación exterior, compuesta en este caso por poliestireno expandido de alta densidad (32 kg/m³) revestido exteriormente por una capa de estuco de 5 mm de espesor, y se seleccionó la especificación de aislación térmica y estuco que minimiza la demanda de energía total (calefacción y refrigeración), utilizando la ecuación (1) descrita en la sección 4.3.3.-

Se simuló el edificio de estudio con ventanas tipo DVH considerando vidrios de transmisividad solar normal. Luego, se simuló el edificio de estudio con ventanas del tipo DVH con vidrios de baja transmisividad solar, obteniendo menores demandas de energía total (calefacción + refrigeración) con los vidrios de baja transmisividad solar que con los vidrios de transmitividad solar normal, por lo que el caso base de estudio considera ventanas tipo DVH con vidrios de baja transmisividad solar.

		HeatingLoad	CoolingLoad	Total	Espesor Aislación EIFS	Reducción Demanda
Edificio sin DVH sin EIFS	Wh-año	83.180.780	34.110.684	117.291.464	0mm	-
	kWh-año	83.181	34.111	117.291		
Edificio con DVH sin EIFS	Wh-año	75.446.976	21.293.483	96.740.459	0mm	-
	kWh-año	75.447	21.293	96.740		
Edificio Caso Base con DVH y EIFS-162	Wh-año	48.467.457	32.124.934	80.592.391	162mm	17%
	kWh-año	48.467	32.125	80.592		
Edificio con DVH y EIFS-70	Wh-año	50.687.324	30.851.470	81.538.794	70mm	16%
	kWh-año	50.687	30.851	81.539		
Edificio con DVH y EIFS-60	Wh-año	51.264.035	30.536.094	81.800.129	60mm	15,4%
	kWh-año	51.264	30.536	81.800		
Edificio con DVH y EIFS-50	Wh-año	52.023.029	30.130.669	82.153.699	50mm	15,1%
	kWh-año	52.023	30.131	82.154		
Edificio con DVH y EIFS-40	Wh-año	53.067.083	29.589.044	82.656.127	40mm	14,6%
	kWh-año	53.067	29.589	82.656		
Edificio con DVH y EIFS-30	Wh-año	54.592.786	28.829.403	83.422.189	30mm	14%
	kWh-año	54.593	28.829	83.422		
Edificio con DVH y EIFS-20	Wh-año	57.036.895	27.679.844	84.716.739	20mm	12%
	kWh-año	57.037	27.680	84.717		
Edificio con DVH y EIFS-10	Wh-año	61.596.000	25.731.771	87.327.771	10mm	10%
	kWh-año	61.596	25.732	87.328		

Nota: Las ventanas tipo DVH son de baja transmisividad solar.

Tabla n°2: Demanda de energía de calefacción y refrigeración para distintos espesores de EIFS.

El % de reducción de la demanda de energía de la Tabla nº2 se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Reducción Demanda} = 100 [E_{c+r} \text{ eo} - E_{c+r} \text{ EIFS}] / E_{c+r} \text{ eo}$$

donde:

- $E_{c+r} \text{ eo}$** : Demanda de energía de calefacción y refrigeración edificio original (con DVH sin EIFS)
- $E_{c+r} \text{ EIFS}$** : Demanda de energía de calefacción y refrigeración edificio mejorado (con DVH con EIFS)

De la Tabla nº2 se selecciona la cantidad de aislación del EIFS que minimiza la demanda energética total anual (calefacción + refrigeración). Es decir, el EIFS óptimo para este edificio en el clima de emplazamiento, consiste en una capa aislante de poliestireno expandido de alta densidad (32 kg/m^3) de 162 mm de espesor y una capa de estuco exterior de 5 mm de espesor, con lo que se consigue una transmitancia térmica de la solución constructiva de muro de $0,19 \text{ (W/m}^2\text{°C)}$.-

Cabe mencionar que la guía Términos de Referencia Estandarizados con Parámetros de Eficiencia Energética y Confort Ambiental para Licitaciones de Diseño y Obra de la Dirección de Arquitectura, según Zonas Geográficas de Chile y según Topología de Edificios [46], propone para el edificio y emplazamiento escogido, una envolvente con $U=0,6 \text{ (W/m}^2\text{°C)}$ lo que se consigue con una capa aislante de poliestireno expandido de alta densidad (32 kg/m^3) de 40mm de espesor y una capa de estuco exterior de 5 mm de espesor, logrando una reducción de la demanda total anual de energía (calefacción + refrigeración) de un 14,6%.-

Con la tecnología actual disponible en forma masiva, la mejora en el desempeño al pasar de un EIFS con $U=0,6 \text{ (W/m}^2\text{°C)}$ a uno con $U=0,19 \text{ (W/m}^2\text{°C)}$ pudiera no ser lo suficientemente atractivo en términos económicos. Por otra parte, si se accede a aislantes térmicos más económicos como el poliestireno expandido de alta densidad, el uso de un aislante de 160mm versus uno de 40mm de espesor conlleva a problemas prácticos al ser aplicado por el exterior. No obstante lo mencionado anteriormente, para efectos de este estudio teórico, se decidió considerar el EIFS con $U=0,19 \text{ (W/m}^2\text{°C)}$ que es el de mejor desempeño en el rango de valores de U definido con el criterio. En la sección 5.6.2. se detalla el criterio para definir el rango de operación del D-EIFS donde se incluye el criterio para elegir $U_{\text{min}} = 0,19 \text{ (W/m}^2\text{°C)}$.-

5.6. Solución constructiva de muro con D-EIFS incorporado:

5.6.1. Modelamiento de un D-EIFS

Una solución constructiva de muro que incorpore un D-EIFS debe permitir la variación de su resistencia térmica frente a variaciones de las condiciones climáticas, con el objetivo de minimizar la demanda total de energía para calefacción y refrigeración.

El modelamiento del D-EIFS consiste esencialmente en variar la resistencia térmica de la solución constructiva de muro mediante una combinación de la variación del espesor del aislante exterior, que en este caso es poliestireno de alta densidad y/o la variación del espesor de la capa de estuco. Variando ambos espesores combinadamente se puede lograr diferentes resistencias térmicas de la solución constructiva de muro.

Para efectos del modelamiento y facilidad, se trabajó con la transmitancia térmica que es el inverso de la resistencia térmica ($\text{Transmitancia Térmica} = U = 1 / \text{Resistencia Térmica}$).

Se generó una tabla que muestra la variación combinada de los espesores de las capas exteriores de aislación y de estuco y el valor correspondiente de U en cada caso, de tal manera de lograr un rango de valores de U con variaciones similares entre cada uno de ellos.

De esta manera, a diferencia de las soluciones constructivas tradicionales que denominamos estáticas y que presentan un valor fijo de transmitancia térmica de la solución constructiva de muro, el D-EIFS presenta un conjunto de valores de transmitancia térmica factibles de presentar; es decir, una tabla de transmitancias térmicas. Las condiciones climáticas incidentes en el edificio sumado al efecto de los parámetros de operación, determinarán cual de las transmitancias térmicas debe presentar el D-EIFS, en cada intervalo de tiempo, para minimizar la demanda total de energía para calefacción y refrigeración en dicho intervalo.

Dado lo anterior, para cada intervalo de tiempo, se requiere realizar las simulaciones necesarias que permitan obtener el valor de transmitancia térmica del D-EIFS que minimiza la demanda energética de calefacción y refrigeración en dicho intervalo de tiempo. Este proceso de búsqueda de la transmitancia térmica óptima en el sentido de ser

aquella que minimiza la demanda de energía para calefacción y refrigeración, debe repetirse para cada intervalo de tiempo definido, para finalmente sumar las demandas energéticas de cada intervalo de tiempo a lo largo del año, y así obtener la demanda de energía de calefacción y refrigeración total anual.

Resumiendo, en el caso de una solución constructiva de muro con un EIFS incorporado, se realiza una sola simulación, puesto que la transmitancia térmica del EIFS es fija, y por lo tanto se obtiene directamente la demanda energética de calefacción y refrigeración para cada día del año y se suman las demandas a lo largo del año para obtener la demanda de energía de calefacción y refrigeración total anual. En el caso del D-EIFS, se deben realizar múltiples simulaciones para determinar cual transmitancia térmica es la óptima para cada intervalo de tiempo definido, y cual es su correspondiente demanda energética de calefacción y refrigeración en el intervalo. Luego, se suman todas las demandas energéticas de cada intervalo para obtener la demanda total anual.

5.6.2. Rango de operación del D-EIFS propuesto.

El Rango de Operación consiste en todas las resistencias térmicas que el D-EIFS puede presentar desde una máxima hasta una mínima. Tal como se indicó en el punto 5.6.1., el rango de operación se definió en base a las transmitancias térmicas factibles de presentar desde una mínima hasta una máxima.

La transmitancia térmica máxima se considero como aquella que es inherente a la solución constructiva de muro del edificio de estudio pero sin EIFS. Esto implica que el D-EIFS teórico sería un elemento que presentaría un efecto de resistencia térmica nula en el extremo superior de su rango de operación. La solución constructiva de muro del edificio de estudio sin EIFS, está compuesta por hormigón armado de 250 mm de espesor y una capa de estuco de 1,28 mm de espesor. Esta solución constructiva de muro según el software de simulación TAS utilizado posee una transmitancia térmica exterior horizontal $U = 3,0$ (W/m²°C) la que será el límite superior del Rango de Operación del D-EIFS.

Por otra parte, la Guía de Eficiencia Energética para Establecimientos Educativos GEEEduc [47] propone en la metodología de estudio de alternativas de diseño de aulas, la realización de simulaciones dinámicas utilizando diferentes tipo de envolventes con distintas transmitancias térmicas, llegando en el límite inferior a una envolvente con una transmitancia térmica $U = 0,19$ (W/m²°C). Para este estudio se

consideró una transmitancia térmica de $U = 0,19$ ($W/m^2°C$) como límite inferior del Rango de Operación del D-EIFS.

Aún cuando el D-EIFS propuesto es una envolvente teórica y se pudo haber escogido un rango de operación teórico más amplio, se consideró representativo de una realidad futura cercana en lo que al desarrollo de nuevas envolventes que llamamos dinámicas se refiere, el hecho de utilizar un rango de operación lograble con capas de aislación existentes en la actualidad. De esta manera, se generó la Tabla n°3 donde se muestran las distintas transmitancias térmicas que el D-EIFS puede presentar en todo su rango de operación, desde una transmitancia térmica máxima de $U = 3,0$ ($W/m^2°C$) hasta una transmitancia térmica mínima de $U = 0,19$ ($W/m^2°C$).

Rango de Operación D-EIFS	
Espesor de Aislación/Estuco (mm)	Valor U_{ext}^* ($W/m^2°C$)
0,28	3,0
0,38	2,8
1,42	2,6
2,61	2,4
3,98	2,2
5,7	2,0
7,1	1,8
9,7	1,6
12,4	1,4
16,5	1,2
21,5	1,0
30,5	0,8
40,5	0,6
71,5	0,4
162,5	0,19

(*) Valor U_{ext} externo horizontal, obtenido de TAS.

Tabla n°3: Rango de Operación del D-EIFS propuesto.

Finalmente, el Rango de Operación del D-EIFS y el modelo a usar en TAS quedan definidos por la Tabla n°3; es decir, el D-EIFS es una envolvente dinámica que puede presentar cualesquiera de las transmitancias térmicas indicadas en la Tabla n°3 y para efectos de simulación, la tabla mencionada muestra como se consigue en TAS cada uno de los valores de transmitancia térmica ya sea variando la capa de aislación exterior que en el modelo propuesto consiste en poliestireno expandido de alta densidad (32 kg/m^3) y/o variando la capa exterior de estuco que puede llegar hasta un máximo de 5 mm de espesor.

5.6.3. Intervalo de tiempo de operación del D-EIFS propuesto.

Tal como se indicó en la sección 4.3.2. paso nº8, para efectos de este estudio, se debe definir cual es el tiempo mínimo que debe transcurrir antes que el D-EIFS teórico propuesto pueda variar su resistencia térmica, para adaptarse a las condiciones cambiantes del clima con el objetivo de lograr las condiciones de confort con la mínima utilización de energía para calefacción y refrigeración.

Si se analiza la forma en que se definió el EIFS a partir de la Tabla nº3, el intervalo de tiempo para el EIFS es 1 año dado que las características de aislación del EIFS se mantienen inalteradas debido al carácter de estático que dicha solución constructiva de muro posee. Entonces, para este estudio los intervalos de tiempo factibles de definir, son todas aquellas menores a 1 año.

La propuesta de definición de un D-EIFS teórico que se presentó en la sección 2.8. implica que el intervalo de tiempo puede ser tan breve como se desee, y mientras más breve sea el intervalo de tiempo, se espera que la reducción de la demanda anual de energía para calefacción y refrigeración disminuya, debido a que la transmitancia térmica óptima que minimiza la demanda de energía de calefacción y refrigeración, se va adaptando con mayor frecuencia a las condiciones climáticas cambiantes. Esto último deberá ser verificado y cuantificado mediante simulación, teniendo presente que el software TAS escogido permite simulaciones con un intervalo mínimo de 1 día.

Para determinar si efectivamente una mayor reducción del intervalo de tiempo se traduce en una mayor reducción de la demanda energética de calefacción y refrigeración, utilizando la metodología descrita en 4.3.2 paso nº10 y usando la Tabla nº3, se realizaron las simulaciones necesarias para obtener la reducción de la demanda energética en los casos de intervalos de tiempo mensual, semanal y diario del mes de marzo, mes que posee un clima cambiante lo que favorece el estudio del efecto que la frecuencia de adaptación de la transmitancia de un D-EIFS tiene sobre la demanda de energía para calefacción y refrigeración.

El Gráfico nº 3 muestra la demanda energética de calefacción y refrigeración de un D-EIFS con un intervalo de tiempo de 1 mes, 1 semana y 1 día, comparado con un EIFS. Se puede establecer que un EIFS es un caso particular de un D-EIFS donde el intervalo del D-EIFS es 1 año, ya que la transmitancia térmica de un EIFS no cambia y permanece constante durante el año y el mayor intervalo de estudio es efectivamente 1 año.

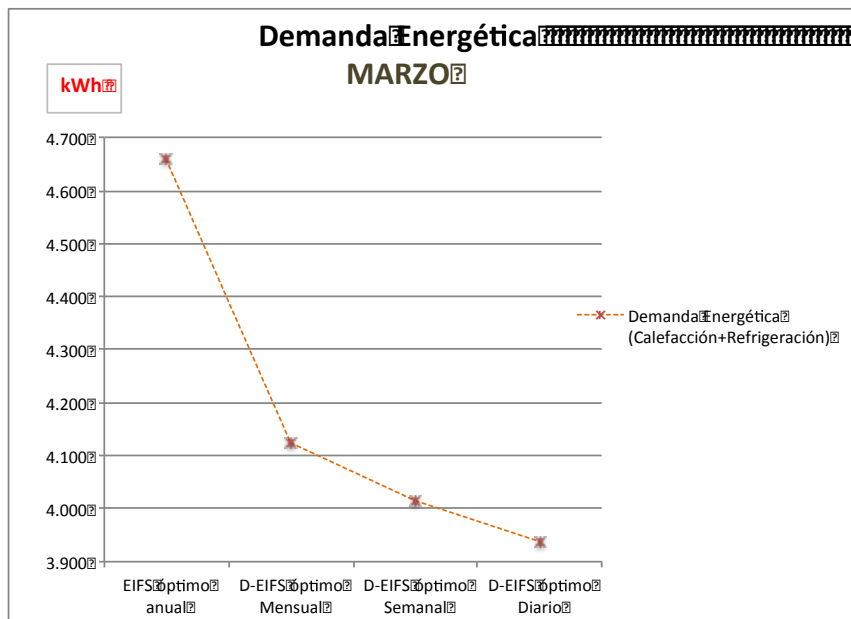


Gráfico nº3: Demanda energética de calefacción y refrigeración del caso Base con EIFS vs el caso Base con D-EIFS para diferentes intervalos de tiempo.

A partir del gráfico, se verifica que a menor intervalo de tiempo mayor es la reducción de la demanda de energía para calefacción y refrigeración. Por otra parte, dada la restricción del software TAS mencionada anteriormente, se establece en 1 día el intervalo de tiempo para este estudio; es decir, el D-EIFS teórico propuesto para efectos de este estudio solo puede cambiar su transmitancia térmica diariamente y no con una mayor frecuencia.

5.6.4.- Método de búsqueda de transmitancia del D-EIFS que minimiza la demanda energética.

Para definir un método de búsqueda del valor de la transmitancia térmica del D-EIFS que minimiza la demanda energética de calefacción y refrigeración en un intervalo de tiempo, se tomó como mes de estudio el mes de Marzo y se consideró un intervalo de tiempo de 1 mes. Se varió la transmitancia térmica del D-EFIS recorriendo todo el rango, según lo especificado en la Tabla n°3, y para cada valor de dicha tabla mediante simulación, se obtuvo la demanda energética de calefacción y refrigeración del mes y el resultado se muestra en el Gráfico n°4.-

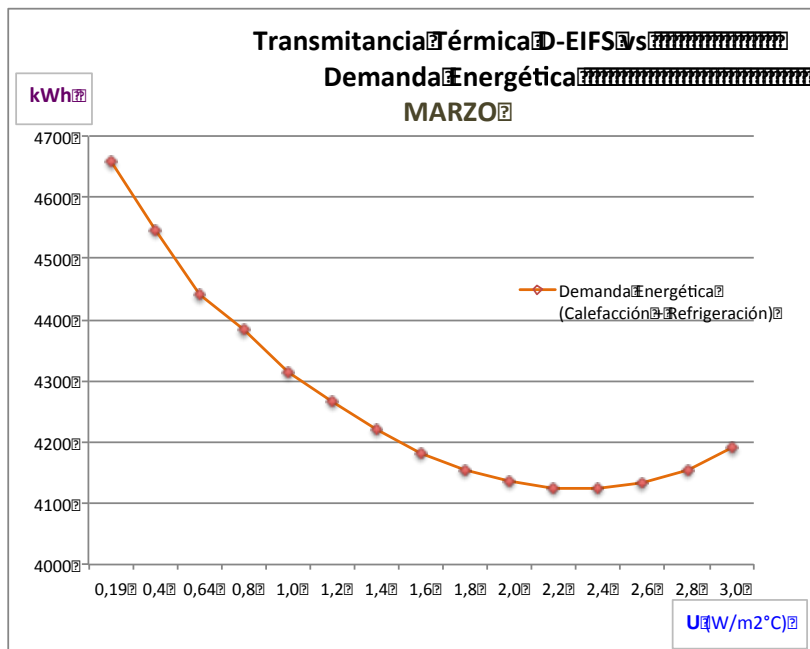


Gráfico n°4: Demanda energética mes de marzo para cada valor de U dentro del rango de operación del D-EIFS teórico propuesto.

La relación entre la demanda energética y el valor de U del D-EIFS propuesto es cuadrática. Se utilizó MATLAB R2015b para obtener la ecuación que lo representa y que es la siguiente:

$$y(x) = 121,6x^2 - 553x + 4752,7 \tag{5}$$

y el valor de x que minimiza la función y(x) se obtiene igualando a cero la 1era derivada de la ecuación (5):

$$dy(x)/dx = 243,2x - 553 = 0 \quad \text{donde se obtiene:}$$

$$x = 2,3 \quad (x = U = 2,2 \text{ o } 2,4, \text{ según la Tabla n}^\circ 3)$$

El valor de U que minimiza la demanda energética en un intervalo dado, podría estar en cualquier punto del rango de operación del D-EIFS, dependiendo de las características de la curva Demanda Energética vs U, lo que determinará la ubicación del punto de inflexión. Por ejemplo, si se simula y obtiene la demanda energética para los 2 valores extremos dentro del rango (U=0,19 y U=3,0), si la relación fuese lineal se puede establecer que el valor de U que minimiza la demanda de energía es U=3,0 dado que la demanda obtenida es menor con U=3,0 que con U=0,19, sin tener la necesidad de realizar más simulaciones.

Al ser cuadrática la relación, se requerirá comenzar a simular desde un extremo del rango de operación hasta que se encuentre el punto de inflexión.

Debido a lo anterior, se optó por desarrollar una planilla en Excel 2011 para OSX versión 14.6.8, donde se escribió una macro para procesar los datos exportados desde TAS y facilitar la obtención de las demandas energéticas. Se copian los datos desde TAS a la planilla Excel y se ejecuta la macro para ordenarlos de tal manera de facilitar la búsqueda del mínimo. Este procedimiento se realizó para cada valor U dentro del rango de operación del D-EIFS.

La Tabla N^o4 muestra la simulación completa del mes de marzo realizada con en el software TAS donde marzo se configura como la suma de las demandas desde el día 60 hasta el día 90 del año, ambos inclusive. El resultado de la simulación arroja la demanda energética de calefacción y refrigeración para cada día del mes. Esta operación se repitió para cada valor de U dentro del rango de operación del D-EIFS (ver Tabla N^o 3). En la Tabla n^o4 se puede visualizar con fondo verde las demandas energéticas (calefacción y refrigeración) mínimas de cada día y al final de la tabla un resumen con el U óptimo de cada día que minimiza la demanda energética de calefacción y refrigeración.

El Gráfico n^o5 presenta el valor de la transmitancia térmica óptima (U) para cada día del mes de marzo y también una línea recta con U= 0,19 que representa el valor U óptimo para un EIFS que es el caso particular de un D-EIFS pero con óptimo anual.

La última columna de la derecha en la Tabla N°4 (Total) corresponde a la suma de las demandas energéticas de calefacción y refrigeración de cada día y para cada valor de U dentro del rango de operación. Se observa que la demanda energética mínima del mes corresponde a 4.124 kWh que está con fondo gris, y se obtiene cuando el D-EIFS presenta una transmitancia térmica $U=2,4$. Es decir, el valor de U óptimo mensual para el mes de marzo corresponde a $U=2,4$.

Por otra parte, el valor de U que minimiza la demanda energética de calefacción y refrigeración del año, se determinó a partir de la Tabla N°2 y corresponde a un valor de $U=0,19$ mostrado con fondo naranja en la tabla e igual a 4.660 kWh al año.

Simulación D-EIFS búsqueda óptimo diario

Esesor D-EIFS Aislación/Estuco (mm)	Valor U (W/m ² °C)	Día 60	Día 61	Día 62	Día 63	Día 64	Día 65	Día 66	Día 67	Día 68	Día 69	Día 70	Día 71	Día 72	Día 73	Día 74	Día 75	Día 76	Día 77	Día 78	Día 79	Día 80	Día 81	Día 82	Día 83	Día 84	Día 85	Día 86	Día 87	Día 88	Día 89	Día 90	Total
0/1,28	3,0	204	144	0	0	185	98	221	246	266	0	0	287	159	237	224	232,6	0	0	232	255	249	104	98,7	0	0	161	178	131,72	74	204	0	4.191
0,4/3,38	2,8	208	147	0	0	183	97	216	239	252	0	0	283	158	234	222,9	232,3	0	0	235	257	251	106	99,1	0	0	157	176	131,84	72	199	0	4.155
1,3/3,42	2,6	212	151	0	0	181	96,7	212	233	240	0	0	279	157	232	222,5	233,0	0	0	238	260	252	108	100	0	0	154	175	132,4	70	196	0	4.133
2,6/2,1	2,4	217	155	0	0	180	96,6	209	228	230	0	0	274	157	231	222,8	234	0	0	241	263	255	111	101	0	0	151	174	133	69	193	0	4.124
3,9/1,83	2,2	221	159	0	0	179,4	97,2	207	224	220	0	0	270	156,4	230,4	224	236	0	0	245	266	258	114	102	0	0	148	172,8	135	68,3	191	0	4.125
5/4	2,0	226	164	0	0	179,3	98	206	221	213	0	0	266	156,5	230,2	225	238	0	0	248	270	261	117	104	0	0	146	172,7	137	68,0	190	0	4.136
7/3,1	1,8	230	169	0	0	179,9	99	205,2	219	205	0	0	262	157	230,4	226	241	0	0	253	275	265	120	106	0	0	145	172,8	138	67,84	189,2	0	4.155
9/4,7	1,6	235	174	0	0	181	101	205,3	217	199	0	0	258	157	231	228	244	0	0	257	279	269	124	108	0	0	144	173,4	140	68,0	189,1	0	4.183
12/4,4	1,4	240	179	0	0	183	104	206	216	193	0	0	254	158	232	230	247	0	0	262	283	274	128	111	0	0	142,8	174	143	69	189,5	0	4.220
16/5	1,2	246	185	0	0	186	107	208	214,8	188	0	0	251	160	233	233	251	0	0	267	288	279	132	114	0	0	142,3	176	146	69	190,2	0	4.266
21/5	1,0	251	190	0	0	189	110	210	214,3	183	0	0	248	162	235	236	255	0	0	272	293	283	137	117	0	0	142,4	177	149	70	191	0	4.315
30/5	0,8	258	196	0	0	193	115	213	214,5	178	0	0	246	165	238	239	260	0	0	278	298	289	142	121	0	0	143	180	153	71	193	0	4.385
40/5	0,64	262	201	0	0	197	119	216	215,1	175	0	0	244	167	240	242	264	0	0	283	303	294	146	124	0	0	144	183	156	72	194	0	4.443
71/5	0,4	271	209	0	0	204	125	221	217	171	0	0	242,90	173	244	248	271	0	0	292	310	302	153	130	0	0	147	187	161	75	197	0	4.548
162/5	0,19	278	216	0	0	211	132	226	219	168	0	0	242,88	178	249	254	277	0	0	301	317	310	159	135	0	0	150	192	167	77	200	0	4.660

Base Diaria		Día 60	Día 61	Día 62	Día 63	Día 64	Día 65	Día 66	Día 67	Día 68	Día 69	Día 70	Día 71	Día 72	Día 73	Día 74	Día 75	Día 76	Día 77	Día 78	Día 79	Día 80	Día 81	Día 82	Día 83	Día 84	Día 85	Día 86	Día 87	Día 88	Día 89	Día 90	Total
kWh (calef+refrig)		204	144	0	0	179	97	205	214	168	0	0	243	156	230	222	232,3	0	0	232	255	249	104	99	0	0	142	173	132	68	189	0	3.938
U óptimo diario		3,0	3,0	2,4	2,2	2,0	2,4	1,8	1,0	0,19	0,19	0,19	0,19	2,2	2,0	2,6	2,8	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,2	1,6	1,2	2,0	3,0	1,8	1,6	1,4	

Tabla n°4: Ejemplo de búsqueda para el mes de marzo del valor U que minimiza para cada día, la demanda energética de calefacción y refrigeración.

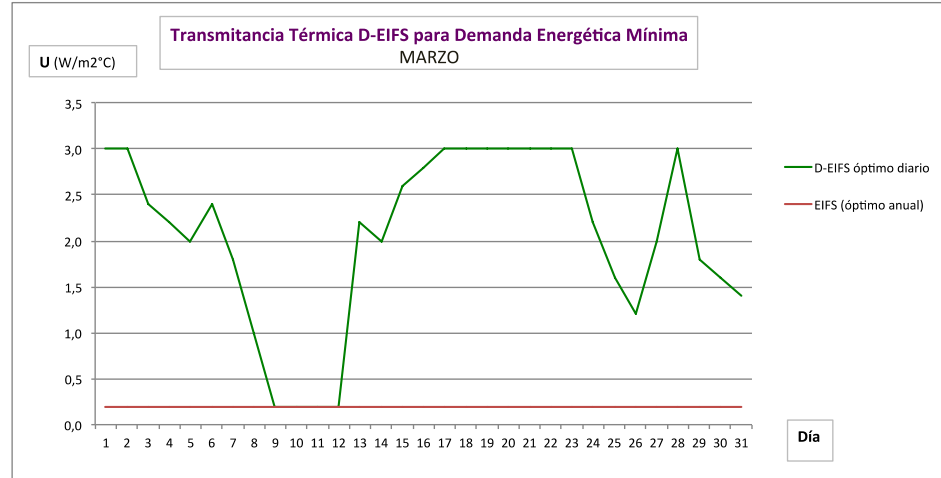


Gráfico n° 5: Transmitancia térmica (U) óptima que minimiza demanda energética de calefacción y refrigeración para cada día del mes de marzo.

Para la obtención de la demanda de energía de calefacción y refrigeración mediante el software TAS utilizado, se separó las simulaciones en grupos donde cada grupo correspondió a un mes. Para cada mes, el resultado de la simulación arroja la demanda energética de cada día del mes en una simulación, por lo que fue necesario realizar 15 simulaciones por mes; es decir, una simulación por mes para cada una de las transmitancias térmicas que puede presentar el D-EIFS indicadas en la Tabla nº3.-

La Tabla Nº5 muestra la división de días usada en el software TAS para obtener la demanda diaria para cada uno de las transmitancias térmicas del D-EIFS.

Mes	Desde día	hasta día	nº de días del mes
enero	1	31	31
febrero	32	59	28
marzo	60	90	31
abril	91	120	30
mayo	121	151	31
junio	152	181	30
julio	182	212	31
agosto	213	243	31
septiembre	244	273	30
octubre	274	304	31
noviembre	305	334	30
diciembre	335	365	31
Total Anual			365

Tabla Nº5: Separación en grupos para simulación del D-EIFS y obtención U óptimo diario.

El equivalente a la Tabla Nº4 y Gráfico Nº5 para cada mes del año se presenta en el Anexo “Tablas con transmitancia térmica óptima y demanda energética mínima”.

6. Resultados

6.1. Demanda energética del edificio de estudio sin y con EIFS incorporado.

La Tabla N°6 presenta el resultado de la simulación del edificio de estudio en su diseño original sin EIFS y con un EIFS incorporado. El EIFS posee 162mm de aislación y 5mm de estuco tal como se detalla en la sección 5.5.-

Ahorro EIFS vs sin EIFS Edificio de Estudio

Mes	Demanda Total sin EIFS (kWh)	Demanda Total con EIFS 162mm (kWh)	Ahorro (kWh)	Ahorro EIFS 162mm vs sin EIFS (%)
enero	5.396	7.298	-1.903	-35%
febrero	4.209	5.383	-1.174	-28%
marzo	4.191	4.660	-469	-11%
abril	6.137	5.208	929	15%
mayo	9.126	6.277	2.849	31%
junio	13.616	9.629	3.987	29%
julio	17.837	12.794	5.043	28%
agosto	14.813	10.293	4.520	31%
septiembre	8.388	5.562	2.826	34%
octubre	5.502	4.007	1.495	27%
noviembre	3.836	4.330	-494	-13%
diciembre	3.689	5.037	-1.348	-37%
Total Anual	96.740	80.480	16.261	17%
kWh/m2-año	34	28		

Tabla N°6: Demanda energética de calefacción y refrigeración caso sin EIFS y con EIFS incorporado.

6.2. Demanda energética del edificio de estudio con D-EIFS incorporado.

La Tabla N°7 presenta el resultado de la simulación del edificio de estudio en su diseño original sin EIFS y con un D-EIFS incorporado, con un intervalo de tiempo diario y con el rango de operación definidos en el modelo de D-EIFS presentado en la sección 5.6.-

Ahorro D-EIFS vs sin EIFS Edificio de Estudio

Mes	Demanda Total sin EIFS (kWh)	Demanda Total con D-EIFS (*) (kWh)	Ahorro D-EIFS vs sin EIFS (kWh)	Ahorro D-EIFS vs sin EIFS (%)
enero	5.396	5.391	4	0,1%
febrero	4.209	4.138	71	2%
marzo	4.191	3.938	253	6%
abril	6.137	4.846	1.291	21%
mayo	9.126	6.277	2.849	31%
junio	13.616	9.629	3.987	29%
julio	17.837	12.794	5.043	28%
agosto	14.813	10.293	4.520	31%
septiembre	8.388	5.518	2.871	34%
octubre	5.502	3.885	1.618	29%
noviembre	3.836	3.441	395	10%
diciembre	3.689	3.634	55	1%
Total Anual kWh/m2-año	96.740	73.784	22.956	24%
	34	26		

(*) Rango de Operación del D-EIFS considera valores de Transmitancia Térmica entre 0,19 y 0,04 W/m2°C).
 Para cada día del mes se obtuvo el valor de U óptimo diario que minimiza la demanda energética, y se sumó las demandas diarias para obtener la demanda energética mensual.

Tabla N°7: Demanda energética de calefacción y refrigeración caso sin EIFS y con D-EIFS incorporado.

El Gráfico N°6 presenta las demandas energéticas de calefacción y refrigeración detalladas en las Tablas N°6 y N°7, correspondientes al edificio de estudio en sus caso original sin EIFS, con EIFS de 162mm y con D-EFIS donde el intervalo de tiempo definido para búsqueda del U óptimo es 1 día.

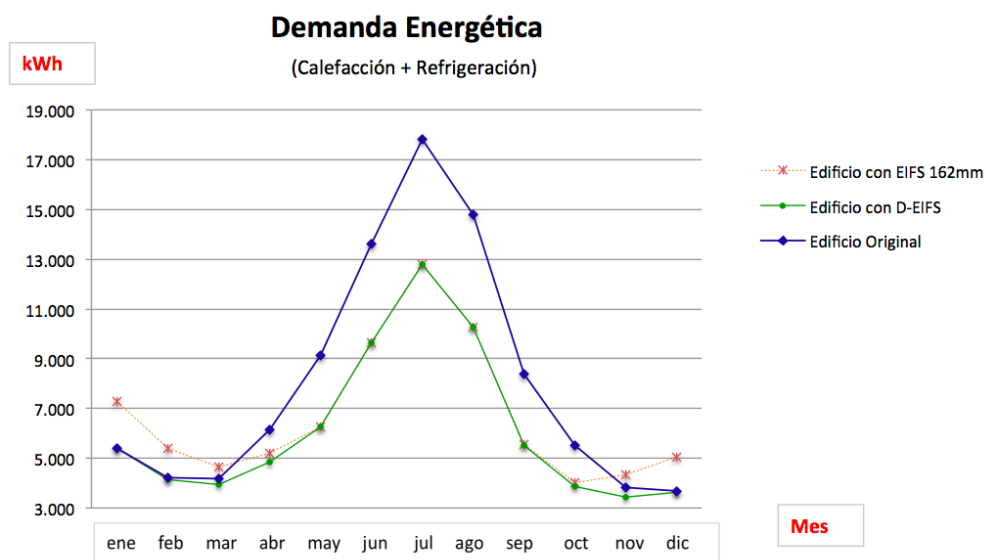


Gráfico N°6: Demanda de energía calefacción y refrigeración casos sin EIFS, con EIFS 162mm y con D-EIFS.

6.3. Comparación demanda energética EIFS versus D-EIFS.

La Tabla N° 8 presenta en forma conjunta los resultados de las Tablas N°6 y N°7.

Ahorro D-EIFS vs EIFS edificio de Estudio

Mes	Demanda Total sin EIFS (kWh)	Demanda Total con D-EIFS (*) (kWh)	Ahorro D-EIFS vs sin EIFS (kWh)	Ahorro D-EIFS vs sin EIFS (%)	Ahorro EIFS 162mm vs sin EIFS (kWh)	Ahorro EIFS 162mm vs sin EIFS (%)
enero	5.396	5.391	4	0,1%	-1.903	-35%
febrero	4.209	4.138	71	2%	-1.174	-28%
marzo	4.191	3.938	253	6%	-469	-11%
abril	6.137	4.846	1.291	21%	929	15%
mayo	9.126	6.277	2.849	31%	2.849	31%
junio	13.616	9.629	3.987	29%	3.987	29%
julio	17.837	12.794	5.043	28%	5.043	28%
agosto	14.813	10.293	4.520	31%	4.520	31%
septiembre	8.388	5.518	2.871	34%	2.826	34%
octubre	5.502	3.885	1.618	29%	1.495	27%
noviembre	3.836	3.441	395	10%	-494	-13%
diciembre	3.689	3.634	55	1%	-1.348	-37%
Total Anual	96.740	73.784	22.956	24%	16.261	17%

(*) Rango de Operación del D-EIFS considera valores de Transmitancia térmica entre 0,19 y 3,0 (W/m²°C).
 Para cada día del mes se obtuvo el valor de U óptimo diario que minimiza la demanda energética, y se sumó las demandas diarias para obtener la demanda energética mensual.

Tabla N°8: Demandas energéticas con EIFS 162mm y con D-EIFS.-

La Tabla n°9 muestra la comparación de la reducción de la demanda energética de calefacción y refrigeración que logra el D-EIFS comparado con el EIFS 162mm para el edificio de referencia y el clima seleccionado

Ahorro D-EIFS vs EIFS edificio de Estudio

Mes	Demanda Total con D-EIFS (*) (kWh)	Demanda Total con EIFS 162mm (kWh)	Ahorro (kWh)	% Ahorro D-EIFS vs EIFS 162mm
enero	5.391	7.298	1.907	26%
febrero	4.138	5.383	1.245	23%
marzo	3.938	4.660	722	15%
abril	4.846	5.208	362	7%
mayo	6.277	6.277	0	0%
junio	9.629	9.629	0	0%
julio	12.794	12.794	0	0%
agosto	10.293	10.293	0	0%
septiembre	5.518	5.562	44	1%
octubre	3.885	4.007	122	3%
noviembre	3.441	4.330	889	21%
diciembre	3.634	5.037	1.403	28%
Total Anual	73.784	80.480	6.696	8%

(*) Rango de Operación del D-EIFS considera valores de Transmitancia térmica entre 0,19 y 3,0 (W/m²°C).
 Para cada día del mes se obtuvo el valor de U óptimo diario que minimiza la demanda energética, y se sumó las demandas diarias para obtener la demanda energética mensual.

Tabla N°9: Comparación demandas energéticas y ahorro D-EIFS vs EIFS 162mm.-

El Gráfico n°7-a presenta el % de reducción de la demanda energética que logra el D-EIFS por sobre un EIFS de 162 mm aplicados en el edificio de estudio para el clima seleccionado.

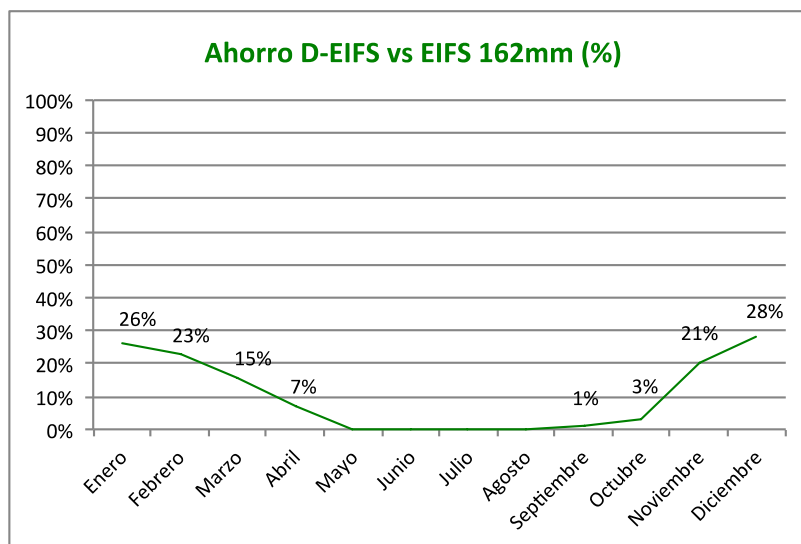


Gráfico n° 7-a: Reducción demanda energética del D-EIFS versus EIFS caso de estudio.

La Tabla N°10 presenta la comparación de las demandas totales de energía del edificio con el D-EIFS propuesto versus con EIFS de 162mm, para grupos de meses que representan una realidad cercana a las 4 estaciones del año. El objetivo de esta comparación es evidenciar la variabilidad que un D-EIFS posee sobre la demanda de energía de calefacción y refrigeración para diferentes tipos de clima, considerando que cada agrupación de meses escogida, se puede asemejar a climas diferentes.

Agrupación Climática	Desde día	hasta día	n° de días del mes	Total con D-EIFS (*) (kWh)	Total con EIFS 162mm (kWh)	Ahorro D-EIFS vs EIFS 162mm (kWh)	Ahorro D-EIFS vs EIFS 162mm (%)
Diciembre	335	365	31	3.634	5.037	1.403	28%
Enero	1	31	31	5.391	7.298	1.907	26%
Febrero	32	59	28	4.138	5.383	1.245	23%
Grupo Tipo Verano				13.163	17.719	4.556	26%
Marzo	60	90	31	3.938	4.660	722	15%
Abril	91	120	30	4.846	5.208	362	7%
Mayo	121	151	31	6.277	6.277	0	0%
Grupo Tipo Otoño				15.061	16.145	1.084	7%
Junio	152	181	30	9.629	9.629	0	0%
Julio	182	212	31	12.794	12.794	0	0%
Agosto	213	243	31	10.293	10.293	0	0%
Grupo Tipo Invierno				32.716	32.716	0	0%
Septiembre	244	273	30	5.518	5.562	44	1%
Octubre	274	304	31	3.885	4.007	122	3%
Noviembre	305	334	30	3.441	4.330	889	21%
Grupo Tipo Primavera				12.844	13.899	1.055	8%
Total Anual				143.935	155.922	11.988	8%

(*) Rango de Operación del D-EIFS considera valores de Transmitancia Térmica entre 0,19 y 0,03 W/m²°C.

Para cada día del mes se obtuvo el valor de U óptimo que minimiza la demanda energética.

Tabla N°10: Comparación reducción demanda de energía de un D-EIFS para diferentes agrupaciones climáticas.

El Gráfico n° 7-b, extraído de la Tabla n°10, presenta el % de reducción de la demanda energética que logra el D-EIFS respecto a la reducción de la demanda energética que logra un EIFS de 162 mm, para grupos de meses que representan una realidad cercana a las 4 estaciones del año.

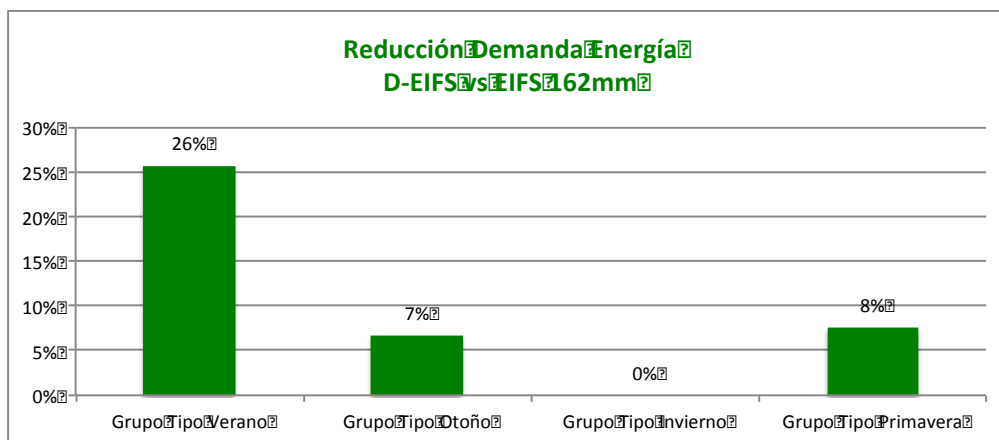


Gráfico n° 7-b: Reducción demanda energética del D-EIFS versus EIFS para grupos similares a las estaciones del año.

6.4. Transmitancia térmica óptima del D-EIFS.

Para cada mes del año siguiendo la metodología descrita, se obtuvo la transmitancia térmica óptima del D-EIFS que minimiza la demanda total de calefacción y refrigeración del mes. En este caso el intervalo de tiempo se definió en 1 mes para poder compararlo con el intervalo escogido de 1 día y visualizarlo en un gráfico. El Gráfico N° 8 muestra el valor de la transmitancia térmica U óptima del D-EIFS que minimiza la demanda energética de calefacción y refrigeración de cada mes. Es decir, el D-EIFS mantiene durante 1 mes el valor de U que minimiza en ese mes la demanda energética y puede cambiarlo al mes siguiente.

De la misma manera, los Gráficos N°9-a y N°9-b muestran el valor de la transmitancia térmica U óptima del D-EIFS que minimiza la demanda energética de calefacción y refrigeración de cada día, mediante una representación de puntos unidos por líneas rectas, y de barras respectivamente.

D-EIFS Óptimo Mensual para minimizar Demanda de Calefacción y Refrigeración

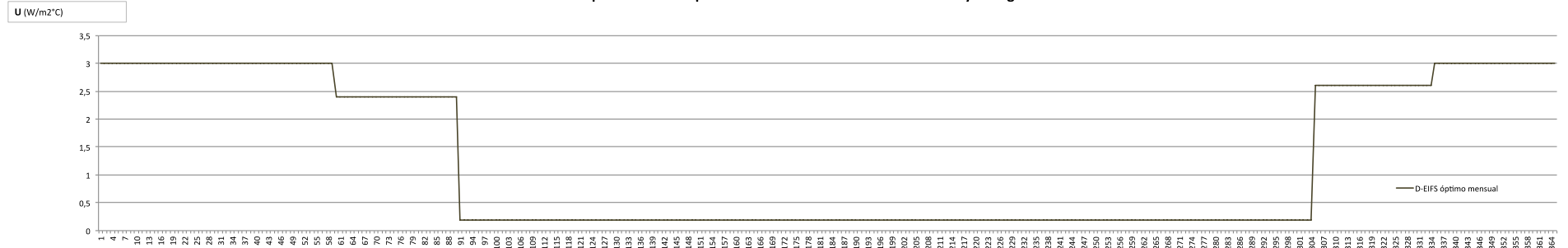


Gráfico N°8: Transmitancia térmica óptima mensual del D-EIFS para edificio de estudio, mostrada para cada día del año.

D-EIFS Óptimo Diario para minimizar Demanda de Calefacción y Refrigeración

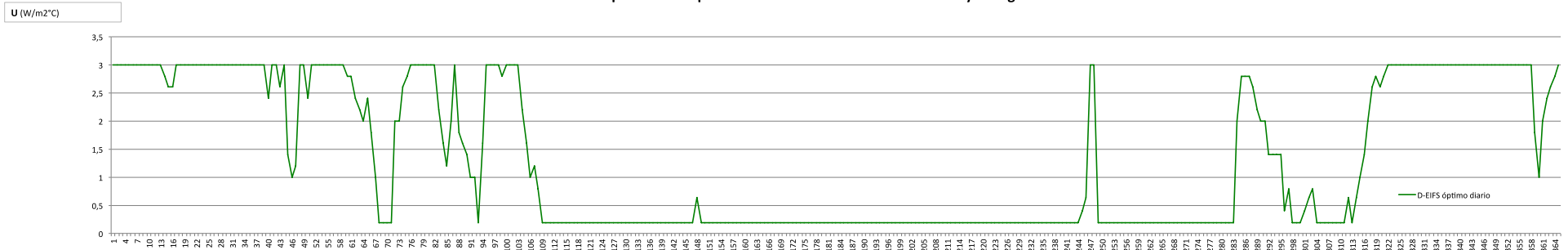


Gráfico N°9-a: Transmitancia térmica óptima diaria del D-EIFS para edificio de estudio, mostrada para cada día del año.

D-EIFS Óptimo Diario para minimizar Demanda de Calefacción y Refrigeración

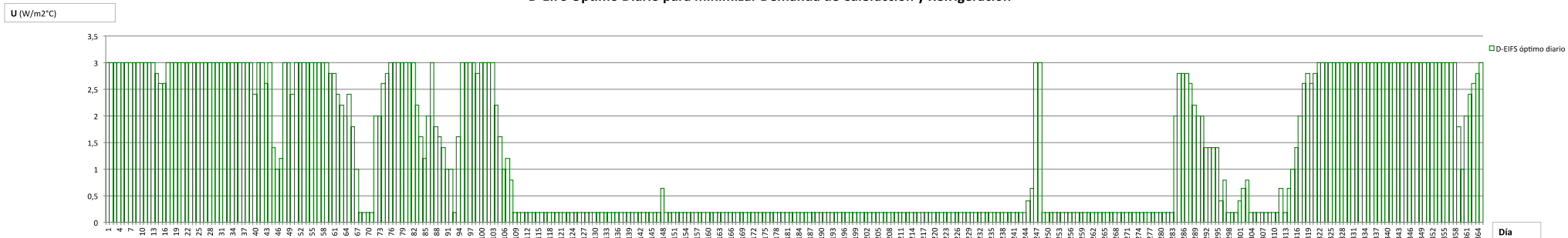


Gráfico N°9-b: Transmitancia térmica óptima diaria del D-EIFS para edificio de estudio, mostrada para cada día del año.

6.5. Comparación transmitancia térmica óptima para distintos intervalos de tiempo de operación.

Con la misma metodología descrita en el punto 5.6.4. se obtuvo el óptimo semanal para el mes de marzo. En el Gráfico N°10 se presenta el valor de U óptimo para los intervalos de tiempo anual, mensual, semanal y diario.

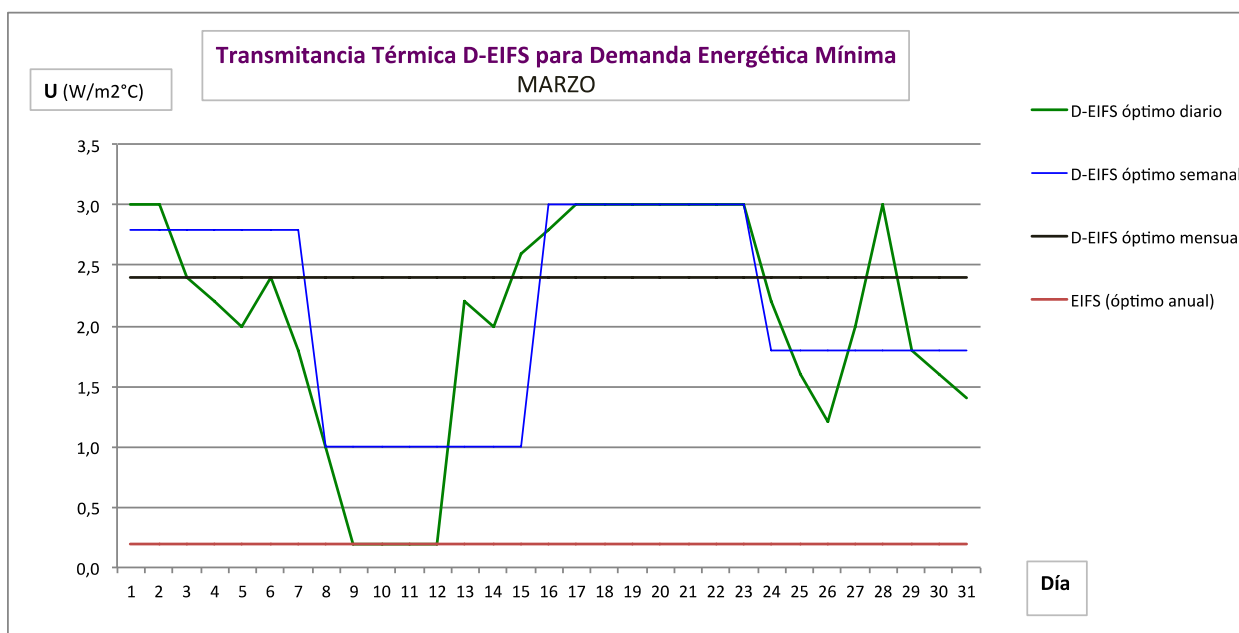


Gráfico n° 10: Transmitancia térmica (U) óptima anual, mensual, semanal y diaria del mes de marzo.

El D-EIFS puede asumir diferentes valores de transmitancia térmica (U) dentro del rango definido en la Tabla n° 3, con el objetivo de adaptarse a las condiciones climáticas para lograr minimizar la demanda de energía de calefacción y refrigeración. El Gráfico n° 11 muestra la cantidad de días para cada mes en que el valor de U óptimo es igual al valor del extremo inferior de la Tabla n°3 es decir a $U_{min}=0,19$ (W/m²°C), la cantidad de días en que el valor de U óptimo es igual al valor del extremo superior de la Tabla n°3 es decir a $U_{max}=3,0$ (W/m²°C), o la cantidad de días en que el valor de U óptimo es igual a algún valor de U ubicado dentro del rango de operación, al que se le llama U intermedio, donde: $U_{min} < U_{intermedio} < U_{max}$.

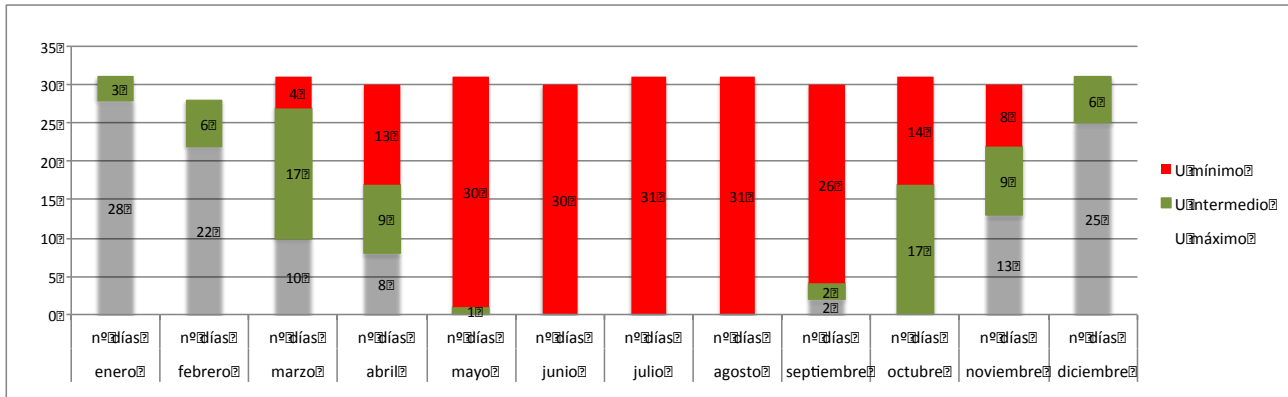


Gráfico nº 11: Cantidad de días para cada mes en que U óptimo es igual a U máximo, U intermedio o U mínimo.

El Gráfico nº12 muestra la cantidad de días en el año en que el valor de U óptimo fue el extremo inferior de la Tabla nº3 correspondiente a $U_{min}=0,19$ ($W/m^2\text{°C}$), el extremo superior de la Tabla nº3 correspondiente a $U_{max}=3,0$ ($W/m^2\text{°C}$) o algún valor de U ubicado dentro del rango de operación al que se le llama U intermedio, donde: $U_{min} < U_{intermedio} < U_{max}$.

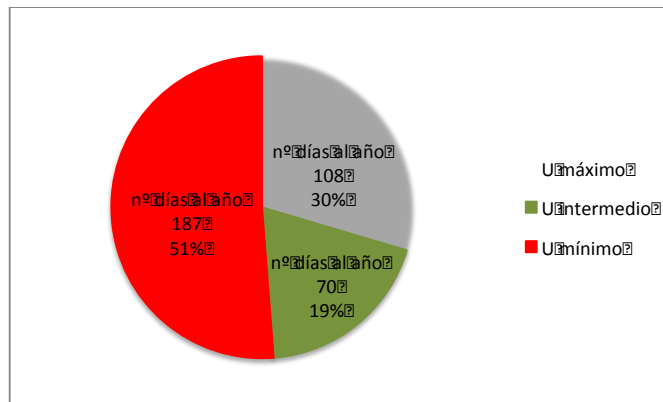
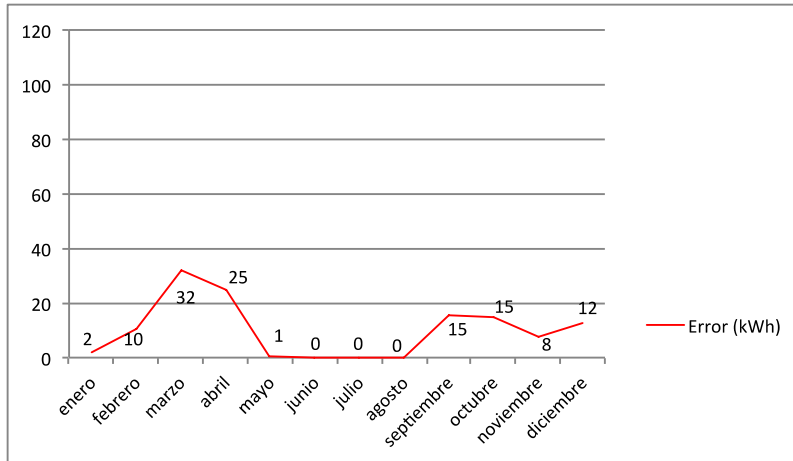


Gráfico nº 12: Cantidad de días al año en que U máximo, U intermedio y U mínimo son U óptimo.

6.6. Estimación del error en la obtención de la demanda de energía.

La estimación del error se realizó según lo expuesto en la sección 4.3.3. haciendo uso de la ecuación (3).- El Gráfico nº13 y la Tabla Nº 11 muestran el resultado del cálculo del error para cada mes, asociado a la estimación de la demanda de energía anual de calefacción y refrigeración.



Sumatoria de la media del Diferencial de Energía usando ecuación (3) [kWh]	
enero	2
febrero	10
marzo	32
abril	25
mayo	1
junio	0
julio	0
agosto	0
septiembre	15
octubre	15
noviembre	8
diciembre	12
Total	120

Gráfico nº 13 y Tabla nº 11: Error en la determinación del desempeño del D-EIFS aplicado al edificio de estudio.

El error de la demanda anual total con D-EIFS obtenida usando la metodología propuesta en esta investigación, se calcula usando la ecuación (4) :

$$\text{error anual (\%)} = 100 (\text{Error}_{(i=1 \text{ a } 364)} / E_{c+r}) = 120 \text{ kWh} / 73.784 \text{ kWh (\%)} \dots\dots\dots (5)$$

error anual = 0,16 %

7. Discusión y propuestas de mejoras en el desempeño de un D-EIFS.

De la revisión de la literatura en relación a las envolventes adaptivas tipo CABS, no existe un acuerdo respecto a como evaluar el desempeño de este tipo de envolventes, y se considera que la estimación del potencial de reducción de la demanda energética de una envolvente opaca adaptiva es una tarea difícil de realizar [19].

La literatura muestra que las investigaciones tendientes a evaluar el desempeño de las envolvente tipo CABS se han desarrollado utilizando software desarrollado a la medida para integrar mayoritariamente Energy Plus con software de optimización tales como GenOpt y MatLab [45]. No se encontró en la literatura investigaciones realizadas con software integrados tales como TAS o DesignBuilder, dado que dichos software presentan limitaciones para poder modelar y simular un edificio con una envolvente adaptiva de resistencia térmica variable incorporada. Las limitaciones principales encontradas al software TAS utilizado se resumen a continuación:

- Incapacidad para simular una envolvente dinámica de resistencia térmica variable.
- Ausencia de la posibilidad de ejecutar varias simulaciones tipo “batch” donde se varíe un parámetro en cada simulación, obtenido de un archivo externo o programado en una tabla.
- Intervalo mínimo de tiempo entre simulaciones para obtención de la demanda de energía para calefacción y refrigeración es de 1 día.
- Incapacidad de fijar en forma externa condiciones iniciales antes de una simulación.
- Incapacidad para realizar una optimización multivariable
- Incapacidad para utilizar algoritmos del tipo RHC.

Estas limitaciones fueron subsanadas parcialmente mediante la metodología propuesta la que se sustentó y resolvió de la siguiente manera:

- i. Se utilizó diferentes espesores de aislación y estuco para representar los diferentes estados del D-EIFS de transmitancia térmica variable, los que se muestran en la Tabla N°3, permitiendo “modelar” el D-EIFS en TAS y lograr un rango de operación de 15 estados. El modelo implica necesariamente 15 simulaciones para cada intervalo de tiempo, tal como se describe en iv.-
- ii. Para el edificio de oficinas de referencia, se consideró un patrón de ocupación típico que se extiende desde las 8:00 hasta las 18:00 horas, sin exigencias de confort fuera de este período. Dado lo anterior, la constante térmica del edificio calculada usando las tablas y gráficos obtenidas por Asan H. [42] y otros estudios

citados por Rodríguez, G. [43] se encuentra entre 6,8 y 10 horas, y cercano a 7,5 horas respectivamente, la que resultó menor que el intervalo de tiempo entre cambios en la transmitancia térmica del D-EIFS, pudiendo usar entonces la ecuación (2) que es válida para sistemas no dominados por el retardo de tiempo [18].

- iii. La situación anterior permite que las condiciones finales luego de un cambio en la transmitancia térmica del D-EIFS, sean a su vez las condiciones iniciales para el período siguiente, permitiendo una simulación continua como se explicará en iv.-
- iv. Con lo resuelto en i) y ii) se diseñó la metodología que consiste en simular y obtener la demanda energética diaria (calefacción y refrigeración) de un mes completo, para cada valor de transmitancia térmica U del rango de operación (15 valores de U), y se escogió el valor de transmitancia térmica U que minimiza la demanda de energía de calefacción y refrigeración para cada día.
- v. Dada la cantidad de simulaciones y datos, se diseñó en una planilla Excel una macro para procesar los datos y obtener el mínimo cada día, y luego sumar las demandas mínimas a lo largo del período de estudio.
- vi. Para efectos de análisis y facilidad de proceso de datos, se separó la problemática en meses y se realizó la metodología obteniendo resultados parciales para cada mes y sumando estos resultados a lo largo del año.
- vii. Según lo investigado por Favoino F., Jin, Q., y Overend M. [16] mientras más corto es el período en que la transmitancia térmica variable puede cambiar de estado para adaptarse, mayor es la reducción de la demanda de energía, lo que se verifica en el Gráfico nº3 para el mes de marzo tomado como referencia, y se visualiza de una manera diferente en el Gráfico nº10. Entonces, se determinó como objetivo utilizar el menor intervalo de tiempo posible, limitado en este caso por TAS (1 día) dado que la constante de tiempo del edificio resultó menor a 1 día.

Utilizando la fórmula de cálculo (4) y (5) se obtuvo un error de 0,16% de la demanda anual, para la metodología usada para calcular la demanda energética anual de calefacción y refrigeración.

Las limitaciones que no pudieron ser subsanadas son las siguientes:

- a) Optimización multivariable.
- b) Implementación de algoritmo tipo RHC.
- c) Intervalo de tiempo menor a 1 día.

Desempeño Energético del D-EIFS

La Tabla nº8 muestra que la incorporación del mejor EIFS al edificio de referencia logra un 17% de reducción de la demanda de energética calefacción y refrigeración respecto al edificio sin EIFS, y que la incorporación de un D-EIFS al edificio logra un 24% de reducción de la demanda energética de calefacción y refrigeración respecto al edificio sin EIFS.-

La Tabla nº9 muestra que el D-EIFS permite reducir en un 8% la demanda de energía de calefacción y refrigeración, respecto al mismo edificio al que se le incorpore el mejor EIFS. Cabe destacar que el EIFS escogido (EIFS 162mm) es superior en desempeño al EIFS propuesto por los TDR [46], que, a su vez es superior en desempeño a una solución de aislación térmica exigida por la normativa Chilena vigente, por lo que la base de comparación es un edificio con un elevado desempeño energético. Otras investigaciones teóricas han llegado a estimar entre un 6% y un 10% la reducción de la demanda de energía para calefacción y refrigeración de un edificio de referencia que posee una envolvente adaptiva de resistencia térmica variable incorporada [8] .

Otra investigación con una envolvente adaptiva aplicada por el interior y el exterior, usando un intervalo de tiempo de 3 horas, y con un control de la adaptabilidad de la envolvente que permite bajar la temperatura de la masa térmica por medio de una menor resistencia térmica nocturna, obtuvo un potencial de reducción de la demanda de energía para calefacción y refrigeración entre un 25% y un 35% [37]. Cabe mencionar que en este estudio citado el mayor valor de transmitancia térmica es 8 (W/m²K) comparado con 3 (W/m²K) del D-EIFS propuesto.

Se desprende de la Tabla nº8 que el edificio con EIFS posee en verano un desempeño inferior al caso del edificio original (sin EIFS), puesto que el efecto de la aislación térmica produce sobrecalentamiento en ese período del año, esto ha sido corroborado por diferentes investigaciones que han determinado que un EIFS es una solución de compromiso anual dado que una mejora en invierno se refleja en un desempeño inferior en verano [15].

De las Tablas nº8 y nº10, y de los gráficos 7-a y 7-b se desprende que el mejor desempeño logrado por el D-EIFS respecto a un EIFS, se consigue reduciendo principalmente la demanda de refrigeración en verano, y en menor grado las demandas de energía de calefacción y refrigeración de otoño y primavera, siendo nulo el efecto de reducción de la demanda energética del D-EIFS respecto al EIFS para los meses de invierno, donde ambos poseen el mismo desempeño. La demanda energética total (calefacción y refrigeración) mínima, se consigue variando la transmitancia térmica del D-EIFS a o largo del año logrando un desempeño superior al EIFS precisamente por el aporte importante que el D-EIFS realiza principalmente en los meses de verano, en los climas dominados energéticamente por el requerimiento de calefacción [32].

El Gráfico N° 12 muestra que para lograr la mínima demanda energética total anual, se requiere que el 51% de los días del año el D-EIFS presente el valor de U mínimo del rango de operación; el 30% de los días del año presente el valor de U máximo, y el 19% de los días del año presente un U intermedio entre el U mínimo y U máximo del rango de operación. Una envolvente dinámica que solo puede presentar 2 estados, es superada en desempeño energético por el D-EIFS propuesto el que posee un rango de operación y puede presentar 15 transmitancias térmicas diferentes (15 estados). Esta ventaja se desprende del Gráfico n°12 puesto que una envolvente dinámica de 2 estados (conducción y aislación) posee un menor desempeño energético en el 19% de los días del año, donde se requiere que la solución constructiva de muro presente una transmitancia térmica intermedia como la que el D-EIFS propuesto presenta, para minimizar la demanda energética de calefacción y refrigeración.

Existe una relación superficie de ventanas respecto a superficie de muros llamada WWR (Window to Wall Ratio) óptima para cada tipo de clima, la cuál minimiza la demanda de energía de calefacción, refrigeración e iluminación. No obstante lo anterior, la mayoría de los valores encontrados para diferentes tipos de clima, se encuentran en general en el rango 0,30 a 0,45, con algunas excepciones tales como edificios orientados al sur (en el hemisferio norte) en climas muy cálidos o muy fríos [48]. El edificio de referencia posee una relación $WWR=0,71$ y no se encuentra emplazado en un clima o muy cálido o muy frío, por lo que el desempeño energético del edificio pudo haberse mejorado si su WWR estuviese cerca del rango óptimo. Cabe destacar que el desempeño energético del D-EIFS también hubiese sido superior si el mismo edificio tuviese una relación WWR menor a la exhibida, debido a la posibilidad de contar con una mayor superficie de la envolvente que tuviese un D-EIFS incorporado.

Transmitancia térmica óptima del D-EIFS

Se obtuvo la transmitancia óptima mensual (el D-EIFS solo cambia cada mes) que minimiza la demanda de energía de calefacción y refrigeración para el edificio de estudio, para cada mes del año lo que se muestra en el Gráfico n°8.- El gráfico obtenido se acerca bastante a la predicción realizada por Zhang Y., Chen Q., Zhang Y. y Wang X. en una investigación teórica que establece que la forma de la función de conductividad térmica en el tiempo de la envolvente para minimizar la demanda de energía, debe ser del tipo escalera en verano y un valor bajo constante en invierno [34].-

Si se observan los Gráficos n°9-a y n°9-b, cuando se reduce el intervalo de tiempo desde 1 mes a 1 día, la gráfica cambia debido a la mayor frecuencia de adaptación que el D-EIFS presenta, para reducir más aún la demanda de energía de calefacción y refrigeración. La gráfica n°9-a presenta una línea formada por la unión de los puntos, y la gráfica n°9-b corresponde a una gráfica de barras que se presenta con el objetivo de visualizar que las gráficas tipo escaleras

están presentes en aquellas semanas de clima cambiante donde se requiere una mayor frecuencia de adaptación, y no necesariamente solo en verano.

Para estudiar el efecto de la adaptación, se consideró el mes de marzo para determinar la gráfica de la transmitancia térmica óptima que minimiza la demanda de energía de calefacción y refrigeración, para 4 distintos intervalos de tiempo: anual, mensual, semanal y diario lo que se muestra en el Gráfico nº 10. A medida que se reduce el intervalo de tiempo, aumenta la frecuencia de cambios del D-EIFS para adaptarse a las variaciones climáticas, con el objetivo de reducir la demanda de energía.

Propuestas de mejora en el desempeño de un D-EIFS

A continuación se lista una serie de mejoras las que no pudieron ser simuladas dadas las limitaciones del software TAS utilizado, por este motivo, se establece que los resultados obtenidos corresponden a la mínima reducción de la demanda de energía para calefacción y refrigeración que un edificio con un D-EIFS de resistencia térmica variable puede lograr.

- I. Incorporar el D-EIFS a la solución constructiva de techo de tal manera de aprovechar la adaptabilidad en la reducción de la demanda de energía de calefacción y refrigeración, lo que ha quedado demostrado en investigaciones tales como la llevada a cabo por Park B. Y Krarti M. [44].- De la misma manera, un D-EIFS aplicado a nivel de piso podría tener ventajas en el desempeño energético.
- II. Considerar un algoritmo de control independiente para cada una de las fachadas, por ejemplo: Norte, Sur, Oeste y Este, así como para la techumbre y piso incorporando un D-EIFS a ellos según lo propuesto en I. Anterior. De esta manera, el D-EIFS puede tener valores distintos de resistencia térmica para cada fachada dependiendo de los objetivos y condiciones ambientales. Por ejemplo, se podría aprovechar la menor temperatura superficial de la fachada Sur para enfriar la masa térmica, disminuyendo la resistencia térmica de dicha fachada.
- III. Dada la tecnología del D-EIFS teórico propuesto, considerar que además de lo indicado en II, cada fachada a su vez, podría tener zonas con resistencia térmica diferente. Por ejemplo, la zona superior más cercana al cielo tener una resistencia térmica baja y la parte baja cercana al piso, una resistencia térmica alta, de tal manera de estratificar la masa de aire según la temperatura, para lograr un determinado comportamiento como por ejemplo convección.

- IV. Incorporar al estudio la demanda de energía para iluminación.
- V. Un adecuado control de la porción vidriada ha logrado reducciones de un 50% de la demanda de energía si se considera un control inteligente de las protecciones solares [28]. También se han logrado reducciones de un 20% en refrigeración y 50% en energía para iluminación [29].- Una propuesta que se visualiza de gran impacto, es considerar lo expuesto en la presente investigación y aplicarlo a la porción traslucida de la envolvente, la que cuenta hoy con la tecnología para variar sus características termo-físicas, a través de los vidrios electro-cromáticos. Es decir, considerar para la porción opaca de la envolvente un D-EIFS como el propuesto en esta investigación, con las mejoras descritas en este apartado, y para la parte vidriada considerar vidrios electrocromáticos y/o con protecciones solares inteligentes, de tal manera de simular todo el conjunto de variables para obtener la demanda mínima de energía para calefacción, refrigeración e iluminación.
- VI. Incorporar a la solución constructiva de muro una cantidad suficiente de un material tipo PCM, para que trabaje en forma combinada con el D-EIFS.
- VII. Incorporar sistemas de generación de energía fotovoltaica para alimentar las necesidades de energía eléctrica del D-EIFS, de los vidrios electro-cromáticos y/o protecciones solares inteligentes así como de sus sistemas de control y comunicaciones.
- VIII. Lo propuesto en I, II, III, IV, V, y VI requiere un sistema de optimización multivariable, lo que deriva en la utilización de software desarrollado o integrado a la medida. En la práctica, requeriría de medición de variables ambientales interiores y exteriores así como la predicción climatológica.
- IX. Finalmente, a todo lo expuesto anteriormente se suma la propuesta de considerar un intervalo de tiempo de 1 hora y un algoritmo del tipo RHC.-

8. Conclusiones

La demanda anual de calefacción y refrigeración para el edificio de referencia al que se le incorporó un EIFS de alto desempeño, se redujo en un 17% respecto al mismo edificio sin EIFS. Al incorporarle al edificio de referencia el D-EIFS propuesto, la demanda anual de calefacción y refrigeración se redujo en un 24% respecto al mismo edificio sin EIFS, por lo que se verifica la hipótesis para el edificio de referencia: “La eficiencia energética de los edificios que poseen soluciones constructivas de muro que incorporan el mejor EIFS será mejorada si se incorpora a la solución constructiva de muro un D-EIFS de resistencia térmica variable”.

Se desarrolló una nueva metodología que logra utilizar un software tipo BPS (TAS versión 9.2.1.4 en la investigación) para obtener mediante simulación la demanda energética de calefacción y refrigeración de un edificio de oficinas de referencia que posee un D-EIFS de resistencia térmica variable incorporado. La determinación de la demanda anual de calefacción y refrigeración se obtuvo con un error estimado del 0,16%, logrando una estimación más que razonable.

El desempeño del mejor EIFS fue mejorado en un 8% al incorporar un D-EIFS de resistencia térmica variable. Se concluye que para el edificio de referencia y en el clima seleccionado, la reducción obtenida es la mínima posible y existe un potencial mayor si se aprovecha toda la funcionalidad del D-EIFS, considerando implementar lo expuesto en el capítulo 7 sección propuestas de mejoras.

Los desempeños del D-EIFS al agrupar los meses en estaciones climatológicas tipo verano, otoño, invierno y primavera, evidencia la marcada dependencia del clima en la reducción de la demanda de energía de calefacción y refrigeración. En climas con frío extremo y poca variabilidad (tipo invierno), el aporte de un D-EIFS es prácticamente nulo. Por otra parte, en climas con alta variabilidad ya sea durante el año o entre el día y noche, la incorporación de un D-EIFS aportará a la reducción de la demanda de energía de calefacción y refrigeración.

Los resultados obtenidos tanto en % de reducción de la demanda de energía de calefacción como de refrigeración, así como en la forma de la gráfica de la transmitancia térmica óptima asociada, concuerdan con otras investigaciones teóricas de fachadas dinámicas.

Se cumplió con todos los objetivos propuestos en el capítulo 4, logrando simular un D-EIFS en TAS y se redujo el trabajo de manejo de datos usando macros de Excel. No obstante lo anterior, resulta lenta la obtención de las demandas de energía al no poder contar con un sistema tipo “batch” o con un sistema de simulación con archivo de parámetros, que evite las simulaciones individuales para cada valor de U dentro del rango de operación.

Las limitantes más relevantes en el uso de software tipo BPS para simulación de un D-EIFS es la imposibilidad de realizar en forma directa una simulación con optimización multivariable, reducir el intervalo de tiempo a horas o 1 hora, así como la imposibilidad de simular sistemas dominados por la constante de tiempo del edificio. Cabe destacar que por el patrón de uso de una vivienda o edificio habitacional, no es posible usar los software tipo BPS debido a que la ocupación de 24 horas 7 días a la semana, los determina precisamente como sistemas dominados por la constante de tiempo del edificio.

Se visualiza que los algoritmos de control de sistemas de fachadas dinámicas tipo CABS, así como las predicción de las variables climatológicas, jugarán un rol preponderante en el futuro de las envolventes dinámicas, llevando el problema de reducción de la demanda de energía de un edificio a un problema de optimización multivariable, donde se hará uso de algoritmos tipo RHC con retroalimentación en tiempo real.

Revisando la tecnología actual y las investigaciones en curso, ya es posible contar con prototipos de resistencia térmica variable, sin contar con el gran potencial que la nanotecnología pudiera ofrecer en el desarrollo de envolventes tipo CABS para la construcción en el futuro próximo. Esta revolución de materiales y sistemas de control así como la integración de tecnologías en sistema constructivos de edificios, está cambiando vertiginosamente el concepto que se ha tenido hasta el momento del proceso de diseño de un edificio. La integración multidisciplinaria de equipos de trabajo será necesaria para el logro de las expectativas y metas desde el punto de vista de la demanda de energía y del confort interior de los edificios.

Se puede inferir que una combinación de un D-EIFS como el propuesto, con las mejoras indicadas en el capítulo 7, comandado por un sistema de control multivariable con un algoritmo del tipo RHC, que integre el funcionamiento de dicho D-EIFS junto con el funcionamiento de las porciones traslucidas de las fachadas, conformadas por vidrios electrocromáticos o protecciones solares inteligentes, sumado a la adición de un material tipo PCM en la solución constructiva de muro, permitiría lograr una reducción considerablemente mayor a la determinada en esta investigación y en las investigaciones citadas.

Un D-EIFS como el propuesto, se constituye en uno de los componentes fundamentales del cambio de paradigma para lograr una envolvente tipo CABS que permita alcanzar las ambiciosas y necesarias metas de reducción de emisiones planteadas por los organismos internacionales en lo que al cambio climático y sus efectos se refiere.

9. Propuestas para investigaciones posteriores

A continuación se proponen líneas de investigación que se derivan de las propuestas de mejoras y de las conclusiones.

- i) Investigación y desarrollo de un D-EIFS basado en la biomimética considerando los fenómenos de pilo-erección y/o el del control del plumaje de las aves, para atrapar o liberar aire en el interior, modificando así la resistencia térmica. Podría considerarse un D-EIFS compuesto por 2 capas: una de material con fibras naturales y la otra capa opuesta con una película conductora que mediante magnetismo o electricidad estática controlada permita lograr la agrupación, reubicación o atracción de las fibras con el objetivo de modificar la resistencia térmica. La capa magnetizable podría estar seccionada de tal manera de poder controlar por zonas y también poder variar la densidad resultante de las fibras que se movilizan para la variación final de la resistencia térmica en un rango determinado.
- ii) Investigación en algoritmos de control integrado de un D-EIFS de resistencia térmica variable, que permitan en forma conjunta la optimización multivariable para:
 - (a) modificar en forma independiente la resistencia térmica de cada una de las fachadas de una envolvente considerando además la techumbre y el piso.
 - (b) Integrar a un D-EIFS la porción traslucida de las fachadas mediante vidrios electrocromáticos y/o protecciones solares inteligentes para actuar en forma coordinada y óptima con el D-EIFS.
 - (c) Considerar la energía para iluminación en el problema de optimización.
- iii) Investigación del efecto de un algoritmo del tipo RHC en el control multivariable de un D-EIFS integrado a fachadas traslucidas inteligentes.
- iv) Investigación del potencial que tendría en la demanda de energía la modificación a voluntad de la resistencia térmica de un D-EIFS, en distintas zonas de la misma fachada (ej: resistencia térmica de la zona cercana al techo distinta de la zona cercana al piso), con el objetivo de mejorar la convección y/o el confort interior junto con minimizar la demanda de energía.

- v) Investigar las variables climatológicas y su relación con la resistencia térmica de un D-EIFS, para minimizar la demanda de energía, de tal manera de servir de entradas para el algoritmo de control del D-EIFS.

- vi) Investigación de envolventes que permitan el intercambio selectivo de masa así como el D-EIFS permite la modulación e intercambio selectivo de energía térmica, con el objetivo de dotar a una porción de la envolvente con la capacidad de intercambio de masa.

- vii) Obtener la relación WWR óptima para un D-EIFS en distintos tipos de clima, usando optimización multivariable que considere actuar sobre la porción translúcida (vidrios electrocromáticos) en conjunto con la porción opaca (D-EIFS) de la envolvente.

10. Bibliografía

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change, "Climate Change 2014 Synthesis Report Summary Chapter for Policymakers," *Synth. Rep.*, 2014.
- [2] A. Hermelink, S. Schimschar, T. Boermans, L. Pagliano, P. Zangheri, R. Armani, K. Voss, and E. Musall, "Towards nearly zero- energy buildings Definition of common principles under the EPBD Final report Towards nearly zero-energy buildings Definition of common principles under the EPBD," p. 467, 2013.
- [3] International Energy Agency, "IEA unveils new initiatives on sustainable energy policies and technologies in the buildings sector," no. March 2012, pp. 2–3, 2012.
- [4] Y. Zhang, Y. Zhang, X. Wang, and Q. Chen, "Ideal thermal conductivity of a passive building wall: Determination method and understanding," *Appl. Energy*, vol. 112, pp. 967–974, 2013.
- [5] J. Kurnitski, F. Allard, D. Braham, G. Goeders, P. Heiselberg, L. Jagemar, R. Kosonen, J. Lebrun, L. Mazzarella, J. Railio, O. Seppanen, M. Schmidt, and M. Virta, "How to define nearly net zero energy buildings nZEB," *REHVA J.*, no. May 2011, pp. 6–12, 2012.
- [6] I. Sartori, A. Napolitano, and K. Voss, "Net zero energy buildings: A consistent definition framework," *Energy Build.*, vol. 48, pp. 220–232, 2012.
- [7] P. Hernandez and P. Kenny, "From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB)," *Energy Build.*, vol. 42, no. 6, pp. 815–821, 2010.
- [8] F. Goia and Y. Cascone, "The impact of an ideal dynamic building envelope on the energy performance of low energy office buildings," *Energy Procedia*, vol. 58, no. 1876, pp. 185–192, 2014.
- [9] C. Tavsan, F. Tavsan, and E. Sonmez, "Biomimicry in Architectural Design Education," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 182, pp. 489–496, 2015.
- [10] R. Vanaga and A. Blumberga, "First Steps to Develop Biomimicry Ideas," *Energy Procedia*, vol. 72, pp. 307–309, 2015.
- [11] G. José, "La naturaleza como ejemplo ideal de una arquitectura bioclimática ecológica," pp. 1–4, 2004.
- [12] N. Ramzy and H. Fayed, "Kinetic systems in architecture: New approach for environmental control systems and context-sensitive buildings," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 1, no. 3, pp. 170–177, 2011.
- [13] M. Perino and V. Serra, "Switching from static to adaptable and dynamic building envelopes: A paradigm shift for the energy efficiency in buildings," *J. Facade Des. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 143–163, 2015.
- [14] Z. Lianying, W. Yuan, Z. Jiyuan, L. Xing, and Z. Linhua, "Numerical Study of Effects of Wall's Insulation Thickness on Energy Performance for Different Climatic Regions of China," *Energy Procedia*, vol. 75, pp. 1290–1298, 2015.
- [15] R. C. G. M. Loonen, M. Trčka, D. Cóstola, and J. L. M. Hensen, "Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 25, pp. 483–493, 2013.
- [16] F. Favoino, Q. Jin, and M. Overend, "Towards an ideal adaptive glazed façade for office buildings," *Energy Procedia*, vol. 62, pp. 289–298, 2014.
- [17] R. G. C. . Loonen, M. Trcka, and J. L. M. Hensen, "EXPLORING THE POTENTIAL OF CLIMATE ADAPTIVE BUILDING SHELLS," pp. 2148–2155, 2011.
- [18] F. Favoino, Q. Jin, and M. Overend, "The route to an ideal adaptive glazing facade," 2014.
- [19] M. Barozzi, J. Lienhard, A. Zanelli, and C. Monticelli, "The Sustainability of Adaptive Envelopes: Developments of Kinetic Architecture," *Procedia Eng.*, vol. 155, pp. 275–284, 2016.
- [20] F. Favoino, F. Goia, M. Perino, and V. Serra, "Experimental analysis of the energy performance of an ACTIVE, RESPONSIVE and SOLAR (ACTRESS) façade module," *Sol. Energy*, vol. 133, pp. 226–248, 2016.
- [21] H. B. Madessa, "A review of the performance of buildings integrated with Phase change material: Opportunities for application in cold climate," *Energy Procedia*, vol. 62, no. 1876, pp. 318–328, 2014.

- [22] A. Fazel, A. Izadi, and M. Azizi, "Low-cost solar thermal based adaptive window: Combination of energy-saving and self-adjustment in buildings," *Sol. Energy*, vol. 133, pp. 274–282, 2016.
- [23] R. C. G. M. Loonen, J. M. Rico-Martinez, F. Favoino, M. Brzezicki, C. Menezes, G. La Ferla, and L. Aelenei, "Design for façade adaptability – Towards a unified and systematic characterization," *Proc. 10th Energy Forum - Adv. Build. Ski.*, no. Figure 1, pp. 1274–1284, 2015.
- [24] F. Favoino, M. Overend, and Q. Jin, "The optimal thermo-optical properties and energy saving potential of adaptive glazing technologies," *Appl. Energy*, vol. 156, pp. 1–15, 2015.
- [25] Y. Cui, J. Xie, J. Liu, and S. Pan, "Review of Phase Change Materials Integrated in Building Walls for Energy Saving," *Procedia Eng.*, vol. 121, pp. 763–770, 2015.
- [26] S. Grynning, F. Goia, and B. Time, "Dynamic thermal performance of a PCM window system: Characterization using large scale measurements," *Energy Procedia*, vol. 78, no. 1876, pp. 85–90, 2015.
- [27] F. Goia, L. Bianco, Y. Cascone, M. Perino, and V. Serra, "Experimental analysis of an advanced dynamic glazing prototype integrating PCM and thermotropic layers," *Energy Procedia*, vol. 48, pp. 1272–1281, 2014.
- [28] K. Johnsen and F. V. Winther, "Dynamic facades, the smart way of meeting the energy requirements," *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 1568–1573, 2015.
- [29] M. Konstantoglou and A. Tsangrassoulis, "Dynamic operation of daylighting and shading systems: A literature review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 60, pp. 268–283, 2016.
- [30] D. Aelenei, L. Aelenei, and C. P. Vieira, "Adaptive Façade: Concept, Applications, Research Questions," *Energy Procedia*, vol. 91, pp. 269–275, 2016.
- [31] L. Masoso O.T, Grobler, "A new and innovative anti-insulation behaviour in building energy consumption." .
- [32] B. Park, W. V. Srubar, and M. Krarti, "Energy performance analysis of variable thermal resistance envelopes in residential buildings," *Energy Build.*, vol. 103, pp. 317–325, 2015.
- [33] M. Kimber, W. W. Clark, and L. Schaefer, "Conceptual analysis and design of a partitioned multifunctional smart insulation," *Appl. Energy*, vol. 114, pp. 310–319, 2014.
- [34] Y. Zhang, Q. Chen, Y. Zhang, and X. Wang, "Exploring buildings' secrets: The ideal thermophysical properties of a building's wall for energy conservation," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 65, pp. 265–273, 2013.
- [35] J. Erickson, "Envelope as Climate Negotiator: Evaluating adaptive building envelope's capacity to moderate indoor climate and energy," ARIZONA STATE UNIVERSITY, 2013.
- [36] A. Berge, C. E. Hagentoft, P. Wahlgren, and B. Adl-Zarrabi, "Effect from a Variable U-Value in Adaptive Building Components with Controlled Internal Air Pressure," *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 376–381, 2015.
- [37] Q. Jin, F. Favoino, and M. Overend, "The Potential Opaque Adaptive Façades for Office Buildings in a Temperate Climate," *Proc. Build. Simul. 2015 Conf.*, pp. 98–105, 2015.
- [38] S. Rasca, "Dynamic Facade Systems- Impact Evaluation Through Simulation and Calculation," 2014.
- [39] M. Casini, "Smart materials and nanotechnology for energy retrofit of historic buildings," pp. 28–37, 2014.
- [40] F. Favoino and M. Overend, "A simulation framework for the evaluation of next generation Responsive Building Envelope technologies," *Energy Procedia*, vol. 78, no. 0, pp. 2602–2607, 2015.
- [41] M. Seron, "Receding Horizon Control," *Automatica*, vol. 42, no. September, pp. 1337–1342, 2004.
- [42] H. Asan, "Numerical computation of time lags and decrement factors for different building materials," *Build. Environ.*, vol. 41, no. 5, pp. 615–620, 2006.
- [43] G. Rodriguez, "El Clima Chileno y su relación con la construcción habitacional.," *Rev. IDIEM*, vol. n°11, no. n°3, pp. 163–184, 1972.
- [44] B. Park and M. Krarti, "Energy performance analysis of variable reflectivity envelope systems for commercial buildings," *Energy Build.*, vol. 124, pp. 88–98, 2016.
- [45] A.-T. Nguyen, S. Reiter, and P. Rigo, "A review on simulation-based optimization methods

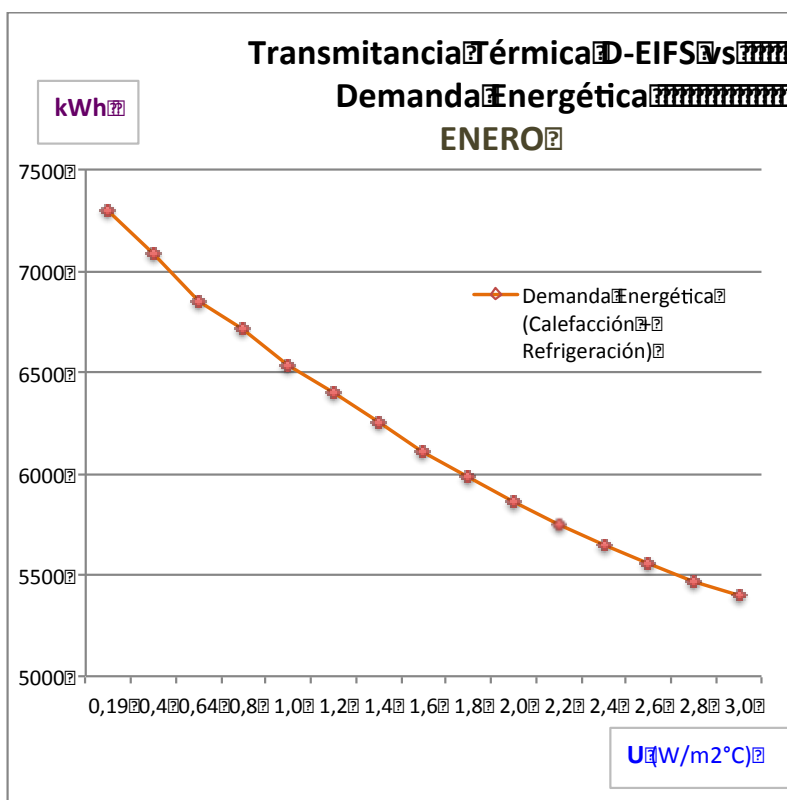
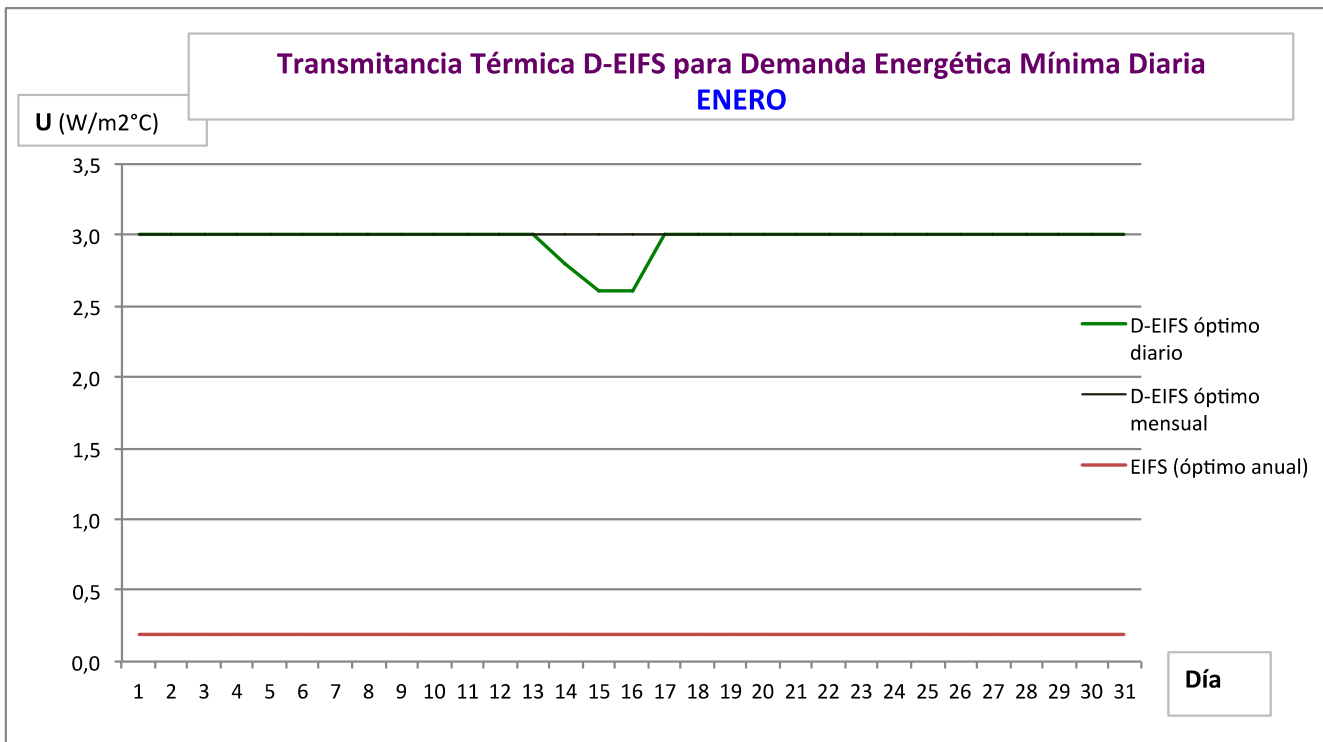
- applied to building performance analysis,” *Appl. Energy*, vol. 113, pp. 1043–1058, 2014.
- [46] D. U. y M. Citec UBB, *TDR: Términos de Referencia Estandarizados con Parámetros de Eficiencia Energética y Confort Ambiental, para Licitaciones de Diseño y Obra de la Dirección de Arquitectura, Según Zonas Geográficas del País y Según Tipología de Edificios*. 2011.
- [47] Citec UBB, “Guía Eficiencia Energética para Establecimientos Educativos,” p. 356, 2013.
- [48] F. Goia, “Search for the optimal window-to-wall ratio in office buildings in different European climates and the implications on total energy saving potential,” *Sol. Energy*, vol. 132, pp. 467–492, 2016.

11. Anexo: Tablas con transmitancia térmica óptima y demanda energética mínima.

ENERO	Total
	(kWh)
EIFS _{óptimo} anual	7.298
D-EIFS _{óptimo} Mensual	5.396
D-EIFS _{óptimo} Diario	5.391
Ahorro _{D-EIFS_{óptimo} diario} vs EIFS	1.907
% _{Ahorro_{D-EIFS_{óptimo} diario} vs EIFS}	26%

Simulación _{D-EIFS}																																	Total
Espeor _{D-EIFS} Aislación/Estuco _{D-EIFS} (mm)	Valor _{D-EIFS} (W/m ² °C)	Día _{D-EIFS} 1	Día _{D-EIFS} 2	Día _{D-EIFS} 3	Día _{D-EIFS} 4	Día _{D-EIFS} 5	Día _{D-EIFS} 6	Día _{D-EIFS} 7	Día _{D-EIFS} 8	Día _{D-EIFS} 9	Día _{D-EIFS} 10	Día _{D-EIFS} 11	Día _{D-EIFS} 12	Día _{D-EIFS} 13	Día _{D-EIFS} 14	Día _{D-EIFS} 15	Día _{D-EIFS} 16	Día _{D-EIFS} 17	Día _{D-EIFS} 18	Día _{D-EIFS} 19	Día _{D-EIFS} 20	Día _{D-EIFS} 21	Día _{D-EIFS} 22	Día _{D-EIFS} 23	Día _{D-EIFS} 24	Día _{D-EIFS} 25	Día _{D-EIFS} 26	Día _{D-EIFS} 27	Día _{D-EIFS} 28	Día _{D-EIFS} 29	Día _{D-EIFS} 30	Día _{D-EIFS} 31	Total
0/1,28	3,0	301	274	346	274	254	0	0	229	190	173	176	130	0	0	153	159	120	124,9	184	0	0	291	304	260	270	351	0	0	271	236	325	5.396
0,4/3,38	2,8	303	277	348	279	259	0	0	234	194	175	178	131	0	0	150,9	157,7	122	125,4	186	0	0	295	309	264	274	356	0	0	277	241	331	5.468
1,3/3,42	2,6	306	281	351	284	265	0	0	240	198	178	181	133	0	0	150,2	157,4	124	126	189	0	0	300	314	268	279	360	0	0	284	247	337	5.553
2,6/2,1	2,4	310	284	354	290	270	0	0	246	203	182	185	136	0	0	150,3	158,0	126	128	193	0	0	305	320	272	284	366	0	0	291	252	344	5.649
3,9/1,83	2,2	314	288	357	294	276	0	0	252	209	187	190	139	0	0	151	159	129	130	197	0	0	310	325	277	290	371	0	0	298	258	352	5.753
5/4	2,0	319	292	361	299	282	0	0	259	215	192	195	143	0	0	153	161	131	132	201	0	0	316	330	282	295	377	0	0	306	264	359	5.865
7/3,1	1,8	324	296	365	304	288	0	0	266	221	198	201	147	0	0	155	164	135	134	206	0	0	322	336	287	301	384	0	0	315	271	366	5.985
9/4,7	1,6	330	300	369	309	294	0	0	274	227	204	208	152	0	0	158	166	139	137	210	0	0	328	342	292	308	391	0	0	323	277	374	6.113
12/4,4	1,4	336	305	374	315	300	0	0	282	234	210	214	157	0	0	161	170	143	140	215	0	0	335	348	297	314	398	0	0	332	285	382	6.249
16/5	1,2	344	310	380	320	307	0	0	291	241	217	221	162	0	0	166	174	148	144	221	0	0	343	355	303	322	406	0	0	342	292	391	6.399
21/5	1,0	350	314	385	325	313	0	0	299	248	223	228	168	0	0	170	179	153	148	227	0	0	350	361	309	328	413	0	0	351	300	399	6.539
30/5	0,8	359	321	392	332	320	0	0	309	257	232	236	174	0	0	176	184	159	152	234	0	0	359	369	317	337	422	0	0	362	309	408	6.719
40/5	0,64	366	326	397	336	325	0	0	317	263	238	243	179	0	0	181	189	164	156	239	0	0	366	375	322	343	428	0	0	370	316	416	6.855
71/5	0,4	377	334	405	344	334	0	0	330	274	248	254	187	0	0	189	197	172	163	249	0	0	378	385	331	353	439	0	0	383	327	427	7.082
162/5	0,19	388	342	413	351	342	0	0	342	284	258	264	195	0	0	198	205	181	169	258	0	0	390	395	340	362	450	0	0	395	338	438	7.298

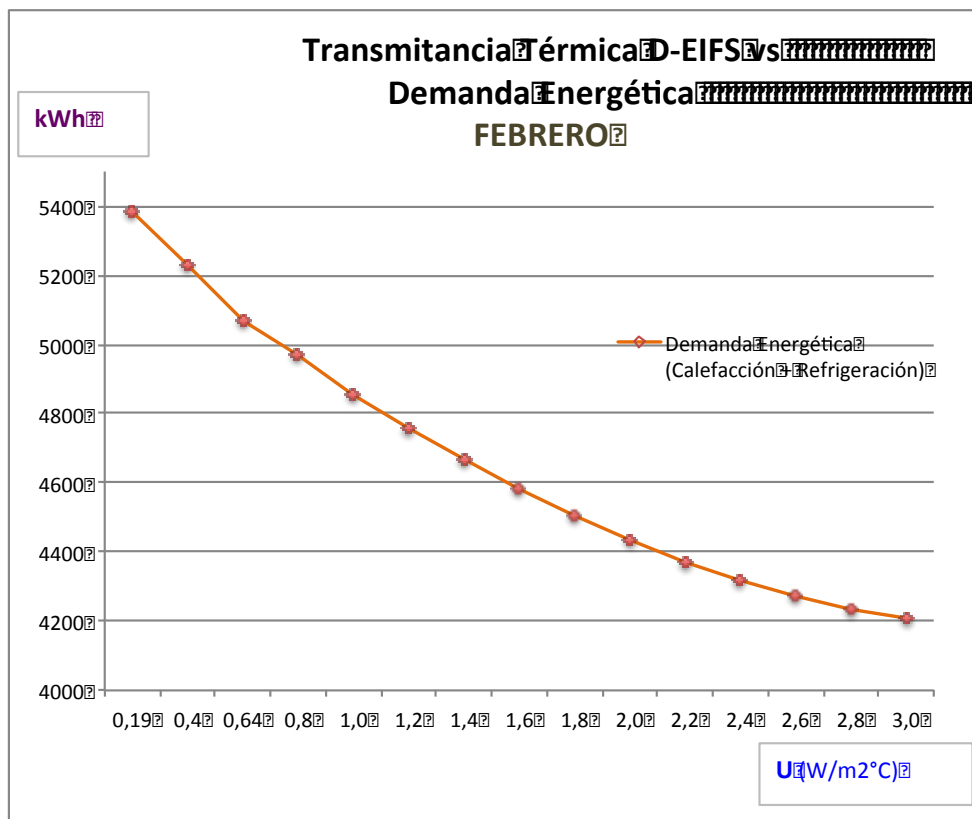
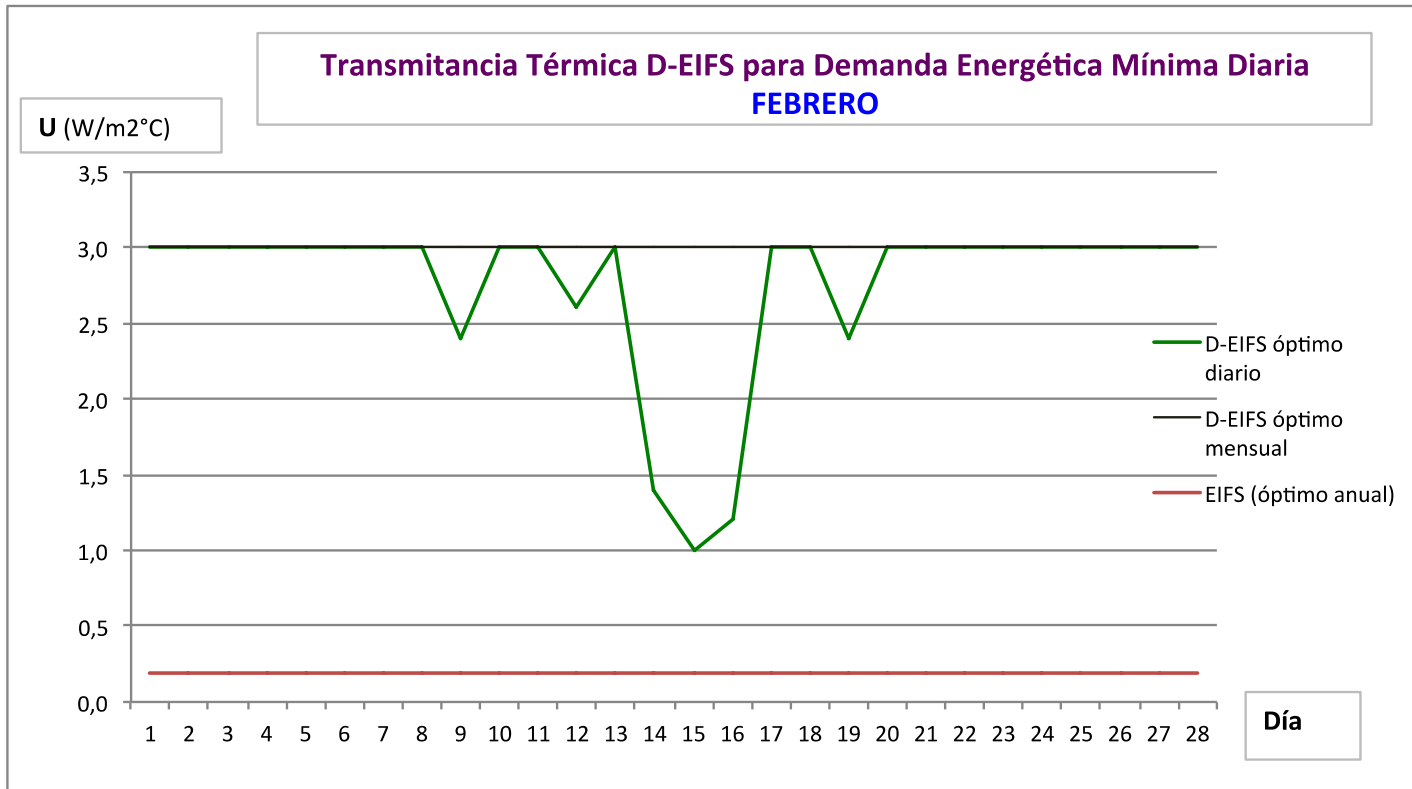
Base _{D-EIFS} Diaria		Día _{D-EIFS} 1	Día _{D-EIFS} 2	Día _{D-EIFS} 3	Día _{D-EIFS} 4	Día _{D-EIFS} 5	Día _{D-EIFS} 6	Día _{D-EIFS} 7	Día _{D-EIFS} 8	Día _{D-EIFS} 9	Día _{D-EIFS} 10	Día _{D-EIFS} 11	Día _{D-EIFS} 12	Día _{D-EIFS} 13	Día _{D-EIFS} 14	Día _{D-EIFS} 15	Día _{D-EIFS} 16	Día _{D-EIFS} 17	Día _{D-EIFS} 18	Día _{D-EIFS} 19	Día _{D-EIFS} 20	Día _{D-EIFS} 21	Día _{D-EIFS} 22	Día _{D-EIFS} 23	Día _{D-EIFS} 24	Día _{D-EIFS} 25	Día _{D-EIFS} 26	Día _{D-EIFS} 27	Día _{D-EIFS} 28	Día _{D-EIFS} 29	Día _{D-EIFS} 30	Día _{D-EIFS} 31
	kWh _{D-EIFS} (calef+refrig)	301	274	346	274	254	0	0	229	190	173	176	130	0	0	150,2	157,4	120	125	184	0	0	291	304	260	270	351	0	0	271	236	325
	U _{D-EIFS} óptimo _{D-EIFS} diario	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,8	2,6	2,6	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Base _{D-EIFS} Mensual	U _{D-EIFS} óptimo _{D-EIFS} mensual	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Base _{D-EIFS} Anual	U _{D-EIFS} óptimo _{D-EIFS} anual	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19



FEBRERO	Total (kWh)
EIFS Óptimo Anual	5.383
D-EIFS Óptimo Mensual	4.209
D-EIFS Óptimo Diario	4.138
Ahorro D-EIFS Óptimo Diario vs EIFS	1.245
% Ahorro D-EIFS Óptimo Diario vs EIFS	23%

Simulación D-EIFS																														
Espesor EIFS Aislación/Estuco (mm)	Valor U (W/m ² C)	Día 32	Día 33	Día 34	Día 35	Día 36	Día 37	Día 38	Día 39	Día 40	Día 41	Día 42	Día 43	Día 44	Día 45	Día 46	Día 47	Día 48	Día 49	Día 50	Día 51	Día 52	Día 53	Día 54	Día 55	Día 56	Día 57	Día 58	Día 59	Total
		0/1,28	3,0	412	338	0	0	243	225	234	147	105	0	0	186	202,3	100	193	184	0	0	183	86	150	195	184	0	0	236	296
0,4/3,38	2,8	415	344	0	0	248	229	238	150	103	0	0	184,8	202,5	97	185	180	0	0	181	87	151	197	187	0	0	240	301	313	4.234
1,3/3,42	2,6	419	350	0	0	253	234	242	153	102,0	0	0	184,4	204	95	179	177	0	0	180,0	89	153	198	191	0	0	244	305	318	4.270
2,6/2,1	2,4	423	357	0	0	259	239	247	157	101,6	0	0	185,1	206	93	173	174	0	0	179,6	91	155	199	195	0	0	249	310	323	4.318
3,9/1,83	2,2	428	363	0	0	266	245	253	161	101,8	0	0	187	208	92	169	172	0	0	179,7	93	157	201	198	0	0	254	316	329	4.373
5/4	2,0	433	370	0	0	273	252	259	165	103	0	0	189	212	91,4	166	170	0	0	180	96	160	203	202	0	0	259	321	334	4.435
7/3,1	1,8	438	376	0	0	281	259	265	170	104	0	0	191	215	90,9	163	168	0	0	181	99	163	205	205	0	0	264	327	340	4.505
9/4,7	1,6	444	383	0	0	289	266	272	175	106	0	0	195	220	90,68	160	167,4	0	0	182	102	166	207	208	0	0	270	334	346	4.581
12/4,4	1,4	449	389	0	0	297	273	279	181	108	0	0	198	225	90,67	159	166,8	0	0	184	106	169	210	212	0	0	275	340	352	4.665
16/5	1,2	456	396	0	0	307	282	287	187	110	0	0	203	231	90,95	157,7	166,5	0	0	187	110	174	214	215	0	0	282	347	359	4.761
21/5	1,0	462	402	0	0	316	289	295	193	113	0	0	207	236	91,3	157,4	166,8	0	0	189	114	178	217	219	0	0	288	354	366	4.853
30/5	0,8	469	410	0	0	327	299	304	200	117	0	0	214	243	92	157,6	167,8	0	0	193	120	184	222	223	0	0	295	363	374	4.974
40/5	0,64	475	415	0	0	335	306	312	206	120	0	0	219	249	93	158,0	169	0	0	196	124	188	226	227	0	0	300	369	380	5.067
71/5	0,4	484	424	0	0	349	318	323	216	125	0	0	229	259	95	159	172	0	0	201	131	196	232	232	0	0	310	380	390	5.227
162/5	0,19	493	432	0	0	362	329	334	226	130	0	0	238	269	97	161	175	0	0	207	139	205	239	238	0	0	318	390	399	5.383

Base	Diaria	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18	Día 19	Día 20	Día 21	Día 22	Día 23	Día 24	Día 25	Día 26	Día 27	Día 28
	kWh (calef+refrig)	412	338	0	0	243	225	234	147	102	0	0	184	202	91	157	167	0	0	180	86	150	195	184	0	0	236	296	308
	U Óptimo Diario	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,4	3,0	3,0	2,6	3,0	1,4	1,0	1,2	3,0	3,0	2,4	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	U Óptimo Mensual	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	U Óptimo Anual	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19

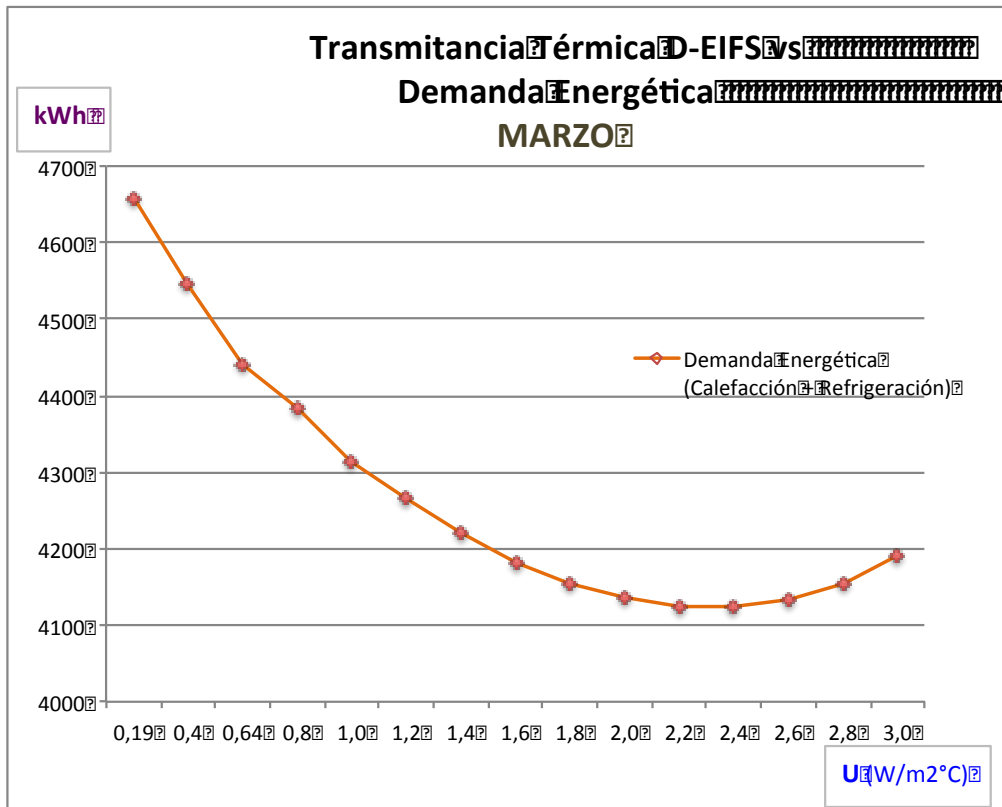
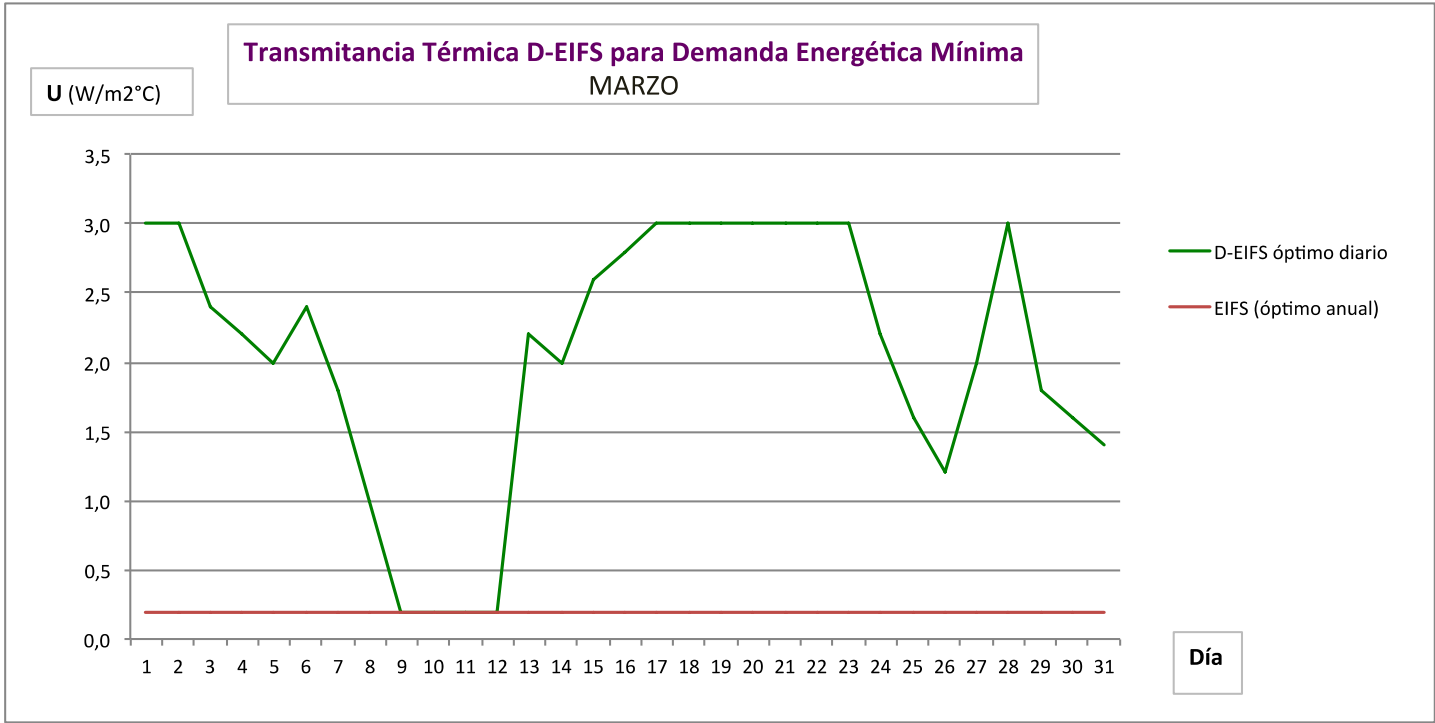


MARZO	Total
	(kWh)
EIFS óptimo anual	4.660
D-EIFS óptimo Mensual	4.124
D-EIFS óptimo Semanal	4.015
D-EIFS óptimo Diario	3.938
Ahorro D-EIFS óptimo diario vs EIFS	722
% Ahorro D-EIFS óptimo diario vs EIFS	15%

Simulación D-EIFS búsqueda óptimo diario

Espeor EIFS / Aislación/Estuco (mm)	Valor U (W/m2°C)	Día 60	Día 61	Día 62	Día 63	Día 64	Día 65	Día 66	Día 67	Día 68	Día 69	Día 70	Día 71	Día 72	Día 73	Día 74	Día 75	Día 76	Día 77	Día 78	Día 79	Día 80	Día 81	Día 82	Día 83	Día 84	Día 85	Día 86	Día 87	Día 88	Día 89	Día 90	Total
0/1,28	3,0	204	144	0	0	185	98	221	246	266	0	0	287	159	237	224	232,6	0	0	232	255	249	104	98,7	0	0	161	178	131,72	74	204	0	4.191
0,4/3,38	2,8	208	147	0	0	183	97	216	239	252	0	0	283	158	234	222,9	232,3	0	0	235	257	251	106	99,1	0	0	157	176	131,84	72	199	0	4.155
1,3/3,42	2,6	212	151	0	0	181	96,7	212	233	240	0	0	279	157	232	222,5	233,0	0	0	238	260	252	108	100	0	0	154	175	132,4	70	196	0	4.133
2,6/2,1	2,4	217	155	0	0	180	96,6	209	228	230	0	0	274	157	231	222,8	234	0	0	241	263	255	111	101	0	0	151	174	133	69	193	0	4.124
3,9/1,83	2,2	221	159	0	0	179,4	97,2	207	224	220	0	0	270	156,4	230,4	224	236	0	0	245	266	258	114	102	0	0	148	172,8	135	68,3	191	0	4.125
5/4	2,0	226	164	0	0	179,3	98	206	221	213	0	0	266	156,5	230,2	225	238	0	0	248	270	261	117	104	0	0	146	172,7	137	68,0	190	0	4.136
7/3,1	1,8	230	169	0	0	179,9	99	205,2	219	205	0	0	262	157	230,4	226	241	0	0	253	275	265	120	106	0	0	145	172,8	138	67,84	189,2	0	4.155
9/4,7	1,6	235	174	0	0	181	101	205,3	217	199	0	0	258	157	231	228	244	0	0	257	279	269	124	108	0	0	144	173,4	140	68,0	189,1	0	4.183
12/4,4	1,4	240	179	0	0	183	104	206	216	193	0	0	254	158	232	230	247	0	0	262	283	274	128	111	0	0	142,8	174	143	69	189,5	0	4.220
16/5	1,2	246	185	0	0	186	107	208	214,8	188	0	0	251	160	233	233	251	0	0	267	288	279	132	114	0	0	142,3	176	146	69	190,2	0	4.266
21/5	1,0	251	190	0	0	189	110	210	214,3	183	0	0	248	162	235	236	255	0	0	272	293	283	137	117	0	0	142,4	177	149	70	191	0	4.315
30/5	0,8	258	196	0	0	193	115	213	214,5	178	0	0	246	165	238	239	260	0	0	278	298	289	142	121	0	0	143	180	153	71	193	0	4.385
40/5	0,64	262	201	0	0	197	119	216	215,1	175	0	0	244	167	240	242	264	0	0	283	303	294	146	124	0	0	144	183	156	72	194	0	4.443
71/5	0,4	271	209	0	0	204	125	221	217	171	0	0	242,90	173	244	248	271	0	0	292	310	302	153	130	0	0	147	187	161	75	197	0	4.548
162/5	0,19	278	216	0	0	211	132	226	219	168	0	0	242,88	178	249	254	277	0	0	301	317	310	159	135	0	0	150	192	167	77	200	0	4.660

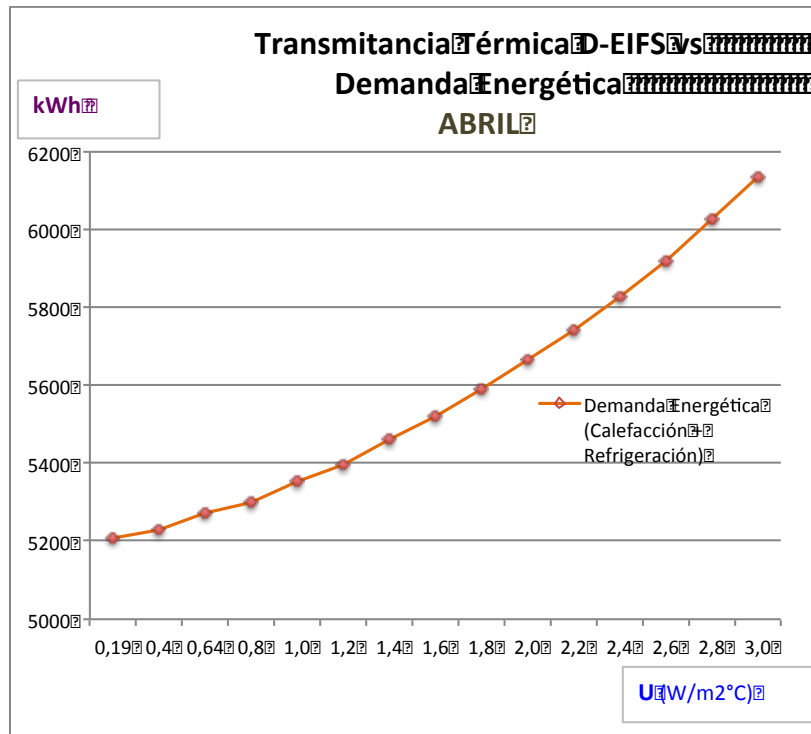
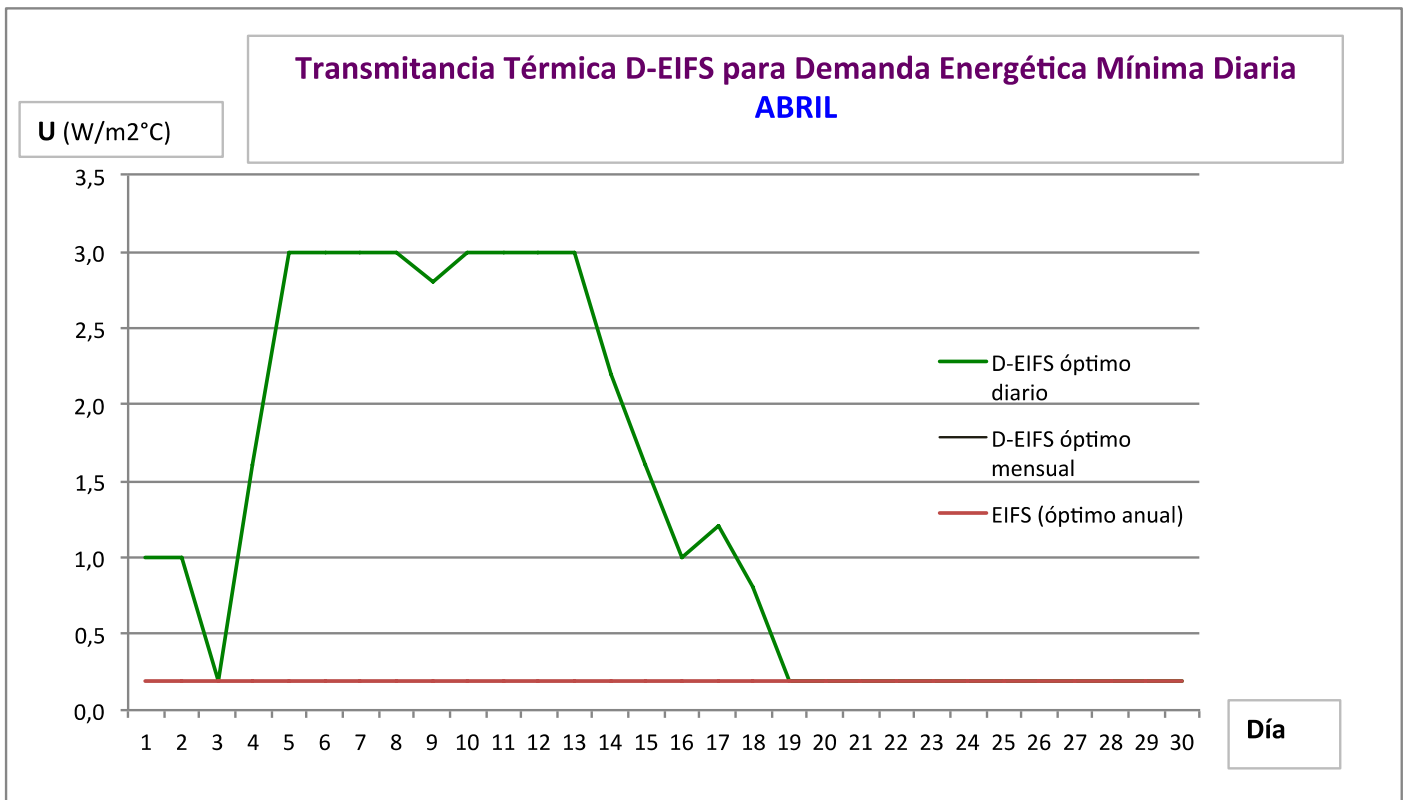
Base Diaria		Día 60	Día 61	Día 62	Día 63	Día 64	Día 65	Día 66	Día 67	Día 68	Día 69	Día 70	Día 71	Día 72	Día 73	Día 74	Día 75	Día 76	Día 77	Día 78	Día 79	Día 80	Día 81	Día 82	Día 83	Día 84	Día 85	Día 86	Día 87	Día 88	Día 89	Día 90	Total
kWh (calef+refrig)		204	144	0	0	179	97	205	214	168	0	0	243	156	230	222	232,3	0	0	232	255	249	104	99	0	0	142	173	132	68	189	0	3.938
U óptimo diario		3,0	3,0	2,4	2,2	2,0	2,4	1,8	1,0	0,19	0,19	0,19	2,2	2,0	2,6	2,8	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,2	1,6	1,2	2,0	3,0	1,8	1,6	1,4		
Base Semanal		Semana 1							Semana 2							Semana 3							Semana 4										
kWh (calef+refrig)		851							1.279							1.171							713										
U óptimo semanal		2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	
Base Mensual		2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	
Base Anual		0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	



ABRIL	Total (kWh)
EIFS Óptimo Anual	5.208
D-EIFS Óptimo Mensual	5.208
D-EIFS Óptimo Diario	4.846
Ahorro D-EIFS Óptimo Diario vs EIFS	362
% Ahorro D-EIFS Óptimo Diario vs EIFS	7%

Simulación D-EIFS																																
Esesor EIFS Aislación/Estuco (mm)	Valor U (W/m ² C)	Día 91	Día 92	Día 93	Día 94	Día 95	Día 96	Día 97	Día 98	Día 99	Día 100	Día 101	Día 102	Día 103	Día 104	Día 105	Día 106	Día 107	Día 108	Día 109	Día 110	Día 111	Día 112	Día 113	Día 114	Día 115	Día 116	Día 117	Día 118	Día 119	Día 120	Total
0/1,28	3,0	0	306	316	345	190,7	90,7	0	0	163,5	154	273	252	184,37	0	0	295	174	164	256	281	0	0	407	455	393	296	242	0	0	899	6.137
0,4/3,38	2,8	0	299	308	343	191,9	91,7	0	0	163,0	156	276	255	184,40	0	0	287	169	159	249	272	0	0	397	441	384	291	236	0	0	873	6.026
1,3/3,42	2,6	0	293	300	341	193	93	0	0	163,2	158	279	258	185	0	0	281	166	156	241	263	0	0	385	428	375	286	230	0	0	848	5.922
2,6/2,1	2,4	0	288	295	340	195	94	0	0	164	160	282	261	186	0	0	276	163	152	234	254	0	0	374	416	367	281	224	0	0	823	5.829
3,9/1,83	2,2	0	284	289	338	197	96	0	0	166	163	285	265	188	0	0	272	160	149	226	245	0	0	361	405	360	277	220	0	0	799	5.744
5/4	2,0	0	281	285	337,2	199	98	0	0	167	166	288	268	190	0	0	269	158	146	219	235	0	0	348	394	353	273	215	0	0	775	5.665
7/3,1	1,8	0	278	281	336,7	202	100	0	0	170	169	291	272	192	0	0	266	156	143	213	226	0	0	334	383	346	270	211	0	0	751	5.591
9/4,7	1,6	0	276	278	336,5	205	103	0	0	172	172	295	276	194	0	0	264	155	141	206	217	0	0	320	373	339	266	208	0	0	727	5.523
12/4,4	1,4	0	275,0	275	336,7	209	106	0	0	174	176	299	280	196	0	0	263	154,2	140	200	208	0	0	305	362	333	262	204	0	0	703	5.460
16/5	1,2	0	274,3	272	337	213	109	0	0	177	180	303	284	199	0	0	262,1	153,9	139	194	198	0	0	289	351	326	258	200	0	0	678	5.399
21/5	1,0	0	274,0	270	339	218	113	0	0	180	184	308	288	201	0	0	261,8	154,1	138,4	189	190	0	0	274	340	321	255	197	0	0	657	5.351
30/5	0,8	0	274,6	268	341	224	118	0	0	184	189	313	292	204	0	0	262,1	155	138,16	184	181	0	0	256	328	314	251	194	0	0	630	5.301
40/5	0,64	0	275	267	343	229	121	0	0	186	193	318	296	207	0	0	262,6	156	138,25	181	176	0	0	244	319	310	248	191	0	0	611	5.271
71/5	0,4	0	277	265,3	346	237	128	0	0	192	200	325	302	211	0	0	264	159	139	175	167	0	0	224	306	303	244	188	0	0	581	5.232
162/5	0,19	0	279	264,6	350	245	134	0	0	197	206	332	307	215	0	0	266	162	140	171	161	0	0	207	295	297	240	184	0	0	554	5.208

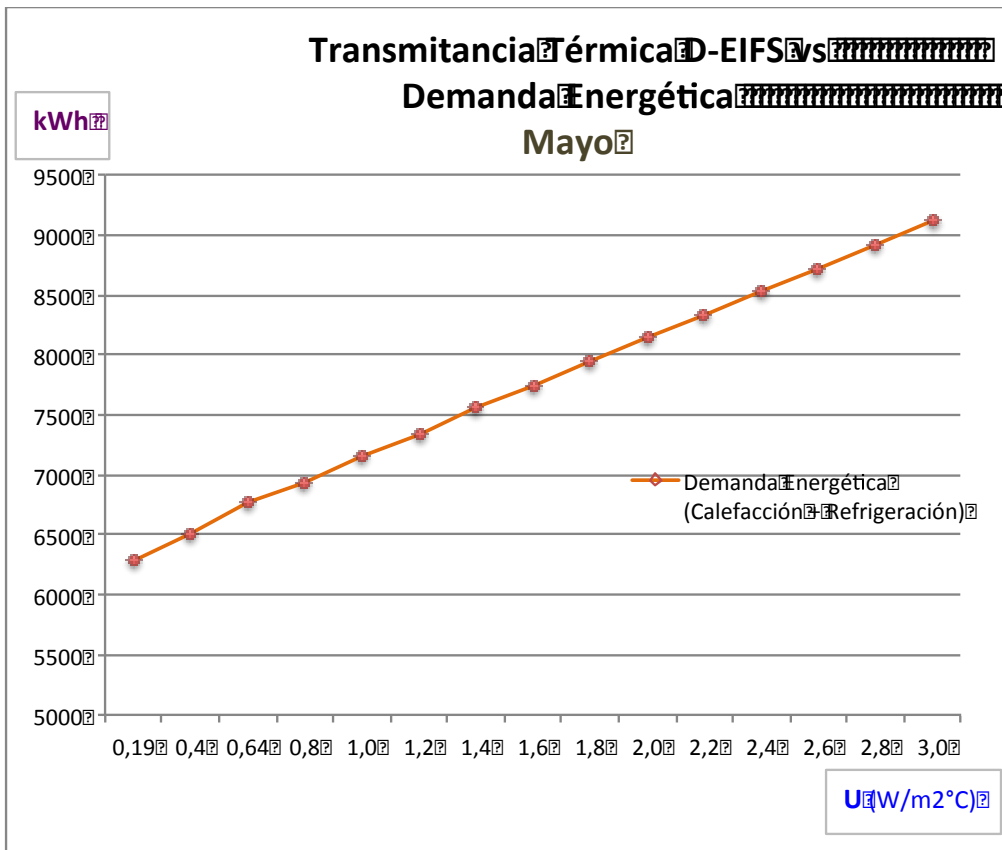
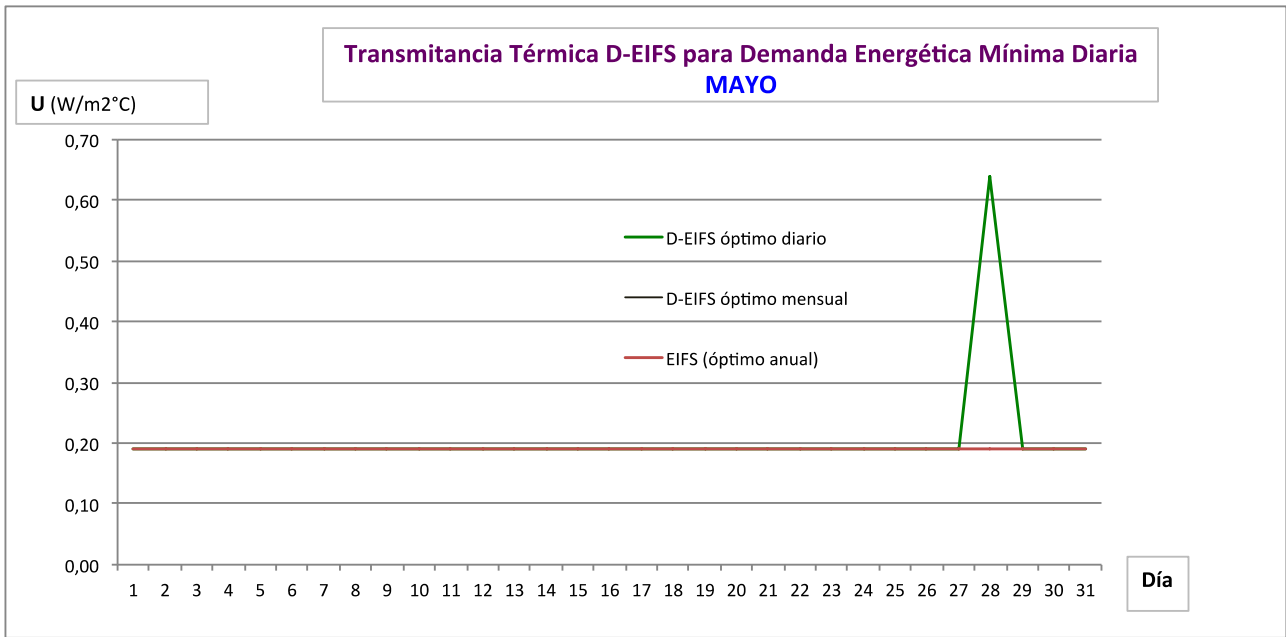
Base Diaria		Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18	Día 19	Día 20	Día 21	Día 22	Día 23	Día 24	Día 25	Día 26	Día 27	Día 28	Día 29	Día 30
	kWh (calef+refrig)	0	274	265	336	191	91	0	0	163	154	273	252	184	0	0	262	154	138	171	161	0	0	207	295	297	240	184	0	0	554
	U Óptimo Diario	1,0	1,0	0,19	1,6	3,0	3,0	3,0	3,0	2,8	3,0	3,0	3,0	3,0	2,2	1,6	1,0	1,2	0,8	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	
Base Mensual	U Óptimo Mensual	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	
Base Anual	U Óptimo Anual	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	



MAYO	Total
EIFS _{óptimo} Anual	6.277
D-EIFS _{óptimo} Mensual	6.277,4
D-EIFS _{óptimo} Diario	6.277,0
Ahorro _{D-EIFS_{óptimo} Diario} vs EIFS	0
% _{Ahorro_{D-EIFS_{óptimo} Diario} vs EIFS}	0%

Simulación D-EIFS																														Total			
Espesor EIFS Aislación/Estuco (mm)	Valor U (W/m ² °C)	Día 121	Día 122	Día 123	Día 124	Día 125	Día 126	Día 127	Día 128	Día 129	Día 130	Día 131	Día 132	Día 133	Día 134	Día 135	Día 136	Día 137	Día 138	Día 139	Día 140	Día 141	Día 142	Día 143	Día 144	Día 145	Día 146	Día 147	Día 148	Día 149	Día 150	Día 151	Total
0/1,28	3,0	456	189	168	293	0	0	243	381	495	925	796	0	0	1.313	740	506	617	526	0	0	81	146	241	247	161	0	0	76	105	195	228	9.126
0,4/3,38	2,8	445	189	167	288	0	0	235	366	477	900	780	0	0	1.291	728	500	602	514	0	0	83	142	237	240	154	0	0	75	103	187	219	8.923
1,3/3,42	2,6	433	189	167	284	0	0	227	353	459	876	763	0	0	1.270	713	493	587	502	0	0	84	139	234	235	148	0	0	75	101	179	211	8.722
2,6/2,1	2,4	419	187	166	280	0	0	220	340	443	852	745	0	0	1.249	696	487	574	490	0	0	86	137	232	232	142	0	0	75	100	172	202	8.525
3,9/1,83	2,2	404	185	164	277	0	0	214	328	427	829	726	0	0	1.227	678	480	561	479	0	0	87	136	230	229	137	0	0	74	98	166	194	8.332
5/4	2,0	389	182	163	274	0	0	207	317	412	807	706	0	0	1.204	660	473	550	469	0	0	88	135	229	227	132	0	0	74	97	160	187	8.140
7/3,1	1,8	373	178	161	272	0	0	201	306	397	785	686	0	0	1.179	640	465	538	459	0	0	88	134	229	226	128	0	0	73	96	155	179	7.947
9/4,7	1,6	358	173	158	270	0	0	195	295	382	763	665	0	0	1.154	621	455	527	448	0	0	87	133	228,4	225	125	0	0	72	95	151	172	7.751
12/4,4	1,4	342	167	155	268	0	0	189	285	368	742	644	0	0	1.126	601	445	516	438	0	0	86	133	228,2	224	122	0	0	72	94	147	165	7.554
16/5	1,2	325	160	151	266	0	0	183	274	353	719	622	0	0	1.097	579	434	504	427	0	0	85	132	228,0	223	119	0	0	71	92	142	158	7.344
21/5	1,0	310	153	147	264	0	0	178	265	341	700	603	0	0	1.070	559	423	493	417	0	0	83	131	227,9	222	117	0	0	71	91	139	152	7.157
30/5	0,8	293	145	141	261	0	0	172	255	326	677	579	0	0	1.036	536	409	480	405	0	0	81	130	227,7	221	115	0	0	70,454	90	134	145	6.929
40/5	0,64	280	139	137	260	0	0	168	248	315	661	562	0	0	1.012	519	398	470	396	0	0	79	129	227,63	221	113	0	0	70,451	90	131	141	6.767
71/5	0,4	261	129	130	257	0	0	161	237	300	635	536	0	0	972	492	381	454	382	0	0	76	128	227,61	220,2	112	0	0	71	89	127	134	6.508
162/5	0,19	245	120	124	254	0	0	154	228	286	612	512	0	0	935	468	364	439	370	0	0	73	126	227,57	219,5	110	0	0	71	88	123	128	6.277

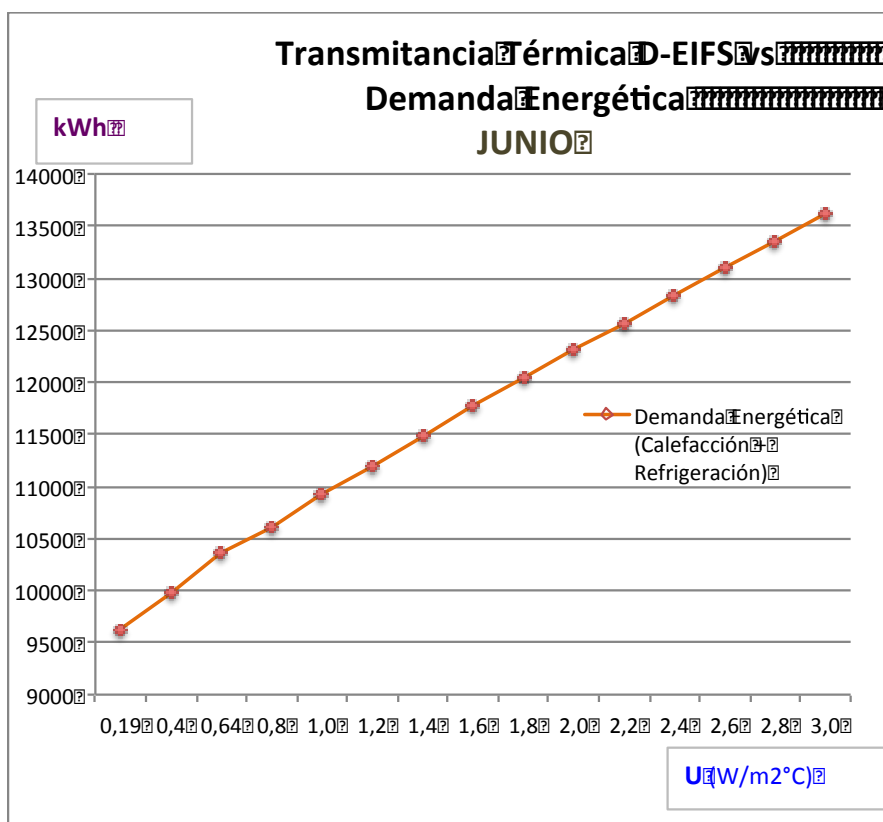
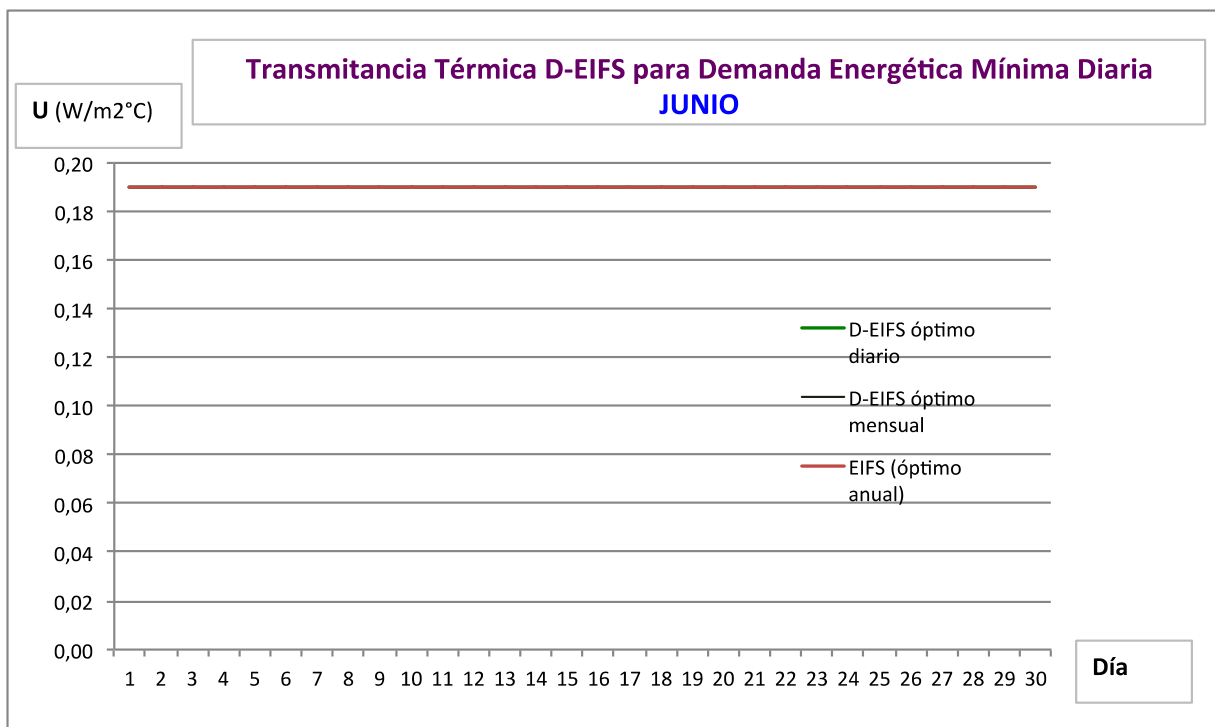
Base	Diaria	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18	Día 19	Día 20	Día 21	Día 22	Día 23	Día 24	Día 25	Día 26	Día 27	Día 28	Día 29	Día 30	Día 31
	kWh _(calef+refrig)	245	120	124	254	0	0	154	228	286	612	512	0	0	935	468	364	439	370	0	0	73	126	228	219	110	0	0	70	88	123	128
	U _{óptimo} Diario	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
	Base Mensual	U _{óptimo} mensual	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
	Base Anual	U _{óptimo} anual	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19

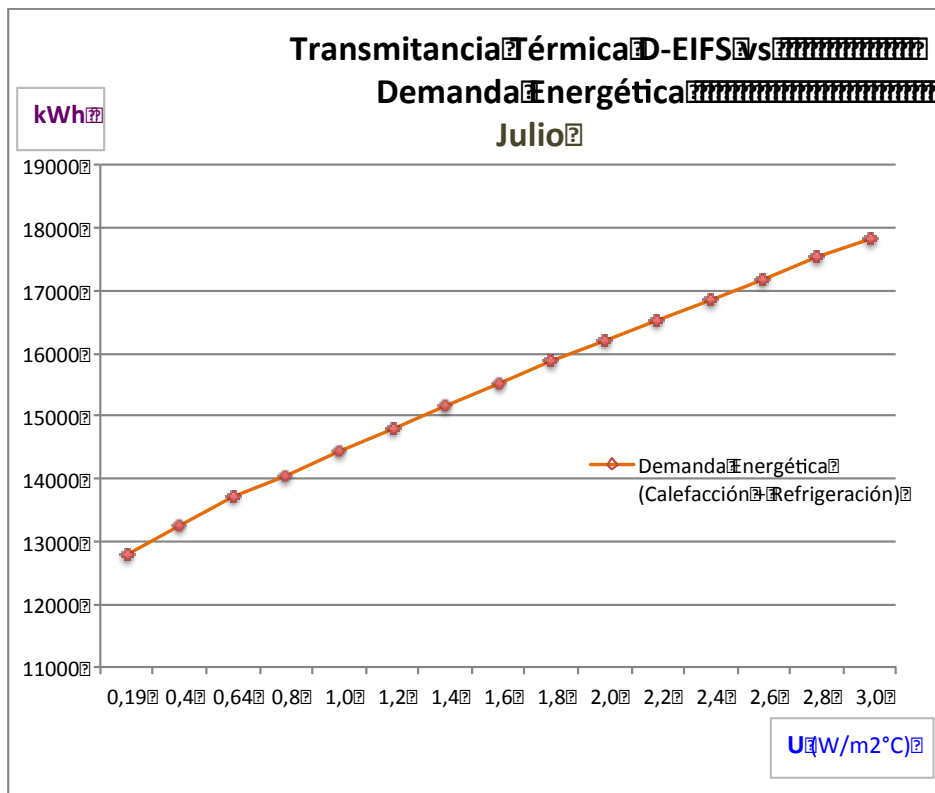
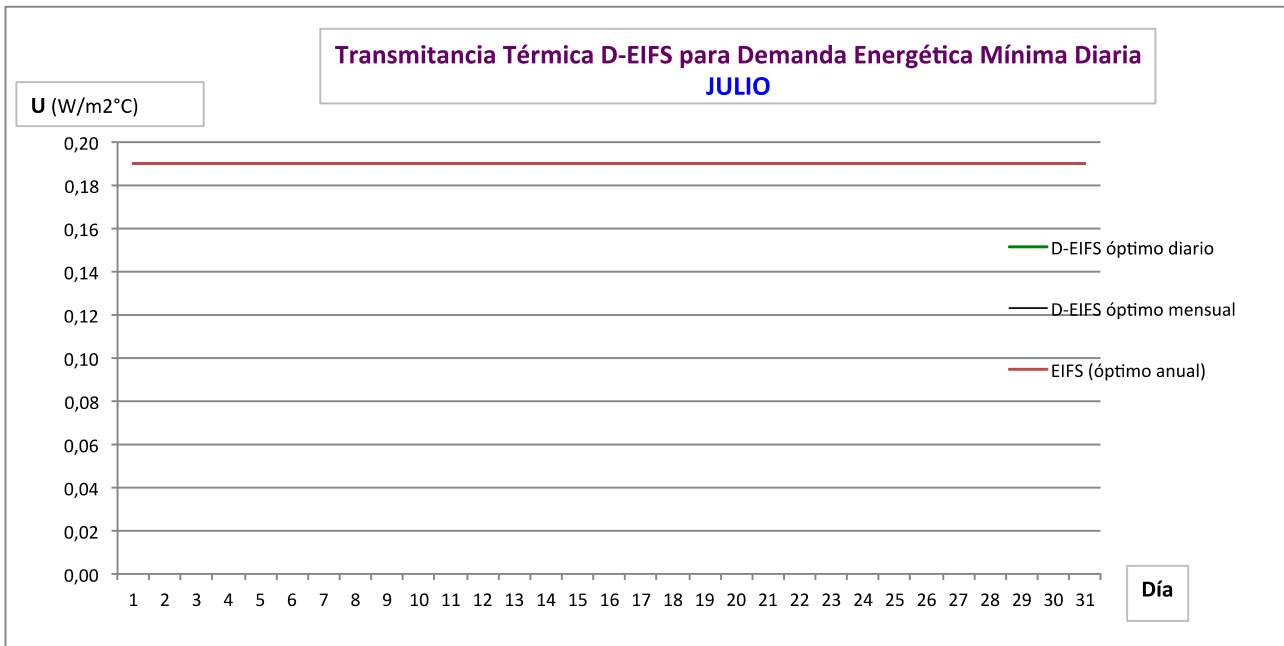


JUNIO	Total (kWh)
EIFS Óptimo Anual	9.629
D-EIFS Óptimo Mensual	9.629
D-EIFS Óptimo Diario	9.629
Ahorro D-EIFS Óptimo Diario vs EIFS	0
% Ahorro D-EIFS Óptimo Diario vs EIFS	0%

Simulación D-EIFS																														Total		
Espesor EIFS Aislación/Estuco (mm)	Valor U (W/m2°C)	Día 152	Día 153	Día 154	Día 155	Día 156	Día 157	Día 158	Día 159	Día 160	Día 161	Día 162	Día 163	Día 164	Día 165	Día 166	Día 167	Día 168	Día 169	Día 170	Día 171	Día 172	Día 173	Día 174	Día 175	Día 176	Día 177	Día 178	Día 179	Día 180	Día 181	Total
0/1,28	3,0	685	0	0	1.072	989	1.018	1.115	1.390	0	0	1.385	820	507	452	467	0	0	659	314	239	161	177	0	0	278	292	379	382	838	0	13.616
0,4/3,38	2,8	663	0	0	1.044	965	1.000	1.094	1.365	0	0	1.367	810	503	447	457	0	0	650	312	236	158	172	0	0	271	285	369	371	816	0	13.354
1,3/3,42	2,6	642	0	0	1.018	939	983	1.073	1.341	0	0	1.345	800	500	442	447	0	0	641	310	232	155	169	0	0	263	279	360	360	795	0	13.094
2,6/2,1	2,4	623	0	0	992	913	966	1.052	1.317	0	0	1.322	790	495	438	437	0	0	631	307	229	153	165	0	0	256	273	351	350	775	0	12.835
3,9/1,83	2,2	604	0	0	967	886	949	1.031	1.294	0	0	1.297	779	490	433	427	0	0	620	304	227	151	162	0	0	249	266	342	339	756	0	12.576
5/4	2,0	587	0	0	941	860	931	1.010	1.271	0	0	1.271	768	485	428	418	0	0	609	300	224	149	159	0	0	242	260	333	329	738	0	12.314
7/3,1	1,8	570	0	0	916	834	912	989	1.248	0	0	1.243	755	478	423	409	0	0	596	295	221	147	156	0	0	235	254	325	319	719	0	12.047
9/4,7	1,6	554	0	0	890	808	892	967	1.225	0	0	1.214	742	471	418	400	0	0	583	290	219	145	153	0	0	228	247	317	309	702	0	11.775
12/4,4	1,4	538	0	0	864	782	871	946	1.201	0	0	1.184	727	463	412	391	0	0	569	284	215	143	150	0	0	221	241	310	299	684	0	11.496
16/5	1,2	521	0	0	837	754	849	922	1.177	0	0	1.151	710	455	405	382	0	0	554	277	212	140	147	0	0	214	234	302	289	665	0	11.198
21/5	1,0	507	0	0	813	730	829	901	1.154	0	0	1.120	695	446	398	373	0	0	540	271	208	138	144	0	0	208	229	296	280	649	0	10.929
30/5	0,8	489	0	0	784	701	804	876	1.128	0	0	1.083	675	435	388	363	0	0	522	262	204	135	141	0	0	200	221	288	270	630	0	10.599
40/5	0,64	477	0	0	763	681	786	857	1.108	0	0	1.055	660	427	381	355	0	0	510	256	200	132	138	0	0	194	216	283	262	616	0	10.360
71/5	0,4	459	0	0	731	649	757	827	1.077	0	0	1.011	636	413	369	342	0	0	489	246	194	128	134	0	0	186	208	275	251	594	0	9.976
162/5	0,19	443	0	0	703	620	731	801	1.049	0	0	971	613	400	357	330	0	0	469	236	189	125	131	0	0	178	200	268	241	575	0	9.629

Base	Diaria	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18	Día 19	Día 20	Día 21	Día 22	Día 23	Día 24	Día 25	Día 26	Día 27	Día 28	Día 29	Día 30
	kWh (calef+refrig)	443	0	0	703	620	731	801	1.049	0	0	971	613	400	357	330	0	0	469	236	189	125	131	0	0	178	200	268	241	575	0
	U Óptimo Diario	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	
	Base Mensual U Óptimo Mensual	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	
	Base Anual U Óptimo Anual	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	

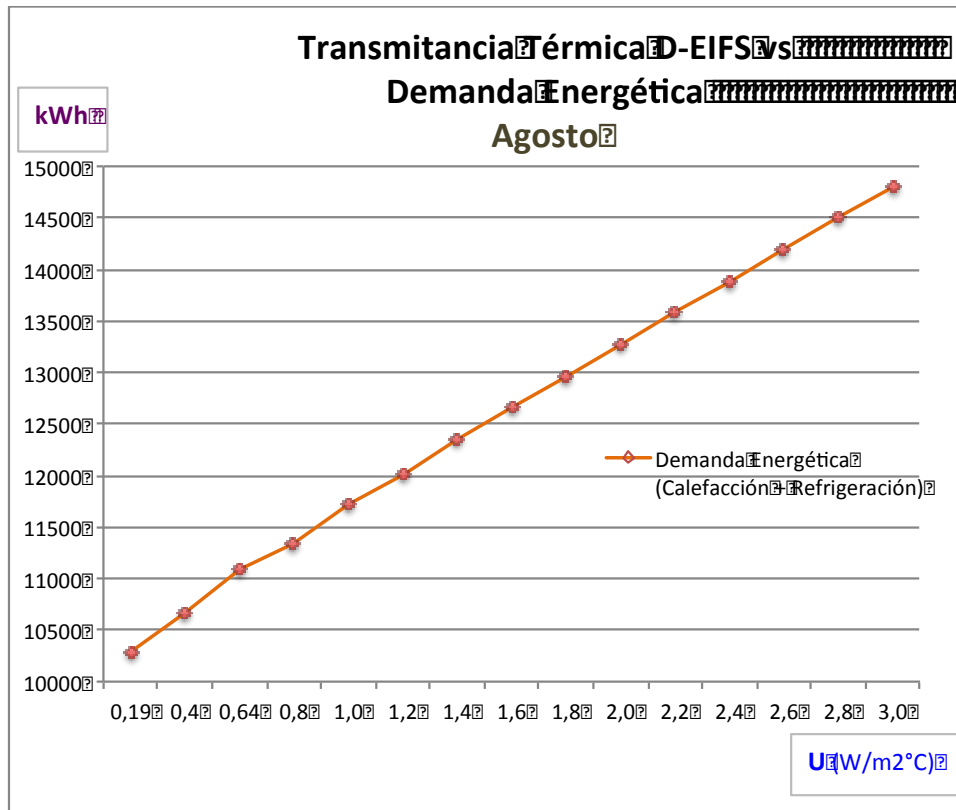
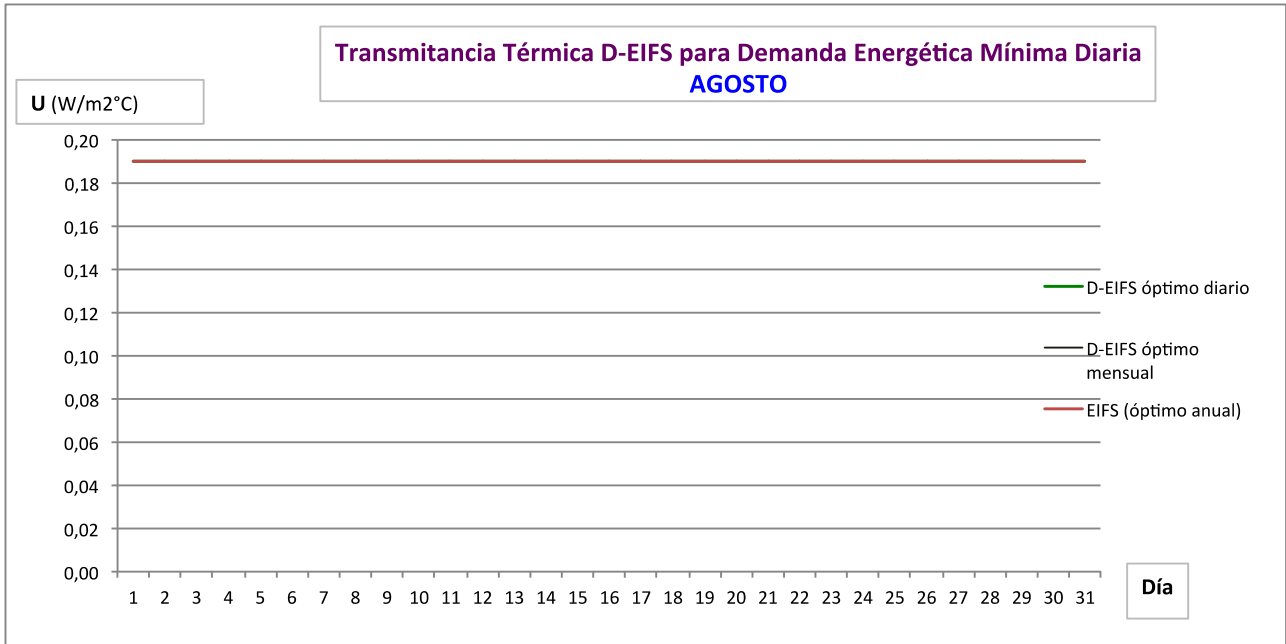




AGOSTO	Total (kWh)
EIFS ^{Optimo} Anual	10.293
D-EIFS ^{Optimo} Mensual	10.293
D-EIFS ^{Optimo} Diario	10.293
Ahorro ^{D-EIFS^{Optimo} Diario vs EIFS}	0
% ^{Ahorro^{D-EIFS^{Optimo} Diario vs EIFS}}	0%

Simulación ^{D-EIFS}		Día ²¹³	Día ²¹⁴	Día ²¹⁵	Día ²¹⁶	Día ²¹⁷	Día ²¹⁸	Día ²¹⁹	Día ²²⁰	Día ²²¹	Día ²²²	Día ²²³	Día ²²⁴	Día ²²⁵	Día ²²⁶	Día ²²⁷	Día ²²⁸	Día ²²⁹	Día ²³⁰	Día ²³¹	Día ²³²	Día ²³³	Día ²³⁴	Día ²³⁵	Día ²³⁶	Día ²³⁷	Día ²³⁸	Día ²³⁹	Día ²⁴⁰	Día ²⁴¹	Día ²⁴²	Día ²⁴³	Total
Espe ^{Optimo} Aislación/Estuco ^(mm)	Valor ^(W/m²°C)	584	904	888	0	0	1.178	1.368	1.345	1.319	942	0	0	767	721	571	643	466	0	0	212	316	437	554	417	0	0	309	194	242	240	196	14.813
0,4/3,38	3,0	568	881	864	0	0	1.158	1.350	1.323	1.297	924	0	0	754	709	562	630	456	0	0	207	307	425	535	405	0	0	301	188	234	231	192	14.499
1,3/3,42	2,8	553	857	841	0	0	1.136	1.331	1.301	1.275	905	0	0	741	697	552	617	446	0	0	203	299	414	517	392	0	0	293	183	226	223	187	14.189
2,6/2,1	2,6	541	835	818	0	0	1.112	1.312	1.278	1.254	885	0	0	728	685	542	604	436	0	0	198	291	404	499	380	0	0	285	178	218	216	183	13.882
3,9/1,83	2,4	529	813	796	0	0	1.087	1.293	1.256	1.232	865	0	0	714	674	532	592	426	0	0	193	283	394	482	367	0	0	278	173	211	208	179	13.577
5/4	2,2	518	793	775	0	0	1.061	1.272	1.232	1.210	845	0	0	701	661	522	579	417	0	0	188	276	384	466	353	0	0	271	168	204	201	174	13.273
7/3,1	2,0	507	773	754	0	0	1.033	1.250	1.209	1.188	825	0	0	687	649	511	567	408	0	0	183	269	375	450	340	0	0	265	162	197	193	170	12.966
9/4,7	1,8	497	754	734	0	0	1.004	1.227	1.185	1.166	804	0	0	672	636	500	555	399	0	0	178	263	366	435	326	0	0	258	157	190	185	166	12.656
12/4,4	1,6	486	736	714	0	0	974	1.204	1.160	1.143	783	0	0	656	623	489	542	390	0	0	173	256	357	420	312	0	0	251	151	182	178	163	12.342
16/5	1,4	475	718	693	0	0	940	1.177	1.133	1.118	761	0	0	639	608	476	529	381	0	0	167	250	348	404	298	0	0	245	144	175	170	159	12.010
21/5	1,2	466	702	676	0	0	910	1.153	1.109	1.096	741	0	0	623	595	465	517	373	0	0	162	245	341	391	286	0	0	239	138	168	162	156	11.713
30/5	1,0	453	683	655	0	0	873	1.123	1.080	1.068	717	0	0	602	577	451	502	363	0	0	155	239	332	375	272	0	0	233	131	160	154	152	11.349
40/5	0,8	444	670	641	0	0	846	1.101	1.058	1.048	700	0	0	587	565	440	491	356	0	0	150	234	326	363	262	0	0	229	127	153	148	149	11.088
71/5	0,64	429	649	618	0	0	803	1.065	1.023	1.016	672	0	0	562	544	423	473	346	0	0	143	227	316	345	246	0	0	222	120	144	138	146	10.669
162/5	0,4	416	630	599	0	0	764	1.031	991	986	648	0	0	539	524	407	457	336	0	0	136	221	307	329	232	0	0	217	114	135	130	143	10.293

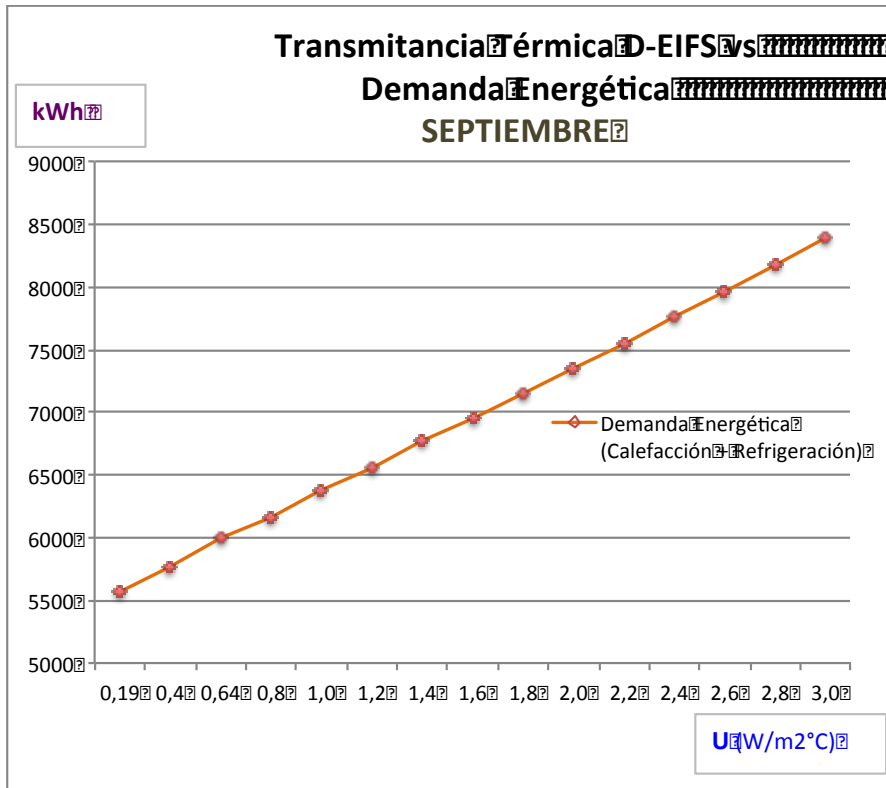
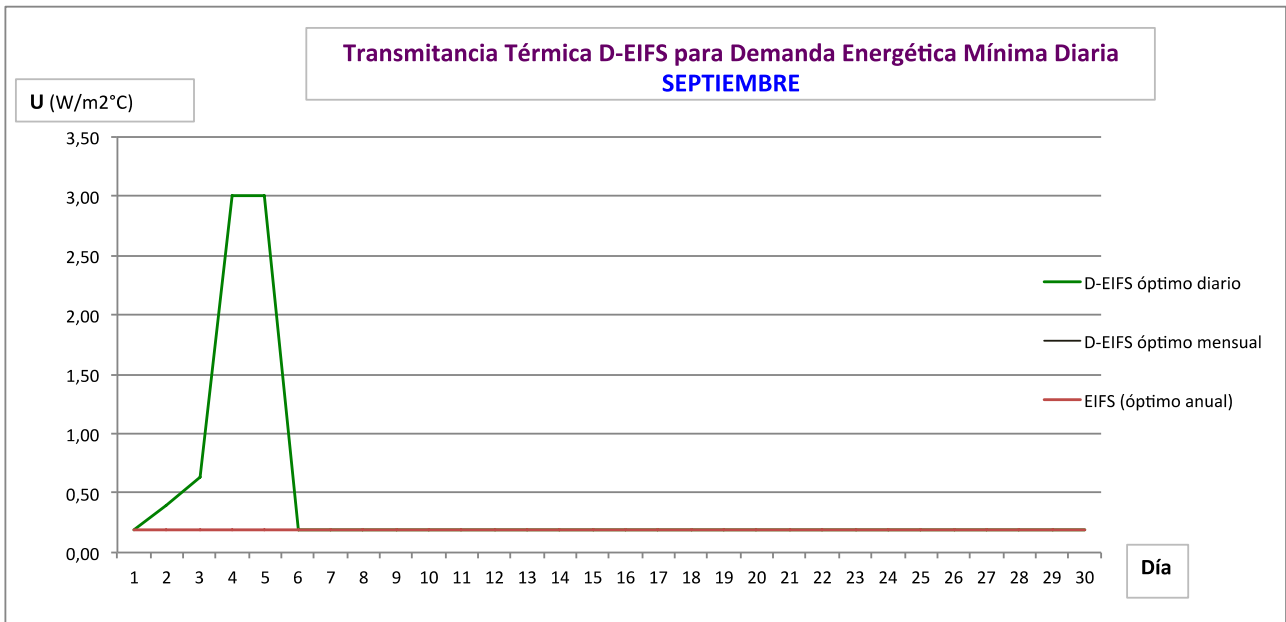
Base ^{Diaría}		Día ¹	Día ²	Día ³	Día ⁴	Día ⁵	Día ⁶	Día ⁷	Día ⁸	Día ⁹	Día ¹⁰	Día ¹¹	Día ¹²	Día ¹³	Día ¹⁴	Día ¹⁵	Día ¹⁶	Día ¹⁷	Día ¹⁸	Día ¹⁹	Día ²⁰	Día ²¹	Día ²²	Día ²³	Día ²⁴	Día ²⁵	Día ²⁶	Día ²⁷	Día ²⁸	Día ²⁹	Día ³⁰	Día ³¹
	kWh ^(calef+refrig)	416	630	599	0	0	764	1.031	991	986	648	0	0	539	524	407	457	336	0	0	136	221	307	329	232	0	0	217	114	135	130	143
	U ^{Optimo} Diario	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
Base ^{Mensual}	U ^{Optimo} Mensual	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
Base ^{Anual}	U ^{Optimo} Anual	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19



SEPTIEMBRE	Total (kWh)
EIFS Óptimo Anual	5.562
D-EIFS Óptimo Mensual	5.562
D-EIFS Óptimo Diario	5.518
Ahorro D-EIFS Óptimo Diario vs EIFS	44
% Ahorro D-EIFS Óptimo Diario vs EIFS	1%

Simulación D-EIFS																													Total			
Espesor EIFS Aislación/Estuco (mm)	Valor U (W/m ² °C)	Día 244	Día 245	Día 246	Día 247	Día 248	Día 249	Día 250	Día 251	Día 252	Día 253	Día 254	Día 255	Día 256	Día 257	Día 258	Día 259	Día 260	Día 261	Día 262	Día 263	Día 264	Día 265	Día 266	Día 267	Día 268	Día 269	Día 270	Día 271	Día 272	Día 273	Total
0/1,28	3,0	0	0	296	155,7	92	151	321	0	0	941	1.064	814	606	497	0	0	661	475	466	354	306	0	0	218	148	202	375	248	0	0	8.388
0,4/3,38	2,8	0	0	294	155,9	93	146	309	0	0	914	1.041	792	593	485	0	0	645	461	455	344	299	0	0	211	142	194	360	240	0	0	8.174
1,3/3,42	2,6	0	0	291	156	94	142	297	0	0	885	1.019	770	580	473	0	0	629	447	444	334	292	0	0	204	138	186	347	234	0	0	7.962
2,6/2,1	2,4	0	0	289	156	95	139	286	0	0	856	997	747	566	461	0	0	613	433	434	325	285	0	0	198	134	179	335	228	0	0	7.757
3,9/1,83	2,2	0	0	287	157	96	136	276	0	0	826	974	725	552	449	0	0	597	420	423	316	279	0	0	192	130	173	324	222	0	0	7.555
5/4	2,0	0	0	284	157	98	134	267	0	0	796	950	703	538	437	0	0	581	406	413	308	273	0	0	186	127	167	315	217	0	0	7.356
7/3,1	1,8	0	0	282	157	99	133	259	0	0	765	925	681	523	426	0	0	565	392	402	299	267	0	0	181	123	161	306	212	0	0	7.158
9/4,7	1,6	0	0	281	158	101	131	252	0	0	733	899	659	507	414	0	0	548	378	391	290	261	0	0	176	119	156	298	207	0	0	6.960
12/4,4	1,4	0	0	279	159	103	130	246	0	0	702	872	637	491	402	0	0	531	365	380	281	256	0	0	171	116	151	291	203	0	0	6.764
16/5	1,2	0	0	277	160	105	130	240	0	0	669	843	613	473	389	0	0	513	350	368	272	250	0	0	166	112	146	284	199	0	0	6.559
21/5	1,0	0	0	276	160	108	129	236	0	0	639	817	592	457	378	0	0	497	336	357	263	245	0	0	162	109	142	278	195	0	0	6.377
30/5	0,8	0	0	275,4	162	111	129	231	0	0	604	785	567	437	365	0	0	476	320	344	253	238	0	0	157	105	137	271	192	0	0	6.160
40/5	0,64	0	0	275,2	163	113	128	228	0	0	580	761	549	423	355	0	0	461	309	334	246	234	0	0	155	103	134	267	189	0	0	6.008
71/5	0,4	0	0	275,4	166	118	127,9	224	0	0	542	723	520	400	340	0	0	437	290	319	234	227	0	0	151	99	129	260	186	0	0	5.769
162/5	0,19	0	0	276	168	122	127,8	220	0	0	509	689	495	380	327	0	0	415	274	304	224	221	0	0	148	96	126	254	184	0	0	5.562

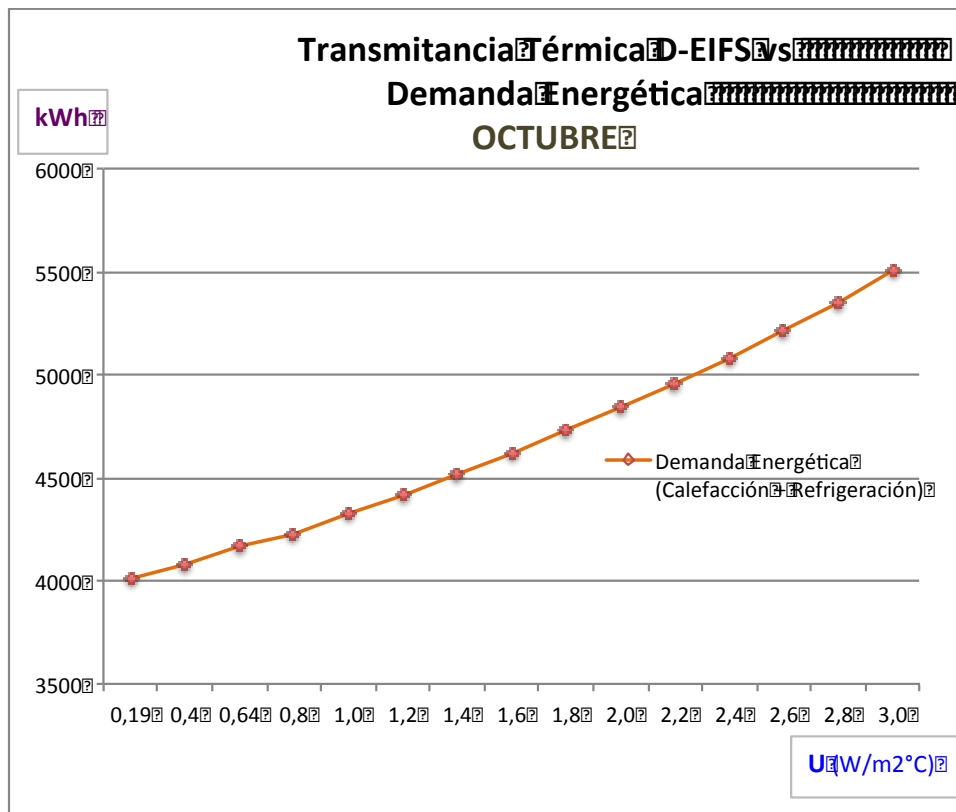
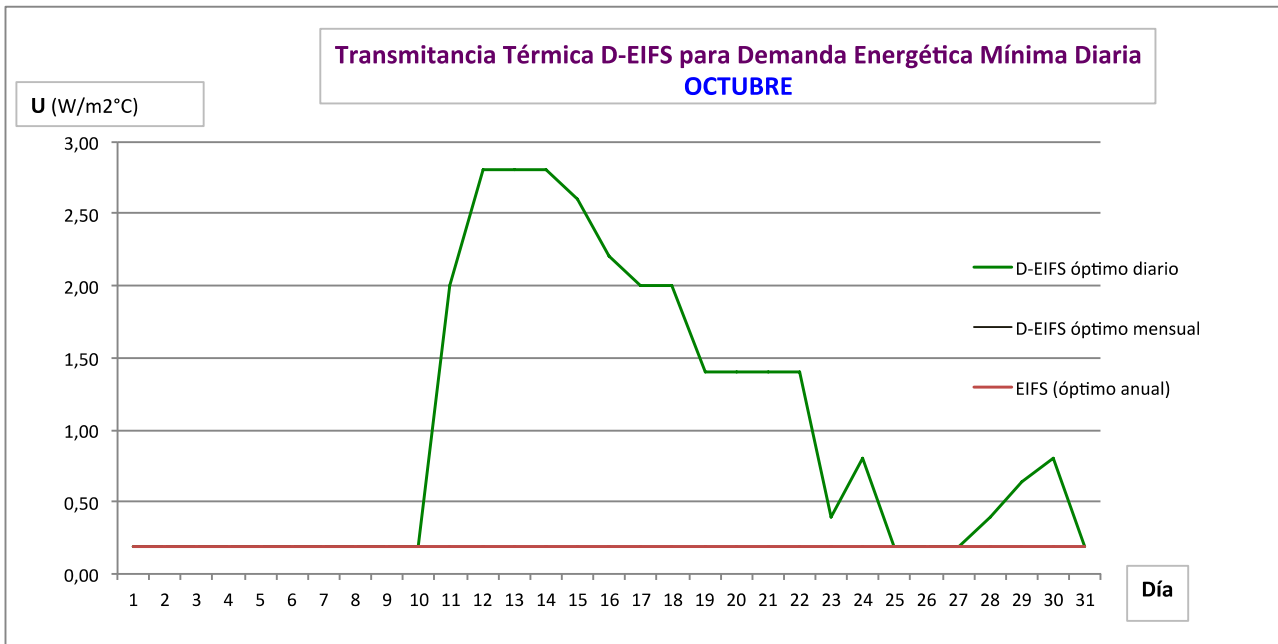
Base	Diaria	Día 244	Día 245	Día 246	Día 247	Día 248	Día 249	Día 250	Día 251	Día 252	Día 253	Día 254	Día 255	Día 256	Día 257	Día 258	Día 259	Día 260	Día 261	Día 262	Día 263	Día 264	Día 265	Día 266	Día 267	Día 268	Día 269	Día 270	Día 271	Día 272	Día 273
	kWh (calef+refrig)	0	0	275,2	155,7	92	127,8	220	0	0	509	689	495	380	327	0	0	415	274	304	224	221	0	0	148	96	126	254	184	0	0
	U Óptimo Diario	0,19	0,40	0,64	3,00	3,00	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	
	U Óptimo Mensual	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	
	U Óptimo Anual	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	



OCTUBRE	Total
EIFS _{óptimo} Anual	4.007
D-EIFS _{óptimo} Mensual	4.007
D-EIFS _{óptimo} Diario	3.885
Ahorro _{D-EIFS_{óptimo} Diario} vs EIFS	122
% _{Ahorro_{D-EIFS_{óptimo} Diario} vs EIFS}	3%

Simulación D-EIFS																																	
Esesor _{EIFS} Aislación/Estuco (mm)	Valor _{U_{transmisión}} (W/m ² C)	Día ₂₇₄	Día ₂₇₅	Día ₂₇₆	Día ₂₇₇	Día ₂₇₈	Día ₂₇₉	Día ₂₈₀	Día ₂₈₁	Día ₂₈₂	Día ₂₈₃	Día ₂₈₄	Día ₂₈₅	Día ₂₈₆	Día ₂₈₇	Día ₂₈₈	Día ₂₈₉	Día ₂₉₀	Día ₂₉₁	Día ₂₉₂	Día ₂₉₃	Día ₂₉₄	Día ₂₉₅	Día ₂₉₆	Día ₂₉₇	Día ₂₉₈	Día ₂₉₉	Día ₃₀₀	Día ₃₀₁	Día ₃₀₂	Día ₃₀₃	Día ₃₀₄	Total
0/1,28	3,0	304	443	652	430	371	0	0	317	248	129	120	115,2	0	0	153	147	184	196	191	0	0	207	207	172	209	235	0	0	153	137	180	5.502
0,4/3,38	2,8	294	430	634	418	362	0	0	307	241	126	119	115,1	0	0	152,3	145	181	193	187	0	0	202	199	167	201	225	0	0	149	134	172	5.352
1,3/3,42	2,6	284	415	617	404	352	0	0	298	233	123	118	115,2	0	0	151,8	143	179	190	184	0	0	197	192	163	193	215	0	0	145	132	166	5.211
2,6/2,1	2,4	276	402	600	390	342	0	0	289	226	120	117	116	0	0	152,2	142,35	178	188	181	0	0	193	186	159	187	206	0	0	141	129	160	5.080
3,9/1,83	2,2	267	388	582	375	331	0	0	281	218	118	117,05	116	0	0	153	141,96	177,4	187,2	180	0	0	190	181	155	181	198	0	0	136	127	154	4.956
5/4	2,0	258	375	564	360	321	0	0	272	211	116	117,02	117	0	0	154	142,00	177,3	186,7	178	0	0	188	177	152	176	190	0	0	132	125	149	4.839
7/3,1	1,8	250	362	546	345	309	0	0	264	204	114	117,10	118	0	0	155	143	178	186,9	177	0	0	186	174	149	172	182	0	0	129	123	145	4.727
9/4,7	1,6	241	349	528	329	298	0	0	255	196	112	117	119	0	0	157	144	178	188	177	0	0	185,2	171	147	168	175	0	0	125	121	140	4.620
12/4,4	1,4	232	336	509	314	286	0	0	245	189	110	118	120	0	0	159	145	180	189	176	0	0	184,59	169	145	164	169	0	0	122	120	136	4.517
16/5	1,2	222	323	490	298	273	0	0	235	181	108	118	121	0	0	161	147	181	190	177	0	0	184,62	167	143	161	162	0	0	120	119	132	4.415
21/5	1,0	214	311	472	285	261	0	0	226	173	107	118	122	0	0	164	149	183	192	177	0	0	184,8	166	143	159	157	0	0	118	118,2	128	4.328
30/5	0,8	203	297	451	269	247	0	0	214	164	105	119	124	0	0	167	151	186	194	178	0	0	186	165,2	141,9	157	152	0	0	117,1	118,0	124	4.231
40/5	0,64	195	287	436	258	237	0	0	205	158	104	120	125	0	0	169	153	188	196	179	0	0	186	164,97	142,0	155	149	0	0	116,8	118,1	121	4.166
71/5	0,4	184	273	413	240	222	0	0	192	148	103	121	128	0	0	174	157	191	200	182	0	0	189	164,95	143	154	144	0	0	117,5	119	117	4.075
162/5	0,19	174	261	393	225	209	0	0	180	140	102	123	131	0	0	178	161	195	203	184	0	0	191	166	144	153	141	0	0	119	121	114	4.007

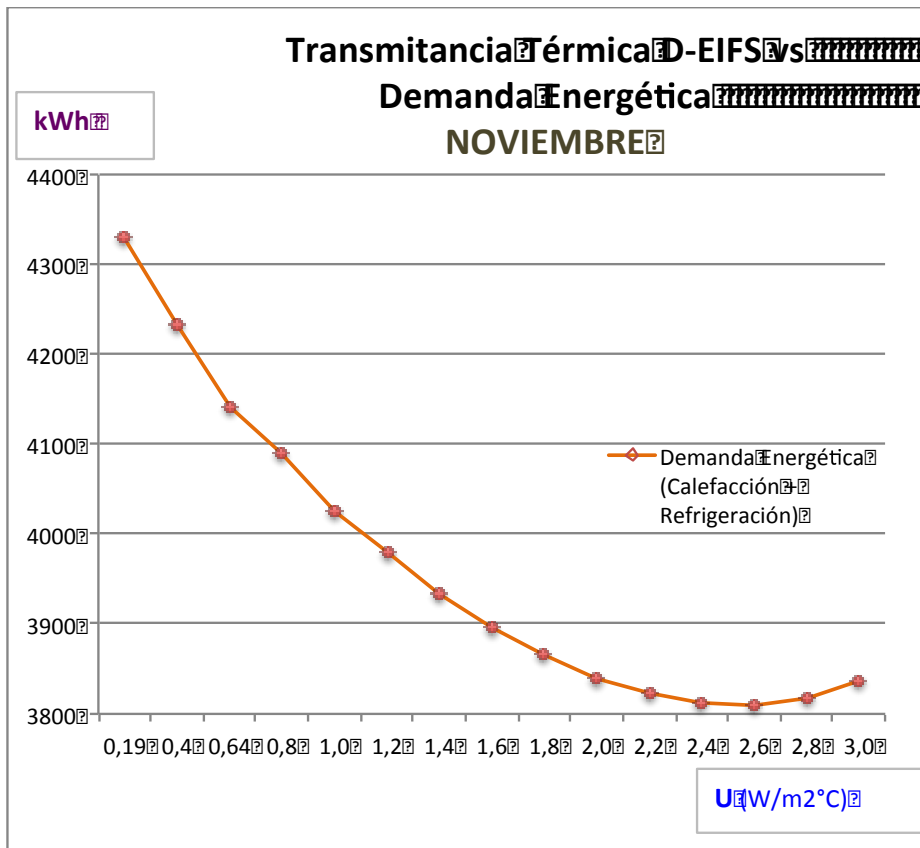
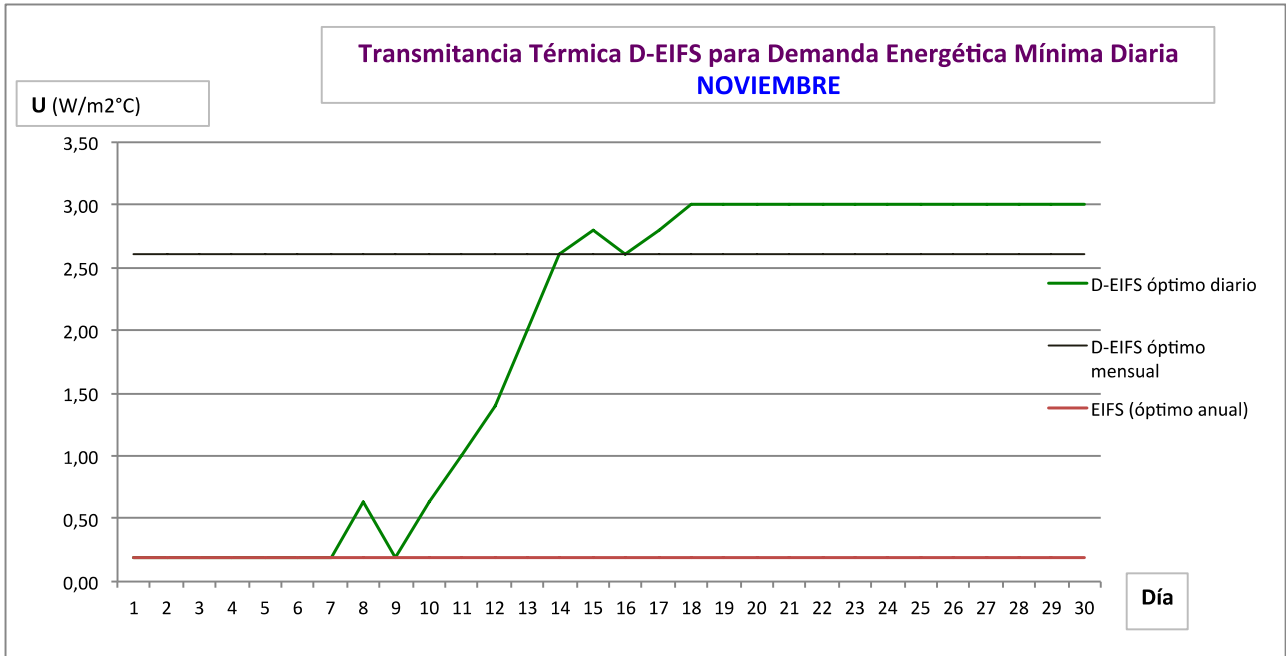
Base _{Diaria}		Día ₁	Día ₂	Día ₃	Día ₄	Día ₅	Día ₆	Día ₇	Día ₈	Día ₉	Día ₁₀	Día ₁₁	Día ₁₂	Día ₁₃	Día ₁₄	Día ₁₅	Día ₁₆	Día ₁₇	Día ₁₈	Día ₁₉	Día ₂₀	Día ₂₁	Día ₂₂	Día ₂₃	Día ₂₄	Día ₂₅	Día ₂₆	Día ₂₇	Día ₂₈	Día ₂₉	Día ₃₀	Día ₃₁
	kWh _(calef+refrig)	174	261	393	225	209	0	0	180	140	102	117	115	0	0	152	142	177	187	176	0	0	185	165	142	153	141	0	0	117	118	114
	U _{óptimo} Diario	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
Base _{Mensual}	U _{óptimo} mensual	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
Base _{Annual}	U _{óptimo} anual	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19



NOVIEMBRE	Total (kWh)
EIFS Óptimo Anual	4.330
D-EIFS Óptimo Mensual	3.809
D-EIFS Óptimo Diario	3.441
Ahorro D-EIFS Óptimo Diario vs EIFS	889
% Ahorro D-EIFS Óptimo Diario vs EIFS	21%

Simulación D-EIFS																																Total
Espesor EIFS (mm)	Valor U (W/m²C)	Día 305	Día 306	Día 307	Día 308	Día 309	Día 310	Día 311	Día 312	Día 313	Día 314	Día 315	Día 316	Día 317	Día 318	Día 319	Día 320	Día 321	Día 322	Día 323	Día 324	Día 325	Día 326	Día 327	Día 328	Día 329	Día 330	Día 331	Día 332	Día 333	Día 334	Total
0/1,28	3,0	190	215	0	0	198	188	164	112	158	0	0	153	152	156	139,18	160	0	0	199	158	177	121	207	0	0	213	244	197	160	173	3.836
0,4/3,38	2,8	183	207	0	0	192	182	158	108	153	0	0	150	150	155	139,17	158,5	0	0	201	161	181	124	211	0	0	217	248	200	162	175	3.817
1,3/3,42	2,6	177	200	0	0	185	177	152	105	149	0	0	149	148	154	139,37	158,3	0	0	204	164	185	128	215	0	0	222	252	204	164	177	3.809
2,6/2,1	2,4	172	194	0	0	180	172	147	102	145	0	0	147	147	155	140	159	0	0	208	167	190	132	220	0	0	227	256	207	167	180	3.812
3,9/1,83	2,2	167	188	0	0	175	167	141	99	141	0	0	146	147	155	140	160	0	0	212	171	194	136	225	0	0	232	261	212	170	184	3.823
5/4	2,0	162	183	0	0	170	163	136	96	136	0	0	145	146	157	141	162	0	0	217	174	198	140	230	0	0	238	267	216	174	188	3.841
7/3,1	1,8	158	178	0	0	166	159	130	94	132	0	0	145	147	158	142	164	0	0	223	178	202	144	235	0	0	244	272	221	179	193	3.865
9/4,7	1,6	154	174	0	0	162	155	125	92	128	0	0	144	147	160	144	166	0	0	229	182	207	148	241	0	0	251	278	227	184	199	3.896
12/4,4	1,4	151	170	0	0	159	151	120	90	123	0	0	143,90	148	162	145	169	0	0	235	186	212	153	246	0	0	258	285	232	189	204	3.933
16/5	1,2	148	167	0	0	155	148	115	88	118	0	0	143,92	149	165	147	172	0	0	243	192	217	158	252	0	0	265	292	239	195	211	3.979
21/5	1,0	145	164	0	0	153	145	111	88	114	0	0	144	150	167	148	174	0	0	250	196	222	162	258	0	0	272	299	245	200	217	4.026
30/5	0,8	143	161	0	0	151	142	105	87	108	0	0	145	152	170	151	178	0	0	258	203	228	168	265	0	0	281	308	252	207	225	4.090
40/5	0,64	141	160	0	0	150	140	102	86,41	104	0	0	146	153	173	152	181	0	0	265	207	233	172	270	0	0	288	315	258	212	231	4.141
71/5	0,4	138	157	0	0	148	137	97	86,43	99	0	0	148	156	177	155	186	0	0	276	216	241	179	279	0	0	299	326	268	221	242	4.233
162/5	0,19	137	156	0	0	147	135	94	87	94	0	0	151	159	182	158	190	0	0	288	224	249	186	288	0	0	310	337	277	230	252	4.330

Base	Día	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18	Día 19	Día 20	Día 21	Día 22	Día 23	Día 24	Día 25	Día 26	Día 27	Día 28	Día 29	Día 30	
Base Diaria	kWh (calef+refrig)	137	156	0,0	0,0	147	135	94	86	94	0	0	144	146	154	139	158	0	0	199	158	177	121	207	0	0	213	244	197	160	173
	U óptimo diario	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,64	0,19	0,64	1,0	1,4	2,0	2,6	2,8	2,8	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	
Base Mensual	U óptimo mensual	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	
Base Anual	U óptimo anual	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	



DICIEMBRE	Total (kWh)
EIFS _{óptimo} Anual	5.037
D-EIFS _{óptimo} Mensual	3.689
D-EIFS _{óptimo} Diario	3.634
Ahorro D-EIFS _{óptimo} Diario vs EIFS	1.403
% Ahorro D-EIFS _{óptimo} Diario vs EIFS	28%

Simulación D-EIFS																																Total	
Espesor EIFS Aislación/Estuco (mm)	Valor U (W/m ² °C)	Día 335	Día 336	Día 337	Día 338	Día 339	Día 340	Día 341	Día 342	Día 343	Día 344	Día 345	Día 346	Día 347	Día 348	Día 349	Día 350	Día 351	Día 352	Día 353	Día 354	Día 355	Día 356	Día 357	Día 358	Día 359	Día 360	Día 361	Día 362	Día 363	Día 364	Día 365	
		0/1,28	3,0	0	0	186	170	121	150,0	151	0	0	202	171	187	169	188	0	0	214	211	223	263	197	0	0	154	97	152	144	159	0	0
0,4/3,38	2,8	0	0	187	173	124	150,2	152	0	0	205	173	189	170	189	0	0	218	213	227	268	201	0	0	155	95	145	141	156	0	0	183	3.716
1,3/3,42	2,6	0	0	190	176	128	151	155	0	0	208	176	192	172	192	0	0	223	215	231	274	206	0	0	156	94	139	139	155,4	0	0	186	3.756
2,6/2,1	2,4	0	0	193	180	131	153	158	0	0	212	179	196	175	196	0	0	228	217	235	280	211	0	0	158	92	134	137	155,3	0	0	189	3.810
3,9/1,83	2,2	0	0	198	184	135	156	161	0	0	217	182	200	178	200	0	0	233	220	239	286	216	0	0	161	91	129	135,9	156	0	0	193	3.873
5/4	2,0	0	0	203	188	139	159	165	0	0	222	186	205	182	205	0	0	239	223	244	292	222	0	0	164	90,2	126	135,7	157	0	0	197	3.945
7/3,1	1,8	0	0	209	193	143	163	170	0	0	228	190	211	187	211	0	0	245	227	248	299	227	0	0	167	90,2	122	136,2	159	0	0	201	4.026
9/4,7	1,6	0	0	215	199	147	167	175	0	0	234	194	216	191	216	0	0	251	231	252	305	233	0	0	171	90,5	120	137	162	0	0	206	4.115
12/4,4	1,4	0	0	223	205	152	171	180	0	0	240	199	223	196	223	0	0	257	236	257	312	239	0	0	175	91	118	139	165	0	0	211	4.212
16/5	1,2	0	0	231	212	158	176	186	0	0	248	205	230	201	230	0	0	264	241	262	318	244	0	0	180	92	116,4	142	168	0	0	217	4.323
21/5	1,0	0	0	239	218	163	181	192	0	0	255	211	236	207	236	0	0	271	246	266	325	250	0	0	185	93	115,8	144	172	0	0	223	4.428
30/5	0,8	0	0	248	227	169	187	200	0	0	264	218	244	213	244	0	0	279	253	272	333	257	0	0	191	95	116,1	149	177	0	0	231	4.567
40/5	0,64	0	0	256	233	174	192	205	0	0	271	223	251	219	250	0	0	286	259	276	338	262	0	0	196	97	117	152	181	0	0	236	4.674
71/5	0,4	0	0	269	244	182	200	215	0	0	283	233	262	228	261	0	0	297	268	283	348	270	0	0	204	100	119	158	188	0	0	246	4.857
162/5	0,19	0	0	282	255	190	208	224	0	0	295	242	272	237	271	0	0	308	277	291	357	277	0	0	212	104	121	164	195	0	0	256	5.037

Base Diaria		Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18	Día 19	Día 20	Día 21	Día 22	Día 23	Día 24	Día 25	Día 26	Día 27	Día 28	Día 29	Día 30	Día 31
	kWh (calef+refrig)	0	0	186	170	121	150	151	0	0	202	171	187	169	188	0	0	214	211	223	263	197	0	0	154	90	116	136	155	0	0	182
	U _{óptimo} Diario	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	1,80	1,0	2,0	2,4	2,6	2,8	3,0
Base Mensual	U _{óptimo} Mensual	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Base Anual	U _{óptimo} Anual	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19

