

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE BARCELONA  
Trabajo Final de Máster  
Máster Universitario en Estudios Avanzados en Arquitectura-Barcelona  
Especialidad Innovación tecnológica en la arquitectura

The image is a high-quality architectural rendering of a modern, multi-story building. The building's facade is characterized by a grid of windows, many of which are equipped with dynamic solar protection systems. These systems consist of white, rectangular panels that can be extended or retracted, creating a rhythmic pattern of light and shadow across the building's exterior. The building is set against a clear blue sky, and the overall aesthetic is clean and futuristic. In the foreground, a woman in a patterned jacket and dark pants is walking across a paved plaza, providing a sense of scale. To the left, a white car is parked on a street. The bottom of the image features a dark grey banner with white text, and a white box in the bottom right corner contains additional text.

# SISTEMAS DE PROTECCIÓN SOLAR DINÁMICOS

ALUMNO: Diego Escolano Farto  
TUTORA: Eva Crespo Sanchez  
Septiembre 2018



## ABSTRACT

*"Lo único constante en la vida es el cambio"*

Heráclito de Éfeso, Filósofo griego, 500 a.C.

*"La inteligencia es la capacidad de adaptarse al cambio."*

Dr. Stephen Hawking, físico británico

Estas sentencias describen la problemática y la solución a la amenaza más importante que enfrenta actualmente la humanidad: el cambio climático.

La gran cantidad de energía que los edificios consumen para garantizar el bienestar de las personas es uno de los puntos clave en la problemática medioambiental que se ha agudizado durante las últimas décadas. Producto del cambio climático, la inminente crisis energética a la cual nos enfrentamos y el indiscutible daño medioambiental que ha generado nuestra especie, podemos ver como en muchas latitudes del planeta la radiación solar produce un sobrecalentamiento interior de los edificios tan alto, que se calcula que el 10% del consumo energético mundial corresponde al utilizado en la climatización (1). Esta situación proyecta que el consumo energético de aire acondicionado triplicará la demanda mundial de energía hasta el año 2050. (2) Esta es la evidencia de la ineficiencia energética con la que hemos abordado el tema climático en gran parte de los edificios.

Esta dependencia de los sistemas activos de climatización, principalmente de HVAC (Heating, ventilation, and air conditioning), representa la necesidad de maquinarias para garantizar la condición de refugio confortable a las personas respecto a las condiciones climáticas del entorno.

Es así, como hoy en día encontramos múltiples soluciones que intentan mejorar el comportamiento energético en los edificios, a través de sistemas que buscan adaptar las edificaciones a su entorno. Dentro de este contexto, podemos ver que el campo de las fachadas dinámicas ha tenido un importante desarrollo, y con un amplio campo por explorar aún.

Para enfrentar este propósito, es fundamental que la arquitectura utilice y desarrolle soluciones coherentes con el entorno en uno de los elementos más relevantes en el intercambio energético: la envolvente. La utilización de sistemas de protección solar capaces de adaptarse a las condiciones exteriores, a modo de controlar las ganancias térmicas a través de la piel exterior, se puede gestionar para minimizar el uso de energía utilizada para la refrigeración y calefacción de los edificios, a modo de contribuir activamente a generar espacios energéticamente eficientes, y lograr una gestión energética más sostenible.

El objetivo fundamental de este documento es analizar las posibilidades de innovación dentro del campo de las fachadas dinámicas, evaluando mecánica, geométrica y energéticamente las diferentes posibilidades.

## PALABRAS CLAVE

Protección solar, parasol, fachada dinámica/responsiva/adaptativa, arquitectura cinética, diseño paramétrico, estructuras/módulos desplegables, origami, evaluación energética, eficiencia energética

(1) y (2) FUENTE: Informe 'The Future of Cooling Opportunities for energy efficient air conditioning' de Agencia Internacional de Energía (AIE) y la OECD  
[https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/The\\_Future\\_of\\_Cooling.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/The_Future_of_Cooling.pdf)

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	6	C. PROPUESTA Y EVALUACIÓN	27
OBJETIVOS	7	Propuesta	28
METODOLOGÍA	7	Vectores de innovación	30
<b>A. PROBLEMÁTICA</b>	<b>8</b>	Materialidad y color	31
Terminología	9	Funcionamiento	32
Problema Medioambiental	10	Dispositivo electromecánico	33
Sustentabilidad	11	Estética y multimedia	37
Eficiencia energética	12	Geometría y Prototipos	39
Sobreconsumo en climatización	12	Imagen objetivo	40
Confort higrotérmico	13	Primer prototipo	42
Envolvente térmica	15	Segundo prototipo	44
		Tercer prototipo	46
		Evaluación energética: Caso de estudio	49
		Evaluación energética: Resultados	52
<b>B. ESTADO DEL ARTE</b>	<b>16</b>	<b>D. CONCLUSIONES</b>	<b>58</b>
Diseño paramétrico	17	Futuras líneas de investigación	62
Protecciones solares	19	Bibliografía	63
Estructuras desplegadas	21		
Clasificación de los sistemas existentes	22		
Edificios de referencia	23		

## AGRADECIMIENTOS

Aventurarme a estudiar e investigar ha sido un proceso maravilloso. Durante este tiempo he recibido el apoyo de una gran cantidad de personas que me gustaría destacar. A continuación, enumero con más cariño que jerarquías, a todos los que me han impulsado y ayudado a remar en esta etapa de mi vida.

A mis familiares y amigos.

A Elguetita por su amor, valentía y compañerismo.

A mis padres, Ortnando y Filuca, simplemente y complejamente por todo  
A Amandita, Josefa, Sofy y Feñita , que son el néctar de todo.

A Niko, Ibarrita, Naty, Ale, Talo, y otros que se han tomado el tiempo de vivir los sueños conmigo.

A David, Emi, Jean, Octavio, Santi, Simón y Tomy por sus amistades, tempranas aún, pero importantes.

A mis profesores,

A Eva Crespo y a la guagüita que viene (como diríamos en chileno) por estar ahí y por su inmenso apoyo.

A mis profesores del MArch, en especial a Joan Luis Zamora y Jordi Pagés por sus oportunos comentarios.

Al Dr. Lino Montoro de la Universidad de Girona por todo su apoyo.

Por último, y como diría mi padre, un agradecimiento a los que ya no están.

## INTRODUCCION

Los edificios representan un conjunto de sistemas en constante interacción. Redes de instalaciones eléctricas, impulsiones y extracciones de fluidos a través de conductos, elementos estructurales actuando de soporte, hasta una serie de aparatos electromecánicos destinados a mejorar las condiciones climáticas en el interior, son algunos de los componentes que representan este conjunto de elementos, que evidentemente tiene una semejanza a los sistemas que componen un organismo vivo. Así podemos equiparar al sistema cutáneo a la envolvente de los edificios, ambos encargados de proteger de los agentes externos al macro sistema, que serían el cuerpo humano o el edificio. Es en este punto donde debemos cuestionarnos ¿son los sistemas de envolvente que se utilizan hoy en día suficientemente flexibles, inteligentes y dinámicos como para responder a las situaciones cambiantes del entorno?

Nuestra interacción con el medioambiente es un proceso dinámico, que durante los últimos siglos ha sido responsable en gran medida de la degradación de nuestro entorno. Esta situación se da, entre otros factores, por una cuestión bastante contradictoria: gran parte de las respuestas y tecnologías desarrolladas responden de una manera estática a las situaciones medioambientales dinámicas.

La constante innovación en el campo de las fachadas representa una de las áreas con mayor desarrollo tecnológico dentro de la arquitectura y la construcción. La envolvente de los edificios es el elemento que genera el intercambio energético, sonoro y lumínico con el entorno, además de constituir una componente estética apreciable tanto del interior como desde el exterior. Como podemos suponer, la fachada de los edificios encarna un elemento mucho más importante que el límite entre el exterior e interior.

Cada vez podemos ver más frecuentemente edificios de gran envergadura con sistemas de fachada vidriada en su exterior. Una de las problemáticas más relevantes que plantea la utilización de este tipo de sistemas (muro cortina, doble y triple vidrio hermético, entre otros) es la gran cantidad de radiación que ingresa en los edificios, generando un efecto invernadero en su interior y sobrecalentando los espacios. Esta situación se soluciona a través de la utilización de sistemas activos de climatización, a modo de garantizar una temperatura confortable para los usuarios, pero sin considerar el gran gasto energético y ambiental que esto conlleva.

La incesante innovación tecnológica desarrollada en el campo de la envolvente de los edificios, debe abordar esta semejanza con la piel de los organismos vivos, para garantizar su adaptación a las condiciones climáticas, reaccionando a las variaciones de temperatura y humedad para gestionar y controlar de mejor manera las pérdidas o ganancias de temperatura. Considerando las posibilidades que aporta la tecnología dentro de este contexto, podemos generar sistemas que permitan que este elemento se comporte de manera similar a la vestimenta que utilizamos las personas: la podemos modificar en función a las necesidades.

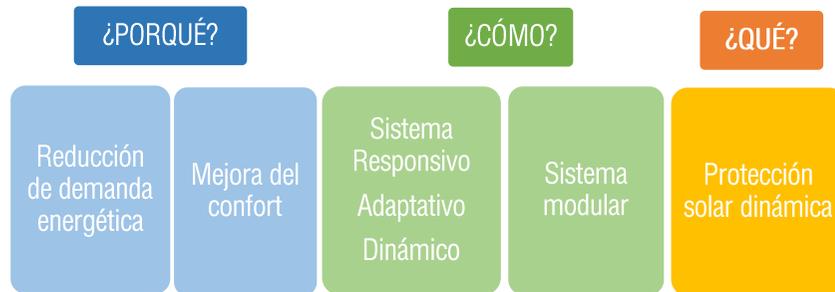
Es por esto, que el campo de las fachadas dinámicas representa una importante área de desarrollo, que tiene significativos aportes a la reducción del consumo energético para la climatización interior de los edificios, ya que genera un sistema de control solar adaptable para la envolvente.

## OBJETIVOS

A modo de abordar los temas planteados, el presente documento está estructurado bajo 3 preguntas básicas para abordar la temática de este documento: ¿Porqué? ¿Cómo? y ¿Qué?

Para su mejor comprensión, el ¿Porqué? es abordado en el capítulo de la **Problemática**, el ¿Cómo? en el capítulo **Estado del arte** y por último el ¿Qué? en el capítulo de la **Propuesta y Evaluación**

A modo de resumen, las directrices generales expuestas para cada una de las preguntas son:



En el tercer capítulo de este documento se desarrolla la evaluación de las diferentes posibilidades de protección solar capaz de adaptarse a las condiciones del entorno, vista principalmente desde las 3 técnicas exploradas linealmente durante el proceso de investigación: **La geometría, la electromecánica y la eficiencia energética.**

## METODOLOGÍA

1. Analizar en detalle la problemática actual de los edificios vinculada con el tema de estudio.
2. Desarrollo de un estado del arte como punto de partida para el desarrollo de las evaluaciones planteadas en este estudio
3. Establecer las condiciones geométricas, electromecánicas y energéticas para resolver a través de un sistema de protección solar dinámico la problemática planteada
4. Establecer un edificio de trabajo replicable, donde la protección solar dinámica aporta una especial ventaja energética
5. Evaluar energéticamente el nivel de mejora que ofrece una protección solar móvil en este tipo de uso y la mejora que supone que ésta varíe su capacidad de factor solar en función de la época del año y las demandas energética del edificio respecto a un sistema fijo.
6. Para esto se utiliza una versión para estudiantes del software DesignBuilder 4.5.

# PROBLEMÁTICA

## TERMINOLOGÍA

Un **sistema de protección solar dinámico** es aquel que es capaz de reaccionar a las condiciones del entorno, ya sea radiación solar, temperatura interior/exterior, humedad ambiental, vientos, etc. o sus diferentes combinaciones, garantizando el **confort** de los usuarios en el interior de los espacios habitables.

El concepto de **adaptabilidad** en los edificios siempre ha existido. Históricamente se ha logrado a través del uso de porticones, persianas, cortinas y diferentes elementos que permiten a los usuarios controlar el ingreso de la radiación solar. El problema radica en que los actuales sistemas de fachada no facilitan el control de la ventilación o el control de la radiación solar, factores que influyen en el sobrecalentamiento interior y por ende generan un mayor consumo en climatización.

La **envolvente** de los edificios juega un papel fundamental en la interacción con el entorno, ya que es a través de ésta se produce la mayor parte del intercambio de calor entre el interior del edificio y su entorno (exterior). La envolvente, como 'piel' de la edificación, es el conjunto elementos (cubierta, muros exteriores, solera, ventanas y puertas exteriores) que tienen contacto con el exterior. Es por esto que ésta debe considerar los materiales y mecanismos adecuados para adaptarse de la mejor manera a las diferentes condiciones climáticas, a manera de lograr hacer un **uso eficiente de la energía**.

Según el Documento Básico HE Ahorro de Energía (3), que establece las reglas y procedimientos que permiten cumplir el requisito básico de ahorro de energía, se definen algunos conceptos importantes para comprender el concepto de la protección solar.

**Balance energético (BE):** Para determinar las demandas de calefacción y/o enfriamiento se debe hacer un balance entre las pérdidas y ganancias de calor para un determinado periodo.

**Fachada:** cerramiento en contacto con el aire exterior cuya inclinación es superior a 60° respecto a la horizontal.

**Valor U (transmitancia térmica)** Cantidad de calor que se pierde de dentro hacia fuera a través del acristalamiento (en W/m<sup>2</sup>K)

**Factor solar:** fracción de la ración solar incidente que es transmitida por entero a través del acristalamiento.

**Factor solar modificado (F):** fracción de la radiación incidente en un hueco que no es bloqueada por el efecto de obstáculos de fachada y las partes opacas del hueco.

**Transmisión luminosa:** fracción de la radiación solar incidente en el rango visible (380-780 nm) que pasa a través del acristalamiento.

**Reflexión externa:** fracción de la radiación solar incidente reflejada.

## PROBLEMA MEDIOAMBIENTAL

Las necesidades humanas son infinitas; en cambio, los recursos existentes para satisfacerlas son limitados. Esta es una situación que como sociedad no hemos logrado entender y asimilar, y hecho de que la humanidad no tenga un desarrollo sostenible, y que los recursos que el planeta puede generar en un año sean consumidos en menos de 8 meses durante el año 2018, denota una utilización ineficaz de los recursos, lo que no has llevado a la sobre explotación de éstos, La construcción de edificios es una de las áreas mas responsables de esta problemática.

La construcción de espacios capaces de proteger al hombre de su entorno data del Neolítico, cuando el ser humano nómada en aquel entonces, y que vive como recolector en constante movimiento, pasa a convertirse en un animal que cultiva su alimento y cría su ganado. Este paso al sedentarismo, trae consigo la construcción de los primeros establecimientos residenciales, además del nacimiento de las primeras ciudades. Vale tener en consideración que el ser humano sobre la tierra ha estado más tiempo como nómada que como sedentario.

El establecimiento definitivo del ser humano en un lugar determinado es un paso esencial para entender el impacto del ser humano sobre el medioambiente, ya que es aquí donde este impacto se comienza a incrementar. Desde la utilización de materiales para la construcción de estas ciudades, hasta la absorción de nutrientes que generan los cultivos agrícolas son algunos de los procesos que representan este impacto, pero no es hasta la revolución industrial cuando este proceso se dispara y comienza la degradación incesante de nuestro entorno.

Durante los últimos 2 siglos hemos sido responsables del sobreconsumo de recurso naturales y su consecuente degradación medioambiental,

siendo la utilización de combustibles fósiles uno de los puntos más críticos. Para garantizar nuestro bienestar hemos ido utilizando indiscriminadamente los recursos energéticos disponibles, más aún sin generar las condiciones óptimas en nuestras envolventes contemporáneas para el uso eficiente de esta energía. Es así como vemos hoy en día grandes edificios que, sin los complejos y potentes sistemas de climatización, no serían capaces de garantizar el bienestar de sus usuarios.

Los efectos del cambio climático han tenido importantes consecuencias en el diseño y construcción de edificios, afortunadamente acercándose cada vez más a criterios sostenibles. Pero en contraposición a este proceso de responsabilidad medioambiental, vemos como se continúan utilizando sistemas de fachadas livianas para edificaciones en altura, lo que claramente va en contraposición a lo anteriormente planteado, ya que todos los sistemas de envolventes o pieles exteriores que no garanticen un buen sistema de aislación térmica terminan teniendo una baja performance traducido en un alto consumo energético para la climatización interior de estos edificios. Dentro de este contexto, la conciencia sustentable que se ha generado durante los últimos años brinda una oportunidad importante para generar edificaciones capaces de tener un comportamiento energético más adecuado, actuando de manera dinámica y responsiva a las diferentes condiciones medioambientales.

En la actualidad, una de las determinantes más importantes al momento de pensar en implementar sistemas de eficiencia energética, es el costo inicial que estos conllevan. Dentro de este contexto, se plantea la importancia de adaptar la morfología y materialidad de la envolvente respecto a las variables antes mencionadas, diseñándola en función a la disminución del consumo energético y su equivalencia en la disminución de emisiones de CO2, además del ahorro económico que esto implica.

La problemática energética y medioambiental que se ha abordado en la arquitectura, el diseño y la construcción en los últimos años, ha presentado el desafío de analizar y evaluar de manera detallada las características del entorno de las edificaciones, a manera de que éstas tengan un desempeño energético más acorde al contexto. Hemos visto como en los últimos años una gran cantidad de edificios satisfacen las necesidades de los usuarios, a través de la aplicación de complejos sistemas de climatización activos, generando un considerable consumo de energía y una resultante alta huella de carbono.

El desarrollo de sistemas orientados al acondicionamiento térmico pasivos representa una de las metodologías más importantes al hablar de eficiencia energética en edificaciones. Esto implica, por una parte el estudio de las variables medioambientales, y por otra la factibilidad técnica y económica que esto conlleva, a manera de dimensionar los diferentes sistemas a implementar.

El desempeño energético de las edificaciones tiene una relación directa con el contexto en el cual se emplazan éstas. En base a esto, el análisis de las características y/o variables del entorno resulta fundamental en el diseño arquitectónico, debido a que determina el comportamiento energético pasivo del edificio durante su vida útil.

## SUSTENTABILIDAD

El uso de la energía es responsable de casi la totalidad de los cambios ambientales de tipo antropogénico que ocurren en la Tierra, de partida el más conocido de todos y considerado como el más peligroso por la comunidad científica internacional, es el aumento del Efecto Invernadero, básicamente por emisión de CO<sub>2</sub>, un problema ambiental provocado por el uso de energéticos combustibles que contienen carbono en su composición.

En el Informe Brundtland de 1987 se habló por primera vez de desarrollo sostenible, entendido éste como la “satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones del futuro para atender sus propias necesidades” (4)

Luego de 30 años, podemos ver que, a pesar que se han desarrollado múltiples estrategias para mejorar el comportamiento energético de las edificaciones, una parte de estos de gran envergadura como edificios en altura y centros comerciales entre otros, han sido incapaces de subsistir sin la utilización de complejas maquinarias de climatización, apoyándose en la eficiencia de estas maquinarias más que en estrategias que mejoren el comportamiento del edificio según los parámetros externos.



FIGURA 1.  
Imagen comparativa del estadio olímpico de Beijing, en un día despejado y en uno de emergencia ambiental.

(4) Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Comisión Brundtland) ONU 12/11/1987

## EFICIENCIA ENERGÉTICA

Según la investigación 'The Implications of a Changing Climate for Buildings'(5) el sector de la edificación en países desarrollados pertenecientes a la OCDE, participa entre un 25-40% de las emisiones de efecto invernadero; de estas emisiones entre el 40-95% es causada por el uso de energía operativa, o sea, utilizada durante su vida útil y el resto es causada por la construcción y demolición.

El interés por diseñar edificios en armonía con el ambiente ha ido variando a lo largo de la historia. Desde una preocupación por el clima en las primeras construcciones de la historia y especialmente en los edificios entre 1890 y 1930, el interés por una arquitectura eficiente se perdió en la mayoría de los edificios del siglo XX con la incorporación del aire acondicionado, lo que condujo hacia una arquitectura hermética sin ventilación natural. No se hablará de climatización eficiente hasta la crisis del petróleo de 1973, cuando las fachadas comienzan a cobrar de nuevo un papel fundamental.

Las dos instalaciones que consumen más energía son la climatización y la iluminación. En promedio, ambas instalaciones representan el 75% del consumo total de energía de un edificio. Los edificios a fecha de hoy tienen un consumo de energía de 150 a 200 kWh/m<sup>2</sup> y la Unión Europea ha marcado como objetivo en 2020 un consumo de 50kWh/m<sup>2</sup>.

- (5) Pieter de Wilde, School of Architecture, Design and Environment, Plymouth University, Drake Circus, Plymouth, UK y David Coley, Department of Architecture and Civil Engineering, University of Bath, Bath, UK. Building and Environment (2012)
- (6) Informe 'The Future of Cooling Opportunities for energy efficient air conditioning' de Agencia Internacional de Energía (AIE) y la OECD

## SOBRECONSUMO POR CLIMATIZACIÓN

El uso de aire acondicionados y ventiladores eléctricos para mantener la temperatura dentro de los grados de confort representa casi el 20% de la electricidad total utilizada en los edificios de todo el mundo en la actualidad (6)

La Unión Europea, por ejemplo, se ha propuesto reducir los gases de efecto invernadero en un 90% para el año 2050, donde dentro de este marco se han redactado leyes europeas de mejora de eficiencia energética y del uso de energías renovables. Estas nuevas leyes presionan a la industria de la construcción a diseñar nuevas alternativas y al mismo tiempo reivindica (con respecto a antes de la segunda mitad del siglo XX) la fachada como parte esencial mediadora entre el clima externo e interno. Este nuevo reto y preocupación por la eficiencia energética da a lugar a nuevos sistemas de envolventes dinámicos.

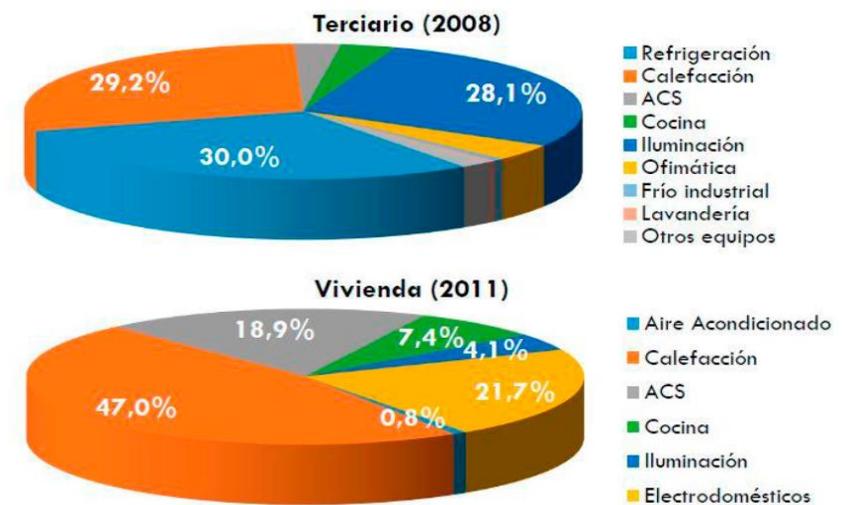


FIGURA 2 . Diagramas de consumo energético en edificios terciarios, 2008; y en viviendas, 2011. FUENTE: Ministerio de Industria, Energía y Turismo de Chile, 2015

## CONFORT HIGROTÉRMICO

El confort ambiental puede definirse operacionalmente como el rango de las condiciones del entorno consideradas aceptables dentro de un espacio habitable, en el que el ser humano desarrolla sus actividades. La ausencia de confort implica una sensación de incomodidad o molestia, ya sea por frío, calor, deslumbramiento, por exceso de ruido, por olores desagradables y por falta de iluminación, entre otros.

El confort ambiental constituye un concepto complejo en el sentido que depende de variados parámetros, cuya combinación e interacción permiten que este finalmente se alcance o no. En el propósito de alcanzar confort, se ha hecho crecientemente importante el considerar criterios de uso eficiente de energía.

Los parámetros que influyen en el confort ambiental como un todo, pueden dividirse en tres categorías:

**Parámetros físicos**, tales como la temperatura del aire del ambiente, la temperatura media radiante de las superficies del ambiente interior, la humedad relativa del aire, la presión atmosférica, el color de las superficies del ambiente, olor, intensidad y calidad de la luz, y niveles de ruido.

**Parámetros humanos**, tales como la edad, sexo y características particulares de cada persona. Factores culturales, relacionados, por ejemplo, con el lugar en que una persona ha nacido y vivido gran parte de su vida, pueden afectar significativamente las condiciones en que ella se siente confortable.

**Parámetros externos**, que incluyen el tipo de actividad física en relación a la actividad metabólica, el tipo de vestimenta y las condiciones o hábitos sociales y culturales. Dada la diversidad de variables que inciden en el

confort ambiental, usualmente se consideran en forma separada el confort térmico (o más precisamente higrotérmico), el confort lumínico, el confort respecto de la calidad del aire y el confort acústico.

### CONFORT HIGROTÉRMICO.

El confort higrotérmico está relacionado con una serie de variables ambientales con las que el cuerpo humano interactúa. En esta interacción, el cuerpo humano puede recibir calor, pero en general transfiere calor a su entorno, dado que su cuerpo se encuentra normalmente a mayor temperatura que el aire ambiente y que la de la superficie de las paredes del recinto en que se encuentra. El equilibrio térmico del cuerpo humano es un balance dinámico entre el calor producido por este (como resultado del nivel metabólico) y el intercambio de calor con el ambiente a través de convección ( $C_v$ ) conducción ( $C_d$ ), radiación ( $r$ ), evaporación sin sudor a nivel de la piel ( $H_p$ ) y por vías respiratorias ( $H_v$ ). Si este intercambio no basta para el confort aparece la evaporación de sudor en la piel.

El confort higrotérmico se define como aquel estado en que las personas expresan satisfacción con el ambiente que lo rodea, sin preferir condiciones de mayor o menor temperatura (no se sufre de frío cuando aparece “piel de gallina” o de calor tal que aparezca el sudor). La sensación de confort térmico depende de una serie de parámetros, de los cuales los principales se relacionan con las personas mismas y los restantes cuatro conciernen al ambiente donde se encuentran estas personas.

El RITE (Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios) establece, por una parte, las condiciones interiores requeridas en los edificios (temperatura y humedad relativa) y por otra parte los requerimientos que

debe cumplir el aire interior en cuanto a calidad del aire, determinada por la presencia de elementos contaminantes en el mismo.

Las condiciones interiores (que se recogen en la tabla 1.4.1.1. de la versión consolidada del RITE) establece que las temperaturas y humedades de diseño serán:

Época	Temperatura operativa (°C)	Humedad relativa (%)
Verano	23-25	45-60
Invierno	21-23	40-50

Estos parámetros garantizan confort para las personas situadas, mientras que la salubridad se establece en los requerimientos de calidad de aire interior (IDA), que varía de 1 a 4 en función del tipo de edificio. Para cumplir estos requisitos se establece la cantidad de aire mínimo de ventilación que debe introducirse, así como los requerimientos de concentración de diferentes elementos contaminantes en el mismo, siendo de trasposición todo lo que aparece en la normativa específica UNE 13779.

### TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR DE LA ENVOLVENTE

A partir de la temperatura de la superficie de paredes, cielo, ventanas, piso, se define la temperatura radiante TR, la que es el promedio de las temperaturas de las distintas superficies del recinto, ponderada por el ángulo sólido generado entre el punto que representa el cuerpo humano y la respectiva superficie. Esta temperatura TR es la que representa la potencia de intercambio (por radiación) entre el cuerpo humano y las superficies del recinto. En la siguiente figura, la persona que forma el ángulo sólido  $\alpha_1$  con la ventana, intercambia más calor con esta que la persona que forma un ángulo sólido  $\alpha_2$  con la misma ventana, pues este

ángulo es más pequeño que el anterior. Si la ventana se ubica en la parte inferior (fría) o superior (caliente), la persona de la derecha sufrirá con mayor intensidad el efecto de la pared, de acuerdo a su temperatura.

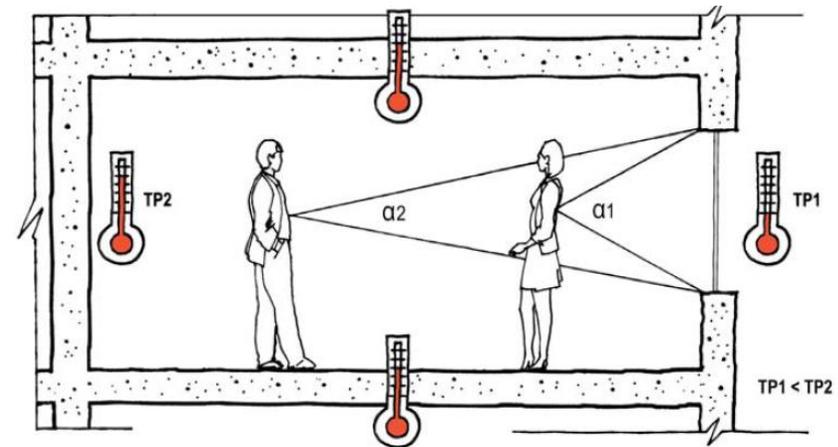


FIGURA 3. Efecto de la temperatura superficial interior de la envolvente del recinto  
FUENTE: Bustamante G, W. (2009). Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social

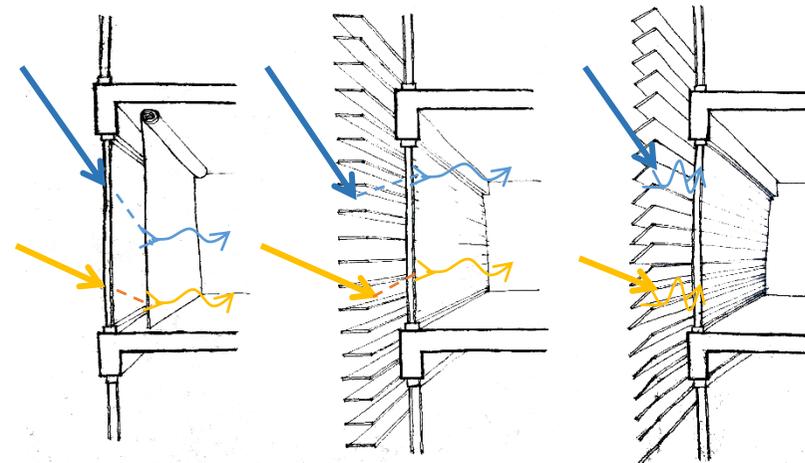


FIGURA 4. Diferentes posiciones de las protecciones solares y su aporte  
FUENTE: Elaboración propia

## LA ENVOLVENTE TÉRMICA

En los edificios, **la envolvente** corresponde al conjunto de elementos constructivos y tecnológicos que, como una verdadera “piel”, regula los intercambios entre el interior y el exterior del edificio, regulando los fenómenos físicos, químicos y naturales incidentes a fin de regular las condiciones interiores (temperatura del aire, humedad, asoleamiento, ventilación e iluminación, la higiene y seguridad, etc.)

Al ser el primer elemento en contacto con el entorno, la envolvente de los edificios, representa la **piel exterior**, que en un ser vivo su principal función corresponde a proteger al organismo de factores externos como bacterias, sustancias químicas y temperatura.

### PROBLEMÁTICA ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS VIDRIADOS

*‘A lo largo de la historia el ser humano se ha fascinado por todo aquello que trasciende a la materia, inmaterial como aproximación a lo místico, a lo divino.*

*El vidrio es, posiblemente, el material de construcción que reúne de inmaterialidad. La ligereza, la transparencia, la sutileza y el cambio continuo que ofrece el vidrio han ayudado a la concepción del material como símbolo de poder y de avance tecnológico.*

*Este hecho ha propiciado que en los últimos años la gran mayoría de edificios terciarios y de oficinas no puedan ser concebidos sin una piel exterior ligera y vidriada que les confiera una imagen de desarrollo, de prosperidad, de marca y de pureza formal.’(7)*

La gran cantidad de energía que los edificios consumen para garantizar el bienestar de los usuarios en su interior es una problemática que durante

las últimas décadas se ha incrementado. Por ejemplo, se calcula que en los Estados Árabes Unidos el uso de climatización activos ocupa un 70% del consumo energético (8). Ya sea por el aumento de las temperaturas, producto del calentamiento global, por la carente aislación térmica instalada en la envolvente de los edificios, o por la suma de estos factores, la alta dependencia de los sistemas activos de climatización por parte de muchos edificios, representa la ineficiencia con las que éstos intentan satisfacer el confort de los usuarios, dependiendo así de maquinarias para su subsistencia.

Una de las problemáticas más relevantes que plantea la utilización de sistemas vidriados (muro cortina, doble y triple vidrio hermético o termopanel, entre otros) es la gran cantidad de radiación UV que entra en los edificios, generando un efecto invernadero en su interior y sobrecalentando los espacios, lo que lleva a la utilización de sistemas activos para su climatización, a modo de garantizar una temperatura confortable para los usuarios.

(7) Boada i Xairó, Salvador ‘Los límites del vidrio: aproximación analítica a los límites de las prestaciones energético-lumínicas del vidrio’

(8) Oscar Gallego Pérez, ‘Un futuro medioambiental incierto para los emiratos árabes unidos’.

## ESTADO DEL ARTE

## DISEÑO PARAMÉTRICO

Los sistemas de diseño paramétrico corresponden a las metodologías basadas en la cuantificación de parámetros que, a través de su manipulación o alteración geométrica y algorítmica, permita ponerlos en función del diseño. Esta metodología viene siendo utilizada por diferentes artistas, diseñadores, arquitectos y científicos desde los años 60', donde el arquitecto Luigi Moretti definió a la arquitectura paramétrica como el estudio de sistemas con el objetivo de "definir las relaciones entre las dimensiones dependientes de diversos parámetros" (9). He aquí un ejemplo de la larga historia de un sistema que para muchos parece nuevo.

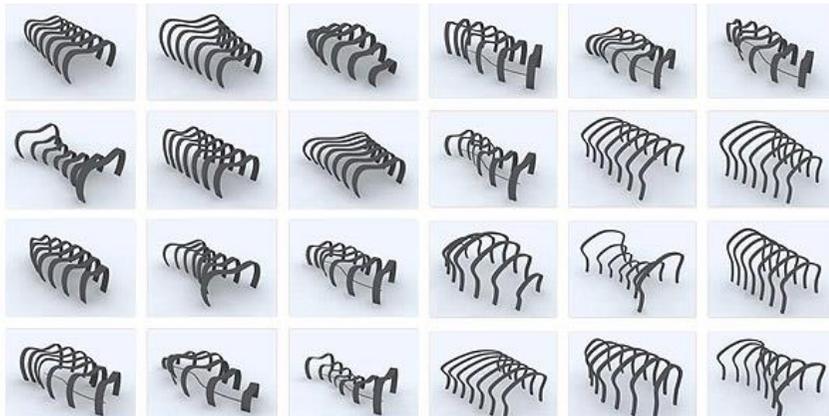


FIGURA 5. Ejemplo de aplicación de sistemas generativos o 'paramétricos' en una misma figura, que tiene como resultado diferentes morfologías producto de la modificación de parámetro geométricos específicos

El desarrollo del software orientado a la arquitectura, el diseño y la construcción, al igual que todos los productos relacionados con la informática, han generado nuevas metodologías, las que han permitido

mejorar y/o hacer más eficientes un sinfín de procesos. Es por esto que, a pesar del alto grado de depuración que han logrado estos programas, es fundamental tener en consideración que la naturaleza de estos programas es meramente instrumental.

"Muchos arquitectos y profesionales de la arquitectura se muestran muy escépticos ante unos métodos de diseño tan poco convencionales y temen la pérdida de control del diseño, de los materiales, de la elaboración, de la experiencia y de las relaciones con el contexto. Quienes opinan de este modo tienden a culpar al diseño generativo de todos los aspectos negativos de la arquitectura actual. No obstante, el método de diagnóstico empleado aquí demuestra que estas críticas son erróneas, puesto que el sistema permite crear diversos esquemas con un alto grado de diferenciación, pese a que muchos de los proyectos se han desarrollado utilizando las mismas técnicas (p.ej. triangulación). Además, estos métodos fomentan inevitablemente la creatividad y la innovación, y es por eso que muchos de los proyectos logran ir más allá de las tipologías y las disposiciones convencionales en la construcción de edificios... La innovación surgió no solo en los aspectos formales del diseño, sino también en términos de programación del edificio y soluciones espaciales, que ofrece nuevas hibridaciones de tipos de edificios..."(10)

### DISEÑO GENERATIVO APLICADO A LA ARQUITECTURA

Cada día es más habitual la utilización de herramientas de diseño generativo con el fin de concebir morfologías complejas, optimizar el uso de elementos prefabricados e incluso mejorar el comportamiento energético de estos edificios durante su etapa de uso. Esta metodología de diseño viene siendo utilizada desde hace algunas décadas, y se ve materializada en edificios como el Serpentine Pavilion de Toyo Ito y el centro Heydar Aliiev de Zaha Hadid Arquitectos, por solo mencionar algunos. A pesar de que las morfologías obtenidas tienden a ser

(9) Davis, Daniel. 'Modelled on Software Engineering : Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture'

(10) Agkathidis , Asterios. 'Diseño Generativo: Procesos para concebir nuevas formas arquitectónicas'.

innovadoras y llamativas, este sistema de diseño no es más que uno de las tantas maneras de diseñar un edificio, pero representa la constante evolución y exploración que existe en el campo de las herramientas utilizadas en la arquitectura.

A continuación, se presentan algunos edificios que han utilizado de manera significativa métodos paramétricos para su diseño:

Las morfologías de estos edificios tienden a generar mucha controversia, teniendo detractores y seguidores. Lo interesante que plantea el diseño paramétrico es la metodología de diseño, que permite incorporar dentro de la génesis morfológica de los edificios, parámetros cuantificables.



FIGURA 6

- (A) Serpentine Pavilion / Toyo Ito
- (B) Metropol parasol en Sevilla (C) Centro Heydar Aliyev / Zaha Hadid Architects (D) Centro Acuático Nacional de Pekín

## PROTECCIONES SOLARES

### INTERCAMBIO DE TEMPERATURA

La transferencia de calor, fenómeno que se produce siempre desde un entorno de mayor temperatura u otro de menor, determina el comportamiento térmico de los edificios. Dentro de este fenómeno podemos diferenciar 3 formas de como se produce este intercambio:

**Conducción:** Es la transferencia de calor que se produce a través de un sólido cuando existe una diferencia de temperatura.

**Convección:** Transferencia de calor a través del movimiento de un fluido (agua o gas) entre zonas con diferentes temperaturas.

**Radiación:** Emisión de energía desde la superficie de un cuerpo. La radiación de calor es parte de las ondas electromagnéticas. Por lo general, la energía es transportada por ondas infrarrojas.

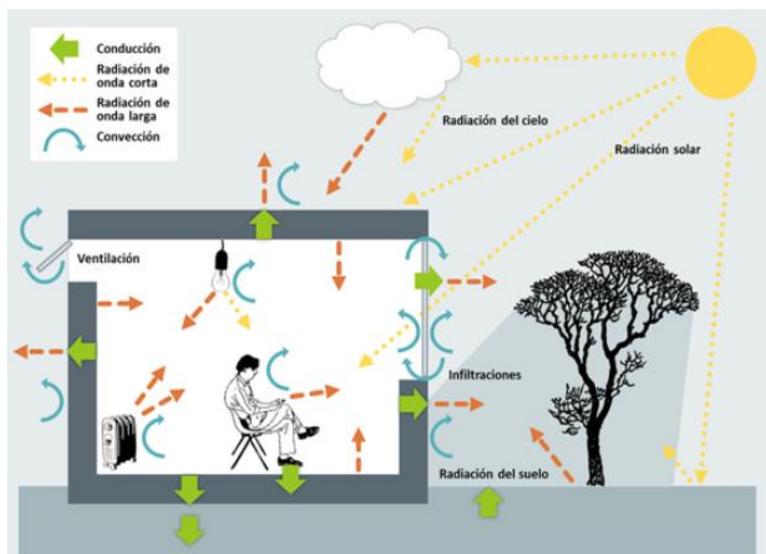


FIGURA 7 . Transmisión de calor en edificios  
FUENTE: María Blender, arquitecturayenergia.cl

### RELEVANCIA DE LAS PROTECCIONES SOLARES

Para conseguir esta eficiencia energética uno de los aspectos fundamentales es la protección solar, que evita el sobrecalentamiento en el interior de los edificios. Mediante un adecuado control de la luz solar se consigue reflejar y disipar la energía fuera del espacio habitable, reduciendo de esta forma la demanda energética.

La misión de la protección solar es evitar la incidencia de la radiación solar directa en la piel del edificio en cualquier tipo de cerramiento, funcionando como apantallamientos para interceptar dichas radiaciones

Decreto real 1826/2009 limita las temperaturas a un máximo de 21 en áreas calefactadas y a un mínimo de 27 en las refrigeradas

*Los productos para huecos (incluidas las puertas) se caracterizan mediante la transmitancia térmica  $U$  ( $W/m^2\cdot K$ ) y el factor solar  $G$  para la parte semitransparente del hueco y por la transmitancia térmica  $U$  ( $W/m^2\cdot K$ ) y la absorptividad  $\alpha$  para los marcos de huecos (puertas y ventanas) y lucernarios.*

### UBICACIÓN DE LA PROTECCIÓN SOLAR

La protección solar puede ubicarse en el interior del local para evitar el ingreso de la radiación solar, en el espacio entre dos vidrios en cierto tipo de ventanas o el exterior.

Para una misma ventana orientada hacia el mediodía y dependiendo de la ubicación de la protección solar la temperatura no será la misma dentro de una habitación.

Temperatura en °C	Sin protección	Ubicación protección solar		
		interior	entre vidrios	exterior
en la habitación	30	26	24	20
en interior vidrio	28	36	35	20
en espacio entre vidrios	32	33	45	20
en el exterior	20			

La tabla muestra los cambios en las temperaturas en diversos puntos para una temperatura exterior constante, en función de donde se ubique la protección solar.

Cabe mencionar que en el decreto 21/2006 de ecoeficiencia de Catalunya(11), por el que se regula la adopción de criterios ambientales y de ecoeficiencia en los edificios, en el artículo 4, de 'Parámetros de ecoeficiencia relativos a la energía' se especifica que:

*Las aperturas de las cubiertas y de las fachadas orientadas a suroeste ( $\pm 90^\circ$ ) deben disponer de un elemento o de un tratamiento protector situado en el exterior o entre dos cristales, por lo que el factor solar S de la parte acristalada de la apertura sea igual o inferior al 35%.*

## ARQUITECTURA DINÁMICA

La arquitectura dinámica no es una invención de las últimas décadas. El interés por diseñar construcciones que se pudieran adaptar a las distintas condiciones climáticas anuales se remonta a las primeras civilizaciones nómadas.

Un ejemplo de ello son las yurtas, las tiendas de campaña utilizadas por los mongoles para hacer frente a las grandes variaciones de temperatura

del país a lo largo de todo el año y donde el número de capas de paja que las recubrían dependían de cada estación.

Cambiar el edificio para responder a las condiciones climáticas exteriores es una vieja estrategia, presente en la mayoría de los edificios de finales del siglo XIX y principios del XX, aproximadamente hacia la década de 1930, cuando con la expansión de los muros cortina en los rascacielos y con la invención del aire acondicionado se construyen edificios pensando esencialmente en la imagen exterior, siendo imposibles de ventilar naturalmente.

No es hasta la crisis del petróleo de 1973 cuando se empieza a pensar de manera globalizada en una climatización eficiente, donde las fachadas cobran un papel fundamental para responder al paso de energía, posicionando a las instalaciones únicamente como un sistema de apoyo. Diseño y técnica se unen en la búsqueda de arquitectura inteligente, donde el movimiento de las fachadas de los edificios surge como una reacción a los estímulos medioambientales.

(11) Decreto 21/2006 de ecoeficiencia de Catalunya  
[http://www20.gencat.cat/docs/arc/Home/Consultes%20i%20tramits/Normativa/Normativa%20catalana%20en%20materia%20de%20residus/decret\\_21\\_2006.pdf](http://www20.gencat.cat/docs/arc/Home/Consultes%20i%20tramits/Normativa/Normativa%20catalana%20en%20materia%20de%20residus/decret_21_2006.pdf)

## ESTRUCTURAS DESPLEGABLES

La movilidad de un elemento está determinada por su capacidad de articularse, y en el caso de una superficie en la posibilidad de estirarse y contraerse. Es así como podemos encontrar que en la naturaleza que la mayoría de los elementos que la componen tienen este comportamiento dinámico.

En el campo de la arquitectura y el diseño, encontramos un campo de innovación en constante desarrollo, que busca explorar estas capacidades dinámicas de las estructuras.

Es así como la superficie que compone la envolvente de los edificios puede contar con elementos auxiliares que permitan su despleabilidad, lo que abre la posibilidad de su adaptación a diferentes factores, tales como los climáticos, estéticos y de comunicación, entre otros.

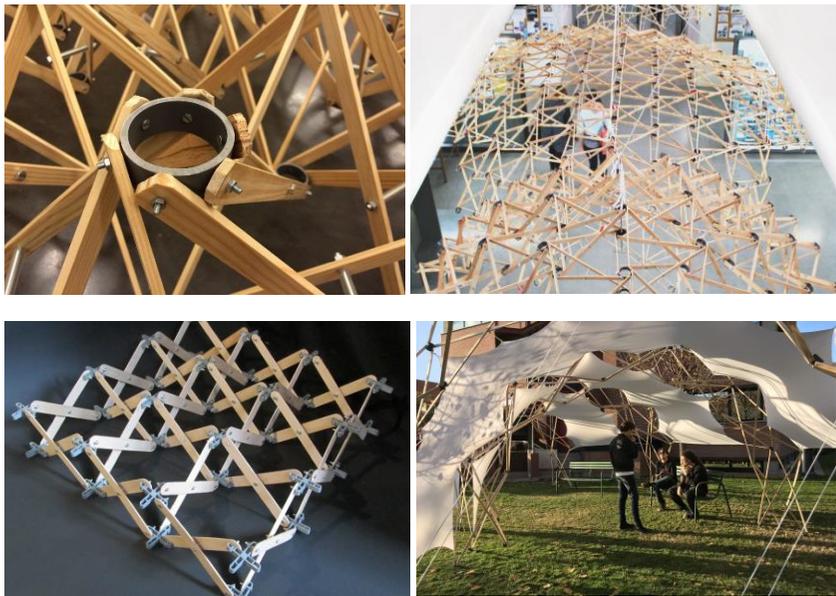


FIGURA 8: Prototipos desarrollados por el grupo SMiA (Structural Morphology in Architecture), parte del Laboratorio de innovación y tecnología en la arquitectura de la UPC

## CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS EXISTENTES



Podemos clasificar las fachadas responsivas de acuerdo a la energía que utilizan para su funcionamiento. De esta manera encontramos sistemas que necesitan de una fuente de energía para su funcionamiento y otros que a través de su forma y/o material se contraen y expanden respecto a la temperatura, al nivel de humedad ambiental u otros factores climáticos.

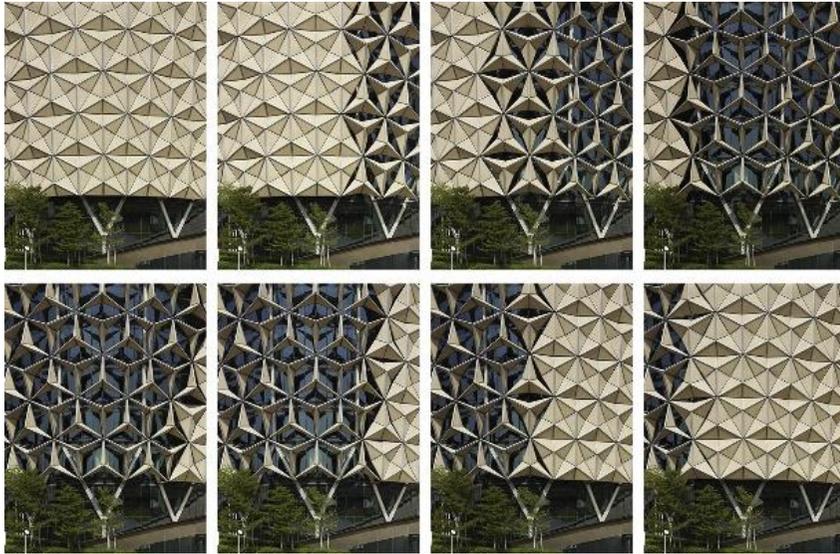
Respecto a los sistemas activos, los de funcionamiento electromecánico son los más desarrollados. Los componentes electrónicos tales como motores, controladores y sensores hoy se pueden conseguir por precios muy económicos, sumado a que existen componentes mecánicos para articular casi cualquier elemento,

FIGURA 9

(A) Torres Al Bahar, (B) Kiefer Técnica Showroom (C) Thermobimetal (D) Hygroskin

## EDIFICIOS DE REFERENCIA

FIGURA 10  
Diferentes grados  
de apertura del  
sistema de  
fachada dinámica  
de la torres Al  
Bahar en Dubai



Históricamente los edificios han presentado una lógica bastante estática al momento de satisfacer las necesidades de sus usuarios. A pesar de que nuestro entorno y la vida humana son fenómenos dinámicos, las respuestas que brindan nuestros edificios no tienen esta lógica, presentando en su mayoría elementos móviles solamente en puertas y ventanas. Esto, sumado a que nuestro ambiente también se comporta de manera dinámica, nos lleva a pensar que actualmente, una parte de los edificios no han sido capaces de adaptarse al dinamismo de su entorno y usuarios, especialmente aquellos con fachadas livianas.

El desarrollo de sistemas orientados al acondicionamiento térmico pasivo de los edificios representa una de las metodologías más importantes al hablar de eficiencia energética en edificaciones. Esto implica, por una

parte, el estudio de las variables medioambientales, y por otra la factibilidad técnica y económica que esto conlleva, a manera de dimensionar los diferentes sistemas a implementar

La envolvente, como 'piel' de la edificación, es el conjunto elementos que tienen contacto con el exterior. En la actualidad, una de las determinantes más importantes al momento de pensar en implementar sistemas de eficiencia energética, es el costo inicial que estos conllevan. Dentro de este contexto, destaca la importancia de adaptar la morfología y materialidad de la envolvente respecto a las variables antes mencionadas, diseñándola en función a la disminución del consumo energético, además del ahorro económico que esto implica.

Hablar de fachada dinámica es hablar de arquitectura que reacciona a diferentes agentes externos o internos. Dependiendo el enfoque, estas envolventes tienen dos vertientes, fachadas inteligentes que son las que se mueven o transforman a través de dispositivos mecánicos o electrónicos a partir de datos suministrados por sensores y las fachadas multimedia que son aquellas estáticas que utilizan la tecnología para dar la sensación de que producen movimiento. En el caso de estudio presentado se utiliza el tipo de fachadas inteligentes.

El concepto de fachada responsiva se ha ido incorporando de a poco a las nuevas edificaciones. Casos como las torres Al Bahar en Dubai o el edificio Media-Tic en Barcelona entre otros, representan la importancia de acondicionar la envolvente de los edificios, sacrificando las clásicas superficies vidriadas, tan utilizadas y a la vez tan poco eficientes energéticamente hablando. Según la Secretaría General de Energía, un buen aislamiento puede reducir entre un 25% y un 50% el gasto anual. Esto implica además del ahorro económico, un importante beneficio medioambiental. Es urgente que los edificios existentes logren una eficiencia energética, ya que de esta manera podremos hablar de un desarrollo sustentable en el diseño y construcción de edificios.

Los sistemas de climatización activos (aire acondicionado, calefactores, estufas, etc.) representan una solución estandarizada a los problemas que conlleva la utilización de sistemas livianos en las fachadas, los cuales transfieren la temperatura fácilmente.

### DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE FACHADA DINÁMICA

El concepto de fachada responsiva se ha ido incorporando de a poco a la arquitectura. Casos como las torres Al Bahar en Dubai o el edificio Media-Tic en Barcelona entre otros, denotan la importancia de acondicionar la envolvente de los edificios, sacrificando las clásicas superficies vidriadas, tan utilizadas y a la vez tan poco eficientes energéticamente hablando, por sistemas dinámicos. Cabe destacar que las mejoras en la eficiencia energética ayudaron a los hogares de todo el mundo a ahorrar entre un 10 y un 30% de sus gastos anuales de energía en 2016 (12)

Esta innovación implica además del ahorro económico, un importante beneficio medioambiental. Es necesario que los edificios existentes mejoren su comportamiento energético, para poder hablar de un desarrollo sustentable en el diseño y construcción de edificios. Los sistemas de climatización activos (aire acondicionado, calefactores, estufas, etc.) representan una solución estandarizada a los problemas que conlleva la utilización de sistemas livianos en las fachadas, los cuales transfieren la temperatura fácilmente.

Estos sistemas desplegados, auxiliares a los sistemas livianos convencionales, funcionan a través de un ordenador o controlador, que debe ser programado para responder de manera dinámica a las condiciones medioambientales, cerrándose en caso de altas temperaturas y abriéndose cuando la radiación solar no sea muy alta, a modo de que esta 'segunda piel' configure una envolvente programable que responda a las condiciones ambientales exteriores e interiores, disminuyendo la cantidad de energía necesaria para la climatización. Este producto,

(12) Estudio "The Market Report Series: Energy Efficiency 2017", de la Agencia Internacional de la Energía

representa un sistema amigable con el medio ambiente, que ayuda a reducir el intercambio energético con el entorno, disminuyendo las pérdidas y ganancias de temperatura.

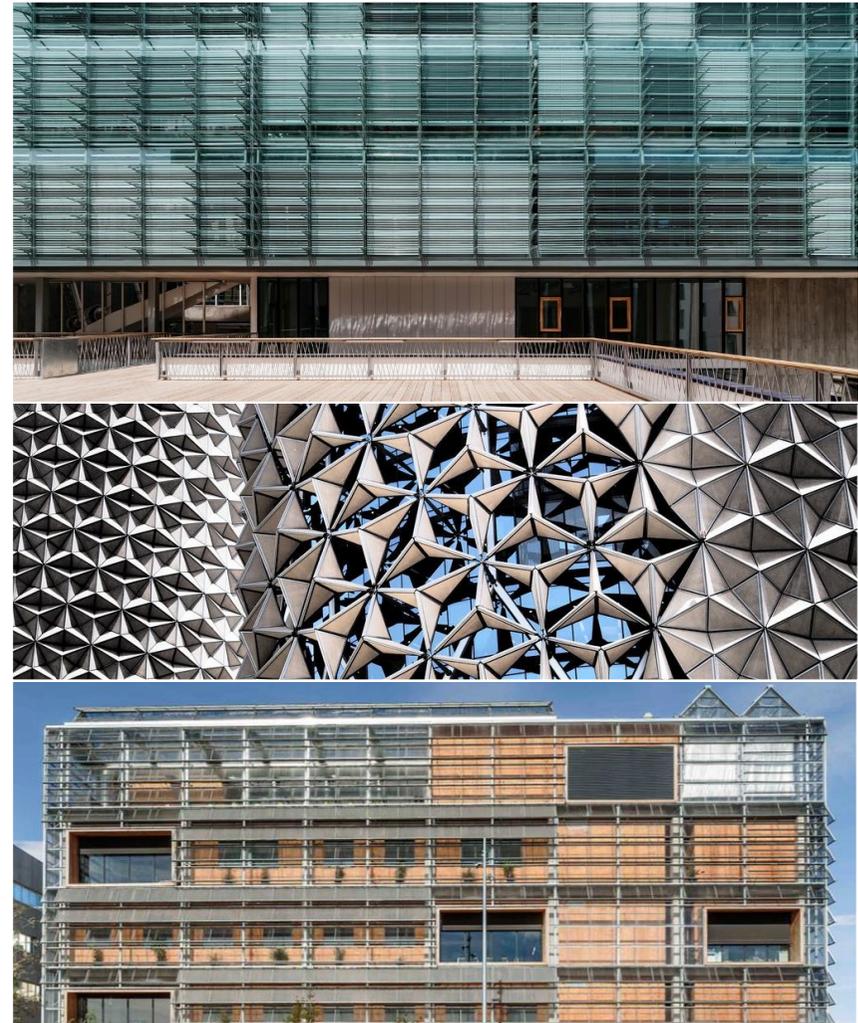


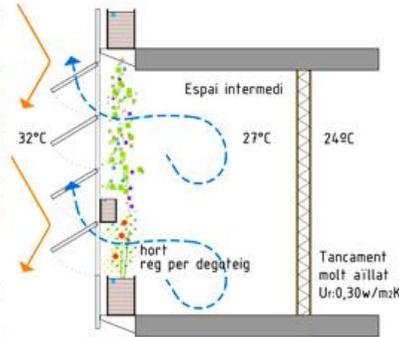
FIGURA 11: Fachadas de los edificios de referencia. De arriba hacia abajo: Vila Urania, Torres Al Bahar y Edificio ICTA-ICP  
FUENTE: Fotografías descargadas de internet

# VILA URANIA - BARCELONA

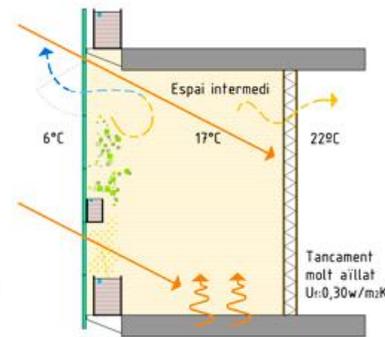
## ANÀLISIS D'IRRADIACIÓ SOLAR. Irradiació Acumulada de 8h a 18h



## ESPAI INTERMEDI. FUNCIONAMENT ESTIU/HIVERN



**ESTIU**  
L'espai **INTERMEDI**, hivernacle, està **OBERT** i molt ventilat. La protecció solar és màxima, els ràfecs i la vegetació en el seu moment més intens protegeixen l'edifici. La vegetació redueix el CO2 de l'atmosfera i pel procés d'evaporació refreda l'espai.

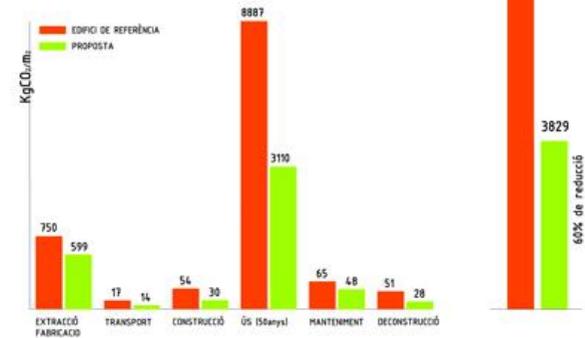


**HIVERN**  
L'espai **INTERMEDI** està **TANCAT**, per efecte hivernacle aquest espai s'escalfa i irradia calor a l'edifici. La vegetació ha perdut la fulla o ha reduït el seu tamany permetent el màxim de captació solar. Les fulles practicables automatitzades de tancament de l'espai, s'accionen quan la temperatura supera la temperatura de confort. Aïhora permeten la ventilació nocturna per evitar l'acumulació de CO2 produït per les plantes.

## REDUCCIÓ DE CÀRREGUES TÈRMQUES A L'ESTIU



## ESTUDI DEL CICLE DE VIDA PER FASES.



**Reducció de la demanda energètica:** Se ha realizado un estudio de la radiación solar sobre el edificio, donde se puede comprobar los importantes valores en verano y los nada despreciables valores en invierno en la fachada sur-est. Se ha diseñado el edificio incorporando un espacio intermedio en fachada, con la función de distribuidor y espacio de encuentro. El espacio intermedio funciona como protección solar en verano, mientras que en invierno, aprovecha el efecto invernadero, se condiciona de forma natural. Los cerramientos de fachada, por detrás del espacio intermedio, tiene una transmitancia térmica muy baja

FIGURA 12 . IMÁGENES Y ESQUEMAS: Elaborados por los autores del proyecto  
FUENTE: <http://www.sumo-arquitectes.com/>

ARQUITECTOS  
SUMO Arquitectes  
SLP, Yolanda Olmo

UBICACIÓ  
Carrer de  
Saragossa, 29  
08006 Barcelona,  
España

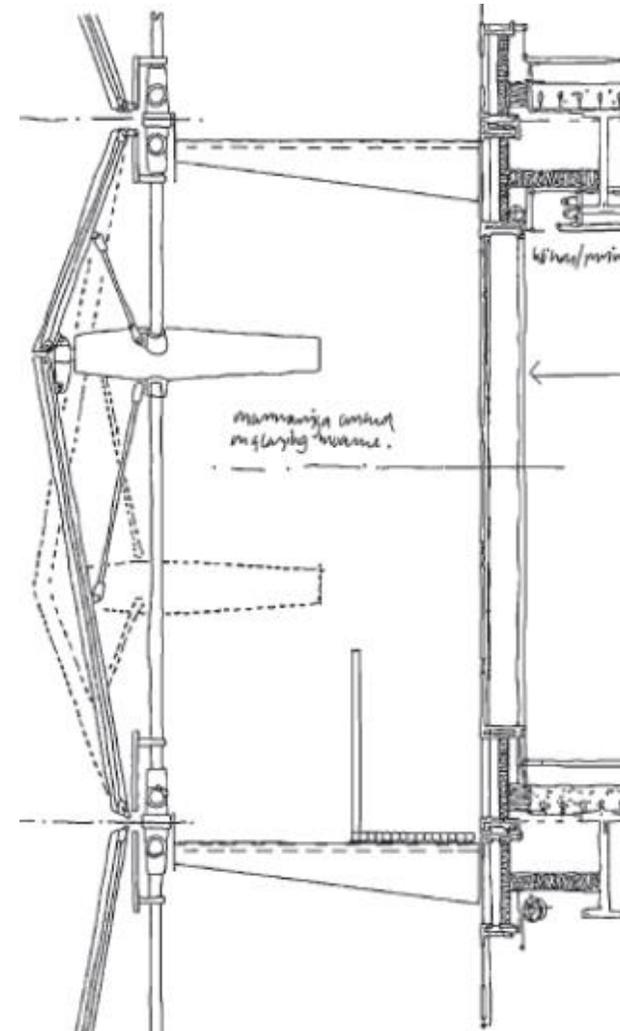
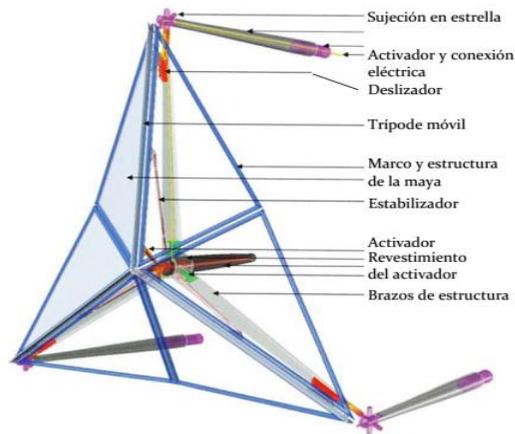
ÀREA 3242.0 m2

AÑO PROYECTO  
2017

## TORRES AL BAHAR – ABU DHABI



Las fachadas de las torres están compuestas por dos cerramientos, el primero un único basamento de vidrio que tiene una estructura de forma de diamante que en ella lleva los puntos de apoyo para toda la estructura dinámica y el segundo inspiradas en las tradicionales celosías árabes del tipo mashrabiya, proporcionan sombra a las dos torres de una manera dinámica e innovadora, lo que ha hecho que se conviertan en un icono de la ciudad.



### UBICACIÓN:

Abu Dabi (Emiratos Árabes)

### FECHA DE CONSTRUCCIÓN:

2009-2012

### PROGRAMA:

oficinas, sede del consejo de inversión

### PLANTAS:

29+2 (bajo rasante)

### SUPERFICIE DEL SOLAR:

100.080 m<sup>2</sup>

### SUPERFICIE:

75.000m<sup>2</sup>

### PROMOTOR:

Abu Dhabi Investment Council (ADIC)

### ARQUITECTO:

Aedas

### INGENIERO MECÁNICO, ASESOR DE FACHADA:

Arup

### DISEÑO FACHADA:

Aedas

### FABRICANTE DE LA FACHADA:

Yuanda

FIGURA 13 . De izquierda a derecha: Fotografía de las torres, Esquema de los módulos y Sección esquemática del sistema de fachada de las torres Al Bahar de Abu Dhabi.

FUENTE: Karanouh, A. and Kerber, E. (2015). 'Innovations in dynamic architecture. Journal of Facade Design and Engineering

## CENTRO DE INVESTIGACIÓN ICTA-ICP

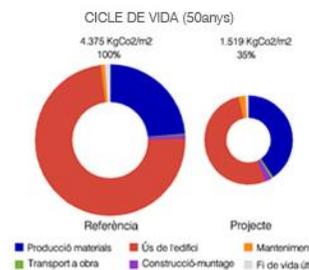
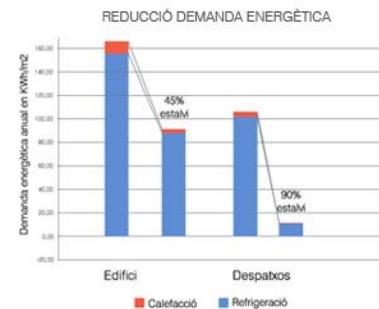
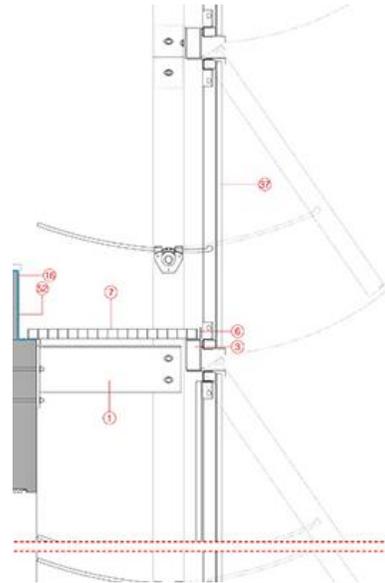
El edificio ICTA-ICP, situado en el campus de la UAB (Universidad Autónoma de Barcelona), es un centro de investigación en ciencias ambientales y paleontología.

El edificio, un volumen aislado de 5 plantas de 40x40m<sup>2</sup> cada una y dos subterráneos, alberga los siguientes usos: en planta baja, vestíbulo, bar, aulas, salas de reunión y administración; en las 3 plantas siguientes, despachos y laboratorios; en cubierta, huertos (invernaderos) y zonas de descanso; en el semisótano, aparcamiento y salas de máquinas y en el sótano los almacenes y el resto de laboratorios.



FIGURA 14: imágenes y esquemas elaborados por los autores del proyecto

FUENTE: <http://www.harquitectes.com/projectes/centre-recerca-uab-icta-icp/>



**ARQUITECTOS**  
H Arquitectes , DATAAE

**UBICACIÓ**  
Cerdanyola, Barcelona, España

**AÑO DEL PROYECTO**  
2014

**ARQUITECTOS ASOCIADOS**  
(H Arquitectes) David Lorente, Josep Ricart, Xavier Ros, Roger Tudó (DATAAE) Claudi Aguiló, Albert Domingo

**EQUIPO DE PROYECTO**  
(H Arquitectes) Montse Fornés, Bernat Colomer, Xavier Mallorquí, Toni Jiménez, (DATAAE) Ileana Manea, Josep Garriga, Anne Hinz

**CONSULTORES AMBIENTALES**  
Societat Orgànica

**INGENIERIA**  
Oriol Vidal Arquitectos

**CONSULTORES**  
Coque Claret, Dani Calatayud

**DISEÑO ESTRUCTURAL**  
BOMA

## PROPUESTA Y EVALUACIÓN

## PROPUESTA

A modo de explorar las diferentes técnicas que aglutinan los sistemas dinámicos, el presente capítulo se subdivide en 3 parámetros: **Geométrica, Electromecánica y Energética.**

Se define un edificio existente como caso de estudio, y se evalúan las cargas internas a modo de saber el consumo necesario en refrigeración.

Luego de esto se define un sistema de protección solar dinámico modular que ha sido previamente diseñado y evaluado mecánica y funcionalmente, y a través de una serie de softwares se buscará medir el nivel de eficiencia que puede lograr dicho edificio con este sistema implementado. En esta evaluación se considerarán los factores de temperatura interior, incidencia solar y elementos contextuales que generen sombreado (no se considerarán variables como los vientos predominantes, la temperatura exterior o la humedad relativa)

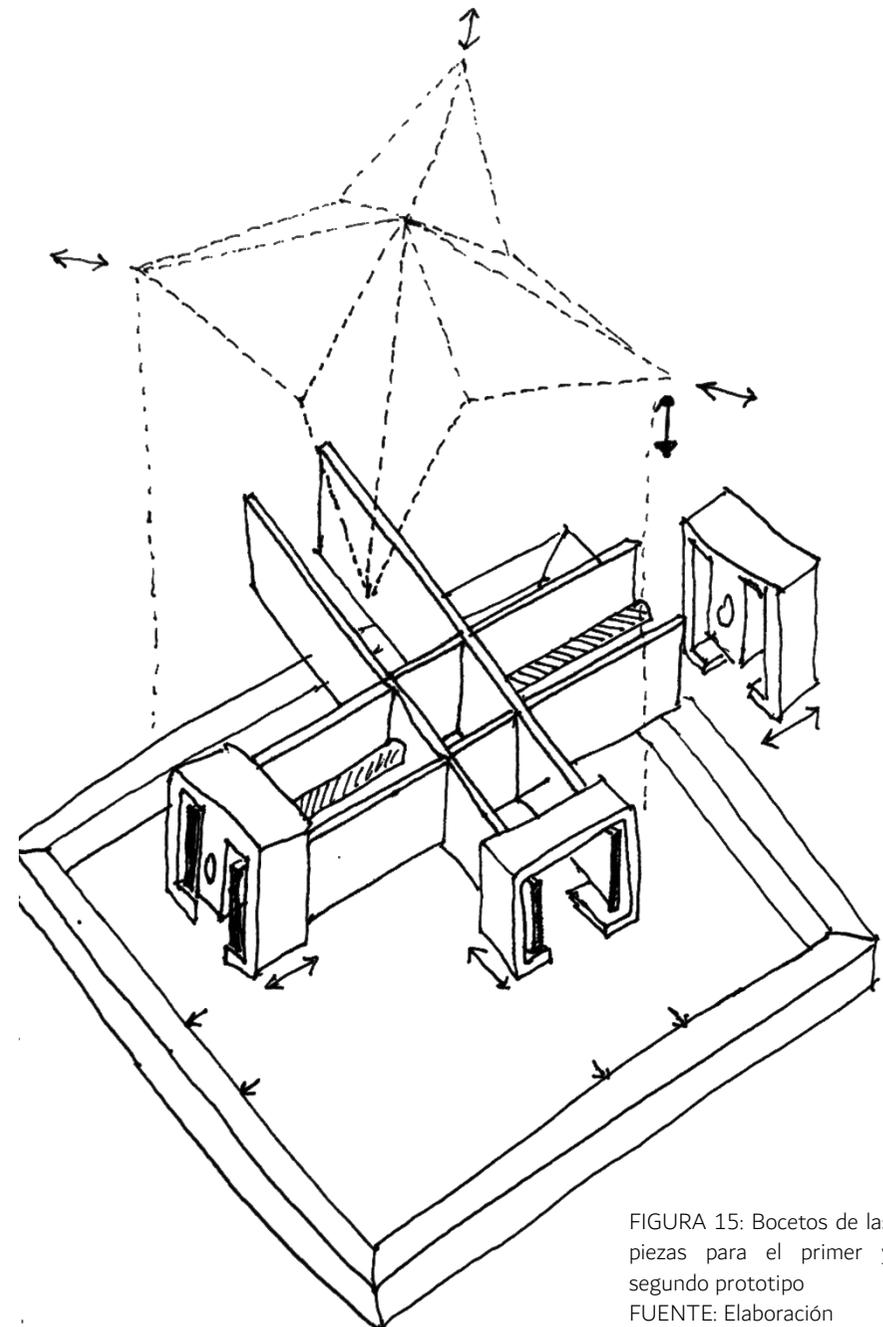
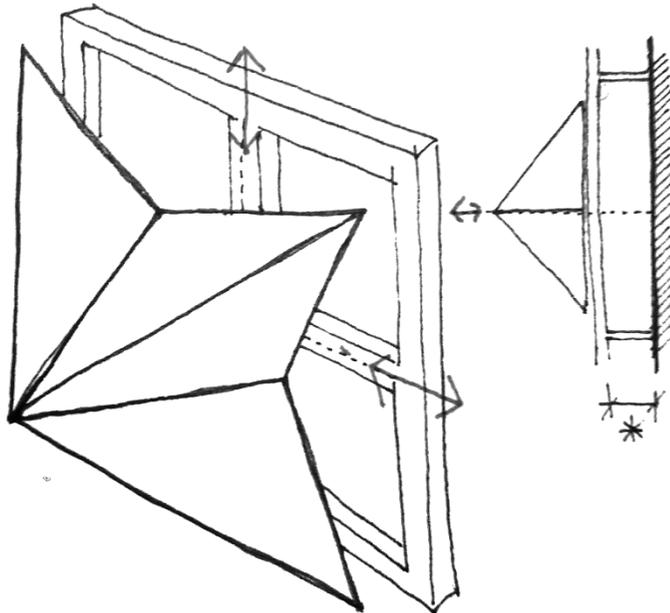


FIGURA 15: Bocetos de las piezas para el primer y segundo prototipo  
FUENTE: Elaboración propia

## VECTORES DE INNOVACIÓN

### DESCENTRALIZACIÓN

La gran mayoría de los sistemas de fachadas dinámicas existentes se componen a grosso modo de 4 componentes: Los paneles desplegable, una estación meteorológica, un bulding controller y una serie de cables de transmisión de datos

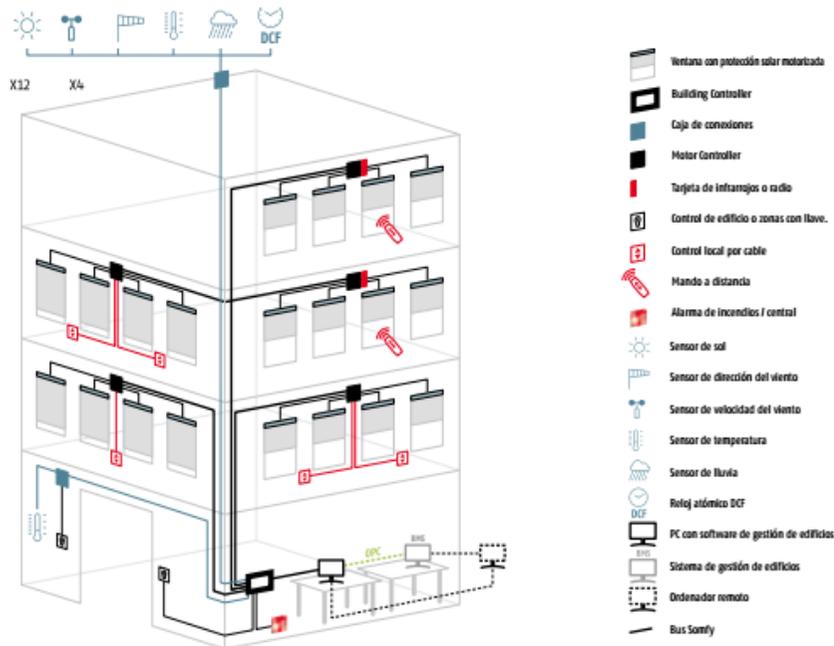


FIGURA 16: Sistema distribuido por Somfy

Uno de los grandes problemas que conlleva este tipo de soluciones es la gran cantidad de metros de cable necesarios para la transmisión de datos y energía. Es por esto, que se plantea generar un sistema activo pero descentralizado, aprovechando las tecnologías inalámbricas existentes en

la actualidad para el envío y recepción de todo tipo de datos, como las tecnologías bluetooth o WIFI.

Se plantea más adelante incorporar el uso de paneles fotovoltaicos para la descentralización total de los módulos. Para este propósito es necesario desarrollar un estudio del consumo eléctrico de los motores y la eficiencia de los paneles fotovoltaicos, lo cual conlleva un estudio eléctrico en detalle del sistema, por lo que solo se plantea esta posibilidad como una futura línea de investigación.

### SISTEMA MODULAR

Tal como podemos adquirir en tiendas de retail un mueble que puede ser armado y montado posteriormente en el lugar donde se usará, el sistema planteado tiene la misma lógica: Se distribuye como elementos modulares y que pueden ser montados por personas sin calificación especializada, para posteriormente, por parte de los operarios correspondientes, proceder a hacer los ajustes del conjunto de módulos en función a las características del entorno.

Esta característica modular, además de facilitar la fabricación, el traslado y el montaje, mejora las condiciones de mantenimiento que, en caso de algún desperfecto, es cuestión de desmontar el o los módulos afectados y reemplazarlos.

Por este motivo, los módulos no deben ser de gran envergadura, para facilitar su traslado y montaje. El sistema de soporte dependerá del tipo de fachada del edificio donde se desean instalar los módulos y el ajuste de las posiciones de los paneles se plantea a través mediante un software de control CAD-CAM.

## MATERIALIDAD Y COLOR

Cómo se ha mencionado anteriormente, el propósito de este documento no pretende establecer un sistema único, ya que condiciones tales como la orientación o la estética son propios de cada proyecto. El plantear una solución estándar para una óptima protección solar es tan difícil como buscar una prenda de vestir que sirva para todas las temporadas y en todos los climas.

A pesar de esto, a modo de establecer los lineamientos para analizar las posibles materialidades de un sistema de protección solar dinámico, se divide el módulo en sus 3 componentes esenciales: **El soporte, la transmisión electromecánica y la piel o lámina.**

A modo de analizar las mejores soluciones, los criterios más relevantes para la elección del material de cada uno de estos componentes son:

- **Soporte:** Peso, resistencia, desgaste, Sostenibilidad (ACV)
- **Transmisión electromecánica:** Desgaste (mantenimiento), Peso, Sostenibilidad (ACV)
- **Piel:** Factor solar, permeabilidad al aire, durabilidad, Sostenibilidad (ACV)

## COLOR

*En las protecciones solares exteriores el color tiene una importancia fundamental para el ahorro energético y también para el control térmico y lumínico del edificio.*

- *En la protección solar con lama de aluminio, es preferible el color claro y metálico para mejorar la reflexión de la radiación solar y evitar la entrada del calor dentro del edificio.*
- *En la protección solar textil, el color recomendable para el exterior es el color oscuro debido a que un textil color oscuro absorbe el 96% de la radiación solar. Con textil color blanco se bloquea sólo el 79% de la radiación solar. El color oscuro es un 17% más eficiente en la absorción de radiación solar, y además el color claro tiene un efecto amplificador de la luminosidad que favorece el deslumbramiento del interior de la sala (13)*

(13) FUENTE: 'La fachada dinámica 4.0' Somfy

## FUNCIONAMIENTO

Las posibilidades que otorgan los controladores electrónicos, además de su bajo costo, es el código abierto que posibilita el desarrollo de nuevas aplicaciones que se puedan desarrollar tanto a nivel de software cómo de hardware.

El desarrollo de un código capaz de interpretar los resultados de una evaluación como la expuesta en este documento, abre la posibilidad de que tanto la evaluación, la medición como el accionamiento del sistema se puedan ejecutar con los medios expuestos en este documento.

Hoy en día existen aplicaciones destinadas a hacer esta conexión CAD-CAM (Diseño asistido por computadora-Manufactura asistida por computadora) más simple, cómo es el caso del plugin Firefly para Grasshopper.

Aprovechando el desarrollo de componentes electrónicos (hardware) además de múltiples programas que permiten el control de estos componentes, se opta por desarrollar un sistema activo autónomo o descentralizado, como se explicará más adelante.



FIGURA 17: Diagrama de funcionamiento de sistemas activos  
 Imágenes: Servomotor (arriba) Controlador Arduino (abajo)  
 FUENTE: Elaboración propia

## DISPOSITIVO ELECTROMECAÁNICO

Los dispositivos electromecánicos son los que combinan partes eléctricas y mecánicas para conformar su mecanismo. Ejemplos de estos dispositivos son los motores eléctricos y los dispositivos mecánicos movidos por estos

Se denomina transmisión mecánica a un mecanismo encargado de transmitir potencia entre dos o más elementos dentro de una máquina.

Teniendo definidas las posibilidades y características geométricas, se procede al diseño de la manera en cómo lograr la plegabilidad del módulo.

El desarrollo mecánico se estudia a través de una serie de prototipos, a modo de iterar entre diferentes sistemas mecánicos que permitan el movimiento de la piel del módulo.

### TRANSMISIÓN MECÁNICA

Una máquina simple es un dispositivo mecánico que cambia la dirección o la magnitud de una fuerza. Las máquinas simples también se pueden definir como los mecanismos más sencillos que utilizan una ventaja mecánica (también llamada relación de multiplicación) para incrementar una fuerza. Estas máquinas son utilizadas generalmente por la Producción Artesanal.

Por lo general, el término se refiere a las seis máquinas simples clásicas que fueron clasificadas y estudiadas por los científicos del Renacimiento

**Palanca:** barra rígida con un punto de apoyo, llamado fulcro, a la que se aplica una fuerza y que, girando sobre el punto de apoyo, vence una resistencia. Se cumple la conservación de la energía y, por lo tanto, la

fuerza aplicada por su espacio recorrido ha de ser igual a la fuerza de resistencia por su espacio recorrido.

**Torno:** máquina simple con forma de cilindro que gira libremente alrededor de su eje, de forma que permite enrollar una cuerda o un cable del que se suspenden cargas que se necesita desplazar verticalmente.

**Polea:** dispositivo mecánico de tracción constituido por una rueda acanalada o roldana por donde pasa una cuerda, lo que permite transmitir una fuerza en una dirección diferente a la aplicada. Además, formando aparejos o polipastos de dos o más poleas es posible también aumentar la magnitud de la fuerza transmitida para mover objetos pesados, a cambio de la reducción del desplazamiento producido.

**Plano inclinado:** En él se aplica una fuerza para vencer la resistencia vertical del peso del objeto a levantar. Dado el principio de conservación de la energía, cuanto más pequeño sea el ángulo del plano inclinado, más peso se podrá elevar con la misma fuerza aplicada, pero a cambio, la distancia a recorrer será mayor.

**Cuña:** transforma una fuerza vertical en dos fuerzas horizontales de sentido contrario. El ángulo de la cuña determina la proporción entre las fuerzas aplicadas y la resultante, de un modo parecido al plano inclinado. Es el caso de hachas o cuchillos.

**Tornillo:** El mecanismo de rosca transforma un movimiento giratorio aplicado a un volante o manilla, en otro rectilíneo en el husillo, mediante un mecanismo de tornillo y tuerca. La fuerza aplicada por la longitud de la circunferencia del volante ha de ser igual a la fuerza resultante por el avance del husillo. Dado el gran desarrollo de la circunferencia y el normalmente pequeño avance del husillo, la relación entre las fuerzas es

muy grande. Herramientas como el gato del coche o el sacacorchos derivan del funcionamiento del tornillo.

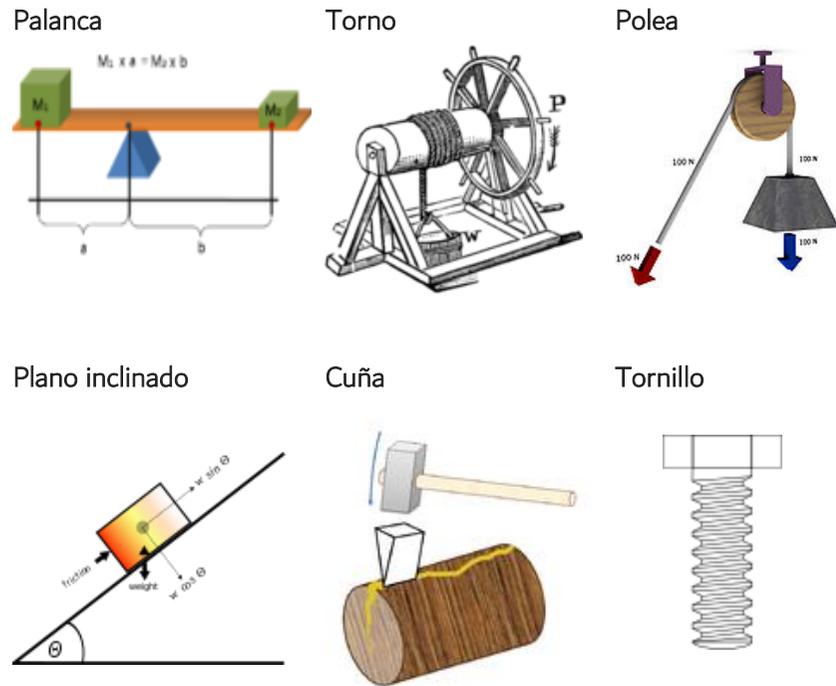


FIGURA 18: Sistemas de transmisión mecánica  
FUENTE: Imágenes descargadas de internet

Como podemos ver, la transmisión de energía desde un actuador que es el encargado de convertir la energía eléctrica en mecánica, y que en este caso corresponde a un motor, puede realizarse de diferentes maneras. Para sistemas de plegado, los más utilizados son los de palanca, polea y tornillo, por lo que se procede a centrar el accionamiento mecánico a través de estas posibilidades.

## ENGRANAJES

Se denomina engranaje o ruedas dentadas al mecanismo utilizado para transmitir potencia de un componente a otro dentro de una máquina. Los engranajes están formados por dos ruedas dentadas, de las cuales la mayor se denomina 'corona' y la menor 'piñón'. Un engranaje sirve para transmitir movimiento circular mediante contacto de ruedas dentadas. Una de las aplicaciones más importantes de los engranajes es la transmisión del movimiento desde el eje de una fuente de energía, como puede ser un motor de combustión interna o un motor eléctrico, hasta otro eje situado a cierta distancia y que ha de realizar un trabajo. De manera que una de las ruedas está conectada por la fuente de energía y es conocida como engranaje motor y la otra está conectada al eje que

debe recibir el movimiento del eje motor y que se denomina engranaje conducido. Si el sistema está compuesto de más de un par de ruedas dentadas, se denomina tren.



La principal ventaja que tienen las transmisiones por engranaje respecto de la transmisión por poleas es que no patinan como las poleas, con lo que se obtiene exactitud en la relación de transmisión. (14)

FIGURA 19: Engranaje cónico recto.  
FUENTE: Imagen descargada de internet

(14) Información extraída del blog de Carreras Profesionales – Técnicas EMEC de Conalep Tehuacán FUENTE: [https://zonaemec.files.wordpress.com/2014/02/6\\_7-engranaje-parte1.pdf](https://zonaemec.files.wordpress.com/2014/02/6_7-engranaje-parte1.pdf)

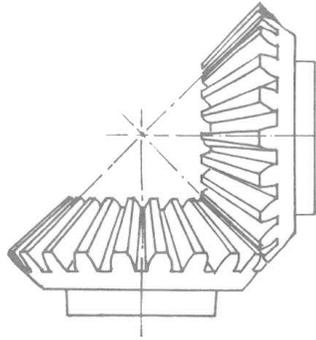


FIGURA 20: Dibujo de engranaje cónico recto, para el cambio de eje en la distribución de fuerzas  
FUENTE: Imagen descargada de internet

Se utiliza un motor eléctrico paso a paso que distribuya la fuerza hacia los elementos móviles.

En paralelo con la evaluación geométrica que se detalla en el próximo capítulo, se opta utilizar un sistema de engranajes cónicos para la transmisión mecánica del primer prototipo desarrollado.

Para el primer y el segundo prototipo la distribución de la fuerza desde el motor a los elementos articulados, replica un sistema de guías lineales en los 4 ejes de desplazamiento, que permite el desplazamiento de las piezas, con poco roce y de una manera simple y coordinada. El movimiento se transmite a través de un sistema de husillo izquierdo/derecho, que permite el movimiento de los carros en sentidos contrarios, pero con el giro del motor en un solo sentido.

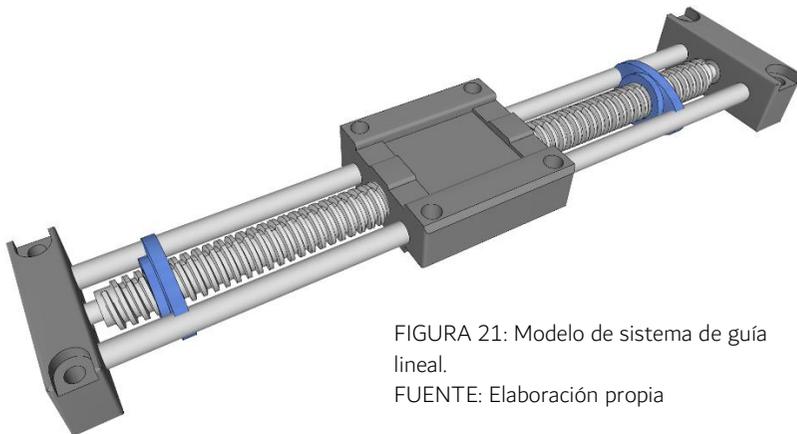


FIGURA 21: Modelo de sistema de guía lineal.  
FUENTE: Elaboración propia

## TRANSMISIÓN ELÉCTRICA

La fuerza generada para la articulación de los diferentes módulos se realiza a través de componentes electrónicos.

Para transformar la energía eléctrica en mecánica y generar el movimiento se utiliza un **motor**, para la toma de datos se utilizan **sensores** y para el manejo de la información obtenida por estos sensores y coordinar el movimiento de los motores se utiliza un **controlador**.

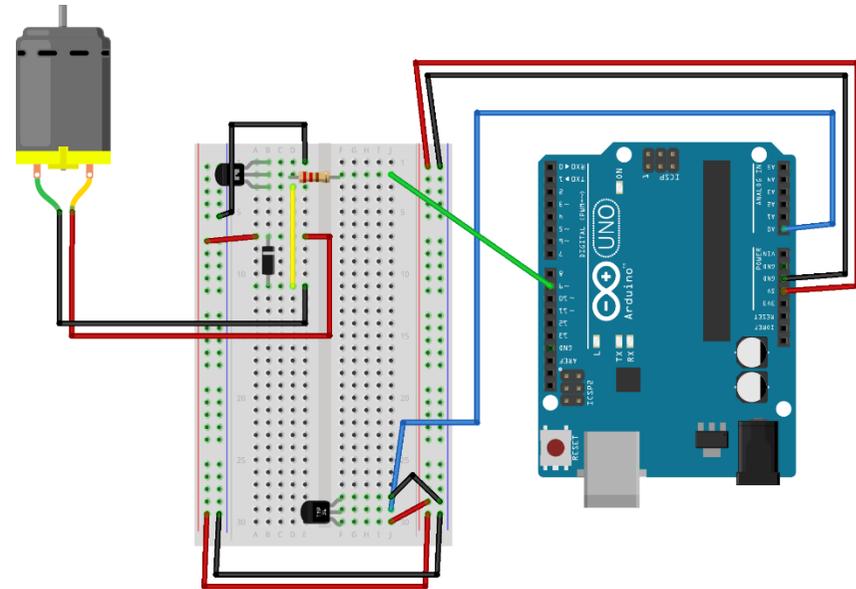


FIGURA 22: Esquema de armado del circuito  
FUENTE: <https://arduino.stackexchange.com>

## MOTORES

**Servomotor:** es un dispositivo similar a un motor de corriente continua que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición. Básicamente es un motor eléctrico que puede ser controlado tanto en velocidad como en posición.

**Motor paso a paso:** es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa que es capaz de girar una cantidad de grados (paso o medio paso) dependiendo de sus entradas de control. El motor paso a paso se comporta de la misma manera que un conversor digital-analógico (D/A) y puede ser gobernado por impulsos procedentes de sistemas digitales. Este motor presenta las ventajas de tener precisión y repetitividad en cuanto al posicionamiento.

## SENSOR

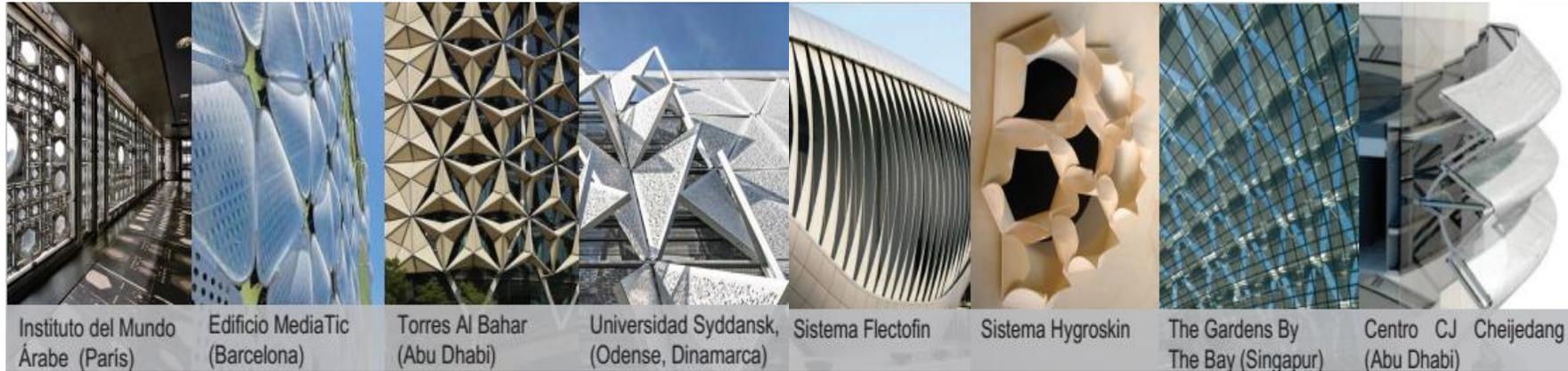
Un sensor es todo aquello que tiene una propiedad sensible a una magnitud del medio, y al variar esta magnitud también varía con cierta intensidad la propiedad, es decir, manifiesta la presencia de dicha magnitud, y también su medida.

Este tipo de dispositivo es capaz de variar una propiedad ante magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas con un transductor en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: intensidad lumínica, temperatura, distancia, aceleración, inclinación, presión, desplazamiento, fuerza, torsión, humedad, movimiento, pH, etc.

## CONTROLADOR

**Arduino** es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores. Esta plataforma permite crear diferentes tipos de microordenadores de una sola placa a los que la comunidad de creadores puede darles diferentes tipos de uso. Esta placa reúne todos los elementos necesarios para conectar periféricos a las entradas y salidas de un microcontrolador

## ESTÉTICA Y MULTIMEDIA



El análisis estético siempre es delicado. Pero las alternativas morfológicas que abren este tipo de sistemas son infinitas, o al menos bastante más posibilidades que los sistemas de muro cortina.

Existen proyectos que incorporan la estrategia de cambio de aspecto, donde la movilidad es aprovechada para generar un cambio de la estética del edificio. Lógicamente estos cambios, se pueden combinar con otros propósitos como: control de iluminación, ventilación, etc. En horarios nocturnos, o simplemente cuando no sea necesario tener el sistema en función a la eficiencia energética, los sistemas de fachada se pueden aprovechar para proyecciones o generar figuras.

Los cambios de apariencia se pueden adaptar a diferentes temas que se desarrollen en el momento, las estaciones del año, condiciones climatológicas, festividades locales, etc, haciendo los proyectos más llamativos para los usuarios, y generar interacciones con el medio circundante.



FIGURA 23  
 IMAGEN SUPERIOR: Diferentes sistemas de fachadas dinámicas  
 IMAGEN INFERIOR: Torres Al Bahar con una proyección de mapping  
 FUENTE: Imágenes descargadas de internet

## GEOMETRÍA Y PROTOTIPOS

Dentro de la etapa de estudio geométrico se diseñó una serie de módulos desplegables con diferentes morfologías capaces de abrirse y cerrarse a través de diferentes sistemas mecánicos

A modo de definir las dimensiones, características y articulación(es) del módulo a evaluar, se estudian una serie de estructuras desplegables de diferentes tamaños y prestaciones.

Según la clasificación desarrollada en el libro 'Estructuras Desplegables'(15), este tipo de sistemas 'se expanden y/o contraen debido a sus propiedades geométricas, materiales y mecánicas'. Dentro de este contexto encontramos la técnica generativa del origami.

El origami, según la descripción del libro antes mencionado, es un antiguo arte japonés con el que una hoja de papel lisa se transforma en una escultura o forma, mediante una serie de pliegues que convierte la superficie bidimensional en un objeto tridimensional.

Dentro de esta clasificación, las morfologías que más se utilizan dentro de los sistemas de fachada dinámica existentes son los plegables.

Por este motivo, para este estudio se opta por la utilización de técnicas basadas en el origami, principalmente por la facilidad que otorga esta técnica para cubrir/discubrir una superficie a través de pliegues.

(15) FUENTE: Rivas Adrover, E. Estructuras desplegables. Promopress 2015

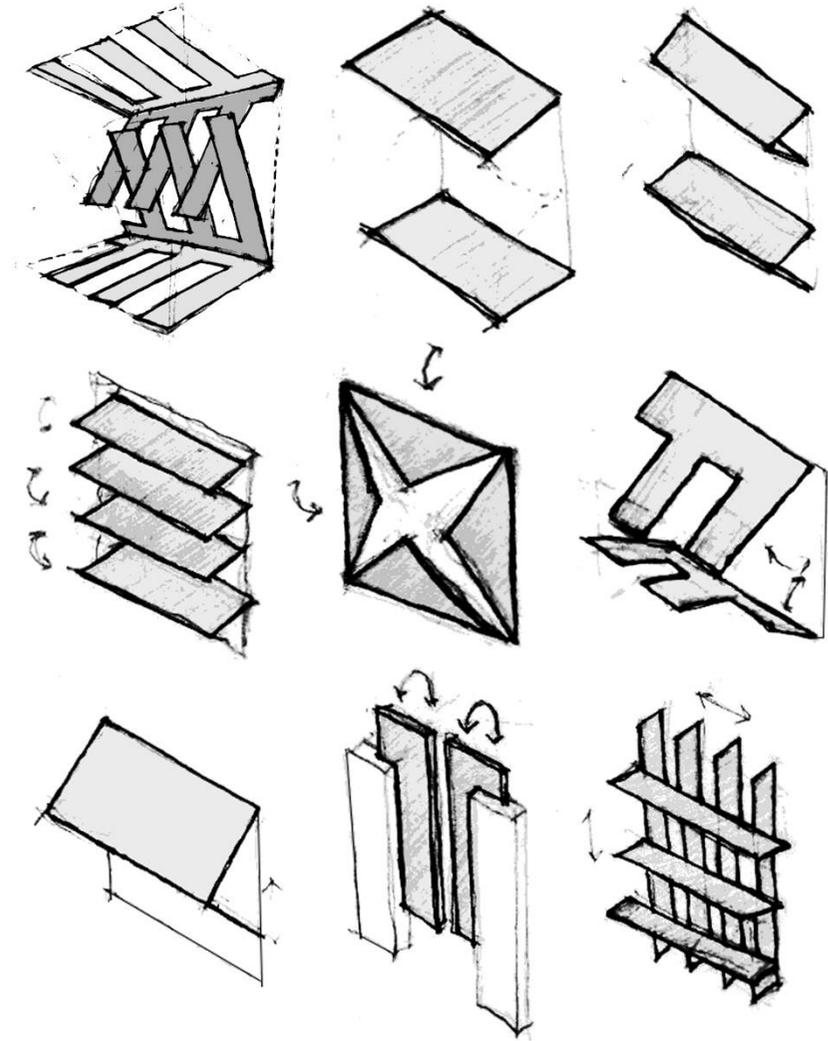
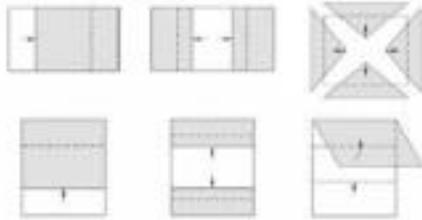


FIGURA 25: Esquemas de apertura de diferentes sistemas móviles  
FUENTE: Elaboración propia

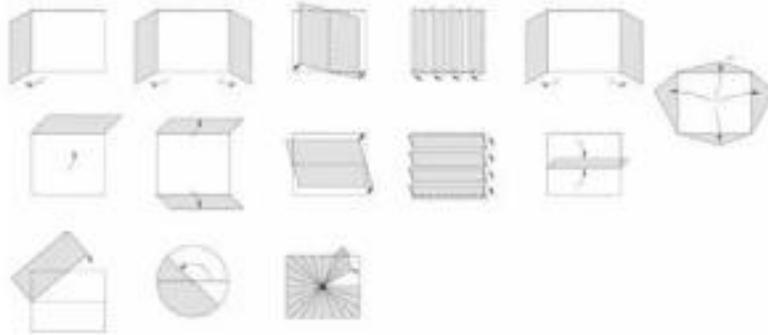
A) Corredera, horizontal y vertical



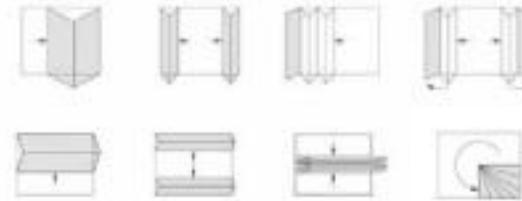
B) De empuje hacia afuera: perpendicular al plano de fachada.



C) Pivotantes: sobre el eje perpendicular al plano, sobre el eje horizontal, sobre el eje vertical



D) Plegables horizontal (correderas pivotantes): circular, vertical horizontal



E) De recogida: circular, vertical y horizontal



F) Enrollables: vertical y horizontal

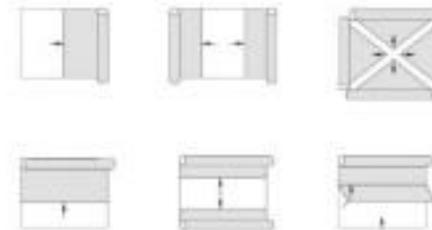


FIGURA 26:  
Esquemas de apertura de diferentes sistemas móviles  
FUENTE: 'Facade Construction Manual' Thomas Herzog

## IMAGEN OBJETIVO

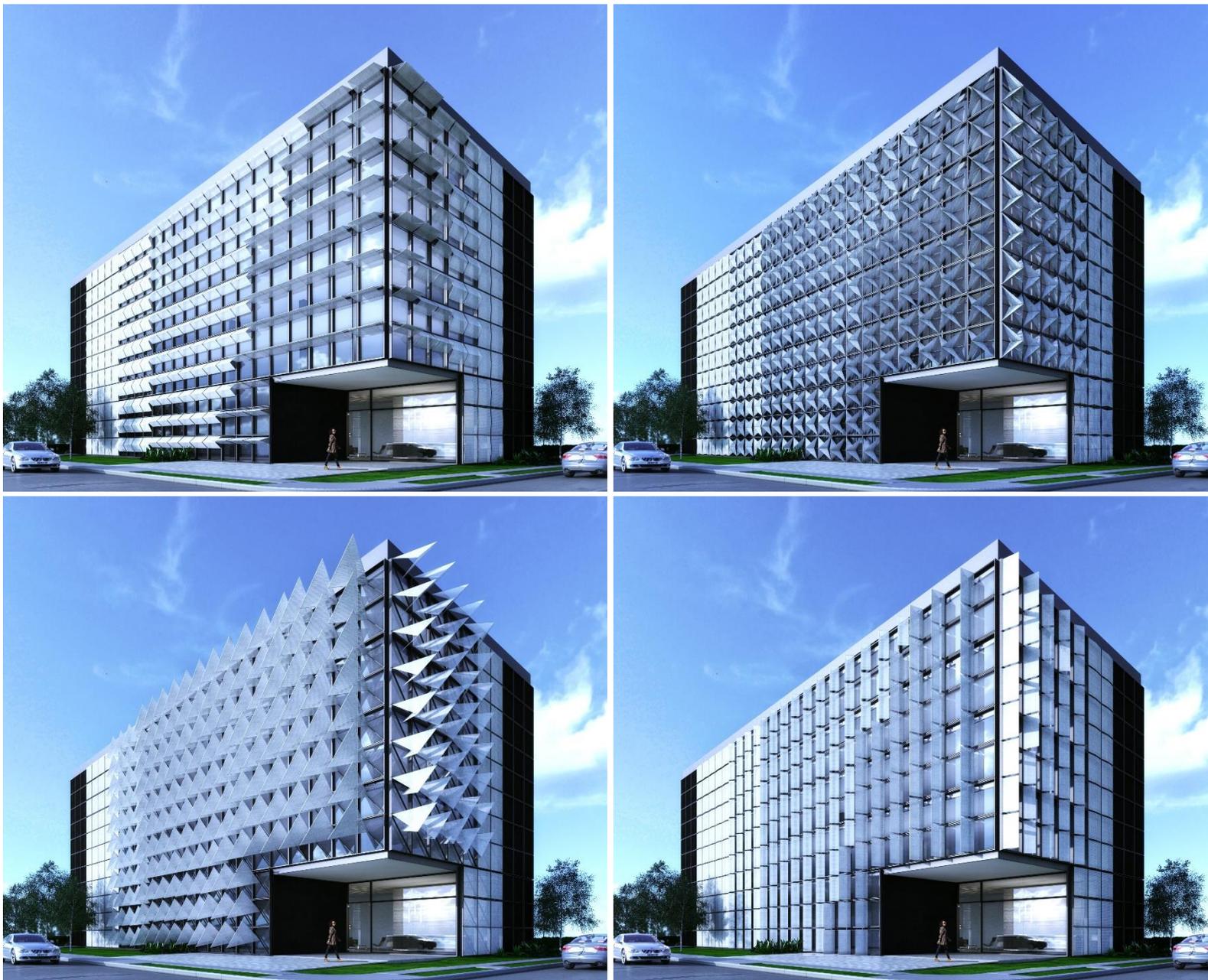


FIGURA 27  
Visualización de  
diferentes paneles  
en funcionamiento  
sobre el mismo  
edificio.



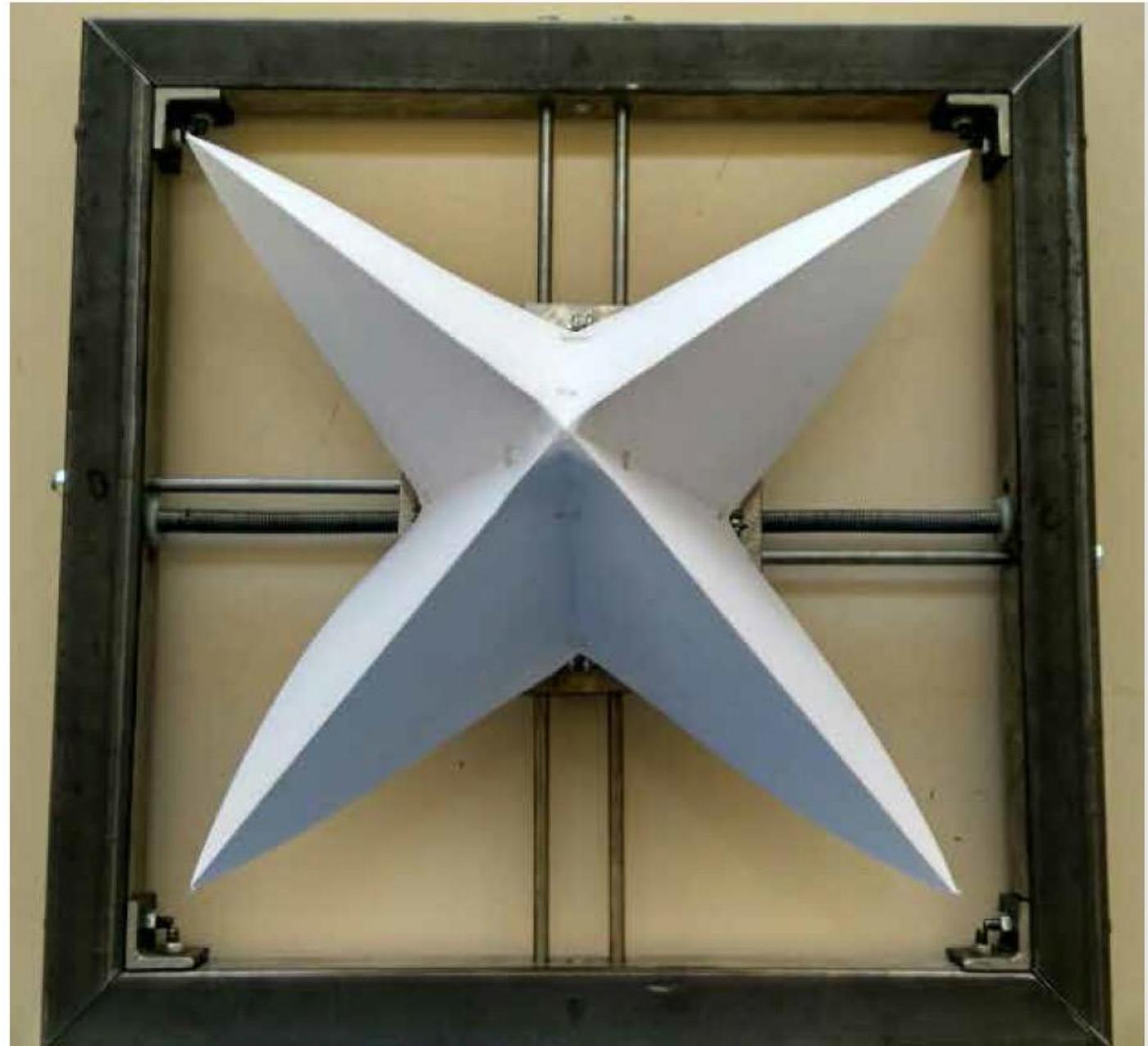
FIGURA 24:  
Izquierda: Fotomontaje de uno de los sistemas desarrollados  
Derecha: Otro usos del sistema

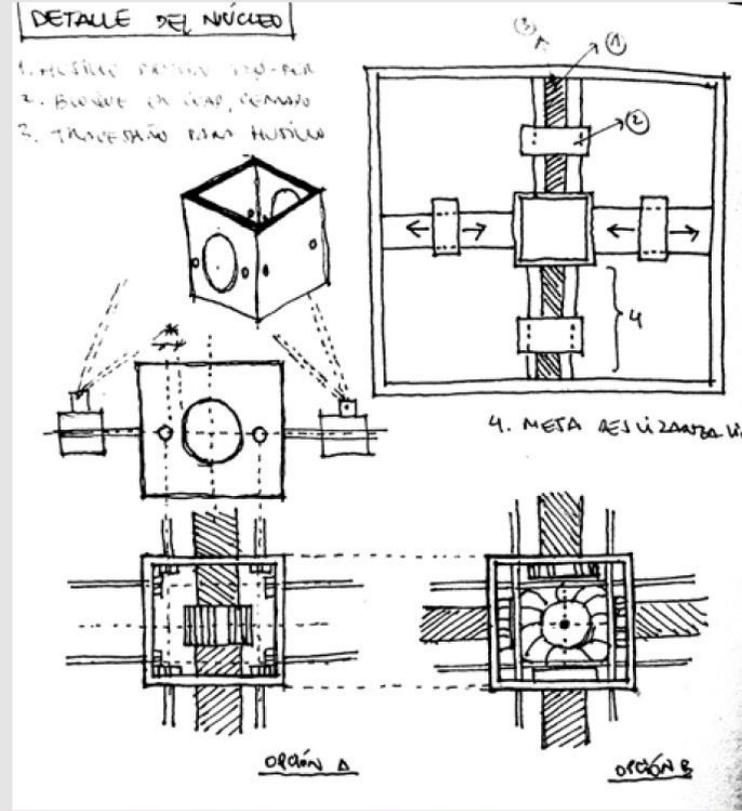
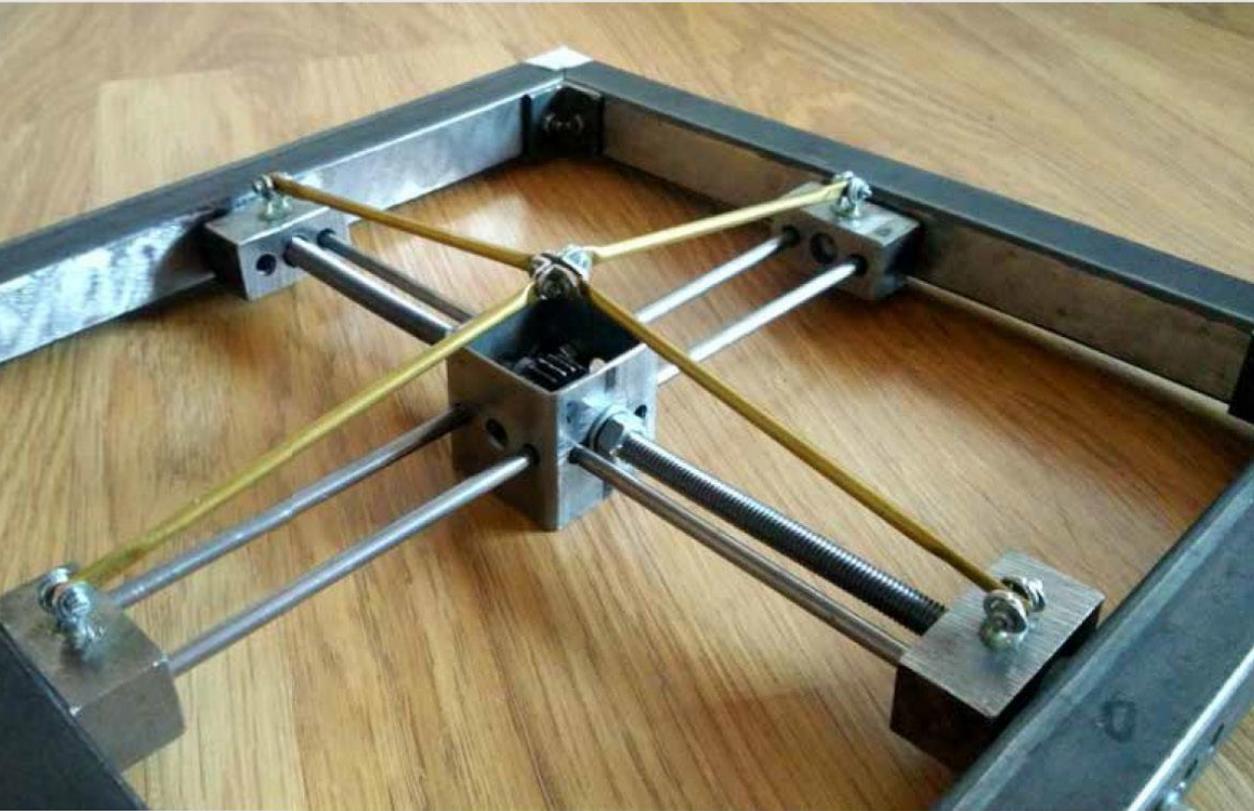
## PRIMER PROTOTIPO

Esta primera aproximación/iteración formal al sistema modular que se busca desarrollar, es un módulo cuadrado, y que soporta una lámina de iguales dimensiones que se pliega través de 8 articulaciones, las cuales a su vez son articuladas a través de 4 cojinetes que se desplazan linealmente a lo largo de 4 guías. El movimiento de estos elementos se logra a través de un sistema de transmisión de tornillo, que con un hilo derecho e izquierdo logran desplazar los cojinetes hacia el centro y hacia el perímetro, permitiendo así la apertura o cierre de la lámina.

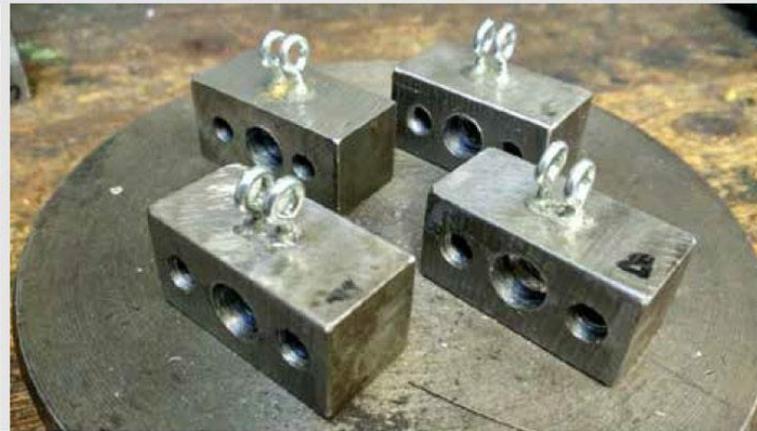
Cabe mencionar que se selecciona este sistema de tornillo como una alternativa al sistema que, por ejemplo, se utiliza en las torres Al Bahar de Abu Dhabi. Esta innovación está determinada principalmente por la necesidad de generar un sistema que en su posición cerrada ocupe el menor volumen posible, para facilitar su distribución.

FIGURA 28  
FOTOGRAFÍAS y ESQUEMAS: Desarrollo  
del primer prototipo  
FUENTE: Elaboración propia





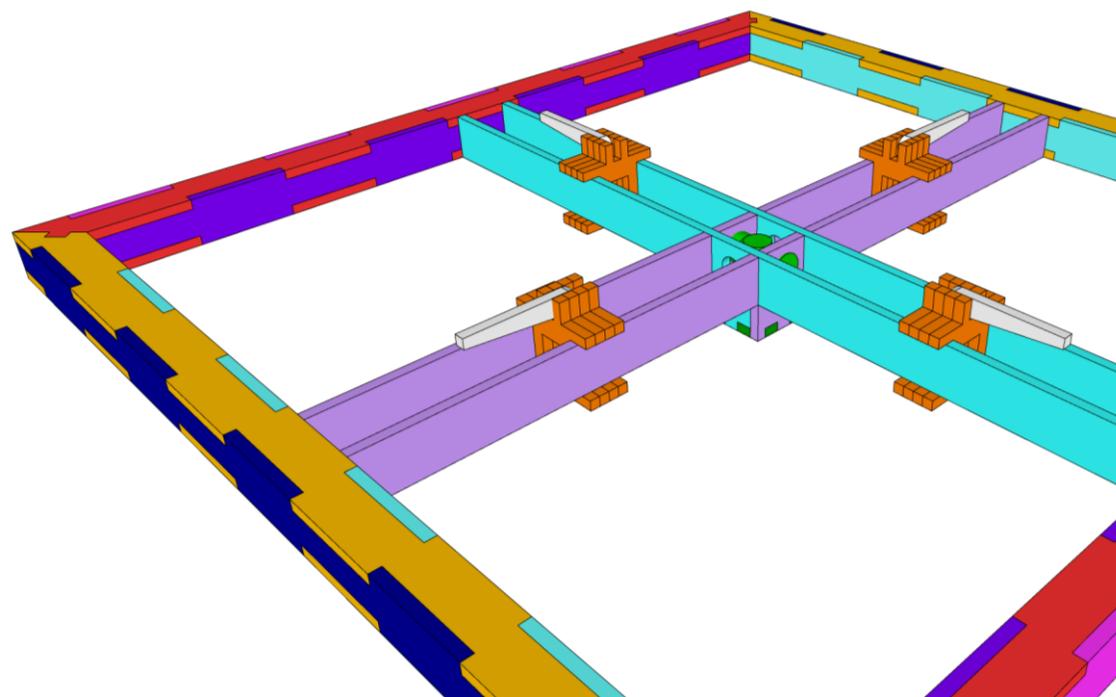
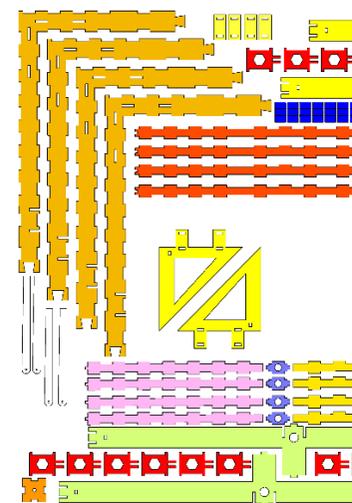
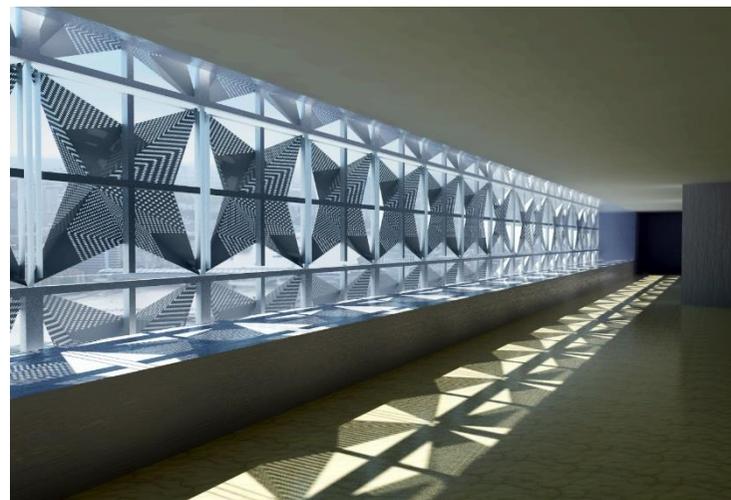
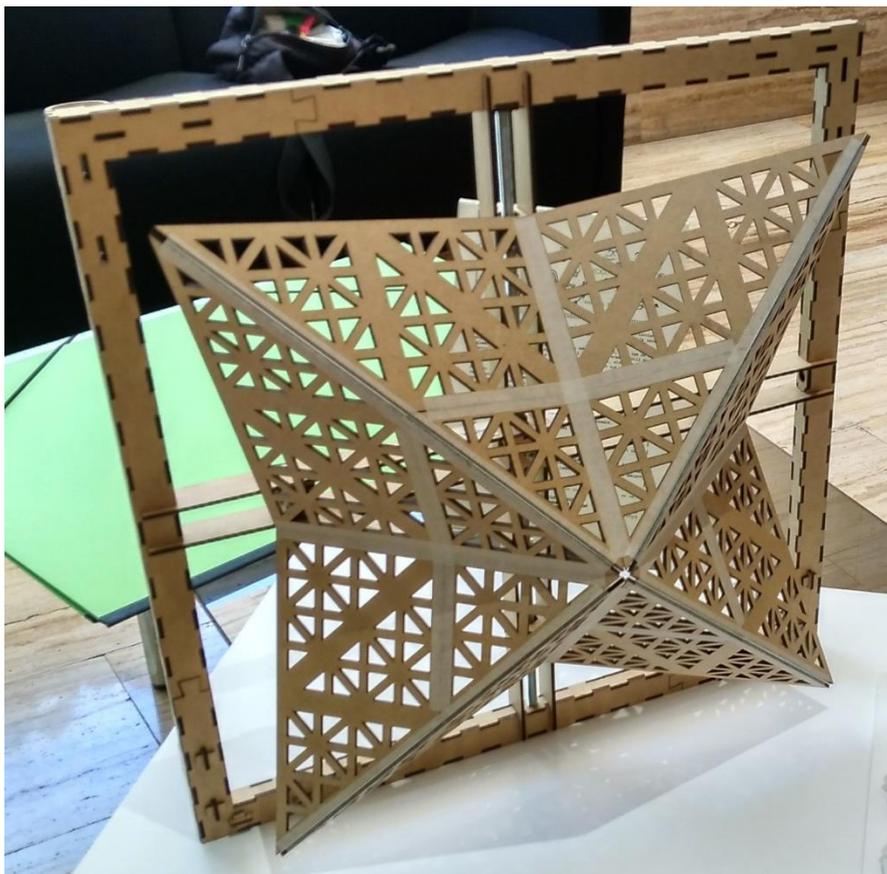
**PRIMEROS PROTOTIPOS**

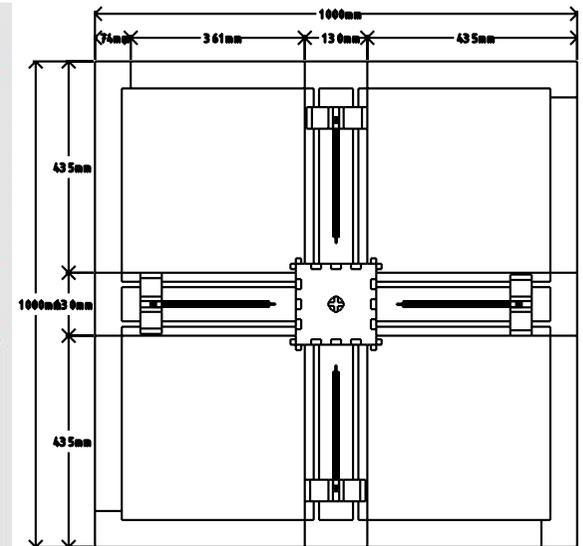
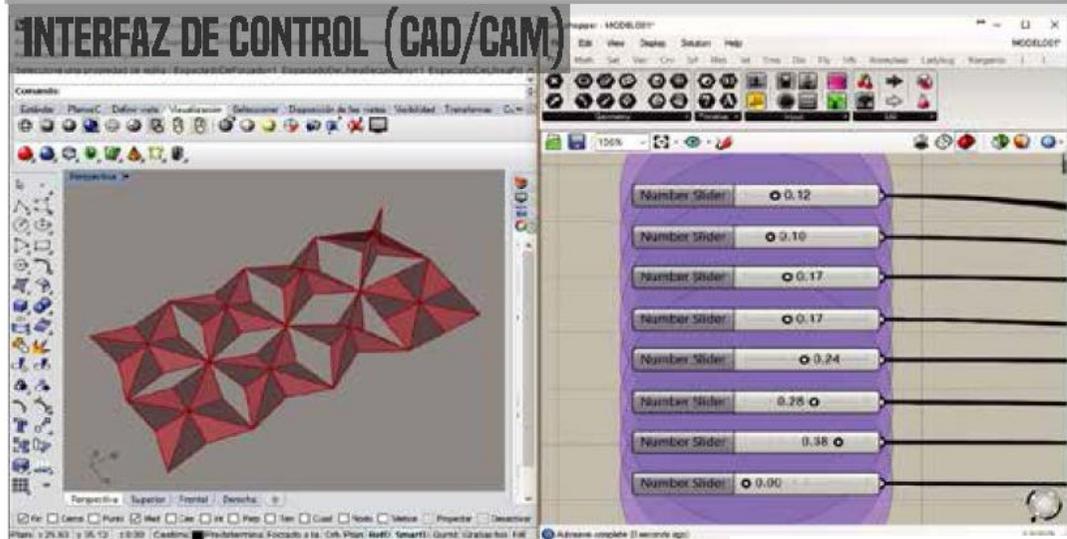
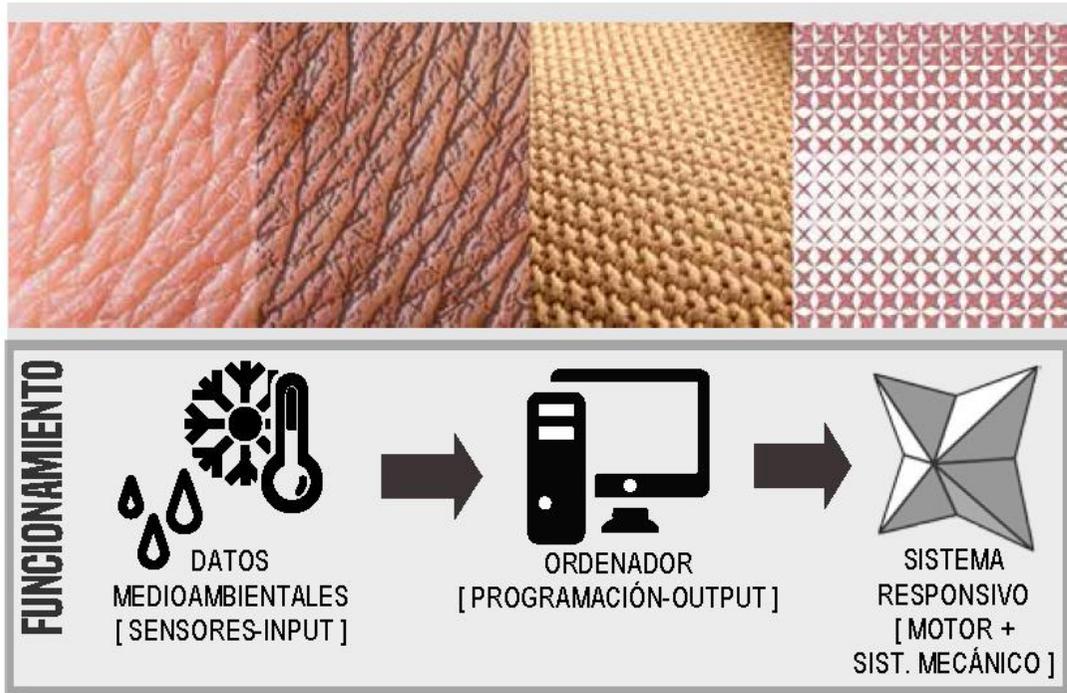
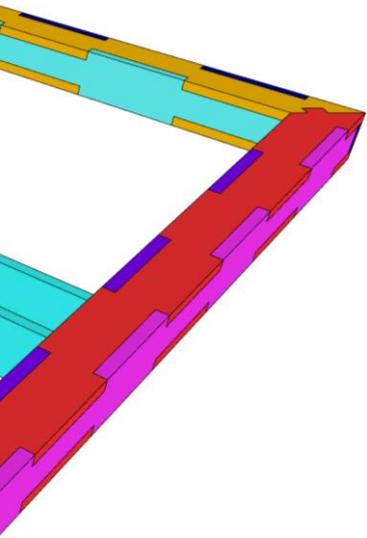
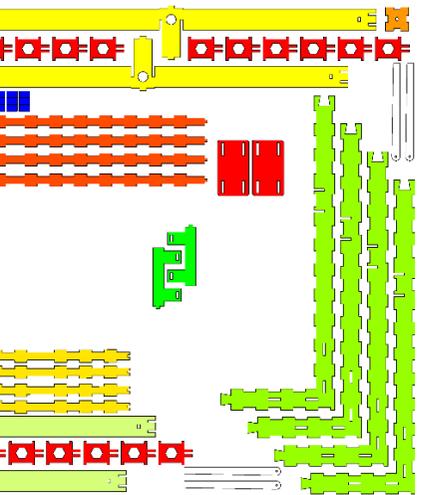


## SEGUNDO PROTOTIPO

Se desarrolla un segundo prototipo, con características muy similares al primero, pero fabricado con técnicas de fabricación digital. Se diseña una serie de piezas de madera que fueron cortadas con láser. Este prototipo se genera principalmente por 2 razones

- A. Experimentar con otros materiales y técnicas que otorguen las posibilidades mecánicas y de soporte similares a las del primer prototipo
- B. Analizar las posibilidades que otorga la fabricación digital para industrializar el sistema propuesto





ELEVACION FRONTAL DEL MÓDULO

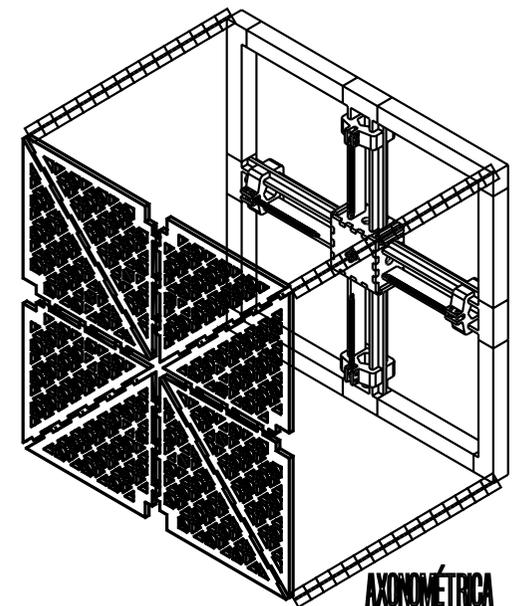


FIGURA 29: Desarrollo del segundo prototipo FUENTE: Elaboración propia

## TERCER PROTOTIPO

Dentro del marco del desarrollo de la asignatura 'Evolución de materiales y productos de la construcción', se desarrolla junto a un grupo de compañeros el tercer prototipo, ahora con un sistema con un solo pliegue. En este caso el mecanismo se acciona a través de un servo motor que permite su control respecto al giro de una manera más precisa que un motor rotatorio convencional.

En este prototipo se utiliza un sensor de luz que permite que, a través de un controlador Arduino, la lámina se pliegue en función a la cantidad de iluminación detectada por el sensor.



FIGURA 30  
FOTOGRAFÍAS y ESQUEMAS: Desarrollo del tercer prototipo, para la asignatura "Evolución de materiales y productos de la construcción"  
FUENTE: Elaboración grupal



LEYENDA

- 1 Cojinete con rueda dentada
- 2 Guia dentada
- 3 Brazo neumático
- 4 Servomotor 115 kg
- 5 Elemento de protección solar.
- 6 Bisagra
- 7 Marco metálico
- 8 Sensor de radiación solar
- 9 Marco de motor 2x2cm
- 10 Soporte fijo

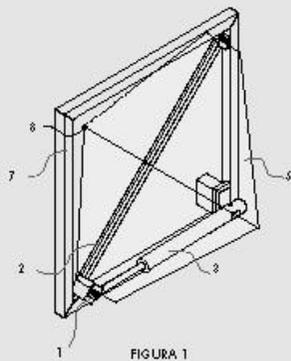


FIGURA 1

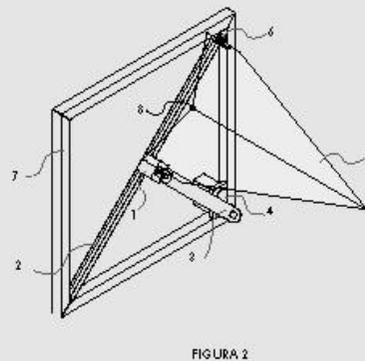


FIGURA 2

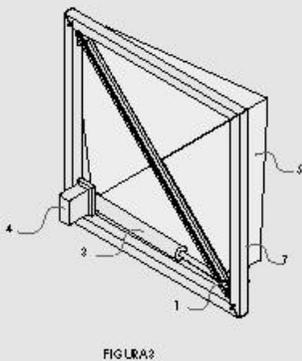


FIGURA 3

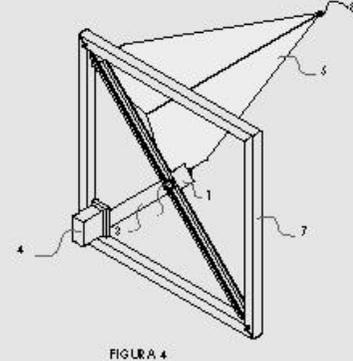
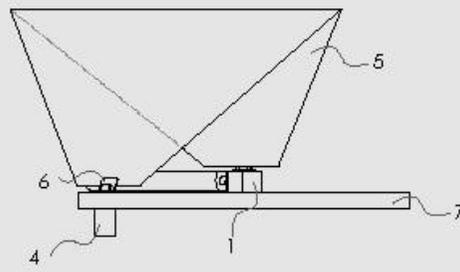
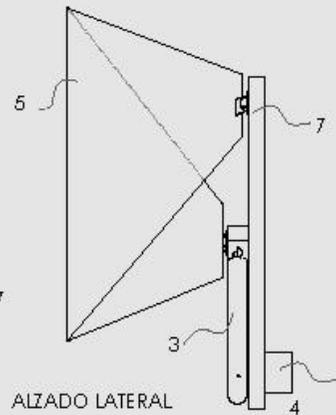


FIGURA 4

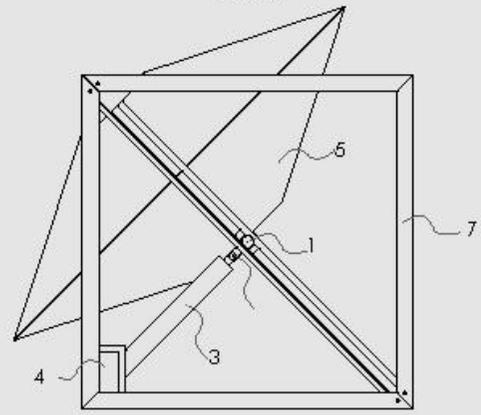
PLANOS



PLANTA



ALZADO LATERAL



ALZADO POSTERIOR



**PARASOL RESPONSIVO**  
**10 GRUPAL - MBARCH UPC**  
 SISTEMA AUTOMATIZADO  
 SISTEMA MECÁNICO + ARDUINO

Parcialmente se concluye, respecto a cada uno de los prototipos desarrollados lo siguiente:

### **PRIMER PROTITIPO**

La construcción artesanal de este prototipo denota lo difícil que es el mecanizar este tipo de elementos.

Como punto de partida, comenzar con un prototipo de estas características me ha permitido ver cuáles son los puntos más críticos de la estructura, además de tener la posibilidad de fabricar piezas a la medida, que es una de las grandes ventajas que tiene la mecanización.

A pesar de que el metal es el material más adecuado para la fabricación de los elementos soportantes del sistema, no es el material más adecuado para construir un prototipo. Pero esto me ha evidenciado la gran cantidad de energía contenida que puede haber en un elemento metálico. Entre cortes, perforaciones y rebajes necesarios para la fabricación y ensamble de las diferentes piezas, los elementos metálicos tienen una gran cantidad de energía para su ejecución, sin contar con la energía necesaria para la extracción de las meterías primas.

Por este motivo, se opta por desarrollar un segundo prototipo, pero a través de metodologías de fabricación digital.

### **SEGUNDO PROTOTIPO**

Se construye casi en su totalidad en madera cortada por láser (excepto las piezas tales como rodamientos, tornillos y husillos).

Aprovechando las facilidades que aporta la fabricación digital (corte láser, CNC, impresión 3D), la etapa de diseño y planificación ha sido más

extensa, pero el proceso de armado a sido mucho más rápido que el anterior. Lógicamente el peso de este prototipo es menor, pero de antesala se considera que la madera no es el material mas adecuado para ejecutar la estructura del sistema

Una de las grandes ventajas que tienen este tipo de sistemas de fabricación es el acercamiento que se produce con los sistemas industrializados: se pueden fabricar varios modelos y/o piezas desde un mismo diseño, obteniendo elementos precisos y de buena manufactura.

### **TERCER PROTOTIPO**

Cabe destacar que el prototipo fue desarrollado para la asignatura "Evolución de materiales y productos de la construcción" junto a un grupo de compañeros

En este modelo el enfoque fue el sistema de funcionamiento. El uso de un sensor de luz y un servomotor que era controlado por una placa Arduino representan una posibilidad interesante respecto al método de accionamiento del sistema. Es un sistema simple, que permite generar el movimiento de manera sencilla. El ajuste del sensor debe hacerse bajo condiciones lumínicas específicas, y el código de programación de este es un punto que, cruzando los datos que se revisarán en la evaluación energética, otorga un control bastante preciso de la apertura y cierre de los módulos.

## EVALUACION ENERGÉTICA: CASO DE ESTUDIO

Para evaluar energéticamente uno de los sistemas propuestos, se evalúa un espacio adiabático de 100m<sup>2</sup>, ubicado en Barcelona, orientación sur y considerando su uso para oficinas.

La evaluación del consumo de refrigeración y calefacción de este espacio, considera un muro cortina que cubre el 100% de la fachada sur, dejando el resto de los muros opacos con las características que se describen en la figura 30.

Posteriormente se procede a evaluar el mismo espacio con las mismas condiciones, pero esta vez se agrega un sistema de lamas inclinables que sombrean la fachada sur.

Se selecciona un sistema de sombreado a base de lamas inclinables en 180° debido a que como se mencionó anteriormente la morfología del sistema a emplear dependerá de factores de emplazamiento, ubicación y estéticos entre otros, por lo que se procede a utilizar para esta evaluación un sistema tipo *brise-soleil*.

Acristalamiento Datos		
Capas	Calculado	Coste
Valores Calculados		
Transmisión solar total (SHGC)	0.691	
Transmisión solar directa	0.624	
Transmisión de luz	0.744	
Valor-U (ISO 10292/ EN 673) (W/m <sup>2</sup> ·K)	1.924	
<b>Valor U (ISO 15099 / NFRC) (W/m<sup>2</sup>·K)</b>	<b>1.960</b>	

FIGURA 29: Características del vidrio utilizado

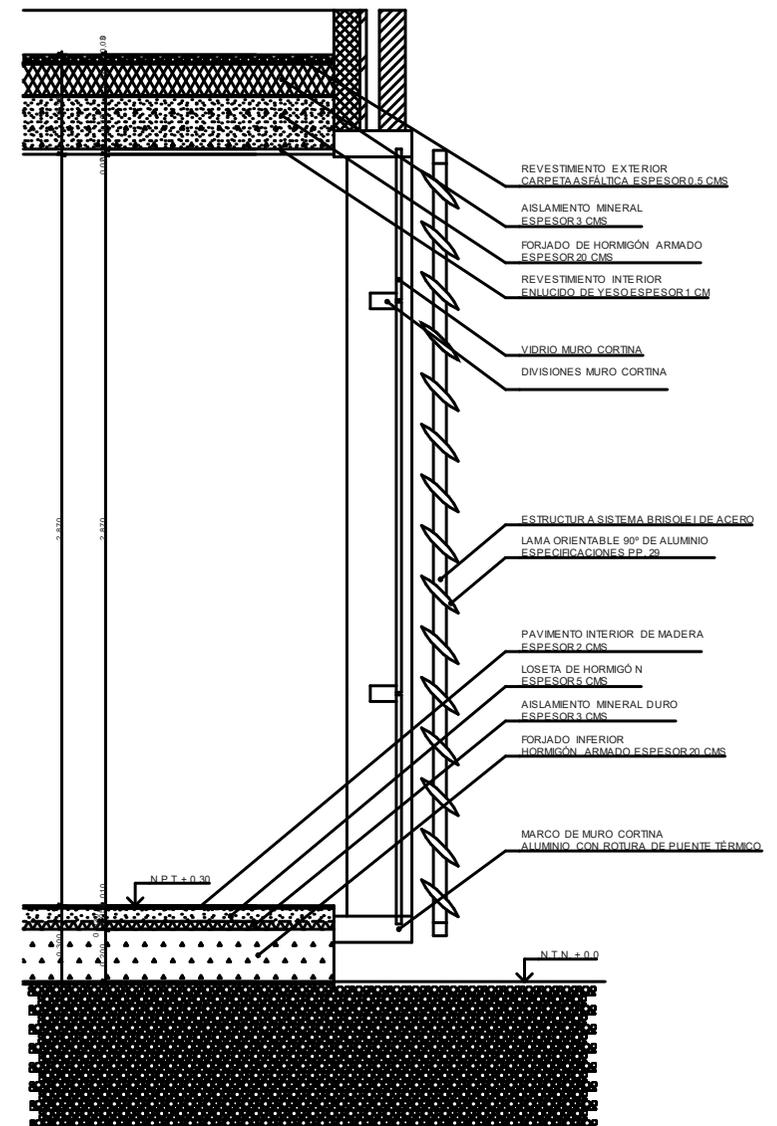
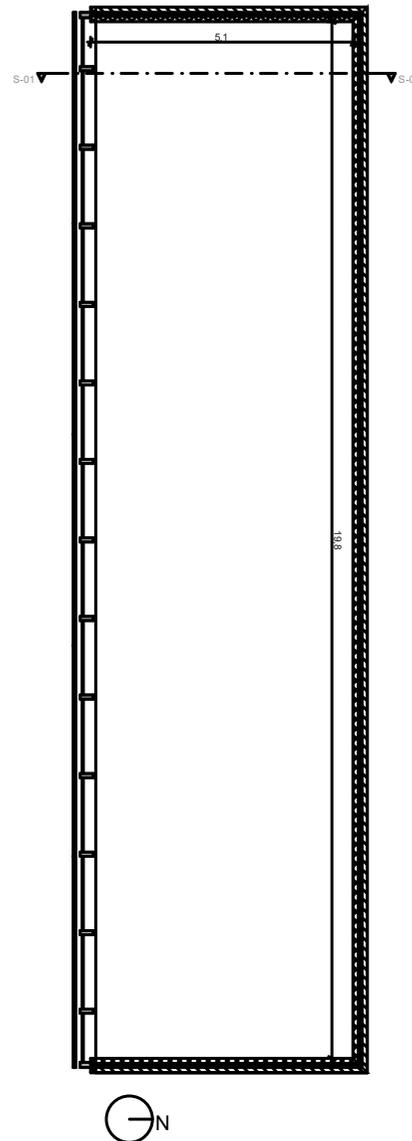


FIGURA 31: Planimetría y modelo del edificio utilizado para la simulación  
FUENTE: Elaboración propia

Para la evaluación del sistema expuesto, se plantea la utilización de una serie de programas tanto para el modelado como para la evaluación de la eficiencia del sistema.

Para el desarrollo del modelo 3D se utilizó el software de modelado BIM (Building Information Modeling) Archicad y posteriormente los datos del modelo fueron exportados al software de evaluación DesignBuilder. En las figuras 29, 31, 33 y 34 se muestran las características de los diferentes elementos utilizados para la simulación.

Las condiciones de sombreado son las siguientes:

Sombreado exterior y controlado según la radiación solar difusa incidente en la ventana. Si ésta excede el punto de consigna de radiación solar, la protección se cierra.

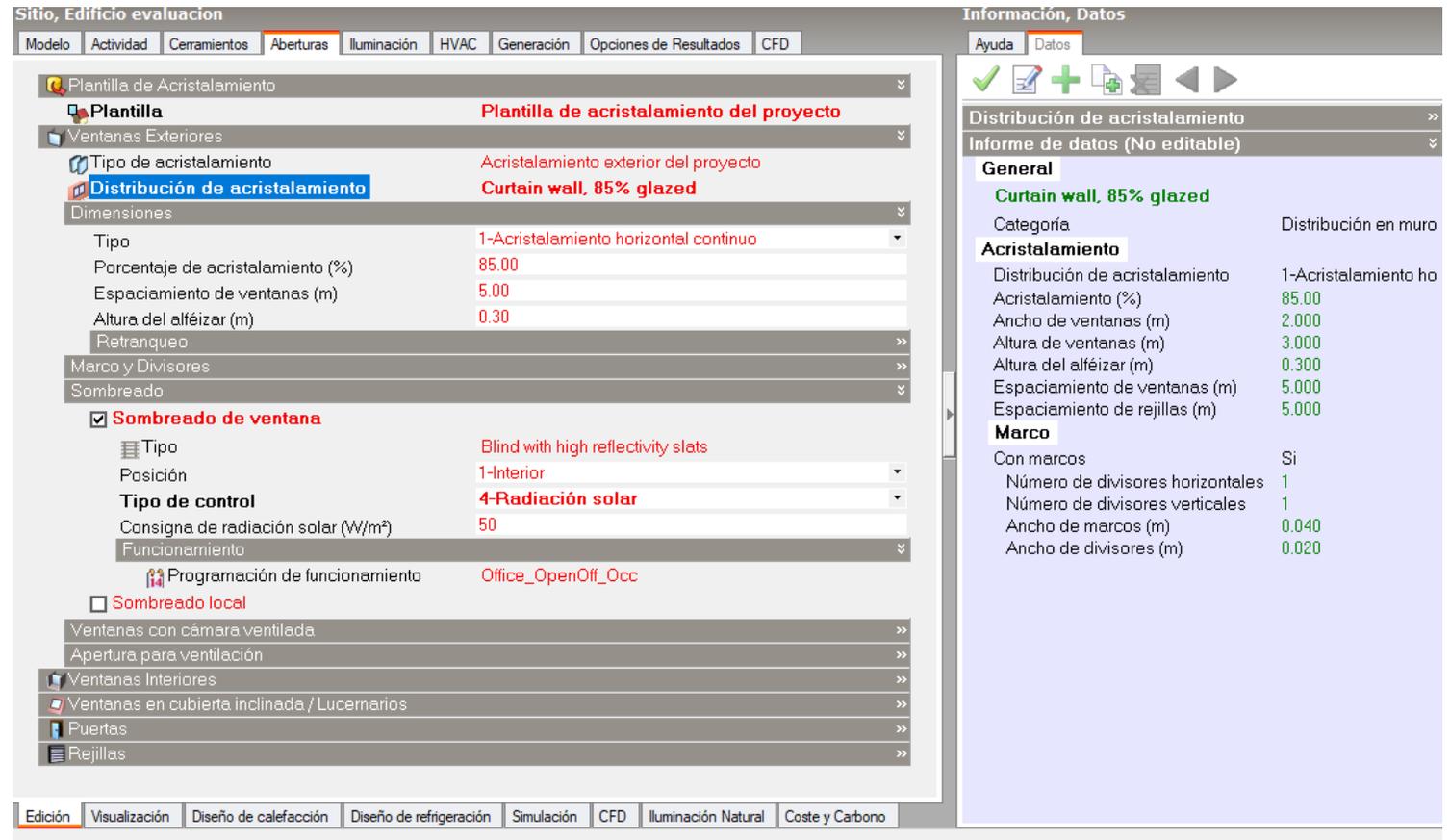


FIGURA 32: Captura de pantalla de las características técnicas del vidrio utilizado y el sombreado móvil (con control según el nivel de radiación)

ZONA CLIMÁTICA C2	
Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{lim}: 0,73 \text{ W/m}^2\text{K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{lim}: 0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{lim}: 0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{lim}: 0,32$

FIGURA 33: Valores mínimos de transmitancias U según CTE para zona climática C2 (Barcelona)

Cumpliendo con el CTE, los valores de transmitancia térmica para los elementos de envolvente utilizados son:

**Muros exteriores:** 0.73 W/m<sup>2</sup>k

**Cubierta:** 0.41 W/m<sup>2</sup>k

**Solera:** 0.5 W/m<sup>2</sup>k



FIGURA 34: Captura de pantalla de configuración de HVAC y recuperador de calor

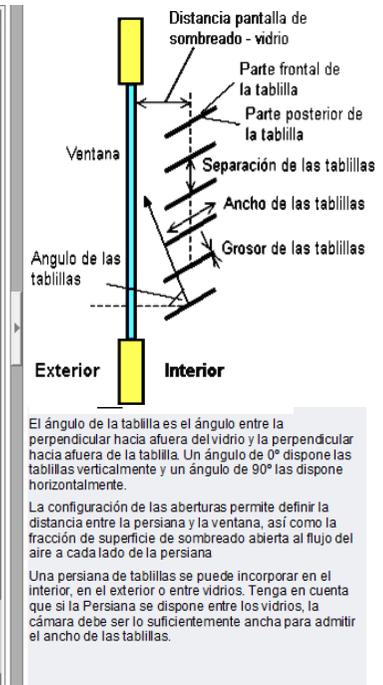
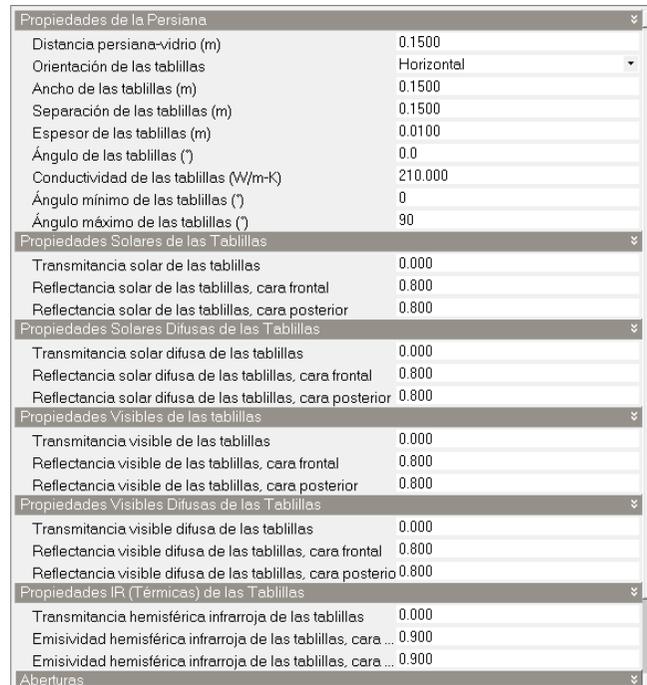


FIGURA 35: Captura de pantalla de características de las lamas utilizadas

Horas anuales de funcionamiento	Caudal de aire exterior (m³/s)									
	> 0,5...1,5		> 1,5...3,0		> 3,0...6,0		> 6,0...12		> 12	
	%	Pa	%	Pa	%	Pa	%	Pa	%	Pa
≤2.000	40	100	44	120	47	140	55	160	60	180
>2.000...4.000	44	140	47	160	52	180	58	200	64	220
>4.000...6.000	47	160	50	180	55	200	64	220	70	240
>6.000	50	180	55	200	60	220	70	240	75	260

FIGURA 36: Rendimiento mínimo recuperador de calor según RITE  
Horas funcionamiento del edificio analizado: entre 2.000-4.000

**Perfiles**

Schedule: Compact,  
Office\_OpenOff\_Occ,  
Fraction,  
Through: 31 Dec,  
For: Weekdays SummerDesignDay,  
Until: 07:00, 0,  
Until: 08:00, 0,25,  
Until: 09:00, 0,5,  
Until: 12:00, 1,  
Until: 14:00, 0,75,  
Until: 17:00, 1,  
Until: 18:00, 0,5,  
Until: 19:00, 0,25,  
Until: 24:00, 0,  
For: Weekends,  
Until: 24:00, 0,  
For: Holidays,  
Until: 24:00, 0,  
For: WinterDesignDay AllOtherDays,  
Until: 24:00, 0;

FIGURA 37: Perfiles de ocupación del edificio, con un uso destinado a oficinas y un horario de trabajo es de 7.00 a 19.00 de lunes a viernes

## EVALUACION ENERGÉTICA: RESULTADOS

PROTECCIÓN		PARÁ-METRO (kWh)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.	
A	SIN PROTEC.	GS	2,650.9	2,646.0	2,604.2	2,238.0	1,937.3	1,637.2	1,959.1	2,309.5	2,317.7	2,580.0	2,152.7	2,483.3	
		FRÍO	-502.9	-643.1	-693.3	-598.2	-820.3	-998.7	-1,761.0	-1,974.3	-1,564.8	-1,239.0	-487.6	-384.1	
		CALOR	138.4	60.8	54.1	12.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	48.0	111.7	
B	FIJA (<90°)	GS	1,770.3	1,541.0	1,281.9	1,161.0	1,116.9	989.6	1,130.4	1,206.8	1,168.8	1,415.7	1,366.0	1,718.0	
		FRÍO	-180.9	-149.8	-109.8	-132.6	-394.1	-52.2	-671.4	-1,244.3	-890.5	-573.3	-177.3	-152.9	
		CALOR	225.7	-63%	122.2	-101%	116.6	-116%	47.7	-275%	2.7	0.3	0.0	3.1	84.5
C	MÓVIL (0 W/m²)	GS	779.9	56%	700.1	55%	729.0	43%	725.0	38%	530.4	53%	600.1	39%	541.6
		FRÍO	0.0	100%	0.0	100%	0.0	100%	-2.0	98%	-45.7	88%	-279.8	58%	-719.8
		CALOR	554.4	-146%	372.8	-205%	272.0	-133%	98.9	-107%	20.4	1.3	0.0	0.0	0.0
C	MÓVIL (25 W/m²)	GS	787.2	56%	704.8	54%	737.2	42%	729.4	37%	533.5	52%	601.7	39%	544.1
		FRÍO	0.0	100%	0.0	100%	0.0	100%	-2.0	98%	-45.8	88%	-279.9	58%	-721.6
		CALOR	553.7	-145%	371.5	-204%	270.8	-132%	98.6	-107%	20.2	1.2	0.0	0.0	0.0
C	MÓVIL (50 W/m²)	GS	796.2	55%	716.9	53%	746.6	42%	742.0	36%	549.5	51%	614.9	38%	555.7
		FRÍO	0.0	100%	0.0	100%	0.0	100%	-2.1	98%	-48.0	88%	-285.7	57%	-729.6
		CALOR	549.0	-143%	365.1	-199%	266.2	-128%	95.9	-101%	19.3	1.2	0.0	0.0	0.0
C	MÓVIL (100 W/m²)	GS	838.3	53%	777.4	50%	804.9	37%	800.7	31%	651.0	42%	711.3	28%	647.3
		FRÍO	0.0	100%	0.0	100%	0.0	100%	-3.9	97%	-67.5	83%	-336.2	50%	-789.6
		CALOR	525.9	-133%	332.1	-172%	235.7	-102%	85.0	-78%	14.2	0.7	0.0	0.0	0.0
C	MÓVIL (200 W/m²)	GS	931.6	47%	858.4	44%	921.1	28%	943.7	19%	851.9	24%	945.2	4%	846.1
		FRÍO	0.0	100%	0.0	100%	0.0	100%	-8.6	93%	-138.9	65%	-487.9	27%	-927.2
		CALOR	472.4	-109%	294.2	-141%	194.4	-67%	66.9	-40%	8.4	0.0	0.0	0.0	0.0
C	MÓVIL (300 W/m²)	GS	1,108.1	37%	975.9	37%	1,063.8	17%	1,116.5	4%	1,102.1	1%	1,163.3	-18%	1,055.5
		FRÍO	0.0	100%	0.0	100%	-0.9	99%	-27.5	79%	-266.3	32%	-642.7	4%	-1,078.6
		CALOR	387.6	-72%	244.1	-100%	161.1	-38%	53.9	-13%	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0
C	MÓVIL (400 W/m²)	GS	1,314.6	26%	1,116.1	28%	1,288.0	0%	1,380.9	-19%	1,429.4	-28%	1,407.9	-42%	1,374.9
		FRÍO	-0.4	100%	0.0	100%	-17.0	85%	-108.6	18%	-466.9	-18%	-822.7	-23%	-1,314.1
		CALOR	317.4	-41%	190.6	-56%	124.8	-7%	38.8	19%	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0
C	MÓVIL (500 W/m²)	GS	1,492.8	16%	1,344.9	13%	1,520.8	-19%	1,705.1	-47%	1,815.5	-63%	1,637.2	-65%	1,959.1
		FRÍO	-27.7	85%	-26.6	82%	-69.3	37%	-255.8	-93%	-730.7	-85%	-998.7	-49%	-1,761.0
		CALOR	281.5	-25%	141.3	-16%	100.7	14%	25.1	47%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C	MÓVIL (550 W/m²)	GS	1,599.9	10%	1,465.4	5%	1,634.8	-28%	1,907.4	-64%	1,937.3	-73%	1,637.2	-65%	1,959.1
		FRÍO	-37.6	79%	-56.7	62%	-106.4	3%	-376.1	-184%	-819.8	-108%	-998.7	-49%	-1,761.0
		CALOR	250.6	-11%	123.1	-1%	93.5	20%	18.7	61%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C	MÓVIL (600 W/m²)	GS	1,686.1	5%	1,588.5	-3%	1,795.4	-40%	2,073.8	-79%	1,937.3	-73%	1,637.2	-65%	1,959.1
		FRÍO	-51.9	71%	-89.1	41%	-181.1	-65%	-484.2	-265%	-820.0	-108%	-998.7	-49%	-1,761.0
		CALOR	235.3	-4%	106.1	13%	83.8	28%	14.8	69%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C	MÓVIL (750 W/m²)	GS	2,183.3	-23%	2,032.7	-32%	2,356.2	-84%	2,238.0	-93%	1,937.3	-73%	1,637.2	-65%	1,959.1
		FRÍO	-224.2	-24%	-268.5	-79%	-520.3	-374%	-598.2	-351%	-820.3	-108%	-998.7	-49%	-1,761.0
		CALOR	166.7	26%	78.2	36%	60.7	48%	12.7	73%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C	MÓVIL (1000 W/m²)	GS	2,650.9	-50%	2,646.0	-72%	2,604.2	-103%	2,238.0	-93%	1,937.3	-73%	1,637.2	-65%	1,959.1
		FRÍO	-502.9	-178%	-643.1	-329%	-693.3	-531%	-598.2	-351%	-820.3	-108%	-998.7	-49%	-1,761.0
		CALOR	138.4	39%	60.8	50%	54.1	54%	12.7	73%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
			REGIMEN INVIERNO			REGIMEN PRIMAVERA			REGIMEN VERANO			REGIMEN OTOÑO			

TABLA 1  
 Demanda mensual de Ganancia Solar (GS) Enfriamiento (Frío) y Calefacción (Calor) según el tipo de protección solar analizada

TOTAL INVIERNO	REDUCCIÓN RESPECTO EDIFICIO PROTECCIONES FIJAS	TOTAL VERANO	REDUCCIÓN RESPECTO EDIFICIO PROTECCIONES FIJAS	TOTAL
12,537.1		14,978.7		27,515.8
		-8,956.4		-8,956.4
413.0				413.0
7,677.2	39%	8,189.2	45%	15,866.4
		-5,219.7	42%	-5,219.7
717.2	-74%			717.2
3,883.9	49%	4,439.9	46%	8,323.8
		-2,253.3	57%	-2,253.3
1,860.8	-159%			1,860.8
3,919.1	49%	4,469.0	45%	8,388.0
		-2,259.7	57%	-2,259.7
1,854.8	-159%			1,854.8
3,978.9	48%	4,570.0	44%	8,548.9
		-2,296.0	56%	-2,296.0
1,827.4	-155%			1,827.4
4,245.7	45%	5,083.8	38%	9,329.5
		-2,515.1	52%	-2,515.1
1,699.9	-137%			1,699.9
4,767.7	38%	6,338.0	23%	11,105.7
		-3,160.6	39%	-3,160.6
1,466.2	-104%			1,466.2
5,454.0	29%	7,752.1	5%	13,206.0
		-3,992.8	24%	-3,992.8
1,216.7	-70%			1,216.7
6,215.3	19%	9,604.7	-17%	15,820.0
		-5,183.1	1%	-5,183.1
1,005.2	-40%			1,005.2
7,214.6	6%	12,139.0	-48%	19,353.5
		-6,958.8	-33%	-6,958.8
818.5	-14%			818.5
7,785.4	-1%	13,032.1	-59%	20,817.5
		-7,576.7	-45%	-7,576.7
731.9	-2%			731.9
8,359.0	-9%	13,667.0	-67%	22,026.0
		-8,035.8	-54%	-8,035.8
675.5	6%			675.5
10,660.2	-39%	14,698.7	-79%	25,358.9
		-8,773.3	-68%	-8,773.3
495.5	31%			495.5
12,537.1	-63%	14,978.7	-83%	27,515.8
		-8,956.4	-72%	-8,956.4
413.0	42%			413.0
<b>RESUMEN ANUAL</b>				

En la tabla 1 se presentan los datos de las simulaciones realizadas para 3 situaciones:

- A. Abertura sin protección solar
- B. Abertura con protección fija exterior (lamas con inclinación de 0° en horizontal)
- C. Abertura con protección móvil exterior (lamas con inclinación de 0° a 90° en horizontal)

Los datos corresponden a la ganancia solar en kWh, la demanda total de enfriamiento y la demanda total de calentamiento para cada uno de las situaciones antes descritas. En el caso de las protecciones móviles se establecen diferentes puntos de control para la activación del sistema, que van desde 0 a 1000 W/m<sup>2</sup>. Esto quiere decir que, al detectar la incidencia solar correspondiente, las lamas pasan de 0 a 90°, cerrando la protección, considerando que con 0 W/m<sup>2</sup> significa que las lamas permanecen prácticamente cerradas todo el tiempo, y el caso contrario con 1000 W/m<sup>2</sup>.

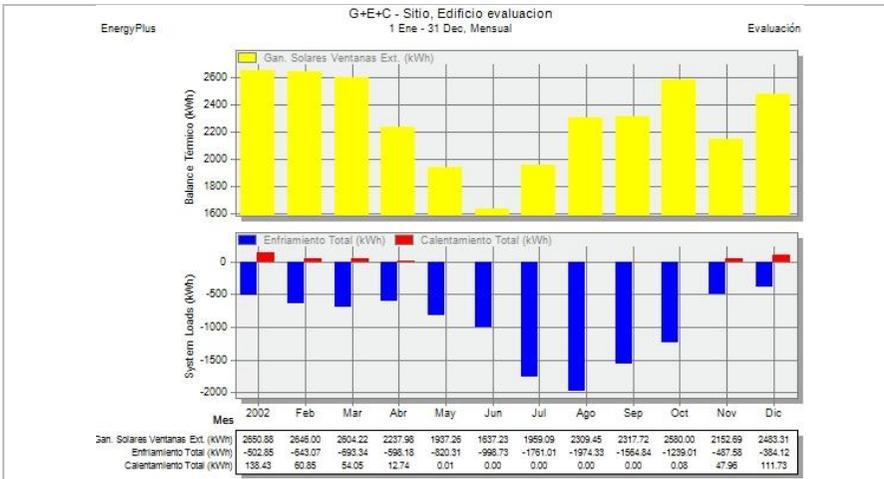
Como podemos ver, el grado de eficiencia de cada punto de control dependerá de la época del año y la necesidad correspondiente. A continuación, se presenta un cuadro resumen (tabla 2) con los datos de demanda de comparativa entre el sistema de lamas fijas y el de lamas móviles.

Cabe mencionar que para calcular el nivel de eficiencia del sistema móvil respecto al sistema fijo se han considerado relevantes para los meses fríos (enero, febrero, noviembre y diciembre) la demanda de calefacción. Para el resto de los meses el valor relevante es la demanda de enfriamiento.

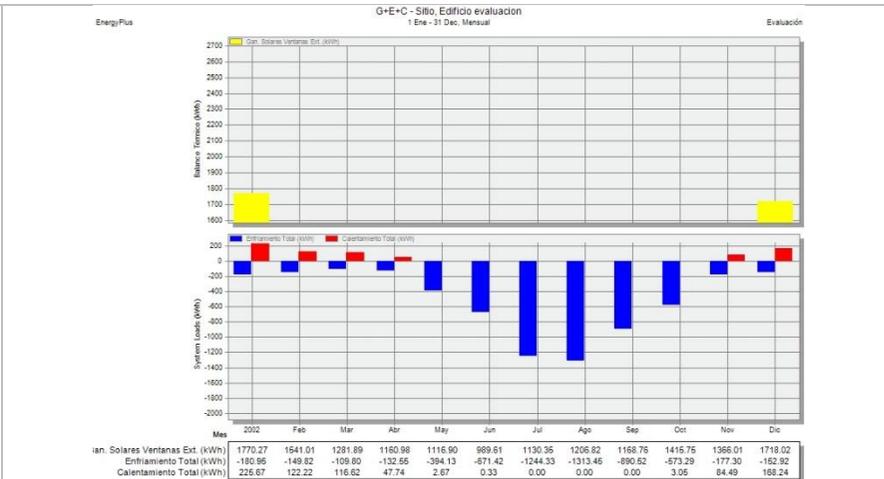


FIGURA 38: Sección en perspectiva del modelo

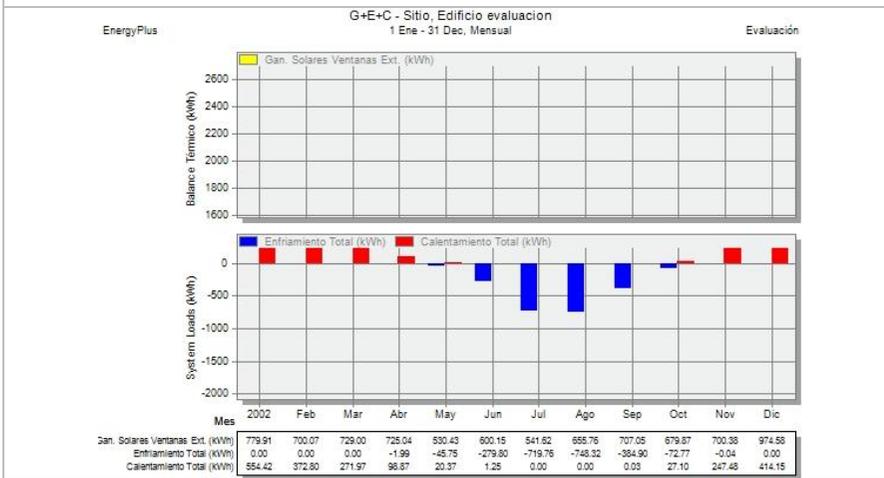
TABLA 2  
 Para los totales se consideran los siguientes meses:  
 INVIERNO: enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre  
 VERANO: abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre



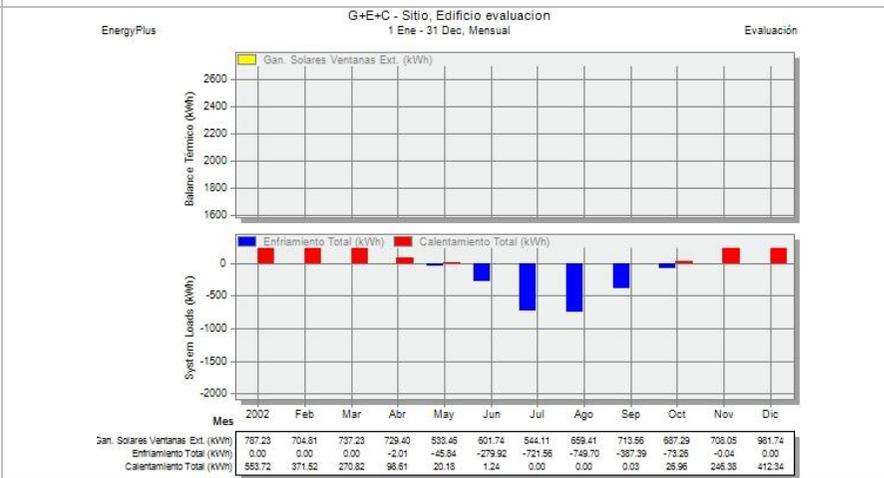
**SIN PROTECCIÓN SOLAR** En esta evaluación se considera que la abertura no tiene ningún tipo de sombreado. La demanda de enfriamiento es directamente proporcional a los valores de Ganancia Solar



**CON PROTECCIÓN SOLAR FIJA** Considerando un sistema con lamas fijas en posición completamente horizontal, las ganancias solares disminuyen en total en un 42%.



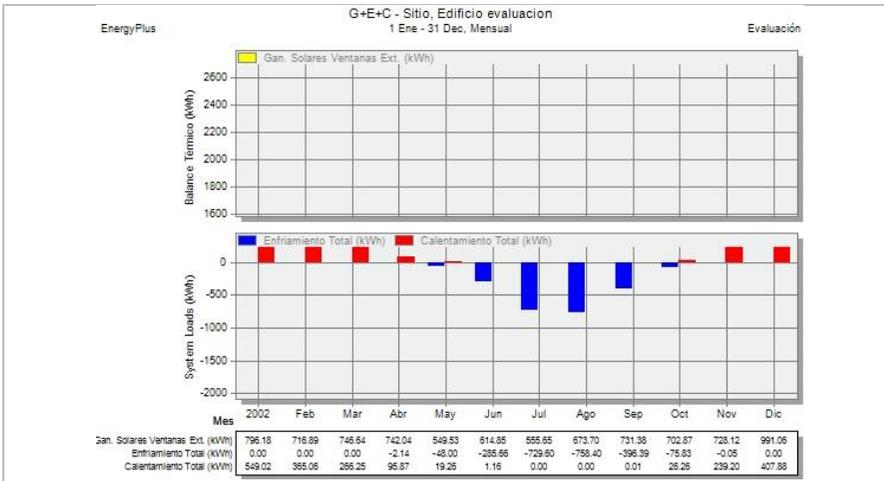
**CON PROTECCIÓN SOLAR MÓVIL (punto de control en 0 kWh)** Estableciendo el punto de control en 0 kWh podemos ver como la demanda de enfriamiento disminuye considerablemente. Vemos que teniendo la protección solar activa gran parte del día, las ganancias solares disminuyen considerablemente.



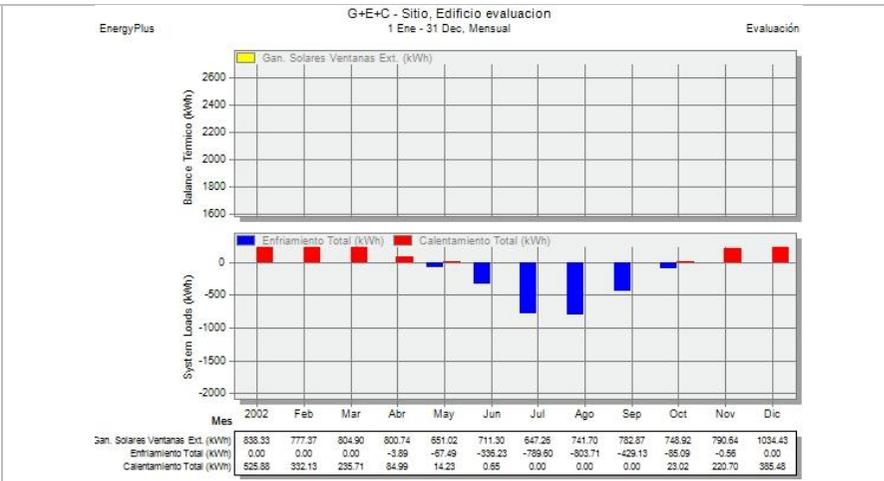
**CON PROTECCIÓN SOLAR MÓVIL (punto de control en 25 kWh)** Comparativamente los valores no cambian significativamente respecto a la evaluación a 0 kWh.

GRÁFICOS 1 al 4

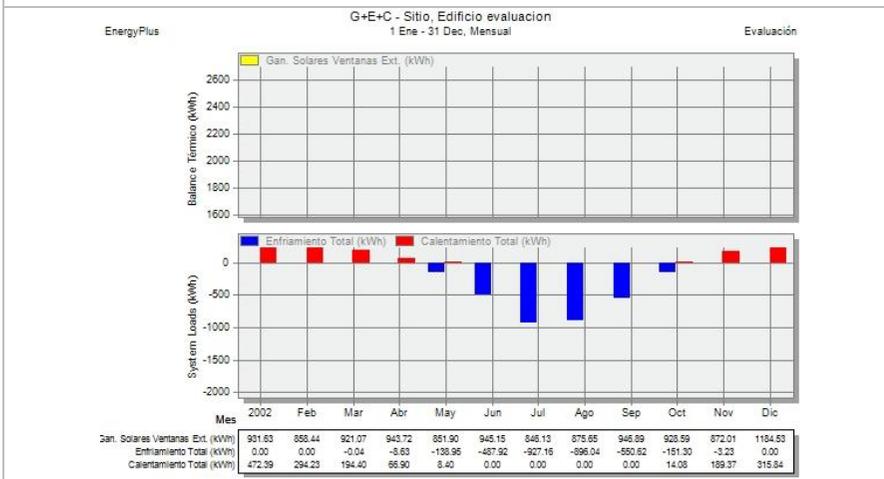
Análisis gráfico de las demandas de calefacción (rojo) y enfriamiento (azul) de las ganancias solares (amarillo) para el caso de no tener protección solar, una fija, y otras controladas a 0 y 25 kWh.



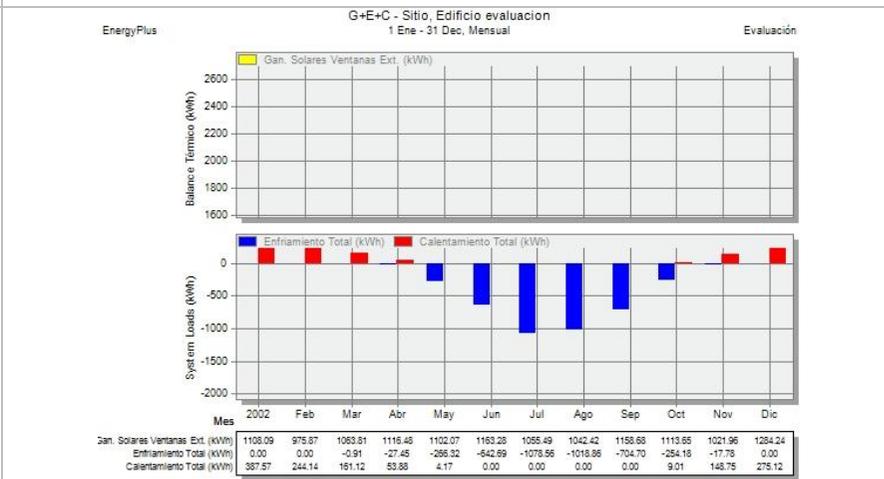
CON PROTECCIÓN SOLAR MÓVIL (punto de control en 50 kWh) Comparativamente los valores no cambian significativamente respecto a la evaluación a 0 kWh



CON PROTECCIÓN SOLAR MÓVIL (punto de control en 100 kWh) Comparativamente los valores no cambian significativamente respecto a la evaluación a 0 kWh



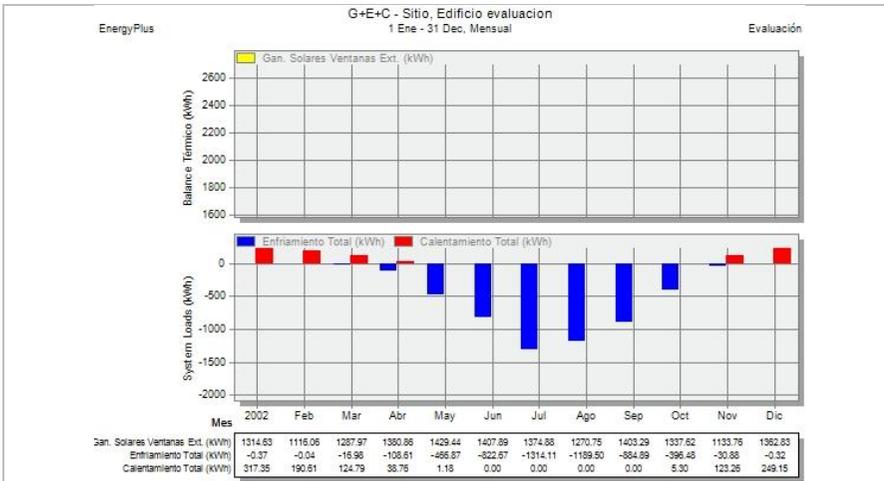
CON PROTECCIÓN SOLAR MÓVIL (punto de control en 200 kWh) Entre los meses de mayo y octubre hay un pequeño incremento en la demanda de refrigeración



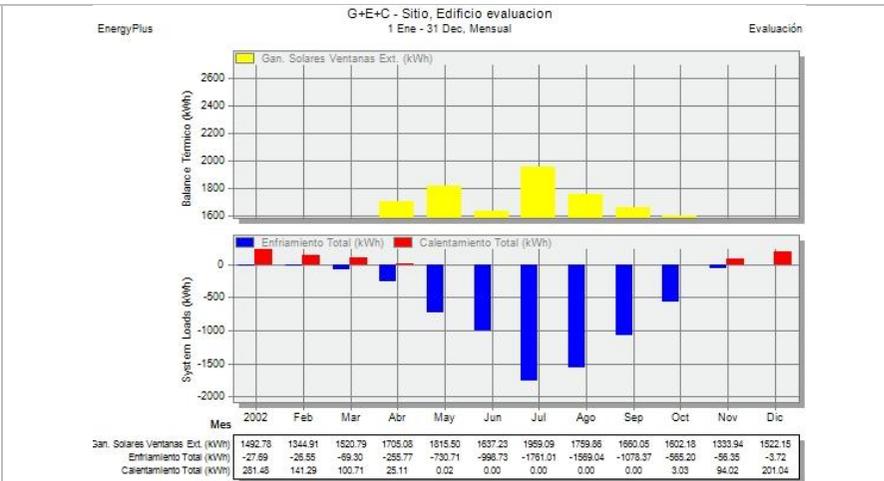
CON PROTECCIÓN SOLAR MÓVIL (punto de control en 300 kWh) Comparativamente los valores no cambian mucho respecto a la evaluación a 0 kWh.

GRÁFICOS 5 al 8

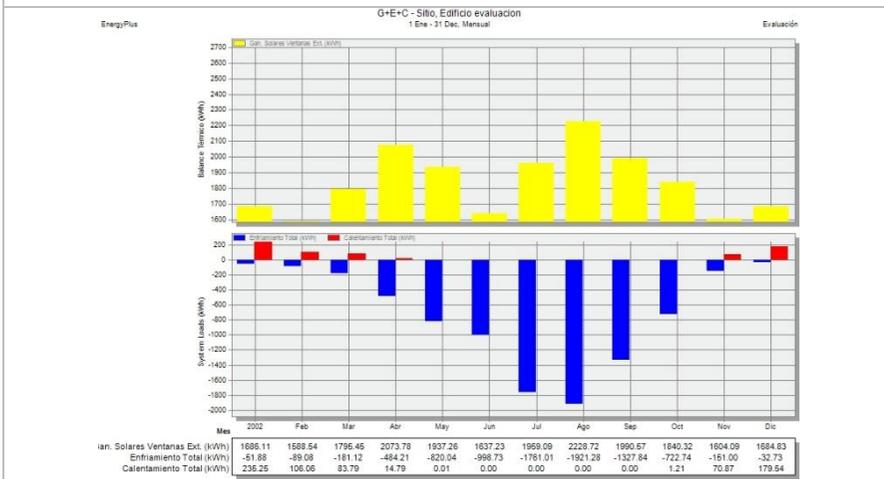
Análisis gráfico de las demandas de calefacción (rojo) y enfriamiento (azul) de las ganancias solares (amarillo) para el caso de tener protecciones controladas a 50, 100, 200 y 300 kWh.



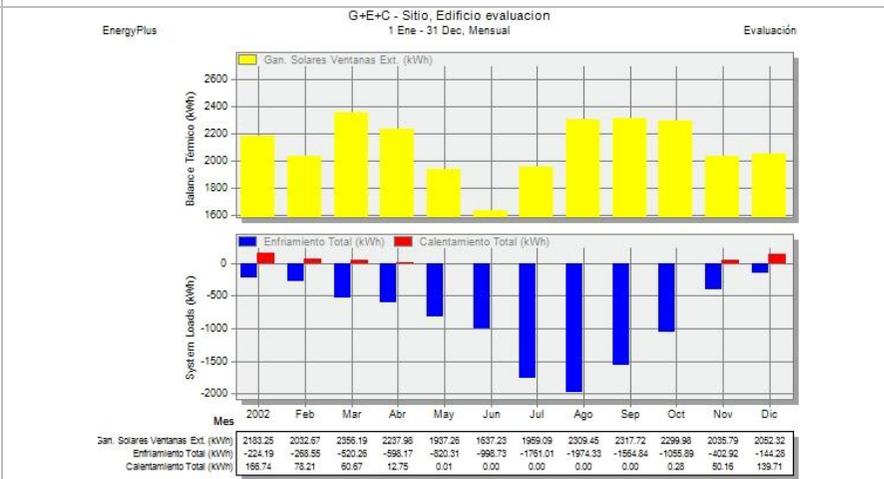
CON PROTECCIÓN SOLAR MÓVIL (punto de control en 400 kWh) Existe un aumento de la demanda de enfriamiento, sobre todo en los meses más calurosos.



CON PROTECCIÓN SOLAR MÓVIL (punto de control en 500 kWh) Podemos ver que con este punto de control es donde recién se registra un aumento de las ganancias solares, por lo que durante los meses calurosos hasta este punto el sistema es eficiente.



CON PROTECCIÓN SOLAR MÓVIL (punto de control en 600 kWh) Vemos como, a medida que la ganancia solar va aumentando debido a que la protección solar se mantiene mas abierta (que ya el punto e control es mas alto) la demanda de refrigeración también aumenta



CON PROTECCIÓN SOLAR MÓVIL (punto de control en 750 kWh) Vemos como, a medida que la ganancia solar va aumentando debido a que la protección solar se mantiene mas abierta (que ya el punto e control es mas alto) la demanda de refrigeración también aumenta

GRÁFICOS 9 al 12

Análisis gráfico de las demandas de calefacción (rojo) y enfriamiento (azul) de las ganancias solares (amarillo) para el caso de tener protecciones controladas a 400, 500, 750 y 1000 kWh.

PROTECCIÓN	PARÁMETRO (kWh)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.	TOTAL INVIERNO	REDUCCIÓN RESPECTO EDIFICIO PROTECCIÓNES FIJAS	TOTAL VERANO	REDUCCIÓN RESPECTO EDIFICIO PROTECCIÓNES FIJAS	TOTAL												
SIN PROTEC.	GS	2,650.9	2,646.0	2,604.2	2,238.0	1,937.3	1,637.2	1,959.1	2,309.5	2,317.7	2,580.0	2,152.7	2,483.3	12,537.1		14,978.7		27,515.8												
	FRÍO	-502.9	-643.1	-693.3	-598.2	-820.3	-998.7	-1,761.0	-1,974.3	-1,564.8	-1,239.0	-487.6	-384.1			-8,956.4		-8,956.4												
	CALOR	138.4	60.8	54.1	12.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	48.0	111.7	413.0				413.0												
FIJA (<90°)	GS	1,770.3	33%	1,541.0	42%	1,281.9	51%	1,161.0	48%	1,116.9	42%	989.6	40%	1,130.4	42%	1,206.8	48%	1,168.8	50%	1,415.7	45%	1,366.0	37%	1,718.0	31%	7,677.2	39%	8,189.2	45%	15,866.4
	FRÍO	-180.9	64%	-149.8	77%	-109.8	84%	-132.6	78%	-394.1	52%	-671.4	33%	-1,244.3	29%	-1,313.4	33%	-890.5	43%	-573.3	54%	-177.3	64%	-152.9	60%			-5,219.7	42%	-5,219.7
	CALOR	225.7	-63%	122.2	-101%	116.6	-116%	47.7	-275%	2.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	84.5	-76%	168.2	-51%	717.2	-74%			717.2	-74%			717.2
MÓVIL	GS	2,183.3	-23%	1,588.5	-3%	1,520.8	-19%	1,116.5	4%	651.0	42%	614.9	38%	544.1	52%	673.7	44%	946.9	19%	1,337.6	6%	1,463.3	-7%	2,052.3	-19%	8,808.2	-15%	5,884.7	28%	14,692.9
	FRÍO	-224.2	-24%	-89.1	41%	-69.3	37%	-27.5	79%	-67.5	83%	-285.7	57%	-721.6	42%	-758.4	42%	-550.6	38%	-396.5	31%	-94.4	47%	-144.3	6%			-2,807.7	46%	-2,807.7
	CALOR	166.7	26%	106.1	13%	100.7	14%	53.9	-13%	14.2	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	81.0	4%	139.7	17%	594.2	17%			594.2	17%			594.2

TABLA 5: Comparativa de la demanda entre una fachada sin protección, una con protección solar fija y otra móvil, considerando esta última con los valores de mayor eficiencia

Los totales calculados corresponden a la sumatoria de todos los meses del año en el caso de las ganancias, solo de los meses fríos (enero, febrero, noviembre y diciembre) en el caso del calentamiento y solo de los meses calurosos (abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre) en el caso del enfriamiento.

Podemos ver que estableciendo diferentes puntos de control acordes a la época del año, los valores de demanda se van optimizando. Se han considerado como satisfactorios (se destacan en amarillo en la tabla 1) aquellos puntos de control que generen una mejora considerable respecto a los demás, pero evitando los extremos (0 y 1000 kWh).

A modo de resumen, considerando las sumatorias según el método antes mencionado, del sistema móvil versus el fijo, los ahorros son:

PROTECCIÓN	PARÁMETRO (kWh)	TOTAL INVIERNO	REDUCCIÓN	TOTAL VERANO	REDUCCIÓN	TOTAL
SIN PROTEC.	GS	12,537.1		14,978.7		27,515.8
	FRÍO			-8,956.4		-8,956.4
	CALOR	413.0				413.0
FIJA (<90°)	GS	7,677.2	39%	8,189.2	45%	15,866.4
	FRÍO			-5,219.7	42%	-5,219.7
	CALOR	717.2	-74%			717.2
MÓVIL	GS	8,808.2	-15%	5,884.7	28%	14,692.9
	FRÍO			-2,807.7	46%	-2,807.7
	CALOR	594.2	17%			594.2

TABLA 6: Resumen comparativo de las demandas entre un edificio de 100m2 sin protección solar, con un sistema de lamas fijas y otro dinámico.

Un sistema de **lamas fijas**, respecto a un edificio sin protección solar, genera un ahorro en la **demanda de frío de un 42%**. Un sistema de **lamas móviles**, respecto a un sistema de lamas fijas, genera un ahorro en la **demanda calor de un 17%** y **de frío de un 46%**. Como vemos, durante la época fría hay un leve aumento de la demanda de calor, lo que se debería solucionar a través de métodos pasivos (ventilación principalmente).

## CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

*Los seres vivos existen siempre inmersos en un medio en el que interactúan. Más aún, como el vivir de un ser vivo transcurre en continuos cambios estructurales como resultado de su propia dinámica interna, o gatillados en sus interacciones en el medio, un ser vivo conserva su organización en un medio sólo si su estructura y la estructura del medio son congruentes y esta congruencia se conserva. Si no se conserva la congruencia estructural entre ser vivo y medio, las interacciones en el medio gatillan en el ser vivo cambios estructurales que lo desintegran y muere. Esta congruencia estructural entre ser vivo y medio (cualquiera que éste sea) se llama adaptación. (15)*

El ser humano por naturaleza es conservador, y busca conservarlo todo, y primordialmente su especie. Es por esto que toda actividad desarrollada por el hombre debe orientarse a la conservación más importante: la del medioambiente. ¿De qué sirve encontrar la forma de vivir hasta los 500 años o desarrollar técnicas para que los edificios duren 1000, si no tenemos esos años?

Uno de los mayores problemas a los que se enfrenta nuestra sociedad es a la satisfacción de sus necesidades. A pesar de que existen escalas de vitalidad en éstas, la incorporación de necesidades cada vez más sofisticadas hace que por una parte sea más complejo lograr la satisfacción, y por otra que el consumo de recursos sea cada vez mayor. La real solución a la actual problemática medioambiental no está depositada en lo que como seres podamos inventar, si no que en la revisión de nuestras necesidades a través de la introspección y la reflexión. Es difícil enfrentar cualquier problemática medioambiental sin tener clara esta situación.

La tecnología se ha hecho increíblemente económica, en cambio la conservación del medio ambiente va siendo cada vez más compleja de sostener. Este escenario, además de presentar un reto muy exigente, representa la importancia del desarrollo de sistemas que aporten a la reducción del consumo y la eficiencia energética.

Si desglosamos la problemática de la eficiencia energética en los edificios, veremos las escasas oportunidades de generar soluciones eficientes energéticamente por sí mismas, gran parte de ellas requieren de un consumo energético para su funcionamiento. Es por este motivo, que dentro del campo de las fachadas dinámicas que encontramos pocas soluciones que, de una manera descentralizada energéticamente, puedan generar el movimiento necesario.

A continuación, se describen las conclusiones obtenidas en cada una de las etapas de desarrollo del proyecto:

**DINAMISMO:** Considerando la condición de refugio que representan los edificios respecto a las condiciones climáticas dinámicas del entorno para con los individuos, podemos notar una relación no lineal dentro de esta situación: individuos con comportamiento y necesidades dinámicas, refugiándose a en edificios estáticos de situaciones climáticas dinámicas del entorno.

Si esta relación se homogeniza a través de arquitectura más adaptativa, podríamos solucionar una de las grandes falencias de los edificios: garantizar el confort de los usuarios a través de un alto consumo energético.

**PASIVIDAD:** Considerando la clasificación de los sistemas de protección solar dinámica entre activos y pasivos, estos últimos tiene ventaja por su autonomía. A pesar de esto, y aprovechando el desarrollo de componentes electrónicos de código abierto, se plantea un sistema modular y

desplegable, de funcionamiento descentralizado. Si la energía es generada en el mismo panel y los datos son tomados localmente, tenemos un sistema con características activas, pero de funcionamiento pasivo.

**ESTÉTICA:** Modificar exteriormente la fachada de los edificios, alterando su apariencia no es un hecho sencillo. Mas que mal, y afortunadamente, existen una serie de normativas que buscan preservar la estética de edificios a causa de su situación patrimonial. Pero esto no ocurre en todos los edificios.

Estéticamente hoy encontramos una gran cantidad de edificios con fachadas sin interés estético alguno, lo que brinda la oportunidad de intervención. Esto ocurre en muchos de los edificios de construcción contemporánea, y que no muestran más que una piel de vidrio que cubre la totalidad de la envolvente. Esto sumado a un mal funcionamiento energético, la intervención se hace necesaria.

La palabra estética deriva del latín moderno *aestheticus*, y éste del griego *aisthētikós* que significa “percibida por los sentidos”. Un ambiente cómodo y una posibilidad de “modificación dérmica” que brindan los sistemas de protección solar responsivos, sumado a la reducción de la demanda energética, hacen que la intervención de las fachadas a través de sistemas dinámicos

**GEOMETRÍA:** La teselación de las superficies de fachada y la despleabilidad son 2 componentes geométricas que generan infinitas posibilidades de configuraciones capaces de desarrollar una envolvente dinámica. Además, el desarrollo geométrico de este tipo de sistemas brinda la posibilidad de aportar el aspecto estético, tan necesario en una fachada.

**SISTEMA MODULAR:** El generar un sistema modular industrializado, que se pueda montar tal como un mueble de IKEA, brinda la posibilidad de 'democratizar' este tipo de sistemas, ya que, si sumamos la posibilidad de

ser descentralizado, se podría instalar prácticamente en cualquier edificio, independiente de su tipología de fachada.

**PROTOTIPOS:** Las bondades de la fabricación digital (corte láser, CNC, impresión 3D) sumado al desarrollo de materiales de alta resistencia, tanto como a la flexo-compresión como al desgaste, son elementos a tener en consideración en la futura fabricación de nuevos módulos.

**SOFTWARE:** Dentro de la etapa de la evaluación del software que utilizaría para realizar el estudio CAD-CAM, se procedió en primera instancia a la utilización del software de diseño paramétrico GRASSHOPPER, debido a su versatilidad al momento de procesar geoméricamente datos climáticos. El uso de este programa, que es un plug in de Rhinoceros, orientado al diseño paramétrico que funciona como editor de algoritmos generativos, que permite el manejo de datos a manera de software CAM.

La evaluación energética por su parte fue abordada a través del programa DesignBuilder, que es un software de análisis climático paramétrico, que representa una herramienta muy potente para realizar simulaciones energéticas. Como motor de cálculo (el programa que realiza los cálculos de la simulación) utiliza Energy Plus que es uno de los más reconocidos y utilizados a nivel internacional.

Cómo vemos, el procedimiento para la evaluación y gestión del sistema puede ser bastante complejo, ya que implica una serie de conexiones entre software.

**PARÁMETROS:** La eficiencia energética de un edificio depende de múltiples factores, entre los que podemos destacar el ángulo de incidencia solar, la nubosidad, la temperatura exterior, los vientos exteriores, temperatura interior, la orientación, la geometría, la humedad interior, entre otros. El gestionar todos estos factores para lograr minimizar el consumo energético es una labor compleja, pero necesaria dentro del contexto energético mundial.

Para esto, la programación de los sistemas que busquen este objetivo debe estar orientada a asignar a cada factor un nivel de importancia y generar la función algorítmica necesaria para lograr condiciones estables y el confort interior, garantizando que el consumo energético disminuya y/o tienda a cero.

**FUNCIONAMIENTO:** La evaluación electromecánica determina que, tanto a nivel de como del mecanismo de movimiento de las piezas como el manejo de los datos a gestionar, los diferentes elementos que componen tanto el hardware como el software de este tipo de sistemas deben tender al mínimo, para minimizar riesgos de desperfecto.

**EVALUACIÓN:** La complejidad de evaluar los datos climáticos de un lugar específico, es que habitualmente se realiza a través de datos estadísticos. Estos factores pueden ser programados a través de datos preexistentes, pero el ideal es la toma de mediciones en tiempo real (en caso de cambios sustanciales en el clima, se activará el sistema a base de medición instrumental) Es por este motivo, que la utilización de una estación meteorológica local, o en mejor caso sensores individuales, es fundamental para el funcionamiento del sistema.

**EFICIENCIA ENERGÉTICA:** Según la evaluación desarrollada en este documento, se puede concluir que para la reducción del consumo en climatización es fundamental limitar la demanda evitando la entrada de la radiación solar al interior del edificio. Para este propósito el uso de un sistema de protección solar dinámico capaz de adaptarse a las diferentes condiciones exteriores puede disminuir las ganancias térmicas y por consiguiente, disminuir la demanda energética.

## FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

### Utilización de energía renovable para el funcionamiento

Como se ha mencionado, las posibilidades que otorgan los controladores electrónicos actualmente de funcionamiento inalámbrico,

Pero para lograr un funcionamiento 100% descentralizado, la alimentación eléctrica es uno de los temas a resolver. Ya sea a través de celdas fotovoltaicas, turbinas eólicas u otro sistema de energía renovable. Como este tipo de estudio conlleva la evaluación del consumo eléctrico de los motores y la eficiencia del sistema de energía no renovable.

La importancia de esta posibilidad radica en eliminar el cableado necesario para el funcionamiento de la gran parte de los sistemas existentes actualmente, así tener un sistema descentralizado por completo.

### Protecciones solares dinámicas controladas a través de otros parámetros o la combinación de éstos

Cómo se ha mencionado, la evaluación expuesta en este estudio considera la monitorización de la radiación solar incidente para determinar el comportamiento del sistema de fachada:

La posibilidad de agregar nuevos parámetros, como temperatura interior, la humedad ambiental, la iluminación interior y los vientos predominantes, podrían generar un funcionamiento más preciso del sistema.

Se plantea además generar evaluaciones de los sistemas de protección dinámica en otras orientaciones y para otros climas, con la misma metodología expuesta en este documento. Esto permitirá entender el alcance de las mejoras, a modo de definir los sistemas más adecuados para cada contexto climático.

Los sistemas responsivos no se reducen solo a factores relativos a la radiación incidente. Esto queda de manifiesto en los controladores de vientos que poseen muchos sistemas existentes. Por ejemplo, muchos de los sistemas existentes se cierran al detectar velocidad del viento, para evitar desperfectos.

### Evaluación en espacios colindantes con otros recintos (no aislados)

Se debe considerar que esta evaluación está desarrollada sobre el modelo de un espacio de una sola zona. Sería interesante el estudio de la mejora respecto de su nivel de aislamiento del entorno. Probablemente la eficiencia de estos espacios más aislados sea mayor que la del espacio evaluado en este estudio.

### Análisis de ciclo de vida de un sistema de protección solar dinámico

Sería interesante tener en claro cuánto es el costo real de los materiales de un sistema como el propuesto.

Respecto a la materialidad, como el objetivo de este estudio no es establecer una receta única para desarrollar resolver el tema de la protección solar dinámica, este estudio dependerá de el contexto y los medios disponibles para la fabricación responsable de un sistema como el propuesto.

Respecto a la durabilidad, y considerando que una bicicleta es un elemento mecánico (con muchas más articulaciones y exigencias que lo expuesto) que mide en elevación 1 m<sup>2</sup>, y que hay algunos modelos bastante económicos, la viabilidad ambiental, más que económica, hace bastante factible que la vida útil de un sistema como los propuestos sea alta, con las mantenciones y cuidados correspondientes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agkathidis, Asterios. (2016). Diseño Generativo: Procesos para concebir nuevas formas arquitectónicas (1ª ed.). Barcelona, España: Promopress.
- Dorothee Hemmelgarn - Architectural Engineering Research - Research Paper 'Efficiency facade PLUS. 'Shifting from energy consumption to energy production'
- Bustamante G, W. (2009). Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social. Santiago, Chile: Gobierno de Chile, Comisión Nacional de Energía.
- Cibeles María Núñez Reyes (2016) La Cinética en Arquitectura, diseño y mecanismos de fachadas dinámicas, Trabajo Final de Máster. UPC
- Corporación de desarrollo tecnológico - cámara chilena de la construcción, (2013) Recomendaciones técnicas para Muros cortina
- Davis, Daniel. (2013) 'Modelled on Software Engineering : Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture'. Tesis doctoral en Filosofía. School of Architecture and Design College of Design and Social context RMIT University
- Herzog, Thomas, Krippner, R., & Lang, W. (2004). Facade construction manual. Alemania: Detail.
- Karanouh, A. and Kerber, E. (2015). Innovations in dynamic architecture. Journal of Facade Design and Engineering, 3(2), pp.185-221.
- Knaack, Ulrich; Klein, Tillmann; BILOW, Marcel y Thomas AUER. (2007) Façades: Principles of Construction. Birkhäuser Verlag, Basilea,
- Meyer Boake, T. (2014). Hot Climate Double Façades: Avoiding Solar Gain.
- Moloney, Jules (2011). Designing kinetics for architectural facades: state change. New York: Routledge
- Ordoñez , Arturo (2014) Manual DesgiBulder en español (traducción y adaptación desarrollada por Sol-Arq a partir del manual en inglés ofrecido por DesignBuilder Ltd.)
- Oscar Gallego Pérez, United World College 'Un futuro medioambiental incierto para los emiratos árabes unidos'. ISSN: 1988-5245. Revista DELOS Desarrollo Local Sostenible.
- Pieter de Wilde, School of Architecture, Design and Environment, Plymouth University, Drake Circus, Plymouth, UK y David Coley, Department of Architecture and Civil Engineering, University of Bath, Bath, UK. Building and Environment (2012) 'The Implications of a Changing Climate for Buildings'
- Renato D'Alençon, 'Fachadas transparentes: sistemas activos y pasivos'
- Rivas Adrover, Esther (2015). Estructuras desplegadas. (1ª ed.). Barcelona, España: Promopress.
- Salvador Boada i Xairó. (2013) 'Los límites del vidrio. Aproximación analítica a los límites de las prestaciones energético-lumínicas del vidrio.' Trabajo Fijal de Máster UPC. Barcelona
- Somfy España S.A. (2018) La fachada dinámica 4.0: El primer control energético del edificio